SECCIÓN I

ADMINISTRACIÓN FORAL DEL TERRITORIO HISTÓRICO DE BIZKAIA

Diputación Foral de Bizkaia

Departamento de Infraestructuras y Desarrollo Territorial

DECRETO FORAL 45/2025, 30 de abril, de la Diputación Foral de Bizkaia por el que se aprueban las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras.

En las últimas décadas, los graves accidentes ocurridos en varios túneles europeos con sus elevados costes tanto directos como indirectos, unido al envejecimiento paulatino que se venía produciendo en los túneles existentes y sus instalaciones, con el incremento del volumen de tráfico que soportan estas infraestructuras y al cada vez mayor uso de los túneles como soluciones constructivas de menor impacto ambiental y óptima solución económica, han movilizado a la sociedad a exigir la adopción de decisiones políticas encaminadas a mejorar la seguridad de estas infraestructuras y en consecuencia la seguridad de las personas.

Así en el año 2004, el Parlamento Europeo y el Consejo de la Unión europea adoptan el 29 de abril de 2.004 la Directiva 2004/54/CE con el objetivo de garantizar un nivel mínimo de seguridad a los usuarios de la carretera en los túneles de la Red Transeuropea de carreteras, cuya longitud supere los 500 metros, tanto si están en fase de proyecto como en construcción.

Esta Directiva obliga a los Estados miembros a transponerla a sus respectivos marcos jurídicos y marca además plazos para la adaptación de los túneles existentes de esas características.

En base a la competencia exclusiva de la Diputación Foral de Bizkaia en la planificación, proyecto, construcción, conservación, modificación, financiación, uso y explotación de carreteras y caminos de su Territorio Histórico, según Ley 27/1983, de 25 de noviembre de Relaciones entre las Instituciones Comunes de la Comunidad Autónoma y los órganos forales de sus Territorios Históricos (LTH), la Diputación aprobó el Decreto Foral 135/2006, de 23 de agosto sobre seguridad de túneles en carreteras que supuso, respetando la normativa interna de obligado cumplimiento, la adaptación de la Directiva a las especificidades de Bizkaia y la extensión de los requerimientos a todos los túneles de la red foral de carreteras de Bizkaia.

Este Decreto en su disposición adicional única señala, “La Administración Foral, de acuerdo con lo establecido en la Ley Reguladora del Plan General de Carreteras del País Vasco, pondrá en vigor las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación de túneles”. Y asimismo en la disposición final primera establece “La Diputación Foral de Bizkaia, a propuesta del Departamento de Obras públicas y Transportes aprobará la normativa de desarrollo del presente Decreto Foral”, es decir las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en túneles de carreteras.

Consecuentemente, la Diputación Foral aprobó por Decreto Foral 134/2008, de 20 de agosto, las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en túneles de carreteras, siendo actualizadas y sustituidas por el Decreto Foral 91/2012, de 24 de abril que han permanecido en vigor hasta la fecha y han contribuido, sin duda, a afianzar el aseguramiento de la seguridad en los túneles de carreteras de Bizkaia. Su grado de especificidad, calidad técnica y primicia ha contribuido, en buena medida a ser considerada referente para el sector del transporte terrestre por carretera.

Desde su publicación, se han realizado grandes obras que incluían túneles de gran complejidad, así como desarrollo de proyectos de gran escala, que han permitido acumular una experiencia importante sobre la seguridad y en especial, sobre la eficacia de las medidas establecidas así como de la dificultad de la aplicación de otros requisitos iniciales.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Es necesario, además, tener en cuenta que las tecnologías utilizadas en las instalaciones de seguridad de los túneles están en continuo desarrollo, y se exige la adaptación a la evolución de los cambios tecnológicos y áreas del conocimiento. Sin olvidar la necesidad de adaptarse igualmente a las nuevas normativas que sean de aplicación.

De manera análoga a lo que viene ocurriendo en otros países europeos, se hace imprescindible adaptarse a las nuevas exigencias de la sociedad, a los nuevos hábitos del uso del transporte, así como a la situación económica que nos embarga con una exigencia de contención presupuestaria que se prevé duradera en el tiempo y que nos exige adoptar parámetros de sostenibilidad y rentabilidad económica y social.

Resulta así pues conveniente, dotar de una mayor flexibilidad al establecimiento de las medidas que sea precisas para alcanzar el nivel de seguridad deseable en cada caso, manteniendo criterios de uniformidad entre túneles similares. Se trata, por tanto, de exigir medidas eficaces pero más eficientes sin menoscabo de la seguridad y es por ello que se plantea la aprobación de las nuevas Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en túneles de carretera.

Por ello, teniendo en cuenta lo antes indicado, el objetivo del presente Decreto Foral es definir, los requisitos técnicos exigidos sobre los componentes de seguridad que deberán guardarse en todas las fases del ciclo de vida de un túnel: proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y la fase de explotación, siendo su ámbito de aplicación los túneles de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según la Norma Foral 5/2021 de 20 octubre de carreteras de Bizkaia.

Asimismo, el presente Decreto Foral responde a los principios de buena regulación previstos en la Ley 39/2015 de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas, y recogidos en el artículo 3 del Decreto Foral de la Diputación Foral de Bizkaia 87/2021, de 15 de junio, por el que se regula el procedimiento de elaboración de disposiciones de carácter general en la Diputación Foral de Bizkaia.

Debido a la naturaleza de disposición de carácter general del presente Decreto Foral, en su elaboración y tramitación se ha seguido el procedimiento establecido en el Decreto Foral de la Diputación Foral de Bizkaia 87/2021, de 15 de junio, de elaboración de disposiciones de carácter general en la Diputación Foral de Bizkaia, destacando en particular la realización del trámite de consulta pública previa y de audiencia e información pública, y el resto de informes preceptivos.

La aprobación de la presente disposición corresponde a la Diputación Foral conforme al artículo 17.1º.4 de la Norma Foral 3/1987, de 13 de febrero, sobre elección, organización, régimen y funcionamiento de las instituciones forales del Territorio Histórico de Bizkaia.

En su virtud, a propuesta del Diputado Foral de Infraestructuras y Desarrollo Territorial y previa deliberación y aprobación del Consejo de Gobierno

DISPONGO:

Artículo Único.—*Aprobación de las Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras*

Se aprueban las nuevas Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras que a continuación se detallan, y cuyo texto íntegro se adjunta a la presente a modo de Anexo:

Instrucciones Técnicas de Seguridad y Explotación en Túneles de Carreteras:

I. Infraestructura.
II. Energía eléctrica.
III. Alumbrado.
IV. Ventilación.
V. Sistema de protección contra incendios.
VI. Sistemas de seguridad, vigilancia y control.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

VII. Explotación de Túneles.

VIII. Metodología de análisis de riesgos

DISPOSICIONES TRANSITORIAS

Disposición Transitoria Primera.— *Túneles en fase de proyecto y no licitados*

En el caso de túneles en fase de proyecto referenciados a los requisitos dispuestos en las instrucciones técnicas del DF 91/2012, que no se haya licitado su ejecución a la entrada en vigor del presente Decreto, el Gestor del túnel deberá realizar el análisis de adecuación a los nuevos requisitos, y si fuera necesario, deberá ordenar el modificado del proyecto previo al inicio físico de las obras.

El modificado del proyecto así actualizado deberá obtener el informe de conformidad del organismo de inspección para dar inicio real a las obras.

Disposición Transitoria Segunda.— *Túneles en fase construcción o en adecuación*

Para todos los túneles que se encuentren en fase de construcción o en adecuación a la fecha de entrada en vigor de este Decreto, dispondrán de un plazo de adaptación a los nuevos requerimientos el cual nunca podrá ser superior a 12 años desde la entrada en vigor de este Decreto.

Disposición Transitoria Tercera.— *Túneles en servicio*

Todos los túneles en servicio a la fecha de entrada en vigor de este Decreto, deberán adaptarse a los requisitos del mismo.

Para ello el Gestor del túnel deberá realizar un Plan de adaptación de sus túneles al Decreto y en coherencia con la capacidad de inversión presupuestaria, fijar los periodos de adaptación. Estos periodos de adaptación nunca podrán ser superiores a 12 años desde la entrada en vigor de este Decreto.

DISPOSICIÓN DEROGATORIA

Disposición Derogatoria Única.— *Normativa Derogada*

Queda derogado el Decreto Foral 91/2012, de 24 de abril, y todas aquellas disposiciones administrativas de carácter general cuyo contenido se oponga a lo establecido en el presente Decreto Foral, sin perjuicio de lo indicado en las Disposiciones Transitorias.

DISPOSICIÓN FINAL

Disposición Final Única.— *Entrada en vigor*

El presente Decreto Foral entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el «Boletín Oficial de Bizkaia».

En Bilbao, a 30 de abril de 2025.

El diputado foral de Infraestructuras
y Desarrollo Territorial,
CARLOS ALZAGA SAGASTASOLOA

La Diputada General,
ELIXABETE ETXANOBE LANDAJUELA

cve: BOB-2025a082-(I-327)

DECRETO FORAL DE INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN DE TÚNELES EN CARRETERAS

ANEXO I

INFRAESTRUCTURA

Bizkaia
foru aldundia
diputación foral

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES

EN CARRETERAS

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(I)

INFRAESTRUCTURA

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1 OBJETO 5
2 ALCANCE 7
3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS 8
4 CRITERIOS DE DISEÑO 10
4.1 Diseño geométrico 10
4.1.1 Introducción 10
4.1.2 Velocidad de diseño 10
4.1.3 Trazado en planta 11
4.1.4 Trazado en alzado 12
4.1.5 Sección transversal 14
4.2 Infraestructura básica 18
4.2.1 Firmes 18
4.2.2 Revestimiento estructural 18
4.2.3 Revestimiento estético 20
4.2.4 Barreras 24
4.2.5 Señalización-Balizamiento 24
4.2.6 Drenaje 25
4.2.7 Tubos para comunicaciones 29
4.2.8 Tubos para suministro y distribución de energía 30

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.9 Tubos de protección contra incendios 31
4.2.10 Edificios Técnicos 31
4.3 Infraestructura de seguridad 31
4.3.1 Instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y accesos de emergencia 31
4.3.2 Instalaciones destinadas a los vehículos de emergencia 37
4.3.3 Apartaderos 39
4.4 Resistencia al fuego 39
4.4.1 Introducción 39
4.4.2 Reacción al fuego 40
4.4.3 Resistencia al fuego de elementos que delimitan instalaciones de evacuación 41
4.4.4 Resistencia al fuego de elementos estructurales 41
5 INTEGRACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL 52
6 PUESTA EN MARCHA 53
6.1 Puesta en marcha 53
6.2 Documentación final de la obra 53
6.2.1 Materiales constitutivos 53
6.2.2 Rutas de evacuación 53
6.2.3 Características de los elementos de drenaje 54
7 MANTENIMIENTO 56
7.1 Consideraciones generales 56

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.2 Criterios generales de mantenimiento 56

7.3 Comprobaciones en caso de incidente..... 58

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente Instrucción Técnica tiene por objeto definir las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las infraestructuras básicas en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto y planeamiento pertenecientes al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles carreteros para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una Instrucción Técnica clara de diseño, construcción y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.
- Concretar técnicamente y actualizar las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.
- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

Dentro del diseño de infraestructura básica se deben analizar los siguientes aspectos:

- Diseño Geométrico:
  - Trazado.
  - Sección transversal.
- Diseño de otros elementos del túnel:
  - Firmes.
  - Revestimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Revestimiento estético.
- Drenaje.

La infraestructura auxiliar de seguridad en los túneles tiene, entre otros, los siguientes objetivos:

- Facilitar las labores de escape y socorro.
- Facilitar las labores de mantenimiento.
- Reducir las afecciones producidas por incidentes.
- Evitar incidentes.

Dentro de la infraestructura auxiliar se incluyen:

- Instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y acceso de emergencia.
- Instalaciones destinadas a vehículos de emergencia.
- Nichos de seguridad.
- Nichos de incendios.
- Apartaderos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción Técnica es de aplicación a los túneles en todas sus fases de vida, planeamiento, proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras (DFST).

Esta Instrucción Técnica define los requisitos de seguridad relacionados con la infraestructura que serán de obligado cumplimiento.

En el caso de que determinados requisitos indicados en la Instrucción Técnica solo puedan satisfacerse recurriendo a soluciones técnicas de imposible ejecución en la práctica o que tengan un coste desproporcionado, la Autoridad Administrativa podrá autorizar que se apliquen otras medidas de reducción del riesgo, siempre y cuando estas medidas de reducción del riesgo den lugar a un nivel equivalente o mayor de seguridad. El Gestor/a del Túnel, proponente de estas medidas, deberá justificar la eficacia de las mismas mediante un Análisis de Riesgo.

Este informe será auditado por el Organismo de Inspección, quien remitirá a la Autoridad Administrativa un Dictamen de Seguridad, cuya valoración favorable será necesaria para obtener la autorización de la Autoridad Administrativa.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos que hacen referencia a aspectos relacionados con las infraestructuras básicas en los túneles:

- Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras de Bizkaia.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- Corrección de errores del Real Decreto 635/2006, de 31 de Julio 2006.
- Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de Abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad en Túneles de la Red TransEuropea de carreteras.
- Corrección de errores de la Directiva 2004/54/CE.
- Instrucción de Carreteras Norma 3.1-IC, Trazado.
- Instrucción de Carreteras Norma de Drenaje 5.1-IC.
- Instrucción de Carreteras Norma de Drenaje Superficial 5.2-IC.
- Instrucción de Carreteras Norma de Secciones de Firmes 6.1-IC.
- Instrucción de Carreteras Norma de Rehabilitación De Firmes 6.3-IC.
- Instrucción de Carreteras Norma de Señalización Vertical 8.1-IC.
- Instrucción de Carreteras Norma de Marcas Viales 8.2-IC.
- Orden Circular 35/2014 sobre criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos.
- Norma para el dimensionamiento de firmes de la red de carreteras del País Vasco. Orden del 12 de julio de 2007.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Norma para el dimensionamiento de firmes de la Red de Carreteras del País Vasco. Edición revisada y ampliada de noviembre 2012.
- Normas UNE.
- Anexo 2 de la Circular interministerial Nº 2000-63 del 25 de Agosto de 2000 relativa a la seguridad en los túneles de la red nacional de carreteras (Francia).
- Circular Interministerial Nº 2006-20 del 29/03/2006, relativa a la seguridad de túneles de carreteras de longitud superior a 300 metros. Anula a la Circular Interministerial Nº 2000-63 del 25/08/2000, a la excepción del Anexo 2 que se mantiene en vigor (Francia).
- CETU- Dossier pilote des tunnels (Francia).
- Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.
- Real Decreto 842/2002, de 2 de Agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51, así como sus Guías Técnicas de Aplicación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 Diseño geométrico

4.1.1 Introducción

Además de los elementos de funcionalidad, de las características geológico-geotécnicas del terreno y de las exigencias medioambientales, el diseño geométrico del túnel es un aspecto de vital importancia, tanto desde el punto de vista del usuario de la carretera, como del de la construcción, mantenimiento, explotación y seguridad.

A menudo el trazado del túnel se haya condicionado por el del resto de la carretera y sus características, con las cuales debe mantener una cierta homogeneidad. Ahora bien, la incidencia que el trazado del túnel tiene en la seguridad frente a incidentes, obliga a introducir unas mayores exigencias geométricas que en el caso de que la carretera discurra por cielo abierto.

El trazado de los elementos del túnel se realizará con los parámetros correspondientes a la velocidad de proyecto de la carretera en la que se sitúa, salvo en el caso de la visibilidad en el interior donde se incrementa en 20km/hora.

A efectos de esta Instrucción Técnica, cuando el porcentaje de pesados supere el 15% de la IMD o cuando la IMD estacional supere significativamente la media anual, se presenta un riesgo adicional, el cual se evaluará mediante un Análisis de Riesgos.

4.1.2 Velocidad de diseño

En todos los túneles unidireccionales tipo I, se limitará la velocidad máxima a 100 km/h, salvo que su geometría u otras características obliguen a mayores limitaciones.

En los túneles de tipo II y III, se empleará en general la limitación de velocidad genérica de la vía en la que se encuentra el túnel, salvo que existan riesgos específicos que recomienden una limitación inferior de la velocidad, particularmente si el índice de peligrosidad (I.P.) es superior a 35 (peligrosidad media).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En todos los túneles bidireccionales de una sola calzada se prohibirá el adelantamiento y se limitará la velocidad máxima a 80 Km/h, salvo que su geometría u otras características impongan menores velocidades.

La limitación de velocidad en un túnel existente solo se podrá incrementar, hasta los límites marcados anteriormente, tras un estudio justificativo. En este estudio se deberán evaluar los niveles de seguridad frente a la exposición al riesgo y para ello se analizarán factores relevantes tales como: el trazado y geometría del túnel, su diseño, las instalaciones, su tipología en relación a los riesgos, el tráfico existente, el porcentaje de pesados y el paso de mercancías peligrosas, los niveles de servicio que presenta la vía, los índices de accidentabilidad, etc., proponiéndose en su caso las modificaciones necesarias (señalización, adaptación de protocolos de operación y sistemas, otros), como paso previo a su implantación.

4.1.3 Trazado en planta

El trazado en planta cumplirá en general lo indicado en la Norma de Trazado 3.1-IC para carreteras con la correspondiente velocidad de proyecto.

Adicionalmente, se deben tener en cuenta otra serie de aspectos específicos de los túneles.

4.1.3.1 Aproximación al túnel

El trazado de aproximación al túnel deberá garantizar, salvo justificación en contrario, que el conductor perciba la boca de entrada 15 segundos antes de entrar, para que adecue la circulación a las características propias del túnel.

Esto conduce a una distancia de visibilidad de:

$$D = 4{,}17 \times V$$

Siendo : D = Distancia de visibilidad de la boca del túnel (m)

V = Velocidad de proyecto de la carretera (Km/h)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En túneles urbanos, y en circunstancias en que se produzca una sucesión de túneles, el tiempo requerido podrá ser inferior.

4.1.3.2 Salida del túnel

Se adoptarán medidas conducentes a eliminar o paliar el posible efecto del deslumbramiento del conductor del vehículo a la salida del túnel, en especial cuando la alineación de la vía en esta zona coincida con la orientación de los rayos solares en algunas horas del día.

En general, no se proyectarán alineaciones en planta con orientación este-oeste.

Se estudiará la salida del túnel con objeto de evitar pérdidas de calidad en el trazado que supongan requerimientos de disminución de velocidad.

4.1.3.3 Visibilidad

La distancia de visibilidad dentro del túnel será superior a la distancia de parada mínima, calculada con la velocidad de proyecto.

Para el cálculo de la distancia de visibilidad se considerarán todos los elementos del túnel que produzcan obstrucciones visuales.

4.1.3.3.1 Distancia de parada

La distancia de parada cumplirá lo indicado en la Norma de Trazado 3.1-IC para carreteras con la correspondiente velocidad de proyecto, siendo deseable que supere la distancia de parada calculada con la velocidad de proyecto incrementada en 20 km/h.

4.1.3.3.2 Despejes

El valor del despeje necesario para disponer de una determinada visibilidad cumplirá en general lo indicado en la Norma de Trazado 3.1-IC.

4.1.4 Trazado en alzado

En general el trazado en alzado cumplirá lo dispuesto para la velocidad de proyecto de la carretera, considerando los siguientes condicionantes adicionales:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.4.1 Inclinación mínima

La pendiente longitudinal del túnel debe garantizar el drenaje de las aguas que afloran al mismo, así como la rápida evacuación de vertidos sobre la calzada.

La inclinación mínima en túnel será de cinco décimas por ciento (0,50 %). Excepcionalmente la rasante podrá alcanzar un valor menor, no inferior a dos décimas por ciento (0,20 %). La inclinación de la línea de máxima pendiente en cualquier punto de la plataforma no será menor que cinco décimas por ciento (0,50 %).

4.1.4.2 Inclinación máxima

En los túneles ubicados en carreteras con calzadas separadas, se evitarán rampas mayores del tres por ciento (3,00%), y pendientes mayores del cinco por ciento (5,00%). En túneles de calzada única, se evitarán inclinaciones de rasante mayores del tres por ciento (3,00%).

Para la consideración de estas inclinaciones se tomará la pendiente máxima, siempre y cuando se produzca en un tramo de longitud igual o mayor que la distancia máxima entre dos salidas de emergencia consecutivas. En caso contrario, se calculará la pendiente ponderada en el interior del túnel, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$P_{ponderada} = \frac{\sum(p_i x d_i)}{L_{total}} x100$$

Siendo: $P_{ponderada}$= pendiente ponderada de cálculo.

p_i = pendiente de un tramo “i”.

d_i = distancia longitudinal de un tramo “i”.

L_{total} = longitud de todo el túnel.

Los tramos “i” nunca abarcarán ambos lados de una zona de transición, ni serán superiores a la interdistancia entre dos salidas de emergencia consecutivas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En los túneles con inclinaciones superiores a las indicadas anteriormente se evaluarán las medidas adicionales o reforzadas, o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en un Análisis de Riesgo.

4.1.4.3 Cambios de rasante

Los puntos bajos en túneles obligan a disponer bombeo para evacuar el agua. Por otra parte, los puntos altos provocan problemas de ventilación. Por esto se evitarán los cambios de signo de la inclinación en túneles.

Los túneles de cualquier longitud tendrán una sola inclinación de la rasante, salvo justificación en contrario.

4.1.4.4 Vehículos pesados

En general, la combinación de inclinación y longitud de las rampas en túneles deberá ser tal que no obligue al diseño de carriles adicionales.

En cualquier caso, salvo justificación en contrario, el trazado en alzado del túnel será tal que en toda su longitud la velocidad de los vehículos pesados no sea inferior a sesenta kilómetros por hora (60 km/h), calculado según lo indicado en la Norma de Trazado 3.1-IC.

4.1.5 Sección transversal

4.1.5.1 Número de tubos

En túneles de nueva construcción, cuando la previsión de la IMD por carril a 15 años vista no exceda los 10.000 vehículos por día y carril, se podrán diseñar túneles con un tubo bidireccional con un carril por sentido.

Cuando se exceda este valor, se diseñarán dos tubos de tráfico unidireccional.

En túneles de carácter urbano, con ubicación de una de sus bocas a menos de 800 metros del límite entre la red foral y la red municipal se realizará un análisis específico sobre las condiciones para su configuración en lo relativo a su carácter unidireccional o bidireccional, admitiéndose en estos casos la posibilidad de túneles o falsos túneles bidireccionales incluso con

cve: BOB-2025a082-(I-327)

intensidades superiores a la indicada en los párrafos anteriores, debiéndose prever en estos casos la implantación de una barrera de hormigón en la mediana, realizándose un análisis especifico de la infraestructuras de seguridad que permita garantizar la evacuación de los usuarios .

4.1.5.2 Carriles

4.1.5.2.1 Número de carriles

El número de carriles de la sección transversal se fijará en función de la intensidad y composición del tráfico en la hora de proyecto del año horizonte, situado veinte (20) años después de la entrada en servicio.

4.1.5.2.2 Anchura de carriles

Los carriles tendrán en general una anchura de 3,50m. Excepcionalmente, se admitirán reducciones a 3,25m en túneles urbanos. Este ancho puede incluir la parte proporcional de marcas viales en el centro, pero no debe incluir la marca vial del borde de arcén.

En el caso de que el túnel posea un carril para vehículos lentos de anchura inferior a 3,50 m y se permita la circulación de vehículos pesados, se adoptarán medidas adicionales y/o reforzadas, para incrementar la seguridad, basándose en un Análisis de Riesgo.

4.1.5.3 Cambios de sección

Salvo debida justificación, no se podrá realizar ningún tipo de conexión, nudo o glorieta en la calzada, ni modificación del número de carriles, en el interior del túnel, ni en los doscientos cincuenta metros (250m) anteriores o posteriores a una sección en túnel.

Asimismo, y salvo justificación, se tratará de mantener el mismo número de carriles tanto dentro como en el entorno del túnel. Cualquier cambio de sección se producirá a una distancia suficiente de la boca del túnel; esta distancia será como mínimo, la distancia recorrida en 10 segundos por el vehículo a la velocidad máxima autorizada. Si por circunstancias orográficas no se pudiese cumplir lo anterior, se justificará y se tomarán medidas adicionales basándose en un Análisis de Riesgo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Adicionalmente, en el caso de que se disponga a menos de cuatrocientos cincuenta metros (450 m) de la salida de un túnel algún tipo de conexión, nudo o glorieta en la calzada, o una modificación del número de carriles, se deberá estudiar la posibilidad de que estos elementos causen retenciones que lleguen a afectar al túnel.

4.1.5.4 Sección transversal

4.1.5.4.1 Carreteras con calzadas separadas

La sección transversal del túnel cumplirá en general lo indicado en el apartado 7.4.1.2. Túneles, soterramientos y cubrimientos de la Norma de Trazado 3.1-IC

4.1.5.4.2 Carreteras de calzada única

Las secciones de calzada única se diseñarán en aplicación de la Norma anteriormente indicada y adicionalmente se incluirá una mediana de 1,50 m en vías rápidas y una mediana de 1,00 en carreteras convencionales C-100 y C-80.

4.1.5.5 Gálibo

La altura libre no será inferior a cinco metros (5,00 m) en cualquier punto de la plataforma ni en las zonas accesibles a vehículos.

En caso de no cumplir el gálibo mínimo requerido, se deberá señalizar mediante señal de limitación de altura (S-205), colocada con antelación para poder tomar una ruta alternativa o en caso de imposibilidad poder parar en una zona segura.

La altura libre sobre las aceras no será inferior a dos metros en ningún punto (2,00 m) a lo largo de toda la anchura de la acera.

Una vez finalizados los trabajos de ejecución del revestimiento se deberá comprobar los gálibos existentes mediante levantamiento topográfico 3D y comprobar los espesores mínimos del revestimiento estructural. No se admitirán tolerancias superiores a 5 cm en gálibo, ni se admitirán espesores inferiores, aunque sean puntuales a 20 cm.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.5.6 Aceras

Se dispondrán aceras en los túneles para uso en emergencias u operaciones de conservación. Las aceras tendrán una anchura mínima de 0,75 m en aquellos túneles en los que el tránsito sea fundamentalmente de mantenimiento. En estos casos, las aceras terminarán con un bordillo remontable de altura entre 5 y 8 cm que permita a los vehículos, en caso necesario, invadir dicha acera.

Las aceras deben estar libres de obstáculos en toda su sección y gálibo.

Excepcionalmente en túneles urbanos se dispondrán aceras para tránsito peatonal, con una anchura mínima de 1,50.

En aquellos casos en que sea necesario aumentar el despeje para aumentar la visibilidad, se incrementará la anchura de las aceras en vez del arcén.

En los túneles ya existentes que no tengan ni carril de emergencia ni acera, se tomarán medidas adicionales o reforzadas para proporcionar seguridad, justificadas mediante un Análisis de Riesgo.

4.1.5.7 Pendiente transversal

4.1.5.7.1 Bombeo en recta

El bombeo de la plataforma en recta se proyectará de modo que se evacuen con facilidad las aguas de infiltración, así como los posibles vertidos que caigan sobre la calzada.

En carreteras de calzadas separadas, la calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2,00%) hacia un solo lado.

En carreteras de calzada única, la calzada y los arcenes se dispondrán con una misma inclinación transversal mínima del dos por ciento (2,00 %) hacia cada lado a partir del eje de la calzada.

Si en el túnel se dispone de un sistema de drenaje formado por sumidero continuo, el bombeo se realizará hacia un solo lado, para evitar duplicar el sistema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.5.7.2 Pendientes transversales en curva

Los peraltes en curva que se dispondrán en los túneles serán los mismos que en las secciones normales, siguiendo los criterios de la Norma de Trazado 3.1-IC.

4.2 Infraestructura básica

4.2.1 Firmes

El firme en el interior del túnel tiene unos condicionantes diferentes a las habituales a cielo abierto, entre los que destacan los siguientes:

- En general la calidad de la explanada es mejor que en las secciones normales, ya que suele estar apoyada sobre roca sana o sobre hormigón. Esto permite disponer espesores menores que en otras secciones.
- Es conveniente disponer de una primera capa de subbase drenante, para facilitar la recogida del agua que se infiltra bajo la calzada.
- No se deben emplear firmes drenantes en túneles, ya que, en caso de vertido accidental de productos inflamables, el firme drenante puede constituir una reserva de carburante que alimente el incendio durante un tiempo prolongado.

El firme a colocar en los túneles deberá mantener cierta homogeneidad con la solución adoptada a cielo abierto, exceptuando el empleo de capas de rodadura drenantes.

4.2.2 Revestimiento estructural

4.2.2.1 Objetivos

El proyecto de sostenimientos provisionales y de los revestimientos estructurales se realizará siguiendo las técnicas al uso y la normativa correspondiente.

Todos los túneles perforados de tipo I, contarán con un revestimiento formado por un anillo de hormigón encofrado que se colocará sobre el sostenimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los objetivos principales que se consiguen con la ejecución del revestimiento son los siguientes:

- **Estructural:** El sostenimiento proporciona estabilidad estructural al túnel a corto plazo, pero con el paso del tiempo puede deteriorarse, especialmente en presencia de agua.
- **Impermeabilización:** Es conveniente una impermeabilización con lámina de PVC, lo que obliga a la ejecución de un revestimiento de hormigón encofrado. La impermeabilización se ejecutará asimismo en las dependencias anejas subterráneas.
- **Ventilación:** Un paramento interior uniforme y de baja rugosidad mejora el rendimiento de los equipos de ventilación instalados.
- **Iluminación:** Un paramento interior uniforme y de color claro mejora el rendimiento de los elementos de iluminación instalados.
- **Mantenimiento:** El revestimiento no precisa prácticamente mantenimiento.

4.2.2.2 Requisitos del revestimiento estructural

El revestimiento deberá contar con la resistencia al fuego indicada en el punto 4.4. El recubrimiento mínimo de las armaduras en el caso de que existan deber ser de 3 cm. Se escogerán barras del menor diámetro compatibles y espaciadas uniformemente.

Una vez finalizados los trabajos de ejecución del revestimiento se deberá comprobar los gálibos existentes mediante levantamiento topográfico 3D y comprobar los espesores mínimos del revestimiento estructural. No se admitirán tolerancias superiores a 5 cm en gálibo, ni se admitirán espesores inferiores, aunque sean puntuales a 20 cm.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.3 Revestimiento estético

4.2.3.1 Objetivo

El objetivo principal del revestimiento estético en túneles con revestimiento de hormigón encofrado es incrementar el confort y la seguridad vial:

- Aumenta la reflectancia de la luz
- Ayuda a anticipar la geometría del túnel al crear una guía lateral dinámica.

Otra ventaja del revestimiento estético es que facilita las labores de limpieza de los hastiales.

Se instalará revestimiento estético en todos los tipos de túneles. La altura mínima de la zona revestida será de 2,00 m sobre la barrera de hormigón.

Los distintos tipos de revestimiento a instalar son:

- Paneles prefabricados colocados sobre estructura portante anclada a los hastiales.
- Pinturas epoxídicas.

En todos los túneles con anillo de hormigón o revestimiento estructural se podrá emplear cualquiera de los dos revestimientos. En el caso de túneles sin ninguno de los revestimientos estructurales anteriormente indicados, se colocarán paneles prefabricados.

En los túneles existentes con revestimiento estético se podrá mantener la tipología de la que dispongan.

4.2.3.2 Requisitos del Revestimiento Estético

4.2.3.2.1 Paneles prefabricados colocados sobre estructura portante

El conjunto del revestimiento estético debe cumplir los siguientes requisitos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Incombustibilidad. Los materiales deben ser de tipo A1 ó A2-s1,d0 o B-s3,d0.*
- Resistencia al fuego según lo indicado en el punto 4.4.
- No emisión de gases tóxicos en caso de incendio.
- Debe soportar una presión y depresión cíclica provocada por el tráfico de vehículos pesados de 2,5 kN/m^2, así como una carga puntual de 1 kN.
- Todos los elementos estarán normalizados, con objeto de facilitar la substitución de los mismos.
- El sistema debe facilitar la integración de elementos que permitan recoger de forma adecuada los equipos de postes SOS, BIEs, hidrantes, etc.
- No se debe permitir que los elementos sufran corrosión de ningún tipo.
- El sistema debe permitir el montaje y desmontaje rápido de paneles individuales sin deterioro de ninguno de los elementos del conjunto.

La estructura de soporte debe cumplir adicionalmente con los siguientes requisitos:

- Toda la estructura de soporte debe ser de acero inoxidable
- Se emplearán pernos de anclaje de acero inoxidable que permitan una correcta fijación al revestimiento, con mecanismo de posicionado de la estructura portante con tornillos autoblocantes.
- Los perfiles de soporte deberán ejecutarse en acero inoxidable de características adecuadas a la instalación según norma AISI.

* Según la clasificación establecida por el Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y resistencia frente al fuego.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Los perfiles deberán ser normalizados con objeto de asegurar la amplia posibilidad de suministro de los mismos.
- Toda la tornillería entre elementos de fijación será ejecutada en acero inoxidable, deberá ser autoblocante, con sistema normalizado según norma UNE-EN, y deberá ser diseñada de forma que permita el desmontaje de cada uno de los elementos de forma individual.

Los paneles del revestimiento deben cumplir adicionalmente los siguientes requisitos:

- La cara visible deberá contar con tratamiento antigrafiti y antipolvo, que favorezcan su limpieza, así como su resistencia a ácidos, soluciones alcalinas y orgánicas.
- Se justificará la resistencia a la rayadura o dureza de la cara coloreada.
- Se justificará la estabilidad mecánica de la cara visible al lavado de alta presión.
- Se justificará la resistencia de la cara visible a detergentes alcalinos, ácidos y disolventes, etc…
- El panel deberá disponer de un elevado coeficiente de reflexión.
- Capacidad de absorción reducida tras inmersión del panel durante 48 horas.
- Resistencia a los choques y a los impactos de elementos que puedan provenir de la circulación, medida según la norma EN 356
- No debe presentar bordes cortantes, y en caso de colisión, no debe producir trozos cortantes o puntiagudos
- Buena resistencia de la cara visible a los humos y gases de escape de los vehículos.

Los paneles siempre que contengan elementos metálicos se conectarán a tierra de acuerdo a lo establecido en la Instrucción Técnica II de Energía Eléctrica.

4.2.3.2.2 Revestimiento con pinturas epoxídicas

El revestimiento a base de resinas epoxídicas a emplear debe disponer de marcado CE.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Las características principales del recubrimiento cerámico serán las siguientes:

- No inflamable y resistencia al fuego clasificada como B-s2,d0 según Norma UNE 13 501-1:2007.
- Se justificará una alta resistencia a la abrasión y a la dureza.
- Se justificará una alta resistencia a la rayadura.
- Se justificará una alta resistencia a detergentes, ácidos, disolventes, etc.
- Se justificará la impermeabilidad al agua y al vapor de agua.
- Reflectancia de la Luz: el recubrimiento debe de ser de un porcentaje alto de reflectancia de luz (superior al 75%).
- Brillo: según la ISO 2813 el brillo del recubrimiento ha de ser intermedio.
- Anti-Carbonización: el acabado debe de prevenir la absorción tanto del agua como del dióxido de carbono y por tanto la carbonización.
- Espesor en seco: Debe ser igual o superior al mínimo recomendado por el fabricante, con un espesor mínimo de 150 µm.

Previamente a la disposición del recubrimiento, el hormigón estará totalmente curado (mínimo 28 días), la superficie a cubrir deberá estar totalmente libre de objetos ajenos al propio paramento, y el área deberá necesariamente estar limpia mediante el procedimiento de presión de agua y/o agua caliente.

Se aplicarán las recomendaciones específicas del fabricante en relación a las condiciones ambientales, vida útil de la mezcla, tiempos de secado y repintado, forma y condiciones de aplicación, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.4 Barreras

4.2.4.1 Barreras en hastiales

Se preverá la instalación de barreras de hormigón en toda la longitud del túnel. Se prestará especial atención a las bocas de entrada al túnel, donde se evitarán zonas de impacto frontal mediante el acampanamiento de las barreras, prolongación de la barrera bionda hasta el interior del túnel u otros medios.

Las barreras serán de clase de contención muy alta, según los "Criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos", Orden Circular 35/2014 del ministerio de Fomento según sus indicaciones de aplicación y excepciones a la misma.La barrera se situará sobre la acera dejando libre los 75 cm de paso requeridos.

4.2.4.2 Barreras en mediana

Se preverá la instalación de barreras de hormigón en toda la longitud del túnel en los casos de túneles con calzadas separadas.

La barrera de mediana será de clase de contención muy alta, según la Orden Circular 35/2014 del Ministerio de Fomento.

4.2.5 Señalización-Balizamiento

Se cumplirá con lo establecido en la Norma de Señalización Vertical 8.1-IC.

En relación a la señalización vertical fija requerida, puede ser sustituida por la señalización variable mediante Paneles de Mensajería Variable, Carteles de Limitación de Velocidad u otros.

Además, en las entradas por falta de espacio en ocasiones singulares, se podrán unificar los carteles en uno solo.

Se colocarán captafaros cada 10 metros por el exterior de las líneas de borde, en todos los casos. Además, en todos los túneles bidireccionales de una sola calzada se colocará en la mediana de separación captafaros de color blanco y separados 5 metros entre sí.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se colocarán elementos de balizamiento anclados a los hastiales, a una altura aproximada de 70 centímetros y separados 10 metros.

Para los casos en los que se quiera incrementar la seguridad en el túnel, se estudiará la opción de emplear captafaros y/o balizas luminosas de LED.

Los túneles en los que se restrinja el paso de mercancías peligrosas deberán estar señalizados según lo indicado en el Acuerdo Europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera (ADR).

4.2.6 Drenaje

Los túneles y sus dependencias anexas deberán disponer de un sistema de evacuación de líquidos.

En general se dispondrá de un sistema separativo de drenaje y evacuación de vertidos sobre la calzada. Este sistema recogerá por una parte el agua de infiltración del macizo, y por otra los vertidos sobre la calzada (limpieza del túnel, extinción de incendios, etc.).

En las bocas de los túneles, cuya rasante favorezca la entrada de agua hacia el interior, se proyectarán dispositivos de captación de agua. Asimismo, en el caso de construcción de nuevos túneles se prestará atención a la restitución al régimen natural.

4.2.6.1 Drenaje de la calzada

4.2.6.1.1 Objeto

Los dispositivos de recogida del agua de escorrentía de la calzada tienen por objeto recoger los productos de escorrentía interiores, cuyo origen puede ser:

- Normal: Aguas de escorrentía arrastradas por los vehículos en tiempo de lluvia o nieve, aguas de limpieza de los hastiales, etc.
- Accidental: productos diversos vertidos sobre la calzada en caso de accidente.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.6.1.2 Criterios de elección

A.) Principios generales

En todos los túneles de más de 200 m se deberá implementar un sistema de recogida del agua de la calzada.

En los túneles Tipo I el dispositivo de recogida debe estar acompañado de colector conectado mediante arqueta con sifón cortafuegos. Dichas arquetas estarán separadas un máximo de 100 metros, y preferiblemente cada 50 m. Se deberá justificar mediante su correspondiente cálculo las dimensiones necesarias del colector a colocar.

B.) Firmes

No se autoriza el empleo de capas de rodadura drenantes.

C.) Caces

El caz debe de poder absorber los vertidos de acuerdo a lo indicado en los criterios de dimensionamiento, con el fin de limitar la superficie mojada por el vertido.

En el caso de que se permita el paso de mercancías peligrosas, el caz debe ser continuo, pudiendo ser de abertura vertical, de abertura horizontal, o de abertura horizontal con rejilla. En general se recomienda el primer tipo.

4.2.6.1.3 Criterios de dimensionamiento

A.) Caces continuos

Los caces deben respetar los siguientes criterios:

- Altura máxima de 60 cm
- Ocupación máxima del arcén: 50 cm
- La velocidad mínima para el 70% del caudal máximo debe ser 0,5 m/seg.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Capacidad de absorción tal que permita evacuar un vertido brusco de 5 m^3 de un producto líquido en menos de 10 segundos, en una longitud de 50 m.
- En los caces de rendija es necesario disponer registros a menos de treinta metros (30 m) para proceder a su limpieza con rasquetas.

B.) Arquetas sifónicas cortafuegos

Se deberá garantizar que el cierre de los sifones sea totalmente estanco y la presencia permanente de agua durante la explotación. La zona de arqueta donde se realiza el efecto sifón, debe ser accesible desde la calzada para garantizar un correcto mantenimiento y asegurar el funcionamiento.

Asimismo, la red de drenaje que recoge los vertidos de las arquetas cortafuegos debe ser totalmente estanca.

No se colocarán arquetas sifónicas a menos de 10 metros de equipos contra-incendios, nichos de seguridad, o del acceso a instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y acceso de emergencia.

Las tapas de las arquetas deberán ser al menos de clase D400 de acuerdo con la norma UNE-EN 124. Dispositivos de cubrimiento y de cierre para zonas de circulación utilizadas por peatones y vehículos.

C.) Depósito de recuperación de efluente

En los túneles tipo I en el caso de que se permita el tráfico de mercancías peligrosas, se dispondrá de arqueta desarenadora-desengrasadora o un depósito de recuperación de efluentes estanco, que permita tratar el vertido antes de su disipación por los cauces naturales.

4.2.6.2 Drenaje de aguas subterráneas

4.2.6.2.1 Objeto

Los dispositivos que se colocan tienen como objeto recoger las aguas subterráneas provenientes de:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- La circulación en el trasdós del revestimiento.
- La explanada de la calzada.

Esta recogida se efectúa a través de drenes en la base de los hastiales, conectados con la impermeabilización y por drenes bajo la calzada.

Es necesario diseñar un sistema de impermeabilización y drenaje separativo de agua de infiltración, acorde a la problemática específica de cada túnel, así como su correcta ejecución y funcionamiento.

4.2.6.2.2 Recogida de agua de infiltración

Se debe instalar en el sistema de recogida de las aguas de infiltración del macizo arquetas de registro separadas un máximo de 100 m. Siempre que sea posible, estas arquetas se instalarán en las aceras.

4.2.6.2.3 Drenaje de la explanada

Las infiltraciones provenientes de la subrasante se recogerán por medio de drenes longitudinales situados en los extremos de la calzada. El diámetro del tubo será como mínimo de 200 mm, para facilitar el mantenimiento.

Se dispondrán arquetas de registro, que podrán coincidir con las del drenaje de la plataforma, siempre que no se permita la mezcla de los dos caudales.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.7 Tubos para comunicaciones

Salvo justificación, se preverá la instalación de tubos para comunicaciones, preferentemente bajo la acera, en ambos lados del túnel, con objeto de permitir la instalación de los sistemas de seguridad y control requerido.

El número definitivo de tubos a instalar, destinados a las comunicaciones, será el resultante del cálculo realizado para cada proyecto, previendo además un espacio de reserva para futuras ampliaciones. En el caso de no disponer de información resultante de cálculo, se preverá como mínimo ocho (8) tubos de diámetro no inferior a 50 mm o su equivalente en sección.

Las arquetas tendrán una interdistancia no superior a 50 m, justificando la solución adoptada cuando la interdistancia sea mayor. A la entrada de las arquetas, las canalizaciones entubadas deberán quedar debidamente selladas en sus extremos (tapas en los tubos vacíos y espumas intumescentes adecuadas en los ocupados por cables) con el fin de evitar la entrada de roedores, líquidos y/u otros materiales.

Se preverán pasos de calzada entre aceras de los túneles y arquetas de derivación enfrentadas a las galerías de evacuación (cuando las haya) y en cada una de las bocas del túnel.

Las subidas de las canalizaciones hacia los hastiales del túnel se realizarán desde las arquetas y mediante roza o canalización sobre la barrera de hormigón, con el objetivo de lograr una mayor protección.

Adicionalmente, en el caso de túneles con presencia considerable de agua de infiltración, se estudiará la posibilidad de disponer de un desagüe (por gravedad) en el interior de las arquetas situadas en puntos bajos.

Las tapas de las arquetas deberán cumplir con la norma UNE-EN 124. Dispositivos de cubrimiento y de cierre para zonas de circulación utilizadas por peatones y vehículos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.8 Tubos para suministro y distribución de energía

El número definitivo de tubos a instalar, destinados a los suministros de eléctricos, será el resultante del cálculo realizado para cada proyecto, previendo además un espacio de reserva para futuras ampliaciones. En el caso de no disponer de información resultante de cálculo, se preverá la instalación de tubos para suministro de energía eléctrica en alta o media tensión (mínimo 2 tubos de diámetro 200 mm) y baja tensión (mínimo 8 tubos de diámetro 110 mm).

Las arquetas tendrán una interdistancia no superior a 50 m, justificando la solución adoptada cuando la interdistancia sea mayor. A la entrada de las arquetas, las canalizaciones entubadas deberán quedar debidamente selladas en sus extremos (tapas en los tubos vacíos y espumas intumescentes adecuadas en los ocupados por cables) con el fin de evitar la entrada de roedores, líquidos y/u otros materiales.

Se preverán pasos de calzada entre aceras de túneles y arquetas de derivación enfrentadas a las galerías de evacuación (cuando las haya) y en cada una de las bocas del túnel.

Las subidas de las canalizaciones hacia los hastiales del túnel se realizarán desde las arquetas y mediante roza o canalización sobre la barrera de hormigón, con el objetivo de lograr una mayor protección.

Además, se deberá realizar la red de tierras de acuerdo a lo indicado en la Instrucción Técnica II de Energía Eléctrica.

Adicionalmente, en el caso de túneles con presencia considerable de agua de infiltración, se estudiará la posibilidad de disponer de un desagüe (por gravedad) en el interior de las arquetas situadas en puntos bajos.

Las tapas de las arquetas deberán cumplir con la norma UNE-EN 124. Dispositivos de cubrimiento y de cierre para zonas de circulación utilizadas por peatones y vehículos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.9 Tubos de protección contra incendios

Salvo justificación, se preverá la instalación de tubos para cumplimiento de la Instrucción Técnica V de Protección Contra Incendios.

Esta canalización irá, en general, enterrada bajo acera y en caso excepcionales anclada a soportes sobre el revestimiento estético.

La tubería de PCI deberá estar situada, en el caso de ser enterrada bajo acera, siempre más profunda que cualquiera de las canalizaciones destinadas a comunicaciones o suministro y distribución de energía eléctrica.

Las tapas de arqueta donde se disponga de piecerío de la red de PCI (ventosa, desagüe, valvulería, manómetros, presostatos, etc.) se recomienda pintarlas de color rojo con el objetivo de facilitar la localización del mismo.

Las tapas de las arquetas deberán cumplir con la norma UNE-EN 124. Dispositivos de cubrimiento y de cierre para zonas de circulación utilizadas por peatones y vehículos.

4.2.10 Edificios Técnicos

En el dimensionamiento de los edificios técnicos, se tiene que tener en cuenta los equipamientos a disponer en su interior, así como, la dimensión de los accesos del mismo, donde se debe considerar la fácil introducción y retirada de los equipos al local.

4.3 Infraestructura de seguridad

4.3.1 Instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y accesos de emergencia

Las instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y acceso de emergencia constituyen un elemento de seguridad esencial. El proyecto definirá las rutas de evacuación necesarias, sus características físicas, estructurales y funcionales.

En los túneles de más de 350 m se dispondrán estas instalaciones con distancia comprendida entre 175 - 350 metros.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los requisitos comunes a todas las rutas de evacuación serán los siguientes:

- Todo el recorrido debe permanecer estanco y sin filtraciones en el caso de ser subterráneo
- Pavimento antideslizante.
- Altura libre 2,00 m.
- Anchura libre 2,20 m.
- Estarán dotados de pasamanos, aquellas que lo requieran.
- Inexistencia de obstáculos que reduzcan su anchura por debajo de la mínima exigida.
- Pendiente máxima recomendada 8%.
- El acceso a la ruta de evacuación cumplirá con lo indicado en el Código Técnico de Edificación, sin permitir escalones y respetando los criterios de pendientes y anchura de las rampas.
- Se evitará en lo posible el uso de escaleras, prestándose especial atención a la seguridad de las personas con movilidad reducida.
- Se dispondrá de una zona segura horizontal en aquellas galerías que por motivos de trazado impida la evacuación de personas con movilidad reducida.
- Además de la estanqueidad dispondrá de un sistema de drenaje que mantenga en seco la superficie de tránsito de personas.
- Permanecerán libres de humos y gases.
- Las puertas de escape estarán señalizadas al menos con lo requerido en la Norma de Señalización Vertical 8.1-IC. y en la Instrucción Técnica V de Protección Contra Incendios.
- Los entronques con el túnel estarán señalizados.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Dispondrá de instalaciones de comunicación con el centro de control.
- En el interior se instalarán extintores manuales con la interdistancia máxima indicada en la Instrucción Técnica V de Protección Contra Incendios.
- Se impedirá por medios adecuados la propagación del calor.

El tipo de instalación se seleccionará entre las siguientes, en orden de preferencia:

- Comunicación directa con el exterior, cuando se pueda realizar en condiciones razonables.
- Comunicación entre tubos cuando existan dos tubos, y esa comunicación se pueda dar a través de un vestíbulo presurizado.
- Túnel de servicio paralelo, si está justificado por otros motivos.
- Refugios con galería de evacuación protegida contra el fuego, en caso de que no se pueda disponer ninguna de las instalaciones anteriores en casos excepcionales.

4.3.1.1 Evacuación directa con el exterior

En el caso de túneles en que la calzada esté a menos de 15 metros de la superficie, y en particular en falsos túneles, las instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y acceso de emergencia consistirán en conexiones directas con el exterior.
Estas conexiones, accesibles solamente a peatones, deben contar con una anchura mínima de 2,20 metros y una altura de 2,20 metros. Estarán separadas del túnel mediante un vestíbulo presurizado con una superficie en planta de por lo menos 5 m^2. Las puertas deben dejar un espacio libre de al menos 1,80 m de anchura y 2 metros de altura, y se deben abrir en la dirección desde el túnel hacia el exterior. Se preverá un retranqueo de la puerta con respecto al hastial del túnel (1 m puede ser suficiente), que permita una zona de refugio para el personal que pudiera acceder desde el exterior. La conexión y el vestíbulo deben permitir el paso de una camilla de 0,70 m de anchura y 2,30 m de largo. Las dos puertas del vestíbulo se podrán abrir simultáneamente para permitir el paso de una camilla.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En el extremo final de la salida de emergencia habrá una puerta con apertura manual desde el interior. Ésta dispondrá de cerradura de seguridad por el exterior con posibilidad de apertura remota desde el Centro de Control.

No se debe permitir el acceso de personas no autorizadas a estas conexiones desde el exterior.

En el caso de túneles en que la calzada esté a más de 15 metros de la superficie no es obligatoria la conexión directa con el exterior.

4.3.1.2 Evacuación a través de túnel

En ausencia de comunicación directa con el exterior, las instalaciones para la evacuación y protección de usuarios y acceso de emergencia se realizarán según las disposiciones siguientes, según se trate de túneles con dos tubos o con un solo tubo:

- Túneles con dos tubos: Conexión entre ambos
- Túneles con un solo tubo: Galerías de seguridad o refugios.

a) Túneles con dos tubos

La conexión entre tubos constituye una buena solución para la evacuación de los usuarios (y es la que se suele seleccionar en la mayor parte de túneles interurbanos), con la condición de que la conexión desde el tubo en el que el incidente o accidente ocurre a un carril del otro tubo (que puede estar todavía en circulación) no se realice directamente a través de una única puerta.

Las comunicaciones destinadas a peatones tendrán por lo menos una anchura de 2,2 m para permitir igualmente el paso de materiales contra-incendios (en particular carretes de mangueras), y una altura de 2,2 m. Las puertas deben dejar una anchura libre de 1,80 m y una altura libre de 2 m. Las puertas se abrirán en la dirección desde el túnel hacia la conexión. Se preverá un retranqueo de la puerta con respecto al hastial del túnel, donde sería conveniente una distancia de seguridad superior a 2 m, la cual permita una zona segura de los viajeros en caso de evacuación a la salida al túnel. Si existe una diferencia de nivel entre los tubos que no permite pasar un carrete de manguera (presencia de una

cve: BOB-2025a082-(I-327)

escalera), la comunicación entre los tubos y las puertas respetarán las dimensiones mínimas descritas en el punto 4.3.1 para las comunicaciones directas al exterior. En condiciones normales las puertas permanecerán cerradas para evitar el paso de aire y humos de un tubo al otro.

Cuando sea posible se dispondrá entre ambos tubos un vestíbulo presurizado con una superficie mínima en planta de 15 m^2. Si esto no es posible (por ejemplo, en tubos separados por un simple muro de hormigón), conviene adoptar una de las soluciones descritas a continuación para los túneles de un tubo.

Los túneles que dispongan de galería de conexión deberán contar con un sistema de control de tráfico que permita interrumpir la circulación en el túnel no siniestrado.

En el punto 4.3.2.1 se indican en qué casos algunas de las comunicaciones entre tubos deben ser accesibles a los vehículos de emergencia, y cuáles deben ser sus características.

b) Túneles con un tubo

- **Galería de seguridad paralela al túnel**

Solamente se construirá una galería de seguridad paralela al túnel cuando se justifique por razones técnicas (por ejemplo, como túnel piloto). Las comunicaciones entre el túnel y la galería de seguridad serán en principio accesibles únicamente por peatones. Cuando sea posible, estarán provistas de un vestíbulo presurizado. La galería de seguridad, las conexiones y los vestíbulos presurizados si los hubiera, presentarán como mínimo las características indicadas en el punto a) para las comunicaciones entre dos tubos.

- **Refugios**

Los refugios son espacios más protegidos que el túnel para atención de heridos, personas de movilidad reducida y personas de edad avanzada, relevo de bomberos, etc. A efectos de esta Instrucción Técnica sólo se consideran como tales aquellos que tengan acceso exterior por camino distintos del túnel siniestrado.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuando ninguna de las soluciones descritas anteriormente, sea técnica y económicamente viable, se construirán refugios para ofrecer a los usuarios un lugar seguro donde esperar hasta ser evacuados. Cada refugio contará con una superficie mínima de 50 m^2, una anchura mínima de 4 m, una altura mínima de 2,20 m, y una altura media de 2,50 m. La entrada contará con un vestíbulo presurizado que presentará las características indicadas en el apartado a) para las comunicaciones directas al exterior.

Para considerarlos zona segura deberán disponer de una ventilación independiente desde el exterior que asegure una atmósfera adecuada. La iluminación media en el refugio debe ser de 20 lx.

Los refugios estarán conectados con el exterior del túnel por un camino protegido del incendio y destinado para emergencias. Este camino deberá también permitir evacuar a las personas situadas en los refugios. Sin embargo, las personas refugiadas no deben poder utilizar el camino sin ser guiadas por los servicios de emergencia o de operación. No es necesario que el camino tenga las características de una galería de seguridad. El camino debe dejar libre como mínimo una altura de 1,50 en una anchura de 1,40 m, y una altura de 2 m en una anchura de 0,90m (situada en el interior de la anchura precedente de 1,40 m). Su suelo debe soportar como mínimo una carga repartida equivalente a 2,5 kPa en toda su superficie. Esta condición no implica que no deban cumplirse otras exigencias ligadas a necesidades de explotación. Se podrá utilizar un conducto de ventilación para este fin a condición de que se pueda insuflar suavemente aire fresco mientras ocurra el incendio (este método de ventilación debe ser compatible con los escenarios de emergencia adoptados). No se podrán utilizar conductos de aire fresco que puedan invertirse para la extracción de humos. Las conexiones entre estos caminos y los refugios pueden tener dimensiones menores que las descritas previamente, pero deben permitir el paso de una camilla de 0,70 m de anchura y 2,30 m de largo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- **Uso de equipos de emergencia motorizados adaptados**

En túneles con longitud superior a 3.000 m con tráfico importante, la galería de seguridad o el camino de acceso a los refugios deben poder ser usado por equipos de emergencia motorizados adaptados a su geometría.

4.3.2 Instalaciones destinadas a los vehículos de emergencia

Las instalaciones destinadas a los vehículos de emergencia deberán poder ser empleadas por un vehículo de emergencia de 8 m de largo, 2,5 m de ancho y con un diámetro de giro entre paredes de 19 m.

4.3.2.1 Instalaciones en el túnel

En los túneles con longitud superior a 1.300 m, se debe permitir con distancia máxima de 1.050 m aproximadamente, el paso de vehículos de emergencia de un tubo al otro, si hay dos tubos y esta disposición es posible, o bien permitir dar la vuelta a los vehículos en otro caso.

En túneles donde se dispone comunicación entre los dos tubos de acuerdo con lo dispuesto en el punto 4.3.1, se realizará haciendo las conexiones necesarias accesibles a vehículos de emergencia.

Las galerías accesibles a vehículos deberán tener una anchura mínima entre paredes de 5 m. Deberán contar con una anchura circulable de 3,50 m y una altura libre en esa anchura de 3,50 m. Su inclinación no sobrepasará el 8%. Estarán provistas de puertas que dejen un espacio libre de 3,50 m de anchura por 3,50 m de altura. La geometría de sus extremos y de las puertas debe permitir que un vehículo de emergencia como el descrito anteriormente pase sin dar marcha atrás. Desde este punto de vista, el retranqueo, tal como se ha indicado en el apartado 4.3.1.2, facilitará la circulación y permitirá disponer de una zona segura en caso de evacuación. Se dispondrán puertas más pequeñas, con dimensiones libres de 0,90 m de anchura y 2 m de altura, para el paso de peatones. En condiciones normales las puertas permanecerán cerradas para evitar el paso de aire y humos de un tubo al otro.

Si no se prevén galerías de comunicación, se dispondrán conexiones para el uso exclusivo de vehículos de emergencia (en el caso general de falsos túneles con conexiones de evacuación

cve: BOB-2025a082-(I-327)

directas con la superficie, se trata de simples puertas dispuestas en el hastial central). Estas solamente podrán ser abiertas por los servicios de emergencia, de operación o mediante telecomando desde el Centro de Control.

Lo dispuesto anteriormente no se aplica si los dos tubos están superpuestos o a niveles muy diferentes.

En los túneles de un solo tubo, o de dos tubos sin posibilidad de comunicación para vehículos, la inversión de marcha se garantizará con marcha atrás bajo una altura mínima de 3,50 m. Esto se puede obtener mediante galerías de retorno cuyas dimensiones dependen de la anchura de la anchura circulable en el túnel y de un eventual ensanche en ese punto.

4.3.2.2 Instalaciones en las bocas

Se dispondrá una explanada de 12 m de largo y 3 m de ancho para el estacionamiento de un vehículo de emergencia cerca de la boca de entrada al túnel, en el lado derecho de la calzada a la entrada al túnel y fuera de la zona circulable.

Adicionalmente, en túneles Tipo I con dos tubos, se dispondrán cerca de ambas bocas pasos de mediana que permitan a los vehículos de emergencia pasar de una calzada a otra. Estas conexiones cumplirán lo descrito en la Norma de Trazado 3.1-IC referente a los pasos de mediana y adicionalmente dispondrán de un paso de apertura rápida de 4 m de longitud. Se deberá considerar la zona de ubicación de estos pasos teniendo en cuenta acuerdos verticales, pendientes, etc. que puedan dificultar la apertura.

En túneles de un solo tubo se deben prever, cerca de ambas bocas, zonas en las que los vehículos de emergencia puedan invertir la marcha.

Si lo anteriormente indicado no puede disponerse en las inmediaciones del túnel, se dispondrán tan cerca como sea posible.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.3 Apartaderos

En los túneles bidireccionales de longitud superior a 1.500metros, con una IMD por carril superior a 2.000 vehículos deberá habilitarse apartaderos con distancias entre si no superiores a 1.000 metros, en el caso de que los arcenes no permitan el estacionamiento de un vehículo.

En los túneles unidireccionales con longitud superior a 1.000 metros y con arcén menor de 2,50 metros, se estudiará la conveniencia de disponer apartaderos cada 900 metros, en función del número de carriles por sentido.

Las dimensiones de los apartaderos serán de 3 m de anchura y 12 m de longitud para apartaderos destinados a vehículos ligeros, y 3m de anchura y 24 m de longitud para apartaderos destinados a vehículos pesados.

Estos apartaderos estarán equipados con las instalaciones descritas en las Instrucciones Técnicas correspondientes y en caso necesario dispondrán de un sistema de contención (cambio de inclinación o atenuadores de impacto) de acuerdo a la Orden Circular 35/2014 sobre criterios de aplicación de sistemas de contención de vehículos.

4.4 Resistencia al fuego

4.4.1 Introducción

La sensibilidad de los túneles frente al fuego depende de varios factores, entre los que cabe destacar:

- Tipo de terreno en el que están excavados.
- Tipo de revestimiento.
- Presencia de láminas de impermeabilización.
- Presencia de cubiertas metálicas ligeras, falsos techos prefabricados de hormigón, etc...

Existen dos criterios básicos que permiten caracterizar el comportamiento ante el fuego de los materiales y elementos de construcción:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- La reacción al fuego.
- La resistencia al fuego.

4.4.2 Reacción al fuego

4.4.2.1 Principios de la reacción al fuego

Las exigencias de reacción al fuego de los materiales se definen fijando la clase que deben alcanzar conforme al Real Decreto 842/2013.

Estas clases se denominan: A1, A2, B, C, D, E y F. La clase A1 indica que el material tiene liberación de calor nula y no es necesario ensayo para la producción de humo ni gotas inflamadas. Un material de clase A2 presenta una liberación de calor muy baja es combustible pero no inflamable, lo que implica que su combustión no se mantiene cuando cesa la aportación de calor desde un foco exterior. Los materiales de clase B, C, D, E y F pueden considerarse, de un grado de inflamabilidad moderada, media o alta, respectivamente. El hormigón, el vidrio, la piedra, el ladrillo, se clasifican como A1.

Para comprobar que cualquier elemento constitutivo a utilizar en el túnel y sus dependencias anejas satisface los requisitos en su comportamiento frente al fuego, deberá estar avalado por los correspondientes ensayos recogidos en las Normas UNE-EN-ISO 1182:2002, UNE-EN-ISO 1716:2002, UNE-EN-13823:2002 y UNE-EN-ISO 11925-2:2002.

4.4.2.2 Requisitos de reacción al fuego

Los materiales de construcción de la estructura principal y de las estructuras secundarias, salvo los elementos de la calzada deben pertenecer a la clase A1 ó A2-s1, d0 desde el punto de vista de comportamiento ante el fuego. Esta clase se impone también para los materiales que componen los sistemas de drenaje, incluidos los caces, arquetas y los eventuales colectores de recogida de agua de la calzada. Para colectores de drenaje de la calzada situados entre arquetas sinfónicas cortafuegos que estén embebidos en hormigón se admitirá tubería de clase B-s1,d0.

Para elementos de una cubierta ligera se admite una clase C-s3, d0: la perdida local de alguno de los elementos no representa un inconveniente para la seguridad siempre que los riesgos de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

propagación del fuego sean limitados; puede incluso presentar ventajas para la evacuación del humo.

Los materiales empleados para el revestimiento interior del túnel deben ser de clase A1 ó A2-s1, d0 cuando se encuentran en la bóveda. Se admitirán materiales de clase B-s3, d0 en los revestimientos laterales si se justifica adecuadamente la ausencia de riesgo de propagación del incendio en las condiciones de utilización del túnel.

Se permitirá la clase B-s3, d0 para diversas instalaciones, en particular en el tendido de cables. También serán de esta clase los colectores correspondientes al drenaje de las aguas de infiltración en los túneles que dispongan de drenaje separativo.

4.4.3 Resistencia al fuego de elementos que delimitan instalaciones de evacuación

La resistencia al fuego de las paredes y puertas que delimitan instalaciones de evacuación será la indicada en el Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico SI Seguridad de Incendio para elementos tipo Aparcamientos bajo rasante, EI 120.

4.4.4 Resistencia al fuego de elementos estructurales

4.4.4.1 Curvas Temperaturas – Tiempo para estructuras

Se emplearán dos curvas temperatura-tiempo, según el caso, para la justificación de la resistencia al fuego de las estructuras y determinados equipos.

Los incendios con una subida de temperatura relativamente lenta pero que pueden ser de larga duración serán caracterizados por la curva temperatura-tiempo normalizada definida en la citada norma (idéntica a la de la norma ISO 834), y que corresponde con la siguiente expresión:

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

T	Temperatura alcanzada en un tiempo t (ºC)
t	Tiempo medido en minutos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Las exigencias de resistencia con respecto a esta curva se expresan por las letras CN seguidas de la duración de resistencia en minutos (por ejemplo, CN120 significa justificación durante 120 minutos respecto a la curva normalizada).

Sin embargo, el incendio de un vehículo pesado puede presentar un incremento de temperatura mucho más rápido que el de esta curva, particularmente si están implicadas mercancías muy combustibles o líquidos fácilmente licuables, aunque no estén clasificados como mercancías peligrosas para el transporte. Tal tipo de fuegos se caracterizan por una curva llamada "de fuego de hidrocarburos mayorado" que alcanza 1.200º C en menos de 10 minutos y 1.300º C alrededor de 20 minutos más tarde. Se puede por ejemplo utilizar la ecuación siguiente:

$$T_g = 1.280\ (1 - 0{,}325e^{-0{,}167t} - 0{,}675e^{-2{,}5t}) + 20$$

T_g temperatura de los gases (ºC)

t tiempo (minutos)

Las exigencias de resistencia con respecto a esta curva se expresan con las letras HCM seguidas de la duración de resistencia en minutos.

Cuando se especifican dos periodos correspondientes a dos curvas temperatura – tiempo distintas, se realizará una justificación independiente para cada curva con la duración especificada (por ejemplo, CN 240 HCM 120 significa dos justificaciones separadas, una con la curva normalizada durante 240 minutos, y la otra con la curva de fuego de hidrocarburos mayorada durante 120 minutos).

A continuación, se presentan las dos curvas, partiendo de To = 20ºC para la curva normalizada:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

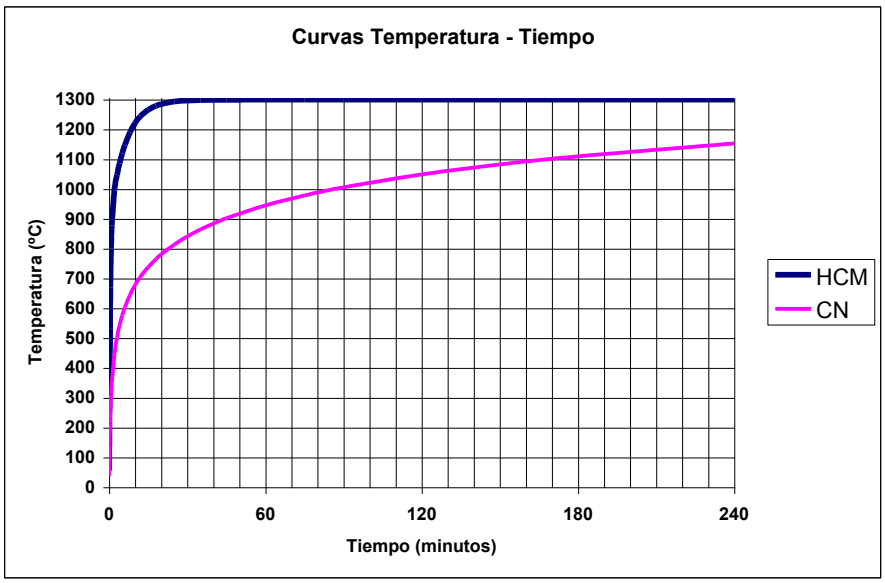


Figura 4.1 Curvas Temperatura - Tiempo CN y HCM

4.4.4.2 Objetivos y niveles de resistencia

La resistencia al fuego exigida en las estructuras e instalaciones pretende cumplir los principales objetivos siguientes:

- Proteger a los usuarios que han accedido a las instalaciones de evacuación, a excepción de los refugios, durante el tiempo necesario para alcanzar la salida, que se fija en 60 minutos en función de la posible presencia de personas de movilidad reducida que necesiten una ayuda exterior para salir

- Asegurar la protección de los usuarios refugiados en los refugios, si existen, y permitir su evacuación por los servicios de socorro durante el tiempo de evacuación de los refugios, fijado en 120 minutos

- No poner en peligro a los servicios de emergencia, particularmente a los bomberos durante el tiempo de socorro, fijado en 120 minutos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Mantener la alimentación eléctrica y las comunicaciones a ambos lados del foco durante la duración máxima de incendio
- Evitar cualquier inundación, así como cualquier invasión del túnel por terreno circundante, que produzca consecuencias catastróficas, durante la duración máxima del incendio
- Proteger las eventuales obras y construcciones vecinas al túnel o en la superficie del mismo durante la mencionada duración máxima de incendio

La duración máxima de incendio se fija en 240 minutos según la curva normalizada y en 120 minutos según la curva de fuego de hidrocarburo incrementada.

En lo que concierne a las estructuras se definen cuatro niveles de resistencia al fuego correspondientes a otros tantos niveles crecientes de exigencias. Los detalles de su aplicación a cada tipo de estructura se describen en el punto 4.4.4.3.

4.4.4.2.1 Nivel N0

Este nivel corresponde a la verificación de la ausencia de riesgo de colapso en cadena en caso de una rotura local: la pérdida de un elemento no debe resultar en la transferencia de carga a otras partes de la estructura, susceptible de provocar su rotura. Sin embargo, no se requiere tomar medidas contra el riesgo de que el fallo de un elemento resulte en un incremento de temperatura en otras partes de la estructura, y que ese calentamiento pueda provocar su rotura.

Este nivel constituye la exigencia mínima que debe satisfacer toda estructura. Debe de verificarse durante el incendio y después durante el enfriamiento. Las estructuras que cumplen con niveles superiores de exigencia deben cumplir también esta exigencia.

Este nivel se aplica cuando una rotura local cerca del foco del incendio no tiene consecuencias perjudiciales sobre la seguridad de los usuarios o de los servicios de emergencia que puedan estar presentes en otras zonas donde la temperatura es menor.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.4.2.2 Nivel N1

Este nivel corresponde con la exigencia CN 120. Para la mayoría de los incendios, salvo los más violentos, garantiza la resistencia de la estructura considerada durante el tiempo de socorro. Se aplica a los elementos de estructura con una función importante en la acción de los servicios de emergencia, cuando esta función no está en ningún caso dimensionada para el máximo fuego posible.

4.4.4.2.3 Nivel N2

Este nivel corresponde con la exigencia HCM 120. Se aplica a instalaciones que deben ser preservadas sin importar la violencia del incendio durante el tiempo requerido para la evacuación de los refugios y la acción de los equipos de emergencia.

4.4.4.2.4 Nivel N3

Este nivel corresponde con los requerimientos CN 240 HCM 120. Se aplica a instalaciones que deben resistir el incendio más violento durante la máxima duración del mismo.

4.4.4.2.5 Justificación de la resistencia al fuego

La determinación de la resistencia al fuego de los elementos estructurales puede realizarse conforme a lo establecido en los siguientes documentos del Comité Europeo de Normalización (CEN):

- Para estructuras de hormigón: ENV 1992-1-2. Eurocódigo 2: Diseño de estructuras de hormigón. Parte 1-2: Resistencia al fuego.
- Para estructuras de acero: ENV 1993-1-2:. Eurocódigo 3: Diseño de estructuras de acero. Parte 1-2: Resistencia al fuego.

La justificación de la resistencia al fuego de las estructuras y equipos se puede realizar mediante ensayos, cálculos o por una combinación de ambos.

En los casos en los que sea de aplicación la curva HCM:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Para la justificación mediante cálculos, conviene emplear la curva en las condiciones descritas para la curva de fuego de hidrocarburos en ENV 1991-2-2. EUROCÓDIGO 1: Bases de proyecto y acciones en estructuras. Parte 2-2: Acciones en estructuras. Acciones en estructuras expuestas al fuego y en particular con el mismo coeficiente de transferencia térmica por convección α_c

- Para la justificación mediante ensayos, estos se realizarán desarrollando la acción térmica inducida por la curva HCM, adaptando los procedimientos y protocolos de aplicación de los especificados en la Norma UNE-EN 1363-2 Ensayos de resistencia al fuego. Parte 2: Procedimientos alternativos y adicionales para la curva de hidrocarburos.

La verificación del hormigón armado debe tener en cuenta la resistencia de la armadura a la temperatura, su recubrimiento, la fisuración, las consecuencias de la dilatación, y deberá tener en cuenta el eventual desconchado del hormigón.

4.4.4.3 Resistencia al fuego de las estructuras

4.4.4.3.1 Estructuras principales

Los túneles excavados no revestidos no tienen ninguna exigencia particular de resistencia al fuego.

La estructura principal de otros túneles debe satisfacer el nivel N0 cuando un local cerca del foco del incendio no tiene consecuencias perjudiciales sobre la seguridad de los usuarios o de los servicios de emergencia que puedan estar presentes en otras zonas. En otros casos descritos a continuación, la estabilidad al fuego se deberá verificar para un nivel superior.

A.) Nivel N1

El nivel N1 de estabilidad al fuego se aplica para estructuras que soportan una carretera o una zona accesible a los peatones situada encima de ellas.

El nivel N1 se aplica también cuando la estructura es necesaria para mantener la estabilidad de otro tubo o el elemento de separación con él, cuando existe una conexión directa con el exterior.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La estructura debe tener un nivel de estabilidad al fuego o un nivel de resistencia al fuego (RF) de este nivel.

En todos los casos anteriores será necesario prever medidas para prohibir en un tiempo corto la circulación en la vía soportada o en el segundo tubo. Si esto no es posible, o si la estrategia de intervención precisa preservar la vía soportada o el segundo tubo, se exigirá un nivel de resistencia al fuego superior.

Se aplicará asimismo el nivel N1 de estabilidad si una rotura local de la estructura corre el riesgo de cortar un conducto de ventilación o cables longitudinales en los que es el mantenimiento de la continuidad a lo largo del fuego es importante para la actuación de los equipos de emergencia, pero no entra dentro de los casos descritos a continuación, que justifican la aplicación de un nivel N2.

B.) Nivel N2

El nivel N2 se aplica cuando la estructura es necesaria para mantener la estabilidad de otro tubo o el elemento de separación con él en el caso de que no haya comunicación directa con el exterior. La estructura deberá presentar una estabilidad al fuego o un nivel de resistencia al fuego (RF) de este nivel.

El nivel N2 de estabilidad al fuego se usará también si una rotura local de la estructura corre el riesgo de cortar un conducto de ventilación o cables longitudinales necesarios para el uso de los refugios y de las galerías de evacuación que permiten acceder a ellos desde el exterior.

C.) Nivel N3

El nivel N3 de estabilidad al fuego es necesario para los túneles sumergidos, así como para los túneles situados bajo un nivel freático que presenten riesgos comparables de inundación en caso de hundimiento local. Se aplica también si una rotura local de la estructura corre el riesgo de provocar una invasión catastrófica del túnel por el terreno circundante, de provocar daños graves en la superficie o de poner en peligro obras o construcciones vecinas.

Cuando un túnel es contiguo a una estructura habitada u ocupada, o se sitúa bajo ella, hace falta asegurar con el Nivel N3 la característica de resistencia al fuego (RF) de las paredes o losas

cve: BOB-2025a082-(I-327)

intermedias y la estabilidad al fuego de las partes del túnel que constituyen elementos de la estructura portante de los edificios superiores.

4.4.4.3.2 Estructuras Auxiliares

A continuación, se examinan las situaciones más comunes. Existen muchos casos particulares que exigen un examen específico. Cuando un elemento se pueda clasificar en varios niveles de exigencia bajo las disposiciones de los apartados 7.3.4.1 y 7.3.4.2 se entenderá que debe satisfacer la exigencia más severa.

A.) Falsos techos y muros que separan conductos de ventilación

Los falsos techos y los muros que sirvan para delimitar un conducto de ventilación con respecto al túnel, lo mismo que el conjunto de los muros de los conductos de ventilación, deben cumplir el nivel N0 cuando la perdida de continuidad en la zona del incendio no tiene consecuencias perjudiciales para la seguridad de las personas que puedan estar presentes en otras partes del túnel. En los otros casos, descritos a continuación, la estabilidad al fuego se deberá garantizar para un nivel superior.

Para los conductos en los que la continuidad en la zona del incendio es importante para la acción de los equipos de socorro, pero que no intervienen en la ventilación o la evacuación de los refugios, los muros comunes con el túnel serán estables al fuego para el nivel N1. Adicionalmente, cuando estos muros no cuenten con aperturas que conectan con el túnel, ya sean permanentes o no, los muros serán de resistencia al fuego (RF) de este nivel.

Para los conductos que sirvan para la ventilación de los refugios, las paredes comunes con el túnel deberán presentar un grado de resistencia al fuego (RF) de nivel N2. Los conductos que sirven como galerías de evacuación para el acceso a los refugios se tratan a continuación en el punto c.

B.) Locales técnicos y estaciones de ventilación

Si se instalan locales técnicos, y en particular estaciones de ventilación, en un lateral, debajo, o encima de un túnel, los muros o las losas intermedias se deben examinar bajo el doble aspecto

cve: BOB-2025a082-(I-327)

del riesgo para el túnel de un incendio en el interior de un local, y del riesgo de la perdida de las funciones que se realizan en el local, en caso de un incendio en el túnel.

Con respecto a un incendio en el local, los elementos intermedios con el túnel presentarán un grado de resistencia al fuego (RF) de nivel N1,

Con respeto a un incendio en el túnel, los elementos intermedios con el local presentarán como mínimo un nivel de resistencia al fuego (RF) de nivel N1. Se exigirá nivel N2 si con la pérdida del local se corre el riesgo de afectar el funcionamiento de equipos, especialmente los equipos de ventilación, necesarios para el uso de los refugios y de las galerías de evacuación que permiten acceder a los refugios desde el exterior. Se exigirá nivel N3 si con la pérdida del local se corre el riesgo de interrumpir la continuidad de la alimentación eléctrica o de las telecomunicaciones en el lugar del incendio.

Si un local comunica directamente con el túnel, los elementos de construcción que sellan la comunicación deberán presentar un nivel de resistencia al fuego (RF) del mismo nivel, especificado anteriormente, que el muro. Si hay un vestíbulo presurizado, el nivel de resistencia al fuego (RF) se deberá obtener globalmente por el vestíbulo presurizado.

C.) Instalaciones para la evacuación y la protección de los usuarios y el acceso de equipos de emergencia.

Los vestíbulos presurizados y los muros que separen el túnel de una comunicación directa con el exterior deberán presentar un grado de resistencia al fuego (RF) global CN60.

Cuando se prevean comunicaciones entre los dos tubos de un túnel, y si los dos tubos tienen un muro en común, las puertas y/o cierres que cortan la comunicación tendrán un grado de resistencia al fuego (RF) del mismo nivel que el muro. Si los dos tubos no tienen un muro en común, los elementos de construcción que cierren la comunicación deberán presentar un grado de resistencia al fuego (RF) entre los dos tubos de nivel N2. Cuando se disponga de un vestíbulo presurizado, los grados de resistencia al fuego (RF) se deberán obtener globalmente por el vestíbulo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuando se disponga una galería de seguridad, los elementos de construcción que cierren la comunicación con el túnel deben presentar un grado de resistencia al fuego (RF) global de nivel N2. Lo mismo se aplica a eventuales muros comunes con el túnel.

Cuando se dispongan refugios, las paredes que los separan del túnel y los vestíbulos presurizados que aseguran la comunicación con él deben presentar un grado de resistencia al fuego (RF) de nivel N2.

Cada abrigo deberá disponer de una galería de evacuación que permita el acceso desde el exterior del túnel, que deberá poder ser utilizada durante dos horas en caso de un incendio que se produzca en cualquier punto del túnel. Si es necesario pasar a lo largo del lugar del incendio y si la galería tiene muros o losas comunicadas con el túnel, estos deberán presentar un grado de resistencia al fuego (RF) de nivel N2. Además, la temperatura máxima de la cara no expuesta al fuego del muro no deberá sobrepasar una temperatura de 60ºC durante el tiempo fijado para la evacuación de los refugios. Si otros elementos del túnel participan en la estabilidad de la galería, deberán ser estables al fuego para el mismo nivel N2.

D.) Losas que soportan la calzada

Cuando la circulación se realice sobre una losa que soporta la calzada, esta debe satisfacer las exigencias del nivel N0 si no limita con espacios inferiores que requieran un nivel de resistencia superior con relación a los puntos anteriores.

Se debe evitar por todos los medios la propagación de un incendio bajo la calzada (especialmente por el flujo de líquidos inflamados).

Si existe otro nivel de circulación bajo la losa, esta deberá satisfacer las exigencias fijadas en el apartado 7.3.4.1 para las estructuras que son necesarias para mantener la estabilidad de otro tubo y la separación con él. Se considerarán por separado las situaciones de fuego en la parte superior e inferior de la losa.

E.) Protección contra la caída de equipos suspendidos del techo

Se debe proteger a los equipos de emergencia que trabajen bajo humo estratificado contra la caída de cualquier elemento peligroso. Con este objeto, los dispositivos de sujeción y la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

estructura portante de los equipos pesados implantados en altura: ventiladores, paneles de señalización variable, pórticos con equipos, deberán resistir una temperatura de 450ºC durante 120 minutos. La justificación se hará utilizando la curva de fuego normalizada hasta alcanzar esa temperatura, que será a continuación mantenida hasta el final del periodo establecido.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 INTEGRACIÓN Y SISTEMAS DE CONTROL

En el caso de que se instalen elementos de medida o control en la infraestructura del túnel (i.e. secciones instrumentadas para medida de convergencias,…), se estudiara la posibilidad de integrar en el Centro de control las señales de los citados elementos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 PUESTA EN MARCHA

6.1 Puesta en marcha

La puesta en marcha de la obra se realizará de acuerdo con lo indicado en el Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras de Bizkaia.

6.2 Documentación final de la obra

Se deberá entregar la documentación As-Built y un informe relativo a la seguridad de la infraestructura. Sin carácter exclusivo, se destacan los siguientes aspectos a controlar:

6.2.1 Materiales constitutivos

Se comprobarán las características físicas, químicas y mecánicas y las solicitaciones a las que están sometidos los elementos estructurales y no estructurales de la obra civil del túnel:

- Propiedades y composición química de los materiales.
- Resistencia y ductilidad de materiales y elementos estructurales, especialmente al ser expuestos a las altas temperaturas de un incendio.
- Resistencia al fuego de los elementos estructurales.
- Reacción al fuego de los distintos materiales, suministros y equipos instalados.
- Certificaciones de calidad o conformidad: Comprobación de su validez y concordancia con los materiales y suministros colocados.

6.2.2 Rutas de evacuación

Se verificarán la disposición y características geométricas:

- Aceras: anchura, posición (altura y separación) y geometría.
- Galerías: separación, longitud, anchura, altura, pendiente máxima, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Ausencia de obstáculos que dificulten la evacuación.
- Existencia de pavimentos antideslizantes.
- Existencia de pasamanos.
- Características de la señalización de evacuación.
- Características de las puertas.
- Accesibilidad de los equipos de rescate, caminos de acceso, etc.
- Ventilación adecuada e independiente.
- Nivel de iluminación adecuado.

6.2.3 Características de los elementos de drenaje

- Perfil longitudinal: comprobación de las características del drenaje y verificación de pendiente mínima.
- Bocas: detección de posibles riesgos naturales.
- Drenaje y evacuación de vertidos líquidos: existencia de dispositivos de captación de agua, arquetas, arquetas desarenadoras-desengrasadoras~~,~~ 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 de la sección transversal: materiales y disposición constructiva.
- Canalizaciones de cables: protección y estado de las mismas.
- Implantación de elementos de seguridad.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Estanqueidad de arquetas y red de drenaje cortafuegos: se realizará una prueba de estanqueidad de este sistema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 MANTENIMIENTO

7.1 Consideraciones generales

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

El Plan de Mantenimiento 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 las buenas prácticas de mantenimiento.

7.2 Criterios generales de mantenimiento

Operaciones a realizar

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.

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 caso de existir datos de instrumentación de la instalación se deberá realizar su registro.
- Verificación del estado de las canalizaciones del cableado.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- 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.).

  Se establecerá la periodicidad con la que se comprueba el estado de las arquetas cortafuegos y su relleno con agua.

- Inspección, mantenimiento y limpieza de las rutas de evacuación, incluyendo sus instalaciones y equipamientos: ventilación, instalaciones de comunicación, extintores, 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.

- El mantenimiento de las puertas de los itinerarios de evacuación deberá seguir lo indicado en el DA DB-SI/3, Documento de Apoyo al Documento Básico DB-SI Seguridad en caso de incendio. Mantenimiento de puertas peatonales con funciones de protección contra incendios reguladas por el DB SI.

- Verificación de las características de resistencia al fuego de todo material que se incorpore a la infraestructura, superestructura o instalaciones durante la explotación.

- En el caso de que el túnel disponga de revestimiento estético con paneles sobre estructura portante, se deberá comprobará periódicamente el estado la estructura y de sus anclajes a los hastiales.

- Seguimiento de cuantas especificaciones e indicaciones se hayan fijado durante la construcción, para la conservación de la obra civil.

- Limpieza periódica de los hastiales del túnel.

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:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- 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.

7.3 Comprobaciones en caso de incidente

Tras producirse un incidente, se realizará una inspección detallada de su posible afección a la infraestructura, 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.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO II

ENERGÍA ELÉCTRICA

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES

EN CARRETERA

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(II)

ENERGÍA ELÉCTRICA

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1 OBJETO 4
2 ALCANCE 5
3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS 6
4 CRITERIOS DE DISEÑO 8
4.1 Materiales y requisitos de resistencia al fuego 8
4.2 Instalaciones eléctricas 9
4.2.1 Sistema de Alta Tensión 10
4.2.1.1 Punto de enganche con la Compañía Eléctrica 11
4.2.1.2 Línea de Acometida 11
4.2.1.3 Punto de Entrega AT 12
4.2.1.4 Centros de Transformación 12
4.2.1.5 Líneas de Reparto en AT 15
4.2.2 Sistema de Baja Tensión 16
4.2.2.1 Acometida de BT 17
4.2.2.2 Cuadros Generales de Baja Tensión y Secundarios de Distribución de Mando y Control 18
4.2.2.3 Líneas de distribución 22
4.2.2.4 Bandejas y canalizaciones 23
4.2.2.5 Redes de tierra 24
4.2.2.6 Regímenes de neutro adoptado en los centros de transformación 25
4.2.3 Sistema de alumbrado 33
4.2.4 Fuerza y otros servicios 34
4.3 Dimensionamiento de la alimentación eléctrica 35
4.4 Seguridad de suministro, Redundancia 36

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5 Alimentación segura de potencia (Grupo electrógeno) 41
4.6 Alimentación Ininterrumpida (SAI) 42
4.7 Materiales y requisitos de instalación 43
4.8 Sistema de identificación de cables y equipos eléctricos 47
4.8.1 Identificación de cuadros 47
4.8.2 Identificación de los aparatos instalados 47
4.8.2.1 Indicativos para las designaciones de clases de elementos de servicio según DIN 40719 hoja 2 48
4.8.3 Identificación de cableado interior de los cuadros 50
4.8.4 Proyecto del cableado interno de los cuadros y disposiciones de elementos 51
5 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL 53
6 PUESTA EN MARCHA 55
6.1 Pruebas 55
6.1.1 Pruebas por niveles 55
6.1.2 Pruebas a equipos 55
6.1.2.1 Cuadros de control de motores 56
6.1.2.2 Cuadros secundarios de fuerza en SOS y estaciones de bombeo: 56
6.1.2.3 Cuadros de alumbrado 56
6.1.2.4 Conmutación entre diferentes fuentes de alimentación 56
6.2 Documentación final de obra 56
7 MANTENIMIENTO 58
7.1 Mantenimiento preventivo 59
7.2 Mantenimiento correctivo 60
7.3 Criterios de eficiencia energética 60

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente Instrucción Técnica tiene por objeto definir las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones de suministro de energía eléctrica en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto y planeamiento pertenecientes al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles en carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una instrucción técnica clara de diseño, construcción, puesta en servicio y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.
- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.
- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción se aplicará a los túneles en todas sus fases de vida: planeamiento, proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo 1 del Decreto Foral sobre Seguridad de Túneles en Carreteras (DFST).

La Instrucción define los requisitos de seguridad relacionados con el sistema de energía eléctrica que serán de obligado cumplimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

Los mínimos exigibles de diseño de las instalaciones objeto de Proyecto varían según el tipo de instalación de que se trate y en general estos mínimos serán los indicados por los Reglamentos Electrotécnicos en vigor y normativa de obligado cumplimiento.

A continuación, se indica la reglamentación de obligado cumplimiento en el diseño de las instalaciones que se detallan:

– **CENTROS DE TRANSFORMACIÓN Y LÍNEAS A.T.**

GENERAL

- Real Decreto 337/2014, de 9 de mayo, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-RAT 01 a 23, así como sus Guías Técnicas de Aplicación si las hubiera.
- Real Decreto 223/2008, de 15 de febrero, por el que se aprueban el Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITC-LAT01 a 09, así como sus Guías Técnicas de Aplicación.

Asimismo, serán también de aplicación las Especificaciones Particulares de las Empresas Suministradoras, Proyectos Tipo y Especificaciones Particulares de las Empresas de Transporte y Distribución de Energía Eléctrica (artículos 13 y 15 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en líneas eléctricas de alta tensión) que hayan sido aprobadas mediante resolución del órgano directivo competente del Ministerio de Industria. Incluyéndose a continuación la web de las aprobadas para las empresas suministradoras de energía eléctrica:

Ministerio de Industria y Turismo - Reglamento de Líneas de Alta Tensión

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– **INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN**

- Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51, así como sus Guías Técnicas de Aplicación.
- Escrito de Adaptación (junio 2016) del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (Real Decreto 842/2002) tras la publicación del Reglamento Delegado 2016/364, que establece las clases posibles de reacción al fuego de los cables eléctricos.
- Real Decreto 842/2013, de 31 de octubre, por el que se aprueba la clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de sus propiedades de reacción y de resistencia frente al fuego.
- Real Decreto 1890/2008, del 14 de noviembre Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias, desde E01 a E07 inclusive, así como sus Guías Técnicas de Aplicación
- Reglamento (UE) nº 305/2011 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

Se consideran de aplicación todas aquellas normas y/o modificaciones de las anteriores que resulten de aplicación, aunque no estén mencionadas explícitamente, en su última versión publicada disponible.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 CRITERIOS DE DISEÑO

En el diseño del sistema eléctrico han de tenerse en cuenta siempre las siguientes prioridades a la hora de planificar los suministros de energía (AT, BT); la estructura del sistema (Reparto en AT, BT …), los suministros de emergencia y la asignación de cargas a cada nivel de seguridad eléctrico (Alimentación normal, de grupo, de SAI).

El principal objetivo de los sistemas instalados en un túnel es garantizar la seguridad de las personas en toda situación. En este apartado y por niveles de más a menos importante se pueden indicar los siguientes puntos

- La evacuación en caso de emergencia (iluminación, sectorización …)
- Funcionamiento de los sistemas de aviso señalización, comunicación y emergencia (ventilación, PCI, CCTV, megafonía)
- Sistema de mantenimiento de condiciones sanitarias (ventilación)
- Seguridad vial (alumbrado, señalización…)
- Confort en la conducción (efecto flicker (titileo), guiados visuales, paneles informativos)

La previsión de cargas se realizará teniendo en cuenta los consumos máximos en operación normal y en las posibles situaciones de emergencia.

4.1 Materiales y requisitos de resistencia al fuego

La mejora de la seguridad debe ser un objetivo constante en la actualidad. La vida de los usuarios del túnel depende de esa seguridad. El riesgo cero no existe, por supuesto, pero sí pueden minimizarse las posibilidades de siniestros y sus efectos negativos sobre personas y bienes materiales. En este sentido, aunque siempre habrá riesgo de incendios, pueden reducirse sus consecuencias. Por tanto, los materiales eléctricos pueden mejorar la seguridad si ayudan a no propagar las llamas y tienen muy bajas emisiones de gases tóxicos y corrosivos, así como una baja emisión de humos opacos. Ello facilitará el trabajo de los equipos de emergencia (bomberos, policía y personal sanitario) y limitará así los efectos destructivos del fuego.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Por los motivos expuestos en el párrafo anterior, se procurará siempre que los materiales eléctricos elegidos sean los menos propagadores posibles del fuego y las llamas, así como los menores emisores de gases tóxicos y corrosivos, al tiempo que se intentará que su emisión de humos opacos sea la menor posible. Independiente de esta buena práctica existen regulaciones que fijan ya unos mínimos normativos específicos para determinados materiales. Estos mínimos, trasladados de las diferentes regulaciones, son establecidos donde corresponde a lo largo de este documento, pero debido al constante avance en este campo aparecen nuevas normativas y exigencias que deberán ser trasladadas a los materiales afectados, según entren en vigor.

Precisamente del comportamiento en caso de incendio, trata la reciente inclusión de los cables eléctricos de baja tensión en el Reglamento Europeo de Productos de Construcción (CPR). De acuerdo con lo que establece el CPR, ahora los fabricantes deben demostrar que los cables cumplen los requerimientos de seguridad establecidos en la normativa antes de comercializarlos. Ello implica la aplicación del sistema de evaluación y verificación de la constancia de la prestación del cable (EVCP), la emisión de una Declaración de Prestaciones (DoP) y la colocación del marcado CE. El CPR ha establecido un criterio único y uniforme de clasificación en toda Europa, con independencia del país de fabricación. Es de prever que el resto de los materiales se vayan incorporando al CPR.

4.2 Instalaciones eléctricas

Las instalaciones eléctricas comprenden las redes de alimentación eléctrica tanto en alta tensión como en baja tensión, así como la distribución de ésta a consumidores; como puntos de luz, ventilación, servicios e instalaciones del túnel, la puesta a tierra de la instalación y la implantación de los centros de transformación, líneas de distribución en AT, Cuadros de BT o centros de mando y medida, líneas de distribución en baja tensión. Todo ello se ajustará en su conjunto a lo dispuesto en los reglamentos aplicables en alta tensión, líneas y centrales eléctricas, el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión y las Instrucciones Técnicas Complementarias del mismo.

La instalación eléctrica objeto de la presente instrucción comprende todos los elementos desde el punto de enganche con la red eléctrica en alta tensión, en caso de tener el suministro en alta tensión, hasta el último consumidor en baja tensión. Al objeto de definir los elementos incluidos en cada parte se puede hacer la siguiente distribución de carácter general.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Sistema de Alta tensión

- Punto de enganche con la Compañía Eléctrica.
- Líneas acometidas de AT.
- Punto de entrega de AT.
- Subestación y/o centro de maniobra y reparto.
- Centros de transformación.
- Línea de reparto en AT

Sistema de Baja tensión

- Acometidas de BT (Desde centro de transformación o desde el contador de Compañía Eléctrica si el suministro es en BT).
- Cuadros generales de baja tensión.
- Cuadros secundarios de distribución de mando y control para alumbrado y fuerza.
- Líneas de distribución (acometidas a cuadros y alimentación a consumidores).
- Bandejas y canalizaciones de distribución.
- Red de tierras de baja tensión
- Red de tierras equipotencial.
- Consumidores eléctricos (alumbrado, fuerza….)

4.2.1 Sistema de Alta Tensión

El sistema de alta tensión comprende los elementos descritos anteriormente y es, en el caso de recibir el suministro eléctrico en AT por parte de la Compañía Eléctrica, el encargado de transportar la energía eléctrica hasta los puntos de consumo y transformarla a BT para su distribución a consumidores.

Este sistema comprende: el punto de enganche, las líneas de acometida (aérea o subterránea), pórticos de llegada o torres final de línea, subestación y/o centro de maniobra y reparto, centros

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de transformación y además en el caso de existir una distribución en AT en el interior de las instalaciones las líneas de reparto (aéreas o subterráneas).

Se hace la distinción entre líneas de acometida y de alimentación o reparto ya que en la mayoría de los casos la titularidad final del punto de enganche de la línea o líneas de acometida y la torre final de línea o pórtico de llegada, suelen ser de la Compañía Eléctrica (esta titularidad y modo de actuación quedará definida en las Condiciones Técnicas de Suministro), por lo que normalmente se requiere un proyecto realizado a nombre de la Compañía Eléctrica, ejecutado según su normativa y cediendo la instalación realizada una vez legalizada. La instalación que parte de la torre final de línea o pórtico de llegada, es decir línea de alta tensión, subestación o centro de maniobra y reparto y centros de transformación pertenecientes a la instalación, precisarán un proyecto diferente realizado a nombre de la Diputación Foral de Bizkaia.

El sistema de alta tensión, las redundancias necesarias y los límites de propiedad se fijarán en función de la arquitectura diseñada y los requerimientos de la Compañía Eléctrica.

El sistema de Alta Tensión como hemos indicado se compone de los elementos que describimos:

4.2.1.1 Punto de enganche con la Compañía Eléctrica

Es el punto de la red de la Compañía Eléctrica donde ésta nos dará conexión a su red, este punto, a definir por la Compañía Eléctrica, será el arranque de la instalación y deberá realizarse según la normativa vigente además del condicionado técnico y la normativa de dicha Compañía.

De este punto, que será punto de partida para los cálculos del proyecto, se ha de conocer, la tensión de suministro, las intensidades, de cortocircuito, trifásica y monofásica a tierra, y el número de reenganches si los hubiera.

4.2.1.2 Línea de Acometida

Es el tendido eléctrico comprendido entre el punto de enganche con la red de la Compañía y el de entrega en la instalación.

Esta línea dependiendo de las circunstancias podrá ser aérea, subterránea, o una combinación de ambas, y deberá realizarse según la normativa vigente además del condicionado técnico y la normativa de dicha Compañía.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.1.3 Punto de Entrega AT

Este punto es donde la Compañía Eléctrica entrega el suministro y usualmente marca el límite de propiedad de las instalaciones, habitualmente el límite se establece en el punto de entrega de la línea de acometida, siendo este punto de conexión el límite de la propiedad de la Compañía.

En el caso de que la línea de acometida sea un línea aérea (simple o doble circuito) es habitual la colocación de un pórtico de llegada o torre final de línea, en donde se instalan los elementos de seccionamiento de las líneas, protección de sobre tensión y en su caso elementos de medida en AT (TT, TI., Contadores…) y/o elementos de protección y control (interruptores automáticos motorizados….). Todos estos equipos del lado del cliente deberán ser integrados en el sistema de control del túnel, bien para simple señalización, o para telemando de los equipos, por lo que deberán incluir los elementos de señalización de estados (abierto, cerrado, disparado…), motorizaciones y/o comunicaciones necesarias para este fin.

El caso de acometida subterránea puede que ésta se conecte en un sistema similar al anterior, por lo que se deberán prever los mismos equipos, o bien que se conecte directamente en una celda compacta de entrada de un centro de transformación o de reparto. El equipamiento de la celda de entrada deberá poder señalizar sus estados y /o faltas por lo que deberá incluir los accesorios necesarios.

4.2.1.4 Centros de Transformación

En este equipamiento se adapta la tensión proveniente del suministro de la compañía eléctrica a los niveles de tensión necesarios, usualmente 400V trifásico, para que por medio de los cuadros y líneas de baja tensión sea distribuido a los consumidores.

En proyecto y dependiendo de las características de diseño se fijará el régimen de neutro de dichos centros, la determinación del régimen de neutro permitirá el correcto diseño en BT y la correcta elección de protecciones, distribución de conductores y redes de tierra en baja tensión.

La elección de uno u otro régimen de neutro deberá argumentarse debidamente en el proyecto, justificando razonadamente su elección y/o ventajas e inconvenientes de la misma.

En el proyecto se deberán determinar las intensidades de cortocircuito simétrica y de pico en equipos de celdas de alta tensión, bornas de conexión de alta y baja tensión del o de los

cve: BOB-2025a082-(I-327)

transformadores y cuadros eléctricos de baja tensión para diseñar de forma correcta la instalación.

Este equipamiento deberá ser construido conforme a la normativa vigente y el condicionado técnico de la Compañía Eléctrica, e instalado en un local independiente del resto de los locales de instalaciones. La disposición de los equipos en el interior del local, así como sus accesos, además de considerar una fácil introducción y retirada de los mismos, deben de considerar el espacio libre necesario para su operación, mantenimiento y reparación.

Estos centros están compuestos por los siguientes equipos generalmente:

- Equipos de entrada de línea.
- Equipos de conmutación de líneas.
- Equipo de protección general.
- Equipos de medida en caso necesario.
- Equipos de protección de salidas en AT (a transformadores o a líneas de reparto).
- Transformadores de potencia.
- Interruptor Automático de control de salida en BT. (si fuese necesario)
- Condensador de compensación de reactiva.
- Iluminación.
- Elementos de seguridad.
- Redes de tierra.

Los centros de transformación pueden ser alimentados por una línea de simple o doble circuito. En el caso de una línea de doble circuito, se preverá la instalación de un equipo de conmutación automática que en caso de fallo de uno de los circuitos permita la conmutación automática entre circuitos de entrada para conectar la que se mantenga en tensión, garantizando así que siempre que uno de los dos circuitos de entrada tenga tensión, el centro estará alimentado. En los túneles tipo III se estudiará su necesidad.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los equipos de entrada de línea, protección de salida, medida se deberán poder integrar en el sistema de control de los túneles por lo que deberán disponer de los equipamientos necesarios para su correcta integración incluyendo así, los equipos auxiliares de señalización, mando y/o comunicaciones que se requieran según el nivel de integración.

Los transformadores de potencia que se instalen en los centros de transformación situados en el interior del túnel serán secos y en los centros de transformación situados en el exterior de los túneles serán preferentemente secos. Todos ellos deberán llevar marcado CE.

Los transformadores estarán protegidos contra sobrecargas, cortocircuitos, cuba a tierra, etc. por equipos situados en las celdas de media/alta tensión. La elección de las protecciones será justificada en cada proyecto. Dispondrán de señalización de temperatura indicando niveles de alarma y disparo, que deberán ser integrados en el sistema de control de túneles, la señal de disparo se llevará además a la celda de protección lo que provocará la apertura del interruptor automático de protección en caso de sobrecalentamiento (temperatura de desconexión) del transformador.

En algunas ocasiones y debido a la distancia entre el cuadro general de BT y el transformador o bien por estar en distinta estancia, se colocará un elemento de corte a la salida de éste para poder aislar el transformador desde la sala de AT. Además, si la distancia al cuadro general de BT es larga este elemento será un interruptor automático para proteger la acometida hasta dicho cuadro. En caso de ser así, se deberá instalar un equipo adecuado (tensión, intensidad de cortocircuito…) que además disponga de los elementos necesarios para integrarlo en el sistema de control, accesorios de señalización y/o mando necesarios.

En el diseño y construcción de este equipamiento se deberá prestar especial atención a la definición y diseño de las redes de tierra: neutro, herrajes y baja tensión. Las soluciones adoptadas para las redes de tierra se deberán justificar razonadamente en proyecto definiendo detalladamente su disposición, geometría, ubicación, parámetros de cálculo y resultados esperados, en función de las características del terreno y condiciones de falta.

En el proyecto se definirá el régimen de neutro para la correcta definición de las protecciones eléctricas.

El diseño y realización de las redes de tierra es especialmente importante en aquellos centros que se vayan a situar en el interior de los túneles, debido a la mala conductividad del terreno, así

cve: BOB-2025a082-(I-327)

como por las limitaciones geométricas de implantación de las mismas, por todo ello el proyecto deberá tratarlo de forma específica, verificando su correcta ejecución durante la realización de las redes de tierra y comprobando los valores en ohmios de las mismas así como las tensiones de paso, contacto y transferidas si las hubiera antes de la puesta en marcha de las instalaciones.

Estas redes de tierra se deberán poder medir por separado con el fin de comprobar periódicamente sus valores. Estos valores serán comprobados, al menos, anualmente en el mantenimiento y específicamente en cada revisión por parte de los organismos de control autorizados correspondientes.

Como precaución y de cara a la protección de los trabajadores, se habrá de definir desde proyecto las maniobras necesarias para las diversas labores de mantenimiento y/o reparación de equipos, además de los enclavamientos necesarios para la realización con seguridad de estas labores por medio de los habituales enclavamientos de llaves, u otro sistema equivalente.

Por exigencia de seguridad, se deberá disponerse en el local de la aparamenta de AT una panoplia con, al menos, los siguientes elementos:

- Pértiga de Salvamento
- Pértiga detectora de presencia de tensión.
- Par de guantes aislantes en coffret
- Plataforma aislante de maniobra
- Placa con instrucciones sobre los primeros auxilios (fijada en pared)
- Plano esquema unifilar con instrucciones de maniobra, plastificado (fijado en pared)

4.2.1.5 Líneas de Reparto en AT

Estas líneas son las que partiendo de los centros de transformación propios reparten la AT a otros centros situados en el interior del túnel, la otra boca, u otros emplazamientos.

Según su configuración en anillo o en estrella permite asegurar la redundancia de estos respecto a las alimentaciones de entrada. Cuando la configuración sea en anillo bastará una línea de cada

cve: BOB-2025a082-(I-327)

subestación para asegurar la redundancia, en el caso de estrella se recomiendan dos líneas por si existe un fallo aguas arriba en una de ellas.

Las canalizaciones de estas líneas en el interior de los túneles discurrirán entubadas y enterradas, no siendo la profundidad hasta la parte superior del tubo más próximo a la superficie inferior a 0,6 m en acera y 0,8 m en calzada, circulando cada línea por canalizaciones independientes, y no pudiendo compartir arquetas u otros elementos hasta la entrada al CT. Se preverá siempre al menos un tubo de reserva.

Se procurará que las canalizaciones de AT discurran siempre por debajo de las canalizaciones de BT.

4.2.2 Sistema de Baja Tensión

El sistema de baja tensión comprende algunos de los elementos indicados anteriormente. Uno de ellos es el interruptor automático general que se colocará en el cuadro situado en el Centro de Transformación y próximo al transformador, situación que se origina cuando el cuadro general se encuentra en recinto diferente al que se encuentra el transformador ubicado o a una distancia apreciable del mismo.

En caso de recibir el suministro de la Compañía Eléctrica en alta tensión el origen del Sistema de Baja Tensión será el Centro de Transformación correspondiente; si el suministro es en baja tensión el origen será el punto de enganche dado por la Compañía en su condicionado técnico-económico, ocurriendo como en el caso anterior que, aunque el proyecto abarque todo, la propiedad final de los equipamientos sea en parte cedida a la Compañía, generalmente la línea de acometida.

El sistema comprende: la acometida de BT, el cuadro general, las líneas de distribución, los cuadros secundarios de mando y control, canalizaciones, redes de tierra, red equipotencial y consumidores eléctricos.

Para el diseño de la instalación de baja tensión es preciso definir el régimen de neutros de la misma, así como las intensidades de cortocircuito trifásico simétrico y de pico, en los diversos puntos (cuadros), límites de selectividad de forma que se pueda definir la aparamenta de protección, embarrados y demás equipamiento que permita el funcionamiento de la instalación de una forma fiable y segura.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El sistema se compone de los elementos que a continuación describimos:

4.2.2.1 Acometida de BT

Es la línea de unión ente el punto de entrega de energía en baja tensión hasta el cuadro principal, o al secundario de mando y control correspondiente (suministro en BT). En el caso de suministros en alta tensión, con centro de transformación propio incluye desde el punto de conexión, bornas del secundario del transformador o palas del interruptor de control si lo hubiera, hasta las bornas de entrada del cuadro correspondiente. En el caso de suministros en BT, se incluye la línea entre el punto de conexión y la caja general de protección dispuesta a tal efecto; en este sentido se deberá tratar como una derivación individual según lo dispuesto en el reglamento en las instrucciones ITC-BT-12, 13 y 14, además de disponer de la consiguiente caja con los contadores de energía bien dentro del mismo cuadro o en un armario aparte, según las normas de compañía.

Para los cálculos de caída de tensión consideraremos en los suministros en AT que el origen de esta acometida está en las bornas del transformador. Por lo que se deberá incluir el tramo de línea entre el transformador y el interruptor de control de potencia, si lo hubiera y además considerar por lo menos una potencia de 1,15 veces la del transformador, para prever posibles ampliaciones de potencia del transformador o sobrecargas del mismo, de tal forma que ante estas eventualidades no se superen las caídas de tensión admitidas, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos instalados.

En el caso de las acometidas en BT se considerará lo indicado en la instrucción ITC-BT-14.

Con el fin de contemplar futuras ampliaciones en las instalaciones se realizará el cálculo de las acometidas considerando una potencia de 1,25 veces la del balance de cargas.

Cuando se presenten líneas de reparto de longitud elevada a los consumidores se tendrá en cuenta la reactancia del cable además de la resistencia corregida a la temperatura de funcionamiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.2.2 Cuadros Generales de Baja Tensión y Secundarios de Distribución de Mando y Control

El Cuadro General de Baja Tensión recibe la alimentación de BT de la red eléctrica, bien desde el centro de transformación o desde el punto de suministro de BT de la red eléctrica.

Este cuadro se encarga de la distribución de la energía eléctrica hacia los cuadros secundarios y a los consumidores que se encuentren conectadas directamente en este cuadro. La alimentación a cuadros secundarios y consumidores se realiza por las acometidas y líneas de alimentación que se conectan en este cuadro.

Los cuadros secundarios de distribución control y medida alimentan a consumidores o a su vez a otros cuadros secundarios.

Estos cuadros tienen como misión la de realizar el reparto de la energía, la protección de las personas frente a fallos eléctricos, la protección de las acometidas a otros cuadros y líneas de reparto a los consumidores, protección de los consumidores, que de ellos dependen, así como de alojar los equipos de automatización y control que se consideren necesarios para la señalización, control y mando parte del sistema de control. Para que puedan cumplir con todos estos requisitos con las debidas garantías, cumplirán con todo lo indicado en la norma UNE EN 61439, que les sea de aplicación.

El correcto diseño y dimensionamiento de estos cuadros es uno de los factores clave. Para la ejecución de la instalación eléctrica, en esta instrucción técnica se fijan una serie de parámetros que se deben reflejar en el proyecto para asegurar el correcto diseño de los mismos.

Uno de los factores importantes en el diseño de los cuadros es la determinación de las intensidades de cortocircuito que afectarán a cada uno de ellos. Partiendo de las potencias e intensidades de cortocircuito que se obtienen en el centro de transformación, o bien las del punto de enganche a la red de BT.

Partiendo de este valor, en el proyecto se deberán indicar los valores en cada punto y justificar razonadamente la intensidad de cortocircuito que se asigna a cada cuadro de la instalación.

Desde el punto de vista eléctrico y partiendo de lo anterior, se dan unas directrices de diseño, teniendo en cuenta que el objetivo de los sistemas a instalar es la seguridad de las personas y la protección de los equipos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- La aparamenta elegida corresponderá a las intensidades de demanda y de cortocircuito determinadas para cada cuadro en el proyecto.
- Para garantizar la correcta protección de personas el cálculo de protecciones se deberá justificar en el proyecto.
- En caso de recurrir a agrupaciones y/o filiaciones de equipos para rebajar los poderes de corte de la aparamenta se deberá garantizar y justificar en el proyecto que los equipos quedan protegidos, que la aparamenta responde a las solicitaciones térmicas y de cortocircuito y que la selectividad conseguida es suficiente. La aplicación de filiación como sistema de protección deberá ser justificada en proyecto.
- Para los circuitos esenciales y/o de emergencia se deberá garantizar que el fallo en otro equipo de su nivel no le afecte por lo que será conveniente para estos circuitos la instalación de protecciones diferenciales y magnetotérmicas independientes.
- Las protecciones diferenciales para equipamiento electrónico serán del tipo súper inmunizado.
- Todos los elementos de la aparamenta llevarán los elementos necesarios para la señalización de sus estados y su motorización si fuese preciso.
- Los cuadros, dependiendo de su ubicación, dispondrán de la correspondiente protección contra sobretensiones necesaria según se pide en el Art. 16 del RBT y la instrucción ITC-23 del citado reglamento.

Los cuadros eléctricos se instalarán en salas técnicas dispuestas a este fin. Se preverá la instalación en diferentes entornos, edificios prefabricados, obras de fábrica, galerías en el interior de los túneles, en el tubo del túnel o en el exterior.

Desde el punto de vista constructivo los cuadros eléctricos deben responder a una serie de requerimientos constructivos que se fijan para garantizar la calidad de estos, su idoneidad funcional, su fácil accesibilidad y su correcta instalación. Deberá ser posible el fácil acceso a los elementos del interior del cuadro, así como al propio cuadro por el frontal, y por la parte trasera si es así requerido por sus características constructivas y de mantenimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Los cuadros eléctricos instalados en interior de salas eléctricas tendrán un grado de protección al menos de IP42 IK10, los situados en exterior tendrán un grado de protección como mínimo de IP55 IK10. El fabricante de los cuadros, en función de la estanqueidad de diseño y por lo tanto de la temperatura que se pueda alcanzar en el interior de los mismos, justificará la necesidad o no de reclasificar por intensidad el aparellaje, embarrados, cables etc. que conforman el cuadro, indicando el coeficiente preciso (inferior a 1).

- Las entradas de los cables a los cuadros situados en las salas técnicas se realizará preferentemente por la parte inferior, de tal forma que se respete el grado IP; la base del cuadro que dispondrá de las placas necesarias para este fin.

  En cuadros en el exterior se hará por la parte inferior y se colocarán además elementos que permitan mantener el grado de IP (Pasa cables, prensaestopas…). No se permitirán entradas de cables por la parte superior y/o lateral del cuadro.

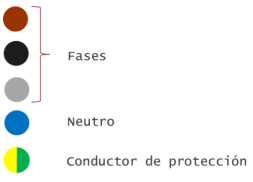
- Los cuadros de más de un módulo dispondrán de un zócalo (bancada) de 100 mm de altura. realizado en acero galvanizado. Este zócalo (bancada) se colocará durante la construcción del cuadro perfectamente nivelado y servirá para dar rigidez a éste, evitando tensiones mecánicas en el cuadro por un mal asiento de los zócalos y anclajes. En las salas técnicas donde haya falso suelo se completará además con unas patas para adaptar la altura del cuadro a la del falso suelo. Estos zócalos se fijarán rígidamente al suelo en ambos casos.

- Los cuadros dispondrán de puertas (transparentes u opacas) de tal forma que los elementos de protección y maniobra queden tras estas puertas evitando maniobras accidentales. La no disposición de estas puertas deberá quedar justificada en el proyecto.

- En las puertas se podrá colocar pulsadores de señalización y mando para la activación de los diversos equipos (control local, remoto, semáforos, barreras, ventiladores, etc.). La colocación de estos equipos no debe alterar el IP del cuadro.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- La conexión de todos los cables se realizará en las bornas de interconexión en la parte baja del cuadro. No admitiéndose la conexión directa a los equipos de protección. En aquellos que por su sección y/o número de cables no se pudiera realizar, se colocarán pletinas de conexión unidas rígidamente al equipo que alimenta.
- Las bornas de conexión colocadas para la conexión de los cables de campo se definirán de tamaño adecuado al cable que reciban. No se permitirá la reducción de la sección del cable en el punto de interconexión.
- Las bornas se situarán en la parte baja del cuadro con suficiente espacio para su correcta manipulación con seguridad y comodidad. La colocación de los borneros en otra posición deberá ser debidamente justificada.
- Los cables se fijarán en la entrada del cuadro para evitar transmitir movimientos y tensiones mecánicas a las bornas y se identificarán a la llegada al mismo en la cabeza del cable, que se protegerá con una funda termorretráctil, donde se identificará y en cada vena por medio de un ferrule. (Se sugiere para este punto utilizar el sistema que se define en otro apartado de este documento).
- Los embarrados de los cuadros se pintarán con diferentes colores por fase (marrón para la fase R, negro para la fase S, gris para la fase T, azul para el neutro y verde-amarillo para el conductor de protección); esta señalización de las fases se mantendrá en toda la instalación. No se admitirán embarrados forrados con termorretráctil de colores para diferenciar las fases.



- Los embarrados y todas las partes activas estarán debidamente protegidas con metacrilatos de tal forma que durante las labores de mantenimiento (conexión de equipos, cambio de equipos averiados, etc.) no sean accesibles evitando los contactos accidentales.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Los cableados interiores de los cuadros serán de cobre, aislamiento mínimo 450/750 V y reacción al fuego mínima C_{ca}-s1b,d1,a1 según UNE EN 50575.
- Los cuadros generales de distribución tendrán una compartimentación 4b cuando dispongan de instalaciones de gran consumo (sistema de ventilación, etc.).
- Los cuadros secundarios en interior de túnel, normalmente coincidentes con los nichos de seguridad y postes SOS de auxilio definidos en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control, deberán incorporar al menos una toma de fuerza trifásica 3F+N+T (de 12 KVA) y otra monofásica F+N+T (de 2,5 KVA).

Todos los elementos y cables de interconexión entre elementos de cuadro (aparellaje, elementos de señalización, instrumentos, dispositivos de accionamiento, etc.) irán identificados según los criterios indicados en el punto 4.8 “Sistema de identificación de cables y equipos eléctricos”

4.2.2.3 Líneas de distribución

Las líneas de distribución de fuerza, y alumbrado en el interior del túnel tendrán tensión de aislamiento mínimo de 0,6/1 kV y reacción al fuego mínima Cca-s1b,d1,a1 según UNE EN 50575. Se diferenciarán en función de los equipos o servicios que alimentan. Para los ventiladores y equipos o servicios esenciales serán, además, cables resistentes al incendio 842ºC 90 minutos según UNE EN 50200.

Preferentemente las conexiones de los secundarios de los transformadores con los interruptores generales de los cuadros serán realizadas con canalizaciones eléctricas prefabricadas IP54 con una resistencia al fuego de 90 minutos como mínimo.

Los cables de control y señales, serán de tensión de aislamiento mínima de 500 V y, tanto los de fibra óptica como los de cobre, presentarán una reacción al fuego mínima de clase Cca-s1b,d1,a1 según UNE EN 50575. Aquellos destinados a servicios esenciales, además deberán ser resistentes al incendio 750ºC durante 90 minutos según IEC 60331. Todos ellos llevarán las protecciones necesarias y pantallas que precisen según su utilización.

Nota: Ver anexo I: Líneas de distribución

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.2.4 Bandejas y canalizaciones

Los sistemas de canalizaciones de cables pueden ser variados dentro de los túneles, los requisitos a observar son: por un lado, la correcta sujeción mecánica de estos cuando sea necesario, la correcta protección mecánica frente a golpes, especialmente entre 0 y 5 metros de altura y su protección contra incendio cuando se requiera.

En la realización de canalizaciones se prestará especial atención en garantizar que por éstas no se pueda propagar un incendio o pasar el humo, sellando adecuadamente los elementos que lo requieran (pasamuros, salidas de arqueta, tubos en el interior de arquetas, tapas de arquetas….).

Las canalizaciones en los túneles podrán ser enterradas, en tubos embebidos en dados de hormigón, con arquetas de acuerdo a lo especificado en la Instrucción Técnica I de Infraestructura en el apartado 4.2.8 de tubos para suministro y distribución de energía. En los proyectos quedarán definidos los dados de hormigón con los tubos y circuitos que canalizan y diámetros de los mismos, así como las arquetas con su situación a lo largo de la traza. Se deberá justificar los diámetros interiores de los tubos en función de los cables que vaya a albergar, y se considerará un 25% de tubos de reserva. Los diámetros de los tubos se atendrán como mínimo a lo indicado en el RBT ITC 7 y 21 (1.2.2, 1.2.3 y 1.2.4). Las dimensiones y disposición de las arquetas deben respetar los radios de curvatura máximos de los cables que discurran por ellas.

Las canalizaciones igualmente podrán ser galerías subterráneas de acuerdo a lo especificado en la ITC-BT-07 del REBT.

Todas las bandejas deberán ser, como mínimo, clase B1 s3 d0 según CPR, así como en su instalación y la disposición de los cables, deberán cumplir con las normas UNE EN 61537 y UNE EN 50174-2 y 3. En el interior del túnel según la finalidad a la que se destinen las bandejas, es decir; si sólo se destinan a soportar cables y no están sujetas a daños mecánicos podrán ser de material aislante ausente de halógenos y gases tóxicos y corrosivos no propagadores del incendio y de la llama al igual que sus soportes y accesorios de montaje. Cuando las bandejas puedan estar sujetas a daños mecánicos, o se destinen además de la canalización de los cables al soportado de luminarias y cajas de derivación, serán metálicas galvanizadas al fuego por inmersión después de construidas (al igual que todos los accesorios, herrajes y tornillería utilizada), con una resistencia a la corrosión mínima clase C5 según la norma UNE EN 61537 y un espesor de la capa de zinc superior a las 70 micras. Si además sirven de soporte para cables

cve: BOB-2025a082-(I-327)

resistentes al incendio deberán tener una resistencia al fuego E90 según la norma DIN 4102-12 (90 minutos hasta 1000ºC). Las bandejas metálicas deberán estar puestas a tierra.

Las bandejas de enlace entre las canalizaciones enterradas y las que discurren por el hastial serán metálicas y con tapa.

Las canalizaciones para el sistema de AT que discurran por el interior de los túneles se realizarán enterradas, en tubos embebidos en dados de hormigón con arquetas según lo indicado.

4.2.2.5 Redes de tierra

Cuando el túnel dispone de centro o centros de transformación el cálculo de las redes de tierra se realizará partiendo de las condiciones técnicas de suministro facilitadas por la Compañía Eléctrica, en concreto de la Intensidad de falta monofásica a tierra, nº de reenganches y de la investigación del tipo de terreno donde se implanta el centro o centros de transformación y redes de tierra. El proyectista deberá tener en cuenta los posibles tipos de defecto a tierra y las intensidades máximas en los distintos niveles de tensiones existentes en la instalación, tomando el valor más desfavorable.

Para la investigación del tipo de terreno se tendrán en cuenta los sondeos geológicos realizados en los puntos donde se vaya a implantar el o los centros de transformación; una vez realizada la excavación para la construcción del o de los centros de transformación se realizarán mediciones de la resistividad aparente del terreno por el método Wenner, recalculando nuevamente las redes de tierra si fuera necesario.

Para el cálculo de las redes de tierra se aplicarán los reglamentos electrotécnicos de Alta y Baja Tensión y en concreto la ITC-RAT 13: Instalaciones de Puesta a Tierra (Reglamento Instalaciones Eléctricas de Alta Tensión) y las ITC-BT 18 Instalaciones de Puesta a tierra e ITC-BT 24 Instalaciones Interiores o Receptoras Protección Contra los Contactos Directos e Indirectos (Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión).

Igualmente se aplicarán métodos sancionados por la práctica para el cálculo como la IEEE 80-2000 y el Método de Cálculo y Proyecto de Instalaciones de Puesta a Tierra para Centros de Transformación conectados a Redes de Tercera Categoría cuando sean de aplicación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En instalaciones en las que no exista centro de transformación, la red de tierra se proyectará y calculará de acuerdo con el Reglamento electrotécnico de Baja Tensión y en concreto las ITC-BT 18 e ITC-BT 24 indicadas anteriormente.

4.2.2.6 Regímenes de neutro adoptado en los centros de transformación

En función de las posibilidades de conexión del neutro a tierra, de la facilidad de mantenimiento, de la fiabilidad requerida y de las ventajas e inconvenientes que presente la conexión del neutro a tierra, se elegirá el régimen de neutro de la instalación.

En cualquier sistema trifásico de media o baja tensión existen tres tensiones simples referidas entre cada fase y un punto común llamado “neutro”. En realidad, el neutro es el punto común de tres devanados conectados en estrella. El neutro puede ser puesto a tierra, bien directamente o bien a través de una resistencia o una reactancia, o dejar el neutro sin poner a tierra (neutro aislado). La opción escogida determinará el régimen de neutro de la instalación.

En una instalación, el sistema de puesta a tierra juega un papel muy importante. Cuando ocurre una falta de aislamiento o una fase se pone a tierra accidentalmente, los valores que toman las corrientes de falta, las tensiones de contacto y las sobretensiones están directamente relacionadas con el régimen de neutro.

Un sistema con neutro directamente puesto a tierra limita fuertemente las sobretensiones pero produce unas corrientes muy elevadas, mientras que un neutro aislado limita las corrientes de falta a valores muy reducidos pero facilita la aparición de valores de sobretensiones muy elevados.

En el Proyecto de cada instalación se prestará especial atención a la conexión a tierra del neutro de los transformadores en cada Centro de Transformación, con objeto de no transferir potenciales peligrosos en la distribución interior del túnel. Se considerará la separación de las tierras de neutro de las de herrajes, siempre manteniendo los criterios de distancia mínima entre tierras independientes fijados en la ITC-18 del Reglamento de Baja Tensión por la fórmula:

$$\mathbf{D \geq (Id \times \rho) \div (2 \times \Pi \times U).}$$

D: distancia entre electrodos, en metros.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

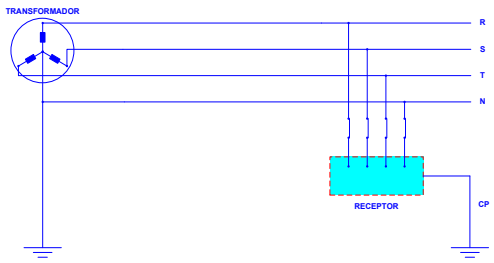
Id: intensidad de defecto a tierra, en amperios, para el lado de alta tensión, que será facilitado por la empresa eléctrica.

ρ: resistividad media del terreno en ohmios x metro.

U: 1200 V para sistemas de distribución TT, siempre que el tiempo de eliminación del defecto en la instalación de alta tensión sea menor o igual a 5 segundos y 250 V, en caso contrario. Para redes TN, U será inferior a dos veces la tensión de contacto máxima admisible de la instalación definida en el punto 1.1 de la MIE-RAT 13 del Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantía de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Trasformación.

Así mismo, para la elaboración del proyecto se estudiará, siempre desde el punto de vista de mayor fiabilidad y de facilidad en el mantenimiento de las instalaciones, cuál de las siguientes configuraciones se adaptará mejor en las instalaciones.

- Régimen TT: El esquema TT tiene un punto de alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están conectadas a una toma de tierra separada de la toma de tierra de la alimentación.



- Régimen TN: Los esquemas TN tienen un punto de la alimentación, generalmente el neutro o compensador, conectado directamente a tierra y las masas de la instalación receptora conectadas a dicho punto mediante conductores de protección. Se distinguen dos tipos de esquemas TN según la disposición relativa del conductor neutro y del conductor de protección:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Esquema TN-S: En el que el conductor neutro y el de protección son distintos en todo el esquema.
- Esquema TN-C: En el que las funciones de neutro y protección están combinados en un solo conductor en todo el esquema.

- Régimen IT: El esquema IT no tiene ningún punto de la alimentación conectado directamente a tierra. Las masas de la instalación receptora están puestas directamente a tierra.

Cada régimen tiene sus ventajas e inconvenientes que se pueden resumir en la siguiente tabla:

RÉGIMEN TT	
Funcionamiento	• Dispara ante un primer fallo de aislamiento.
Protección de personas	• Interconexión y puesta a tierra de las masas y uso obligatorio de interruptores diferenciales (como mínimo uno en cabecera de toda la instalación). • Todas las masas conectadas a una misma tierra deben ser protegidas por el mismo interruptor diferencial. • Todas las masas accesibles simultáneamente deben ser conectadas a la misma tierra.
Ventajas	• Es el sistema más sencillo de diseñar, implementar, monitorizar y usar. • No requiere una monitorización permanente durante su uso (solamente una prueba periódica de los interruptores diferenciales). • La presencia de los interruptores diferenciales previene el riesgo de incendio cuando la sensibilidad es igual o inferior a 500 mA (véase CEI 60364-4, sección 482.2.10). • Localización sencilla de las faltas. • Ante la aparición de un fallo de aislamiento, la intensidad de defecto es baja.
Inconvenientes	• Dispara ante un primer fallo de aislamiento. • El uso de un interruptor diferencial en cada circuito para obtener una selectividad total. • Se deben tomar medidas especiales para las cargas o partes de la instalación con elevadas intensidades de fuga durante su funcionamiento normal para evitar disparos intempestivos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	(alimentar las cargas mediante transformadores de aislamiento o utilizar interruptores diferenciales tarados a valores elevados, siempre compatibles con la resistencia a tierra de las masas expuestas, o dividir los circuitos de tal forma que las fugas por cada circuito sean menores). • Única configuración en la que circula intensidad por tierra. • Si empeora la resistencia de tierra (varía en función de la temperatura, humedad y composición del terreno) puede que la protección no actúe. • Problemas en la protección contra sobretensiones de la instalación receptora, debido a que la caída de un rayo producirá dos referencias de tensión diferentes en las puestas a tierra del neutro y de las masas, pudiendo dañar a los equipos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

RÉGIMEN TN	
Funcionamiento	• Dispara ante un primer fallo de aislamiento.
Protección de personas	• Interconexión y puesta a tierra obligatoria de las masas expuestas. • Disparo mediante el uso de interruptores automáticos o fusibles.
Ventajas	• Las intensidades de defecto sólo circulan por el conductor de protección. • El uso de interruptores automáticos o fusibles para la protección ante contactos indirectos evita los costes en material y espacio de los interruptores diferenciales, así como los posibles disparos intempestivos que se puedan producir por las corrientes de fuga en funcionamiento normal. • Al existir una única tierra se asegura mejor la equipotencialidad en los equipos y entre las masas. • Sólo se necesita diferencial para grandes longitudes, conexiones móviles o puntos de riesgo de rotura del conductor de protección. • TN-S: Es la única configuración recomendada por la norma UNE-EN 50310 referente a instalaciones con equipos de tecnologías de información, debido a ser la mejor en cuanto a compatibilidad electromagnética. • TN-C: Puede ser más barato de instalar (su única ventaja frente al TN-S).
Inconvenientes	• Dispara ante un primer fallo de aislamiento. • Necesita una impedancia baja. • Requiere que se ponga a tierra el conductor de protección de manera equidistante para que se mantenga al mismo potencial con respecto a tierra durante todo su recorrido. • Se debería comprobar mediante ensayo de campo durante la fase de implantación que se produce un disparo de la protección ante una falta de aislamiento. • Exige un mayor control: secciones de neutro, conductores de protección, ampliaciones,… • Cada modificación en los circuitos implica recalcular la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	impedancia de bucle. • TN-C: No se debe utilizar en canalizaciones móviles. • TN-C: No se puede cortar el neutro.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

RÉGIMEN IT	
Funcionamiento	• Monitorización permanente del aislamiento. • Avisa de un primer fallo de aislamiento. • Es obligatorio localizar la falta y despejarla. • Dispara si se producen dos faltas consecutivas.
Protección de personas	• Interconexión y puesta a tierra de las masas. • Monitorización de la primera falta mediante un medidor permanente de aislamiento. • Disparo cuando se produce la segunda falta mediante interruptores automáticos o fusibles.
Ventajas	• Es el sistema que ofrece la mayor continuidad de servicio. • Cuando se produce una falta de aislamiento, la corriente de falta es muy baja.
Inconvenientes	• Requiere que el personal de mantenimiento monitorice el sistema durante su funcionamiento. • Requiere un buen nivel de aislamiento de la red (lo cual implica que la red debe ser fragmentada si es de grandes dimensiones, y que las cargas con grandes intensidades de fuga deben ser suministradas a través de un transformador de aislamiento). • Se debe comprobar que se produce un disparo cuando ocurren dos faltas simultáneas y dicha comprobación debería ser realizada en la fase de diseño mediante cálculo y durante la puesta en servicio mediante medidas. • Se deben instalar limitadores de sobretensiones. • Se deben poner todas las masas expuestas a tierra equipotencialmente. Si esto no es posible, se deben instalar interruptores diferenciales. • Se debe procurar no distribuir el neutro debido a que: — Si se distribuye, una falta que afecte al neutro eliminará las ventajas de este sistema. — Si se distribuye, debe ser protegido. — El no distribuir el neutro facilita la elección de los

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	dispositivos de protección y la localización de faltas. • La localización de faltas en redes grandes es laboriosa. • Cuando se produce una falta de aislamiento, la tensión de las dos fases que no están en falta pasa a ser la tensión fase-fase. Los equipos deben ser por lo tanto elegido teniendo en cuenta este hecho.

En cada proyecto se definirá el sistema que se emplea.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.3 Sistema de alumbrado

En alumbrado, la previsión de cargas cumplirá con lo establecido en la instrucción ITC-BT-09. En el caso de puntos de luz equipados con lámparas o tubos de descarga, los circuitos de alimentación estarán previstos para transportar la carga debida a las propias lámparas, sus elementos asociados, así como sus corrientes armónicas y de arranque. Cuando se desconozcan estos datos, la carga mínima prevista, en voltiamperios, será de 1,8 veces la potencia en vatios de las lámparas.

Además de lo indicado en el párrafo anterior, el factor de potencia de cada punto de luz deberá corregirse hasta un valor mayor o igual a 0,90, tal y como se indica en el punto 8 de la ITC-BT-09.

Con el fin de conseguir ahorros energéticos y, siempre que sea posible, las instalaciones de alumbrado público se proyectarán con distintos niveles de iluminación, siempre cumpliendo con los niveles exigidos por la Instrucción Técnica III de Alumbrado, de forma que ésta decrezca durante las horas de menor necesidad de iluminación. La máxima caída de tensión admisible será un 3% de la tensión nominal de red en el caso de alimentación desde una red eléctrica de Compañía en baja tensión; en el caso de alimentación desde un Centro de Transformación propio con alimentación en alta tensión, la caída de tensión máxima admisible será de un 4,5% desde el secundario del transformador. Una vez realizados los cálculos eléctricos por caída de tensión, se comprobarán las acometidas por densidad de corriente, así como aquellos circuitos de la red de alimentación de los puntos de luz que se prevean sobrecargados.

De conformidad con lo estipulado en el apartado 5.2.1 de la instrucción ITC-BT-09 el conductor neutro tendrá la misma sección que los de fase. La sección mínima en redes subterráneas será de 6 mm^2 y en redes aéreas de 4 mm^2; así mismo, la sección mínima de alimentación a las luminarias en el interior de los soportes será de 2,5 mm^2, todo ello de acuerdo con la instrucción ITC-BT-09. Se utilizarán conductores aislados, de tensión nominal por lo menos igual a 0,6/1kV. Se podrán autorizar secciones menores para cables de interconexión entre la caja de derivación y la luminaria, previa justificación y aprobación explícita por parte de la Dirección del Contrato y el Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia (OITB).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En los circuitos eléctricos de alimentación a los puntos de luz y a efectos de protección de los conductores contra sobreintensidades y cortocircuitos, se instalarán en los cuadros eléctricos interruptores automáticos magnetotérmicos de las características adecuadas. Cuando exista disminución de sección en el circuito podrá obviarse la colocación de la protección reglamentaria, siempre y cuando el dispositivo instalado aguas arriba proteja el conductor de menor sección. En caso contrario, se instalarán fusibles calibrados en el cambio de sección del conductor, situados en la línea de menor sección en una caja con estanqueidad IP65 para exterior e IP54 e IK8 en interior, según UNE 60529 y UNE EN 62262 realizada de modo idéntico a las de derivación.

En la instalación interior se requerirá la colocación de estos dispositivos (fusibles) en los proyectores de refuerzo y/o alumbrado permanente (equipos de gran potencia), pudiéndose en el alumbrado cenital de guiado evitar estos fusibles siempre que el fallo de una luminaria no deje el túnel sin servicio (más de un circuito de alumbrado permanente, protecciones separadas por fase…). Estos equipos deberán colocarse en el alumbrado de evacuación cuando se utilicen luminarias independientes.

En alumbrado exterior de acuerdo con la instrucción ITC-BT-09, cada punto de luz estará dotado de dispositivos de protección contra cortocircuitos, para lo cual se instalará en el interior bornas de conexión, portafusibles y fusibles calibrados. Las cajas de protección de líneas eléctricas, dotadas de cortacircuitos, tendrán un aislamiento suficiente para soportar 2,5 veces la tensión de servicio.

En túneles en los que sólo exista alumbrado en boca y/o el alumbrado exterior no se alimente desde cuadros eléctricos situados en la sala eléctrica del túnel, se ejecutarán según lo indicado en la norma BAT de alumbrado de carreteras y las prácticas habituales para el resto de las instalaciones de alumbrado viario de DFB. (Centros de mando y medida en casetones de hormigón con el aparellaje sobre placa de montaje).

4.2.4 Fuerza y otros servicios

Los consumidores de fuerza en los túneles van a ser principalmente los sistemas de ventilación y los grupos de bombeo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se procurará la utilización de mangueras de cables para la alimentación de estos equipos, al menos hasta una sección de 70 mm² por fase. En caso de que se tiendan conductores unipolares se tendrá especial atención en el cumplimiento de la ITC-BT-07 del RBT, punto 2.1.6, para minimizar los desequilibrios de corriente en el cable.

En el caso de los tendidos de baja tensión para:

- Acoplamientos en BT de cuadros generales
- Acometidas a grupos electrógenos
- SAIs
- Cualquier otro consumidor

Se deberá respetar lo indicado en el párrafo anterior respecto a los tendidos de cableados.

4.3 Dimensionamiento de la alimentación eléctrica

La potencia consumida en un túnel correspondiente a las instalaciones en servicio normal varía en función de la densidad de tráfico y distintas horas del día.

Los principales consumidores son:

- Iluminación
- Ventilación
- Instalaciones de bombeo
- Instalaciones complementarias

Para la estimación de las potencias consumidas en ventilación e iluminación se distribuirá la potencia instalada en franjas horarias aplicándolas el consumo del régimen de funcionamiento. Para las instalaciones de bombeo se definirán unos regímenes básicos con una potencia asignada y un número de horas/año. Para las instalaciones complementarias se considerará una potencia permanente.

Con ello se establecerá un cuadro horario de demanda de las distintas potencias conjuntamente con la distribución por bloques horarios de los distintos tipos de discriminación horaria.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se ha de tener en cuenta, para el cálculo de la potencia máxima, la necesidad de que los sistemas en caso de emergencia puedan funcionar a plena potencia. Se considerarán el 100% del consumo simultáneo de la iluminación, de los ventiladores, grupos de presión y presurización de galerías, así como otras cargas simultáneas que se pudieran considerar necesarias en emergencia.

La potencia eléctrica consumida por la instalación de iluminación es función de los niveles de iluminación requeridos en el túnel según su clasificación.

Los niveles de iluminación estarán basados en criterios según las normas y criterios establecidos en la Instrucción Técnica III de Alumbrado.

4.4 Seguridad de suministro, Redundancia

El momento de corte en la alimentación eléctrica de la instalación de iluminación de un túnel es la situación más crítica, siendo necesario en dicho instante que el alumbrado de seguridad entre en servicio en el lapso de tiempo más breve posible, en la práctica menos de medio segundo desde el fallo en dicho suministro, y que los servicios de seguridad/emergencia del túnel queden también alimentados.

Para lograr que se garantice el correcto funcionamiento de los servicios esenciales instalados en el túnel, las posibles medidas a adoptar serán las siguientes:

- Redundancia de alimentaciones AT
- Redundancia de transformadores y equipos de BT
- Alimentaciones de socorro en BT
- Instalación de grupos electrógenos
- Instalación de sistemas de alimentación ininterrumpida (SAI)
- Trazado redundante de canalizaciones
- Segregación de circuitos

Para cada tipo de túnel se deberá tener en cuenta los mínimos indicados a continuación en lo referente a su alimentación eléctrica de forma que quede garantizado el suministro eléctrico a la instalación, y además que éste se realice de una forma continua (sin interrupción) y con una duración suficiente para aquellos sistemas que así lo requieran (sistemas de emergencia y otros).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

-**Túnel Tipo III.-**

Por regla general, la alimentación al túnel se realizará desde una única ubicación con lo que el aseguramiento en la alimentación eléctrica dependerá de la Cía. Eléctrica suministradora.

En el caso de que, en el túnel, por su singularidad, se haya considerado necesario que tenga servicios esenciales, se deberá asegurar la seguridad en la alimentación de los mismos, estudiándose en cada caso la instalación de medios que garanticen el correcto funcionamiento de los que hayan sido definidos, en el caso de una caída de la alimentación eléctrica.

Se podrá garantizar la alimentación eléctrica a los equipos que así lo requieran (si es necesario) por medio de la instalación de un grupo electrógeno y/o SAI.

El mantenimiento de la alimentación se podrá garantizar considerando la ITC-BT-28 en su punto 2 y que la alimentación a estos equipos constituye un suministro de “socorro”. Siendo de corte breve para los equipos relacionados con la seguridad de circulación y evacuación y de corte mediano para el resto.

-Túnel Tipo II.-

La alimentación eléctrica a los túneles de este tipo puede ser en A.T. o en B.T. En el caso de que el suministro eléctrico sea en AT, la acometida al CT del túnel será mediante una línea con doble circuito, preferiblemente.

Con el fin de garantizar la seguridad del suministro eléctrico se deberá instalar un sistema de respaldo, grupo electrógeno, que garantice la alimentación a los circuitos que lo requieran.

El SAI que alimente a los servicios de emergencia deberá estar alimentado de este grupo tal y como se indica en el punto 4.5.

El esquema definido para los túneles de tipo II será similar al definido en la figura 4.4.1.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

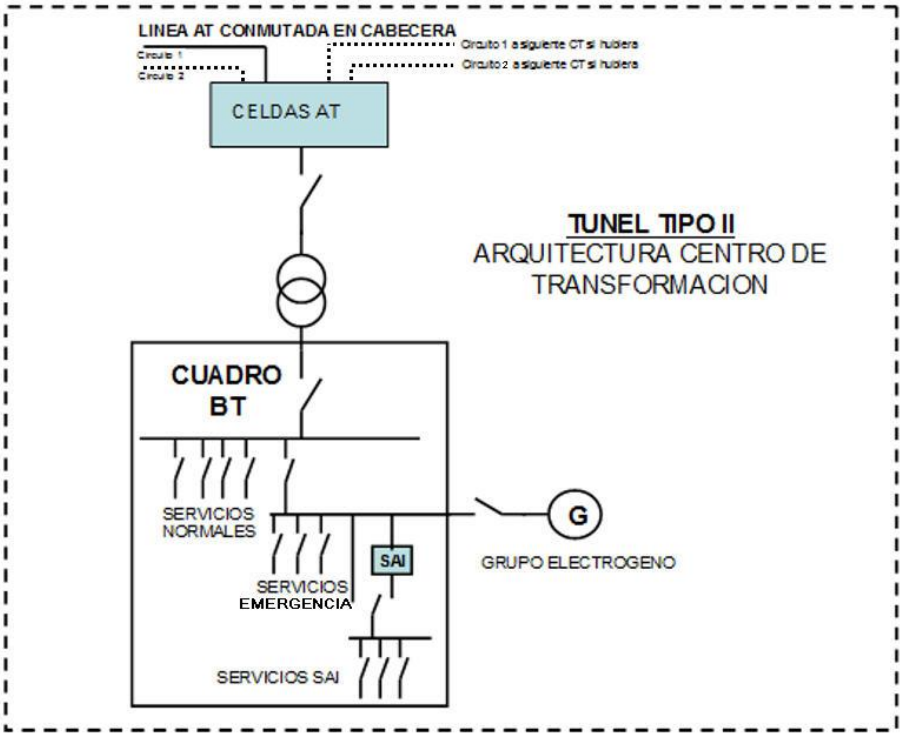


Figura nº 4.4.1

- <u>Túnel Tipo I.-</u>

Se dispondrá de dos alimentaciones basadas en dos líneas de AT, de doble circuito cada una de ellas si fuera posible, procedentes de dos Centros o Subestaciones diferentes, que alimentarán al/los centro/s de transformación del túnel. Se dispondrá de un grupo de: celdas, transformador y cuadro de BT, por línea de alimentación. Cada grupo será capaz de suministrar la alimentación al 100% de la instalación y en circunstancias operacionales normales trabajarán simultáneamente alimentando cada uno de ellos al 50% de la instalación (Figura nº 4.4.2).

En el caso de fallo de la alimentación eléctrica en una de las líneas de alta tensión, entrará en funcionamiento la característica de redundancia entre transformadores y cuadros de BT, desconectándose el cuadro afectado y transfiriendo todo el suministro eléctrico al otro por medio de una conmutación en baja tensión.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

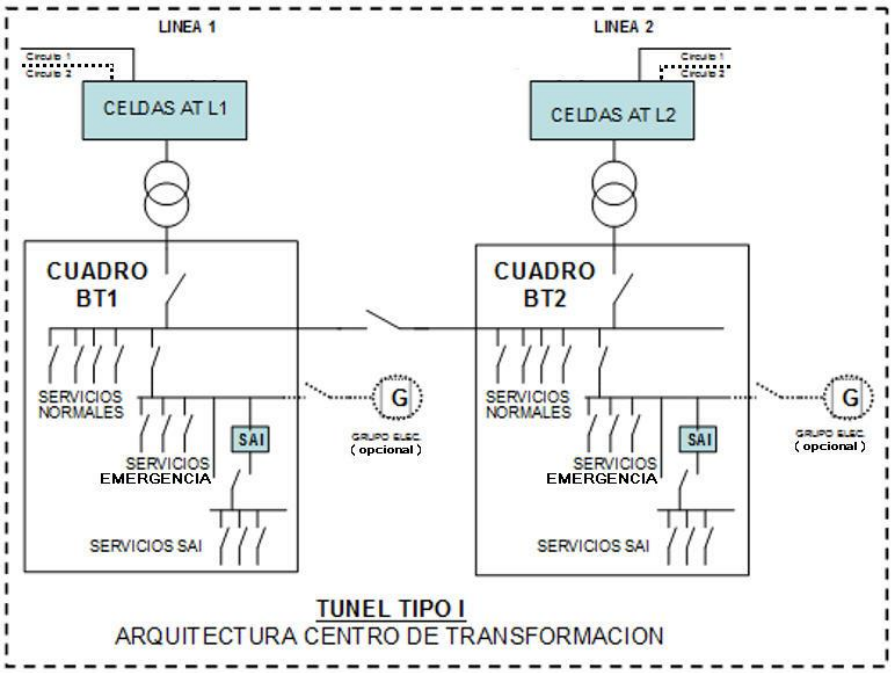


Figura nº 4.4.2

En el caso de existir más de un centro transformación dentro de la instalación del túnel se deberá distribuir la AT por estos centros estableciendo un sistema de anillo preferentemente. Si en la cabecera de la instalación, punto de entrega de compañía o en el centro de reparto de AT de la instalación existe la posibilidad de conmutar entre los circuitos de las líneas de suministro AT, se podrá llevar únicamente un cable de AT por línea, no siendo necesario distribuir los dos circuitos, si se dispusiera de ellos.

Si la instalación permite realizar una conmutación en AT, por medio de la gestión de las celdas de entrada y salida de AT, bien en cabecera o en el propio centro de transformación, de tal forma que un mismo transformador se pueda alimentar desde cualquiera de las dos líneas de AT, la exigencia de doble transformador y cuadro podrá ser obviada, siempre y cuando se disponga de grupo electrógeno.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

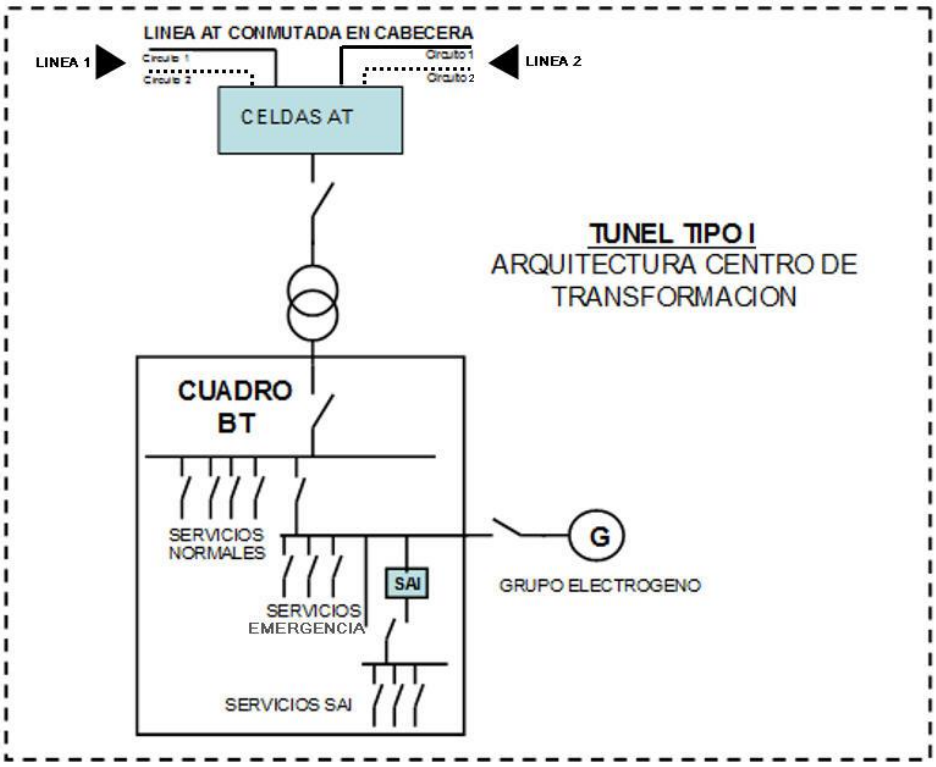


Figura nº 4.4.3

En el caso de que no fuera posible disponer de dos alimentaciones independientes, se adoptará una disposición equivalente a la indicada para túneles tipo II: acometida de línea de AT, en doble circuito si es posible, con el apoyo de un grupo electrógeno de respaldo para el funcionamiento de los servicios de emergencia.

OTRAS OPCIONES A CONSIDERAR

- Segregación de circuitos.- con dos suministros de energía eléctrica totalmente independientes. Al objeto de evitar problemas de conmutación o conexionado, resulta siempre deseable alimentar parte de la instalación de iluminación desde una fuente de energía y el resto desde otra.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Trazado redundante de canalizaciones.- Siempre que sea posible se independizarán los trazados de las canalizaciones de alimentación a aquellos servicios que presenten duplicidad o que puedan ser segregados para mantener operativo el 50% de los sistemas.
- Grupo electrógeno.- En el caso de que se instale un grupo electrógeno para garantizar la seguridad de la alimentación, se alimentaran de él los circuitos indicados en el punto 4.5 y tendrá las características mínimas que en dicho apartado se le exigen.
- Sistema de alimentación ininterrumpida (SAI).- Los servicios indicados más adelante (punto 4.6) dispondrán de un SAI con una autonomía de una hora, incluso al final de la vida útil estimada de las baterías, de forma que las baterías del SAI aseguren la alimentación eléctrica durante el tiempo que necesite el generador para arrancar u operaciones de conmutación de líneas o transformadores y dar la potencia necesaria a los servicios que se hayan considerado de emergencia durante este periodo.

En todo caso, se considera esencial que las dos líneas suministradoras sigan trazados distintos. Una vez tendido el cable las arquetas serán selladas mediante protección pasiva.

La elección entre las distintas alternativas expuestas dependerá de las condiciones locales donde se encuentra el túnel.

4.5 Alimentación segura de potencia (Grupo electrógeno)

En túneles dotados de ventilación, el sistema de alimentación deberá ser mantenido en caso de falta de alimentación normal, a través de una doble alimentación con suministro de distinta fuente, diferente subestación o grupo electrógeno con autonomía mínima de cuatro (4) horas, en el caso de grupo electrógeno y de forma permanente con dos alimentaciones.

Esta fuente deberá cubrir el SAI y los servicios que éste alimente, parte del sistema de ventilación, el alumbrado exterior según se define en la Instrucción Técnica III de Alumbrado, parte del alumbrado interior diurno, y el grupo de bombeo de reserva (en caso de no disponer éste de un sistema diésel autónomo de reserva).

En lo referente al sistema de ventilación, la elección del número y disposición de ventiladores a alimentar por el grupo se deberá justificar mediante un estudio de control de humos, según

cve: BOB-2025a082-(I-327)

indicaciones de la Instrucción Técnica IV de Ventilación, en el que se contemplen los diferentes escenarios de incendio posibles en el túnel.

En el caso de no disponer de ningún estudio, se considerará lo siguiente:

- Túneles bitubo se deberá cubrir la alimentación de al menos el 50% del sistema de ventilación global del túnel (entre ambos tubos).
- Túneles monotubo se deberá cubrir la alimentación de, como mínimo, la mitad de los ventiladores.

En ambos casos, se recomienda que sea posible arrancar cualquier ventilador de los instalados, hasta llegar al tanto por ciento de equipos indicados.

Deberá asegurar el suministro a plena potencia de los equipos de ventilación de las galerías de evacuación y salidas de emergencia.

Deberá asegurar igualmente el suministro de potencia de las tomas de fuerza de los nichos de seguridad (2,5 kVA – 1P+T+N monofásica, 12 kVA – 3P+T+N trifásica), considerándose al menos la mitad en el dimensionamiento del grupo electrógeno.

4.6 Alimentación Ininterrumpida (SAI)

El SAI se dimensionará para dar alimentación a todos los equipos de seguridad con una autonomía de una hora, para instalaciones tales como:

- Alumbrado emergencia, evacuación y galerías de evacuación
- Alumbrado sistema contraincendios
- Alumbrado Centros de Transformación
- Señalética de seguridad
- Sensores de polución y anemómetros
- Sistemas de adquisición y tratamiento local de datos y transmisión de la información
- Alimentación de equipos de comunicaciones, nichos y postes SOS
- Equipos de mando desde la sala de control

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Equipos de control y gestión de tráfico
- Dispositivos de señalización de tráfico (semáforos)
- CCTV, y detección automática de incidentes (DAI)
- Detección y extinción automática de incendios
- Megafonía
- Equipos de transmisión y radiocomunicación
- Barreras de cierre de túnel y neutralización de vía
- Y los diferentes equipos que, aunque no estén definidos, intervengan en la seguridad de las personas

Para garantizar la vida de las baterías asociadas a los equipos SAI, se requiere mantener unas condiciones de temperatura y humedad establecidas dentro de unos límites recomendados por el fabricante de baterías, por lo que la ubicación de las mismas se realizará en un local dotado de aire acondicionado.

Los SAI estarán dotados de un by-pass que actúe en automático si detecta un fallo en su propio funcionamiento y otro manual que permita la retirada del equipo, en el caso de una actuación de mantenimiento, manteniendo la alimentación normal a las cargas. Asimismo, siempre que sea posible, se alimentará desde una doble acometida.

El SAI deberá estar dimensionado para alimentar el 100% de su carga, con coeficiente de simultaneidad 1, incluyendo los picos de arranque de los equipos que alimenta.

Se priorizará que el equipo sea modular, permitiendo asumir ampliaciones de potencia sin que ello implique la sustitución del equipo. Estará también dotado de by-passes estático y manual de mantenimiento (externo).

4.7 Materiales y requisitos de instalación

Los cables de Media Tensión para alimentación a los centros de transformación y anillos entre centros, los de Baja tensión, para fuerza, control y seguridad serán del tipo indicado en la siguiente tabla:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	CABLES DE POTENCIA				CABLES DE COMUNICACIONES Y CONTROL	
SERVICIO	Cables 18/30 kV	Cables 12/20 kV	Normal	Emergencia/ventilación		
Denominación	DHZ1/HEPRZ1-H35	DHZ1/HEPRZ1-H16	AS 0,6/1 kV	AS+ 0,6/1 kV	F.O. LSZH	CCTV,Telefonía, Megafonía, Instrumentación y Control, etc. LSZH
Conductor	Aluminio / Cobre	Aluminio / Cobre	Cobre	Cobre	Fibra óptica	Cobre
Antirroedores				SI	SI	SI
COMPORTAMIENTO ANTE FUEGO						
Clase de reacción mínima C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE-EN 50575			SI	SI	SI	SI
Resistente al fuego s/UNE-EN 50200				SI		
Resistente al fuego s/IEC 60331					SI*	SI*

Los tipos de cables indicados en la presente tabla han de considerarse como una referencia de diseño. Durante la fase de redacción del proyecto el proyectista podrá plantear soluciones alternativas justificando la idoneidad de las mismas. Dichas propuestas serán evaluadas por la Dirección del Contrato y el OITB, quienes determinarán su conveniencia y posible utilización.

La sección de las pantallas (H) de los cables de alta tensión se definirá y calculará en cada proyecto en función de la intensidad de falta a tierra dada por la Compañía eléctrica, debiéndose entender la indicada en la tabla superior como mínima.

El nivel de aislamiento mínimo para los cables de baja tensión de energía será de 0,6/1 kV. Como norma general, todos los materiales estarán adaptados a las características del servicio que deban cubrir; así los materiales empleados en los circuitos eléctricos de emergencia, realizados con cables 842ºC 90 minutos, serán tales que no rebajen las cualidades de resistencia del cable frente al incendio, lo cual debe tenerse en cuenta especialmente en el caso de conexiones y/o cajas de derivación.

Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Pág. 105

cve: BOB-2025a082-(I-327)

(*) Como criterio general, el cable de comunicaciones o control a un equipo alimentado mediante cable resistente al fuego presentará también características de resistencia al fuego.

Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Pág. 106

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los cables relacionados con la seguridad e instalados dentro del túnel se tenderán preferentemente en canalización enterrada, quedando así protegidos mecánicamente y ante el fuego. Si éstos se tendiesen sobre bandejas en la clave del túnel o en los hastiales, estas canalizaciones estarán situadas fuera del galibo de la vía, para evitar colisiones con los vehículos. Además, en los entronques con canalizaciones enterradas estarán protegidas mecánicamente frente a choques en los 5 primeros metros desde el suelo. Esta protección se cuidará especialmente en el caso de las canalizaciones para los ventiladores en los que el último tramo de salida desde los 5 metros hasta los ventiladores estará protegida, pudiéndose realizar con tubo tipo “conduit” de pared gruesa.

El paso entre paredes se realizará a través de paneles de sellado que llevarán un revestimiento resistente al fuego, impermeable al agua y al aceite. Los cables deberán quedar sellados con este revestimiento a ambos lados de la penetración. Este sistema de sellado será aplicable también a la entrada de cables a cuadros o equipos eléctricos.

Los circuitos de alimentación del alumbrado de emergencia estarán alimentados por cable resistente al incendio.

Otro método para cubrir estos requisitos consiste en realizar la distribución de alimentaciones de fuerza y alumbrado mediante el principio de acantonamientos. La longitud de los cantones no excederá de 600 m.

La iluminación de balizamiento (guiado de evacuación) se realizará según este principio con longitudes de cantón no superiores a 350 m si los equipos que realizan este alumbrado no poseen alimentación autónoma (baterías).

Las bornas de conexión serán de material termoestable, resistente al calor, a la humedad y a los hongos, con la parte conductora de latón, cobre niquelado o estañado o similar.

Tendrán dispositivos de numeración protegidos contra la suciedad.

Las bornas se elegirán con una capacidad mínima del doble de la del cable que se conecta.

Las cajas de derivación deberán tener las mismas características de resistencia al fuego que se exige al circuito al que pertenecen.

Se deberá evitar el recorrido de bandejas por la zona cenital, es preferible su fijación en los hastiales excepto para la conducción de los cables de los circuitos del alumbrado cenital si lo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

hubiera. Las bandejas estarán dotadas de separadores para independizar los cables en función del tipo de señal a transmitir separándose los de fuerza de los de instrumentación.

Los cables de comunicaciones si no están aislados para la tensión más alta presente deberán ir entubados en las mismas bandejas o en una separada.

4.8 Sistema de identificación de cables y equipos eléctricos

4.8.1 Identificación de cuadros

Todos los cuadros dispondrán de una placa de formica de fondo blanco y con la identificación del cuadro en letras negras, localizada en la zona superior central del cuadro.

4.8.2 Identificación de los aparatos instalados

Todos los aparatos instalados en los cuadros (instrumentos, dispositivos de accionamiento, etc.), estarán identificados por medio de placas de aluminio o de otro material similar. El fondo será blanco y las letras y números de identificación estarán grabados en color negro.

Esta identificación será doble, una por la parte interior de los cuadros y fijada a los aparatos, dispositivos etc., de forma que facilite la realización del cableado y posibilite las comprobaciones necesarias una vez puesta en marcha la instalación y otra por la parte frontal en la que además de la identificación del aparato, se indique su identificación funcional (nombre del circuito de procedencia y nombre del circuito que alimenta).

Se requerirá un procedimiento que explique la nomenclatura definida para la identificación de los elementos integrantes de la instalación (cuadros, cabinas, componentes etc)

Las placas se fijarán por medios adecuados que permitan su desmontaje sin dañar el cuadro.

Para la designación de los diversos elementos que figuran en los esquemas de proyecto y su identificación en los cuadros construidos de baja tensión tomaremos como referencia las normas DIN 40719 o UNE-EN IEC 81346-2 “Sistemas industriales, instalaciones y equipos y productos industriales. Principios de estructuración y designaciones de referencia Parte 2: Clasificación de objetos y códigos para las clases.”, empleada por la mayoría de cuadristas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.8.2.1 Indicativos para las designaciones de clases de elementos de servicio según DIN 40719 hoja 2

Indicativo	Clase de elemento de servicio	Ejemplos
A	Grupos constructivos, partes de Grupos constructivos	Amplificadores, amplificadores magnéticos, láser, máser, combinaciones de aparatos
B	Convertidores de magnitudes no eléctricas a magnitudes eléctricas y al contrario	Convertidores de medida, sondas termoeléctricas, termocélulas, células fotoeléctricas, dinamómetros, cristales de cuarzo, micrófonos, pic-up, altavoces, aparatos de campo giratorio, posicionadores angulares
C	Condensadores	
D	Dispositivos de retardo, dispositivos de memoria, elementos binarios	Conductores de retardo, elementos de enlace, elementos biestables, elementos monoestables, memorias de núcleos, registradores, memorias de discos, aparatos de cintas magnéticas
E	Diversos	Instalaciones de alumbrado, instalaciones de calefacción; instalaciones que no están indicadas en otro lugar de este cuadro
F	Dispositivos de protección	Fusibles, descargador de sobretensión, barreras, fusibles de ruptura, relés de protección, disparador.
G	Generadores de alimentación	Generadores rotativos, transformadores de frecuencia rotativa, baterías, equipos de alimentación, osciladores, regulador de fases.
H	Equipos de señalización	Aparatos de señalización ópticos y acústicos
J	--	--
K	Relés, contactores	Contactores de potencia, contactores auxiliares, relés auxiliares, relés intermitentes, relés de tiempo
L	Inductividad	Bobinas de alisado
M	Motores	
N	--	--
P	Aparatos de medida, equipos de pruebas	Equipos de medida indicadores, registradores y contadores, emisores de impulso, relojes
Q	Aparatos de maniobra de corriente fuerte	Interruptores de potencia, seccionadores, interruptor de protección, interruptores de protección de motor, interruptores automáticos, interruptores fusibles bajo carga.
R	Resistencias	Resistencias de ajuste, potenciómetros, reostatos, shunts, resistencias en derivación, termistores.
S	Interruptores, selectores	Pulsadores finales de carrera, interruptores de mando, conmutador-selector, selectores rotativos, adaptadores selectores, emisores de señales.
T	Transformadores	Transformadores de tensión, transformadores de intensidad, transmisores.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

U	Moduladores, convertidores	Discriminadores, convertidores de frecuencia, demoduladores convertidores de frecuencia estático, equipos de codificación convertidores inversores, variadores, onduladores.
V	Válvulas, semiconductores	Válvulas de vacío, válvulas de descarga en gases, diodos, transistores, tiristores
W	Vías de conducción, guioandas	Hilos de conexión, cables, bornas de distribución, guioandas, acoplamientos dirigidos por guioandas, dipolos, antenas parabólicas.
X	Bornas, clavijas, cajas	Clavijas y cajas de enchufe, clavijas de pruebas, regletas de bornas, regletas de soldadura
Y	Equipos eléctricos accionados mecánicamente	Frenos, embragues, válvulas, clapetas, acoplamientos
Z	Obturadores, equipos de compensación, filtros, limitadores	Líneas ficticias de cables, reguladores dinámicos, filtros de cristal

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.8.3 Identificación de cableado interior de los cuadros

Todos los cables de interconexión entre elementos de cuadro (aparellaje, elementos de señalización, instrumentos, dispositivos de accionamiento, etc.) irán identificados en ambos extremos con elementos de señalización flexibles y con grabado indeleble y legible, con manguito termorretráctil, ferrules serigrafiados o grabados indelebles u otro sistema equivalente en calidad y prestaciones.

El sistema a utilizar para la identificación se podrá realizar de las dos formas que se indican

Sistema 1

Cada extremo del cable llevará doble identificación:

Primera identificación: la de la borna del elemento a la cual está asociado

Segunda identificación: la de la borna del elemento correspondiente al otro extremo.

Esta identificación se realizará de forma indeleble y legible y se marcará la característica del circuito eléctrico según el criterio de la Tabla 4.8.3-1 Criterio de identificación por colores.

Sistema 2

Cada cable de control estará identificado por una referencia unívoca en los planos (Nº de cable).

En cada extremo del cable se marcará con dicha referencia.

En caso de cables que realicen puentes y/o conecten más de un equipo y se puedan considerar eléctricamente comunes se marcara con el mismo número siempre y cuando estén físicamente unidos en el cuadro (mecánica y eléctricamente unidos).

Esta identificación se realizará de forma indeleble y legible, marcándose la característica del circuito eléctrico según criterio de la Tabla 4.8.3-1 Criterio de identificación por colores.

Circuito		Color
Corriente continua:	Positivo directo	Rojo
Corriente continua:	Negativo directo	Azul

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Corriente continua:	Positivo/negativo indirectos	Verde
Corriente continua:	Salida convertidores	Amarillo
Corriente alterna:	Tensiones	Negro
Corriente alterna:	Intensidades	Blanco

Tabla 4.8.3-1 Criterio de identificación por colores

4.8.4 Proyecto del cableado interno de los cuadros y disposiciones de elementos

El proyecto de este cableado será realizado por el fabricante de los cuadros o suministrador de los equipos.

Los planos a entregar con cada equipo serán:

- Portada de plano donde se indique el cuadro de que se trata.
- Índice de planos en el que figure su número, título de cada plano y revisión en el que se encuentra.
- Esquemas unifilares.
- Esquemas trifilares y del control en función del aparellaje y relés utilizados.
- Disposición física de aparatos, con indicación de números funcionales, marca, tipo y características de fabricación y denominaciones para cableado.
- Borneros de fuerza con su identificación.
- Borneros de control con su identificación
- Listas de cables con referencia de las bornas de los cuadros a los que se conectan y referencia de los equipos a los que alimentan.
- Hojas de cableado del interior de los cuadros, con sistemas de cableado de doble entrada que requiere la identificación cruzada de origen y destino en ambos extremos del cable, sección de cable y color de identificación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Al menos una copia de toda la documentación arriba referida deberá estar disponible y actualizada en el local en el que esté instalado el cuadro al que hace referencia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL

La energía debe estar disponible en todo el viario, asegurando su disponibilidad continua en todos los puntos en que sea necesaria y en el momento en que sea preciso. Para hacer seguro el suministro de energía, éste está diseñado con una fuente principal de energía, una fuente redundante y un sistema de conmutación que hace seguro el relevo de una fuente por otra, en caso de fallo en el suministro de la primera. Además, un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) proporciona energía estabilizada en tensión y frecuencia y asegura el funcionamiento de los equipos de mayor responsabilidad en el momento de la conmutación, que puede llevar algunos minutos, y en caso de eventual fallo de las dos fuentes.

Este nivel de disponibilidad de la energía solo se puede conseguir mediante una adecuada integración de los elementos de campo en el sistema de control del túnel, para que este último monitorice las instalaciones de energía, asegurando de esa forma una información al operador en tiempo real de las causas de una eventual avería.

El sistema de energía de un Túnel de Tipo I o II deberá estar integrado en una aplicación de gestión centralizada (SCADA). En fase de proyecto se deberán considerar como mínimo las siguientes señales de los equipos de energía a integrar en el Centro de Control:

- Estados y alarmas de los equipos de conmutación de líneas en Alta Tensión.
- Automáticos generales en los cuadros Generales de Baja Tensión.
- Magnetotérmicos y diferenciales de cada cuadro.
- Estación de medida con conexión bajo protocolos TCP/IP:
    - entradas de la red.
    - grupo electrógeno/fuente redundante
    - SAI.
- Alarmas del transformador:
    - Temperatura
- Estados y alarmas del grupo electrógeno/fuente de alimentación:
    - Estado en marcha
    - Alarma aceite
    - Alarma gasóleo
    - Alarma temperatura

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Estados y alarmas del SAI:
  - Alarma parada inminente.
  - Alarma sobrecarga.
  - Funcionamiento en red.
  - Funcionamiento en batería.
  - Funcionamiento en by pass manual.
  - Medida de la carga de las baterías.
- Alarma de conmutación red, grupo, SAI. El SAI dispondrá de comunicación vía protocolo de la familia TCP/IP.

Sin embargo, en fase de Obra, la Dirección de Obra, por decisión propia o sugerencia del Gestor/a del Túnel en fase de explotación y Gestor/a Delegado/a del túnel (explotadora), podrán solicitar la inclusión de las señales que consideren necesarias para la correcta explotación del sistema.

En cualquier caso, estas señales deberán emplear el bus de comunicaciones bajo el cual se ha diseñado la red de control del túnel (recogido en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control). Por tanto, se deberá instalar toda pasarela o conversor necesario para que la integración sea lo más eficiente posible, en coordinación con el responsable del diseño y ejecución del sistema de comunicaciones de dicha Instrucción Técnica.

Cabe destacar que, en el SCADA, todas estas señales estarán reflejadas a dos niveles diferentes, sean de mantenimiento o de alarma. Por tanto, el sistema de Energía debe identificar claramente a qué tipo corresponden, con el objetivo de realizar una integración eficiente y no saturar al operador con alarmas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 PUESTA EN MARCHA

El contratista responsable de la instalación del Sistema de energía eléctrica en un túnel de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, según el presente Decreto Foral, deberá presentar a la Dirección de Obra un plan de pruebas de los equipos. El plan de pruebas de los equipos estará formado por Programas de Puntos de Inspección (PPIs), y las pruebas estarán repartidas en el tiempo y con los alcances mínimos que se indican a continuación.

El plan de pruebas debe contemplar como mínimo las pruebas establecidas en las ITs.

6.1 Pruebas

La Dirección de Obra revisará el plan de pruebas presentado y podrá solicitar al contratista la inclusión de las pruebas adicionales que considere oportunas bien por iniciativa propia o por sugerencia del OITB, para dar su aprobación al plan de pruebas de los equipos. El OITB auditará la conformidad de la ejecución de ese plan de pruebas.

6.1.1 Pruebas por niveles

Se describen a continuación los diferentes momentos de la obra en los que se requiere la realización de pruebas.

- Nivel 0. Definición de PPIs a realizar en las pruebas de fábrica (FAT).
- Nivel 1. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta instalación de los equipos en la obra.
- Nivel 2. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos a nivel local (Centro de transformación, local técnico de Baja tensión, etc.)
- Nivel 3. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos en el Centro de Control.

6.1.2 Pruebas a equipos

Se hace a continuación una breve descripción de los alcances mínimos de las pruebas que tendrán que ser llevadas a cabo sobre determinados equipos, una vez puestos en obra.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.2.1 Cuadros de control de motores

Sobre cada CCM se realizarán las siguientes pruebas:

- Pruebas de funcionamiento ON/OFF en Local y en Remoto en cada arrancador de CCM (puenteando bornas de control si fuera necesario) para cada Ventilador. Se tomarán medidas de tensión, corriente y consumos en el cuadro
- Verificación del arranque de todos los ventiladores de un CCM en el caso más desfavorable (funcionamiento de todos los ventiladores desde un transformador, grupo, etc.). Se tomarán medidas de tensión, corriente y consumos en el cuadro
- Operación en ambos sentidos de rotación del motor del ventilador
- Arranque del motor según el sentido correcto de giro
- Determinar las condiciones del proceso de inversión, determinándose la intensidad eléctrica consumida y el tiempo de inversión del ventilador

6.1.2.2 Cuadros secundarios de fuerza en SOS y estaciones de bombeo:

Se tomarán medidas de tensión en todas las alimentaciones a cuadros secundarios de postes SOS, enchufes y bombeos.

6.1.2.3 Cuadros de alumbrado

Se realizarán pruebas de funcionamiento ON/OFF en Local y en Remoto en cada Cuadro General de BT de Alumbrado y Fuerza (puenteando bornas de control si fuera necesario) de todos los circuitos de alumbrado, verificando encendido de todas las luminarias.

6.1.2.4 Conmutación entre diferentes fuentes de alimentación

Se realizarán pruebas de conmutación entre todos los diferentes sistemas de alimentación previstos en la instalación. Verificando su adecuada entrada en servicio tras el fallo de la alimentación principal.

6.2 Documentación final de obra

El contratista deberá entregar al gestor/a del túnel los siguientes documentos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Resultados de las pruebas debidamente completadas.
- Manuales de Operaciones/instrucciones y Mantenimiento que contendrá los procedimientos para la operación y mantenimiento del equipo.
- En caso de disponer de algún tipo de software asociado al equipo, éste deberá adjuntarse junto con las licencias correspondientes.
- Proyecto “as built” que incluirán los elementos con la relación de las unidades y equipos empleados. Así como los planos “as built”.
- Certificados, declaraciones de conformidad y fichas técnicas de la instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 MANTENIMIENTO

Independientemente de las labores de mantenimiento específicas de la instalación de alumbrado se deben contemplar los fallos eléctricos cuyas causas más frecuentes hay que encontrarlas en el envejecimiento de los conductores y redes eléctricas, en la oxidación y aflojamiento de los contactos eléctricos, defectos en los dispositivos y sistemas de puesta a tierra, a las roturas de conductores debidas a trabajos, deslizamientos de terreno, etc.

La peculiar implantación de este tipo de instalaciones a la intemperie, el riesgo que implica que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la función importante que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

Por tanto, al objeto de evitar la degradación de las instalaciones eléctricas en el transcurso del tiempo, se realizará un adecuado doble mantenimiento, el denominado preventivo que establecerá una programación en el tiempo consistente en efectuar sobre las instalaciones un cierto número de intervenciones sistemáticas, y el mantenimiento correctivo, que comprenderá una serie de operaciones necesarias para reponer las instalaciones averiadas o que han sufrido deterioro a un correcto estado de funcionamiento. Cuando se lleve a cabo correctamente y de forma regular el mantenimiento preventivo, las operaciones de mantenimiento correctivo serán menos importantes y frecuentes.

Los trabajos de mantenimiento preventivo comprenderán los siguientes:

- Verificación, conservación y limpieza de armarios.
- Verificación de funcionamiento local/remoto
- Verificación y comprobación de automatismos
- Verificación y conservación de las canalizaciones eléctricas.
- Medida de aislamiento eléctrico de líneas de Alta y Baja Tensión
- Medida de redes de tierras en centros de transformación y centros de reparto a instalaciones de Baja Tensión (todos los años).
- Medida de tensiones de paso, contacto y transferidas, a realizar antes de la puesta en marcha y al menos cada tres años.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.1 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo comprenderá la siguiente programación con la periodicidad en las operaciones que se indican:

1. Sistema de Alta tensión

– Revisiones mínimas según se indica en el RAT.

– Medición de tierras de neutro, herrajes y BT anual.

2. Sistema de B.T.

– Revisiones mínimas según se indica en el RBT.

3. Cuadros de Baja tensión general y secundarios, Centros de Mando y Medida

– Revisión del armario 1 vez al año.

– Verificación de protecciones (interruptores y fusibles) 1 vez al año.

– Comprobación de la puesta a tierra 1 vez al año.

– Control dispositivo encendido /apagado instalación una vez cada 6 meses.

4. Instalación Eléctrica

– Registro de tensión de alimentación una vez cada 6 meses, durante 24 horas.

– Registro del factor de potencia una vez cada 6 meses, durante 24 horas.

– Revisión de las tomas de tierra 1 vez al año.

– Verificación de la continuidad de la línea de enlace con tierra 1 vez al año.

– Control del sistema global de puesta a tierra de la instalación 1 vez al año.

– Verificaciones de las conexiones de potencia y control.

– Comprobación del aislamiento de los conductores 1 vez al año.

– Limpieza cada seis meses.

Sin perjuicio de las acciones establecidas en la programación del mantenimiento preventivo, periódicamente, y como mínimo anualmente, se medirán las tensiones de suministro, intensidades, factor de potencia, etc. dejando registro histórico de las mismas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se deberá tener en cuenta para planificar el mantenimiento preventivo las exigencias de RD 1890/2008, artículo 12, sobre eficiencia energética y planificar este mantenimiento en conjunto con las mediciones de iluminación previstas por este decreto, para realizarlas en similares condiciones y poder contrastar las medidas con las realizadas en diferentes años.

Tal y como indica el Reglamento de Eficiencia Energética se deberá dejar registro de los trabajos de mantenimiento y sus resultados a fin de tener una trazabilidad de los problemas, seguimiento del mantenimiento y/o identificar posibles averías recurrentes.

7.2 Mantenimiento correctivo

Comprenderá las operaciones necesarias para la detección y reparación de las averías en las instalaciones eléctricas, y sus objetivos serán la rapidez en la detección y actuación a un coste bajo, con una buena calidad en la reparación que mejore la seguridad de este tipo de instalaciones, pudiendo implantarse sistemas de gestión centralizada. La reparación incluirá además de la sustitución o arreglo de los elementos averiados, la comprobación de la eliminación de las causas de la avería, evitando su repetición.

7.3 Criterios de eficiencia energética

Los criterios de eficiencia energética se han de ajustar a lo indicado en el RD 1890/2008 sobre eficiencia energética en instalaciones de alumbrado público y como carácter general los siguientes:

- Los niveles de iluminación serán los establecidos para las vías de tráfico rodado de alta velocidad correspondientes a situaciones de proyecto y se evitará superar los mismos.
- Deberán utilizarse, dentro de los límites de rendimiento de color, vida media, etc., los tipos de luminarias de mayor eficacia luminosa
- El diseño de la instalación de alumbrado público y el rendimiento de las luminarias permitirán el óptimo aprovechamiento del flujo luminoso emitido, para ello se tomará base los cálculos de proyecto y los dossiers de mediciones a realizar antes de la puesta en marcha, que se compararán con mediciones a realizar cuando menos una vez al año. Estas mediciones anuales marcarán las necesidades de la instalación en cuanto a limpieza de vidrios, cierre, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Se preverán los sistemas de regulación del nivel de iluminación que puedan ser convenientes a la economía de consumo.
- Cuando sea posible, sería recomendable la construcción de los pavimentos de las calzadas que permitan un elevado coeficiente de luminancia medio o grado de luminosidad Qo y un factor especular S1 bajo y, por tanto, un porcentaje de ahorro energético.
- Se limitarán las pérdidas propias de la instalación, especialmente las debidas al efecto Joule en líneas de alimentación y los consumos por sobretensión de suministro.
- La calidad y adecuación de los componentes de la instalación evitarán disfuncionalidades que puedan repercutir en incrementos de consumo.
- Se vigilará mes a mes la factura eléctrica controlando la eficaz actuación de los sistemas de gestión en función de días soleados, nublados, crepúsculo o nocturno y la regulación del flujo en el alumbrado nocturno.
- La distribución espacial de líneas y dispositivos de maniobra facilitarán la exclusión de zonas donde el alumbrado no sea necesario temporalmente.
- Los sistemas de gestión deberán evitar la prolongación innecesaria de los períodos de funcionamiento de las instalaciones.
- Los dispositivos de control de potencia y medición de energía serán los adecuados a las características de la instalación y a la modalidad de contratación prevista.
- Se evitará el consumo de energía reactiva.
- Deberá seleccionarse la tarifa de contratación más adecuada a cada instalación y controlar mes a mes la idoneidad de la factura eléctrica.

Además de lo indicado anteriormente se deberá cumplir con el RD 1890/2008 Reglamento de Eficiencia Energética en el artículo 12.

Desde el instante inicial, se considerarán y programarán la conservación y mantenimiento de las instalaciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO 1: Líneas de distribución

CIRCUITOS ELECTRICOS Y DE CONTROL			TIPO CABLE			ALIMENTACION		
			C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 y PH90 s/UNE EN 50200 (AS+)	C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 (AS)	E_{ca} s/UNE EN 50575 RVK / Bupreno	NORMAL	GRUPO	SAI
CABLEADOS DE FUERZA E ILUMINACION								
	ELECTRICIDAD							
		Acometida Caja Protección a cuadro Acometida en BT (en caso de inst. interior)	x					
		Acometida Caja Protección a cuadro Acometida en BT (en caso de inst. exterior)			x			
		Acometida Trafo cuadro CGBT (suministro en AT)	x					
		Acometida Grupo cuadro CGBT	x					
		Acometida SAI (Entrada Salida)	x					
		Acometidas a subcuadros que tengan servicios de emergencia y/o esenciales	x					
		Acometidas a subcuadros sin servicios de emergencia y/o esenciales		x				
	ALUMBRADO							
		Acometidas y líneas alumbrado refuerzo (nublado, soleado) (ver nota 1)		x		x	x	
		Acometidas y líneas alumbrado permanente		x		x		
		Acometidas y líneas alumbrado emergencia	x					x
		Acometidas y líneas alumbrado evacuación (no autónomas)	x					x

BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
Pág. 123

ANEXO 1: Líneas de distribución

CIRCUITOS ELECTRICOS Y DE CONTROL			TIPO CABLE			ALIMENTACION		
			C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 y PH90 s/UNE EN 50200 (AS+)	C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 (AS)	E_{ca} s/UNE EN 50575 RVK / Bupreno	NORMAL	GRUPO	SAI
		Acometidas y líneas alumbrado evacuación (autónomas)		x		X		
		Acometidas a líneas de elementos de señalización evacuación (Hilo ariadna, paneles fotoluminiscentes, indicadores , refuerzos alumbrado en las entradas de las galerías de evacuación…)	x					x
		Acometidas a alumbrado exterior en bocas (en caso de recorrido por el interior del túnel)		x			x	
		Acometidas a alumbrado exterior en bocas (en caso de recorrido exterior del túnel)			x		x	
		Alumbrado de las galerías de evacuación	x					x
		Alumbrado permanente (ver nota 2)	x	x		x		x
	VENTILACION							
		Acometidas a ventiladores control de humos (ver nota 3)	x			x	x	
		Acometidas a ventiladores presurización de galerías	x				x	
		Acometidas a motores de actuadores de trampillas, rejillas, sistema de control del sistema de presurización, etc.	x					x
		Alimentación a detectores (opacímetros, anemómetros …)	x					x
	PCI							
		Acometida a central de incendios y subcentrales distribuidas.	x					x
		Acometidas a bombas y grupos de presión		x		x		

BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
Pág. 124

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO 1: Líneas de distribución

CIRCUITOS ELECTRICOS Y DE CONTROL			TIPO CABLE			ALIMENTACION		
			C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 y PH90 s/UNE EN 50200 (AS+)	C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 (AS)	E_{ca} s/UNE EN 50575 RVK / Bupreno	NORMAL	GRUPO	SAI
		Acometidas a elementos de maniobra de seccionamiento de valvulería en túnel	x					x
	ITS							
		Acometida a central Megafonía	x					x
		Acometida a central CCTV	x					x
		Acometida a central DAI	x					x
		Acometidas de cuadros secundarios a postes SOS	x					x
		Acometidas de cuadros secundarios cámaras CCTV	x					x
		Barreras			x			x
		Semáforos boca			x			x
		Paneles informativos exteriores			x			x
		Paneles informativos interiores		x				x
	VENTILACION							
		Cables control de sondas a ventiladores	x					
		Cables señal instrumentación	x					
	PCI							
		Lazo de detección de incendios	x					

BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
Pág. 125

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO 1: Líneas de distribución

CIRCUITOS ELECTRICOS Y DE CONTROL			TIPO CABLE			ALIMENTACION		
			C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 y PH90 s/UNE EN 50200 (AS+)	C_{ca}-s1b,d1,a1 s/UNE EN 50575 (AS)	E_{ca} s/UNE EN 50575 RVK / Bupreno	NORMAL	GRUPO	SAI
		Monitorización y control de sensores	x					
	ITS							
		Cables comunicación postes SOS	x					
		Cables Video CCTV	x					
		Cables altavoces Megafonía	x					
COMUNICACIONES (BUSES EN COBRE Y F.O.)								
		Todos	x					

(1) Una parte del alumbrado de refuerzo deberá estar alimentada desde el grupo (y la otra de la red). Ver Aptdo. 4.5

(2) Una parte del alumbrado permanente, el que cumple las funciones de alumbrado de emergencia, deberá estar alimentado de SAI y con cable resistente al fuego. Ver Aptdo. 4.6

(3) Una parte del sistema de ventilación global del túnel deberá estar alimentada desde el grupo (y la otra de la red). Ver Aptdo. 4.5

(4) Donde se pueda justificar que a) el fuego no afecta a determinado cable de comunicaciones o que b) la afección por pérdida del equipo que conecta sobre el sistema global es mínima, se podrá emplear cable con cubierta con comportamiento mínimo frente al fuego de tipo Cca-s1b, d1, a1.

Núm. 82
Viernes, 02 de mayo de 2025
BOLETÍN OFICIAL DE BIZKAIA
BOB
Pág. 126

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO III

ALUMBRADO



DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES EN CARRETERA

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(III)

ALUMBRADO

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1 OBJETO 5
2 ALCANCE 6
3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS 7
4 CRITERIOS DE DISEÑO 11
4.1 Materiales y requisitos de resistencia al fuego 11
4.2 Materiales eléctricos de alumbrado 11
4.2.1 Fuentes de luz eléctricas 12
4.2.2 Criterios de elección de fuentes de luz eléctrica para el alumbrado de túneles 12
4.2.3 Características eléctricas de las fuentes de luz normalizadas 14
4.2.4 Características fotométricas de las fuentes de luz 15
4.2.5 Características colorimétricas de las fuentes de luz 16
4.2.6 Características de duración de las fuentes de luz 16
4.2.7 Características de seguridad de las fuentes de luz 16
4.2.8 Control de calidad de las fuentes de luz 16
4.2.9 Características técnicas de las fuentes de luz 17
4.2.10 Equipos auxiliares 20
4.2.11 Balastos 21
4.2.12 Condensadores 24
4.2.13 Arrancadores 24
4.2.14 Drivers 25
4.2.15 Luminarias 26
4.2.16 Clasificación de las luminarias para alumbrado de túneles 27
4.2.17 Características de las luminarias para alumbrado de túneles 28
4.3 Alumbrado de túneles 30
4.3.1 Tipos de Iluminación 30

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.2 Introducción....30
4.3.3 Problemática visual en los túneles....32
4.3.4 Efecto de inducción....32
4.3.5 Efecto de adaptación....33
4.3.6 Influencia de las luminancias de velo....33
4.3.7 Distancia de parada....35
4.3.8 Sistemas de alumbrado....36
4.3.9 Sistema de alumbrado simétrico....37
4.3.10 Sistema de alumbrado a contraflujo....38
4.3.11 Coeficiente de revelado de contraste....40
4.3.12 Sistema de iluminación natural con luz diurna....41
4.4 Implantación de luminarias en túneles....41
4.4.1 Luminarias de flujo simétrico....41
4.4.2 Túneles de perfil abovedado....41
4.4.3 Túneles de perfil cuadrado....45
4.4.4 Luminarias de flujo asimétrico o a contraflujo....46
4.5 Alumbrado normal de túneles....47
4.5.1 Luminancia en la zona de acceso....49
4.5.2 Determinación de la luminancia en la zona de acceso del túnel....49
4.5.3 Alumbrado de la zona de entrada....56
4.5.4 Niveles de iluminación de la zona de umbral....56
4.5.5 Longitud de la zona de umbral....57
4.5.6 Luminancia de las paredes....57
4.5.7 Luminancia y longitud de la zona de transición....57
4.5.8 Alumbrado de la zona interior....58
4.5.9 Alumbrado de la zona de salida....60

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.10 Alumbrado exterior 60
4.5.11 Uniformidad de la luminancia de la calzada 60
4.5.12 Limitación del deslumbramiento 61
4.5.13 Control del efecto Flicker 62
4.5.14 Alumbrado nocturno 63
4.5.15 Alumbrado túneles cortos 63
4.6 Alumbrados de emergencia y evacuación 65
4.6.1 Alumbrado de emergencia por interrupción del servicio eléctrico 65
4.6.2 Alumbrado de evacuación en caso de incendio 65
4.7 Guiado visual 66
5 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL 68
5.1 Control del nivel de luminancia en el alumbrado 68
5.2 Señales a recoger en centro de control 69
5.3 Sistemas de control de los regímenes de funcionamiento 70
5.4 Sistemas de regulación del nivel luminoso 71
6 PUESTA EN MARCHA 72
6.1 Pruebas 72
6.1.1 Pruebas por niveles 72
6.1.2 Pruebas a equipos 72
6.2 Documentación final de obra 73
7 MANTENIMIENTO 74
7.1 Mantenimiento preventivo 75
7.2 Mantenimiento correctivo 76
7.3 Factor de depreciación o de mantenimiento 77
7.4 Sistemas de control de los niveles luminosos en túneles 78
8 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN 80

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente Instrucción Técnica tiene por objeto definir las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones de alumbrado en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto, y planeamiento perteneciente al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles en carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una instrucción técnica clara de diseño, construcción, puesta en servicio y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.
- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.
- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción técnica se aplicará a los túneles en todas sus fases de vida, planeamiento, proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo del Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras (DFST).

La Instrucción técnica define los requisitos de seguridad relacionados con el sistema de alumbrado que serán de obligado cumplimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos de referencia aplicables en este documento:

- Reglamento electrotécnico para Baja Tensión. Instrucciones Técnicas complementarias. (Ministerio de Ciencia y Tecnología). Decreto 842/2002 de 2 de agosto, BOE suplemento del nº224 de 18 de septiembre de 2002.
- Orden Circular 36/2015 sobre criterios a aplicar en la iluminación de carreteras a cielo abierto y túneles). Ministerio de Fomento
- UNE EN 13201:2016. Iluminación de carreteras
- UNE-CR 14380:2007 IN. Aplicaciones de Iluminación. Alumbrado de Túneles
- DIN 67524-1:2016-05 – Draft. Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen
- Publicación CIE S 017-SP1/E:2015: ILV: International Lighting Vocabulary – Supplement 1: Light Emitting Diodes (LEDs) and LED Assemblies – Terms and Definitions
- Publicación CIE S 025/E:2015: Test Method for LED Lamps, LED Luminaires and LED Modules
- Publicación CIE nº 33/AB-1977. Depreciación y mantenimiento de Instalaciones de Alumbrado Público.
- Publicación CIE nº 34-1977. Luminarias para instalaciones de Alumbrado. Datos fotométricos, clasificación y comportamiento.
- Publicación CIE nº 61-1984. Iluminación en la entrada a túneles.
- Publicación CIE nº 88-2004. Guía para la iluminación de túneles de carretera y pasos subterráneos.
- Publicación CIE nº 115-2010. Alumbrado de carreteras para tráfico de vehículos y peatones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Publicación CIE nº 144-2001. Características de reflexión de las marcas de la carretera y de la superficie de la carretera.
- Publicación CIE nº 189:2010. Cálculo del criterio de calidad del alumbrado de túneles.
- Publicación CIE nº 193: 2010. Alumbrado de Emergencia en Túneles de Carretera.
- Publicación CIE nº 194: 2011. Mediciones in situ de las propiedades fotométricas de Alumbrado de carreteras y de túneles.
- UNE EN 60598-1 Luminarias. Requisitos generales y ensayos
- UNE EN 60598-2-3 Luminarias. Requisitos particulares. Luminarias de alumbrado público
- UNE EN 60598-2-5 Luminarias. Requisitos particulares. Proyectores
- UNE EN 62493 Evaluación de los equipos de alumbrado en relación a la exposición humana a los campos electromagnéticos
- UNE EN 62471-2009 Seguridad fotobiológica de lámparas y aparatos que utilizan lámparas
- UNE-EN 61000-3-2. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3-2: Límites. Límites para las emisiones de corriente armónica (equipos con corriente de entrada 16 A por fase)
- UNE-EN 61000-3-3. Compatibilidad electromagnética (CEM). Parte 3: Límites. Sección 3: Limitación de las variaciones de tensión, fluctuaciones de tensión y flicker en las redes públicas de suministro de baja tensión para equipos con corriente de entrada 16 A por fase y no sujetos a conexión condicional
- UNE-EN 61547. Equipos para alumbrado de uso general. Requisitos de inmunidad CEM
- UNE-EN 55015. Límites y métodos de medida de las características relativas a la perturbación radioeléctrica de los equipos de iluminación y similares
- UNE-EN 62031. Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- UNE-EN 61347-2-13. Dispositivos de control de lámpara. Parte 2-13: Requisitos particulares para dispositivos de control electrónicos alimentados con corriente continua o corriente alterna para módulos LED
- UNE-EN 62384. Dispositivos de control electrónicos alimentados en corriente continua o corriente alterna para módulos LED. Requisitos de funcionamiento
- UNE EN 62722-2-1:2023. Prestaciones de las luminarias - Parte 2-1: Requisitos particulares para las luminarias LED
- UNE-EN 62717:2017. Módulos LED para iluminación general. Requisitos de funcionamiento.
- IES LM-80: Approved Method: Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of Led Packages, Arrays, and Modules
- IES TM-21: Technical memorandum: projecting long-term lumen, photon, and radiant flux maintenance of led light sources
- Directiva 2004/54/CE del parlamento Europeo y del consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Aplicable a túneles de más de 500 m.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado, con corrección de errores de 31 de Julio de 2006.
- Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras
- Real Decreto 1890/2008, de 14 de noviembre, sobre el Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior y sus Instrucciones técnicas complementarias EA01,02,03,04,05,06 y 07
- Directiva de Baja Tensión- 2006/95/CEE. Relativa a la aproximación de las Legislaciones de los estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión
- Directiva de Compatibilidad Electromagnética- 2004/108/CEE. Relativa a la aproximación de las Legislaciones de los estados miembros en materia de compatibilidad electromagnética y por la que se deroga la directiva 89/336/CE

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Directiva ROHS 2011/65/UE. Relativa a las restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos
- Directiva de Ecodiseño 2009/125/CE. Por la que se instaura un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía
- Reglamento Nº 1194/2012 de la por el que se aplica la Directiva de Ecodiseño-2009/125/CE a las lámparas direccionales, lámparas LED y sus equipos
- Directiva de Baja Tensión- 2006/95/CEE. Relativa a la aproximación de las Legislaciones de los estados miembros sobre el material eléctrico destinado a utilizarse con determinados límites de tensión
- Real Decreto 154/1995, por el que se modifica el Real Decreto 7/1988, de 8 de enero, sobre exigencias de seguridad del material eléctrico destinado a ser utilizado en determinados límites de tensión y su Guía de Interpretación
- Reglamento CE nº 245/2009, de la Comisión de 18 de marzo por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo relativo a los requisitos de diseño ecológico, para lámparas, balastos y luminarias
- Reglamento 874/2012 DE LA COMISIÓN de 12 de julio de 2012 por el que se complementa la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las lámparas eléctricas y las luminarias

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 Materiales y requisitos de resistencia al fuego

La mejora de la seguridad debe ser un objetivo constante en la actualidad. La vida de los usuarios del túnel depende de esa seguridad. El riesgo cero no existe, por supuesto, pero sí pueden minimizarse las posibilidades de siniestros y sus efectos negativos sobre personas y bienes materiales. En este sentido, aunque siempre habrá riesgo de incendios, pueden reducirse sus consecuencias. Por tanto, los materiales eléctricos pueden mejorar la seguridad si ayudan a no propagar las llamas y tienen muy bajas emisiones de gases tóxicos y corrosivos, así como una baja emisión de humos opacos. Ello facilitará el trabajo de los equipos de emergencia (bomberos, policía y personal sanitario) y limitará así los efectos destructivos del fuego.

Por los motivos expuestos en el párrafo anterior, se procurará siempre que los materiales eléctricos elegidos sean los menos propagadores posibles del fuego y las llamas, así como los menores emisores de gases tóxicos y corrosivos, al tiempo que se intentará que su emisión de humos opacos sea la menor posible. En el caso de los equipos de alumbrado, al no aplicarse en la actualidad normativa de ensayo que permita tener una clasificación del comportamiento de estos elementos frente al fuego, se procurará la elección de aparatos cuyos componentes tengan el mejor comportamiento frente al fuego posible, es decir, luminarias preferiblemente metálicas y cuyos constituyentes plásticos estén libres de halógenos. Independiente de esta buena práctica, en la medida que aparezcan nuevas normativas y exigencias a este respecto, deberán ser trasladadas a los materiales afectados, según entren en vigor.

4.2 Materiales eléctricos de alumbrado

Entre los materiales eléctricos utilizados en el alumbrado de túneles se consideran los siguientes:

- Fuentes de luz eléctricas
    - Lámparas
    - Módulos Led
- Equipos auxiliares

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Balastos
- Condensadores
- Arrancadores
- Controladores Led o drivers

– Luminarias

4.2.1 Fuentes de luz eléctricas

Los tipos de fuentes de luz utilizadas en instalaciones de alumbrado público son los siguientes:

– Lámparas de fluorescencia

– Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

– Lámparas de vapor de sodio a baja presión

– Lámparas de vapor de sodio a alta presión

– Lámparas de mercurio con halogenuros metálicos

– Lámparas de descarga por inducción

– Módulos LED

Las fuentes más susceptibles de utilización en instalaciones de alumbrado de túneles son las de fluorescencia, de vapor de sodio alta presión y finalmente las de Led.

La Directiva 2011/65/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de junio de 2011, sobre restricciones a la utilización de determinadas sustancias peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos determina la prohibición de fabricación de lámparas fluorescentes circulares T9 el 25 de febrero de 2025 y de lámparas de sodio de alta presión VSAP el 25 de febrero de 2027. No permitiéndose la instalación de estas tecnologías en túneles de nueva construcción o en los que se realice cambios en el sistema de alumbrado.

4.2.2 Criterios de elección de fuentes de luz eléctrica para el alumbrado de túneles

En la elección de las fuentes de luz para la iluminación de túneles se han de tener muy en cuenta los criterios de:

– Eficiencia energética

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– Calidad de luz

– Durabilidad

– Precio de instalación y operación

A la hora de la elección de las fuentes se tendrá en cuenta que las mismas deben adaptarse a los siguientes condicionantes:

1. Deben lograrse unas uniformidades de luminancias satisfactorias.
2. Las fuentes tendrán mayor potencia en función de los elevados niveles de iluminación a conseguir, al objeto de limitar el número de fuentes de luz, pero sin comprometer las uniformidades de luminancia.
3. Posibilidades de implantación de las luminarias, que condicionan su fotometría.
4. Posibilidad de reencendido rápido de la fuente de luz en el caso de un corte en la alimentación eléctrica.
5. Posibilidad de variación del flujo que emite la fuente de luz, al objeto de no multiplicar el número de circuitos eléctricos para los distintos regímenes de funcionamiento.
6. Condiciones de utilización del túnel, considerando que el mantenimiento de la instalación de alumbrado es difícil y costoso, teniendo en cuenta que el funcionamiento anual de la misma es muy importante, del orden de 6.000 a 8.000 horas en la zona del interior del túnel, y de algunos centenares a varios millares de horas en las zonas de refuerzo (zona de entrada y, en su caso, de salida).
7. Necesidad de economizar la energía consumida (buena relación lúmenes/vatio).

Tradicionalmente se vienen utilizando luminarias de vapor de sodio alta presión en bocas, por su capacidad para proporcionar altos paquetes lumínicos, y luminarias fluorescentes en la zona interior cuando ésta es lo suficientemente larga como para justificar un cambio de tecnología, por sus necesidades de regulación. En los últimos tiempos la tecnología Led ha empezado por ser una alternativa a la fluorescencia, para continuar convirtiéndose también en una alternativa al vapor de sodio alta presión. Dado que la tecnología Led se encuentra en continuo desarrollo (a diferencia de las otras tecnologías, ya maduras) aún no ha alcanzado su límite de prestaciones, cada nueva generación mejora las prestaciones de la anterior a un mejor precio, por lo que en cada proyecto deberá valorarse lo adecuado de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

una tecnología u otra, en función del "estado del arte" en dicho momento. Debido a las grandes diferencias de precio y durabilidad entre diferentes opciones de tecnología Led, o entre éstas y las anteriores, puede no resultar obvio qué alternativa resulta más adecuada, por lo que no debe descartarse llevar a cabo comparativas técnico-económicas entre las diferentes opciones que se consideren válidas.

4.2.3 Características eléctricas de las fuentes de luz normalizadas

A continuación, se reflejan las características eléctricas a las que deberá acomodarse cada tipo de fuente de luz eléctrica:

4.2.3.1.1 Lámparas fluorescentes

Las lámparas tubulares de fluorescencia para servicios de alumbrado general (doble casquillo) se adecuarán a las estipulaciones contenidas en la norma UNE-EN 60081, mientras que las lámparas fluorescentes tubulares de casquillo único se regirán por lo dispuesto en la norma UNE-EN 60901. Los valores eléctricos de funcionamiento serán los detallados en dichas normas para cada uno de los diferentes tipos y potencias de lámparas.

Igualmente, las lámparas fluorescentes con balasto electrónico incorporado seguirán las prescripciones de las normas UNE-EN 60929, 60968 y 60969.

4.2.3.1.2 Lámparas de vapor de mercurio a alta presión

Las lámparas de vapor de mercurio a alta presión cumplimentarán las prescripciones fijadas en la norma UNE-EN 60188, y en la norma UNE-EN 62035 para lámparas de descarga en general (excepto fluorescentes). Las características eléctricas de funcionamiento serán las contenidas en dicha norma para cada uno de los diferentes tipos y potencias de lámparas.

4.2.3.1.3 Lámparas de vapor de sodio a baja presión

Las lámparas de vapor de sodio a baja presión se ajustarán a los valores exigidos en la norma UNE-EN 60192. Las características eléctricas de funcionamiento serán las determinadas en dicha norma para cada uno de los diferentes tipos y potencias de lámparas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.3.1.4 Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión satisfarán las exigencias establecidas en la norma UNE-EN 60662. Los valores eléctricos de funcionamiento serán los expresados en dicha norma para cada uno de los diferentes tipos y potencias de lámparas.

4.2.3.1.5 Lámparas de mercurio con halogenuros metálicos

Las lámparas de mercurio con halogenuros metálicos cumplirán las especificaciones dispuestas en la norma EN 61167. Los valores eléctricos de funcionamiento serán los especificados en dicha norma para cada uno de los diferentes tipos y potencias de lámparas.

4.2.3.1.6 Módulos Led

Los módulos Led utilizados en el alumbrado de túneles deberán de cumplir con la normativa que se detalla a continuación. Así mismo los valores de prestaciones que se proporciones de los mismos serán según los estándares establecidos en dicha normativa.

- UNE-EN 62031. Módulos LED para alumbrado general. Requisitos de seguridad.
- UNE-EN 62717:2017. Módulos LED para iluminación general. Requisitos de funcionamiento.
- UNE EN 62722-2-1:2023. Prestaciones de las luminarias - Parte 2-1: Requisitos particulares para las luminarias LED
- IES LM-80: Approved Method: Measuring Luminous Flux and Color Maintenance of Led Packages, Arrays, and Modules.
- IES TM-21: Technical memorandum: projecting long-term lumen, photon, and radiant flux maintenance of led light sources.

4.2.4 Características fotométricas de las fuentes de luz

Los tipos de fuentes normalizadas deberán cumplir todas y cada una de las prescripciones sobre las características fotométricas incluidas en las normas que les sean aplicables.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.5 Características colorimétricas de las fuentes de luz

Los tipos de fuentes de luz normalizadas deberán cumplir todas y cada una de las prescripciones sobre las características colorimétricas incluidas en las normas que les sean aplicables.

4.2.6 Características de duración de las fuentes de luz

La duración estimada, entendida como el tiempo que transcurre hasta que falla un tanto por ciento determinado de equipos de un lote representativo de una fabricación o instalación, funcionando en condiciones perfectamente especificadas, será el dato más utilizado por el fabricante de fuentes de luz, obtenida del cálculo de la duración media estadística de sus producciones; definida como el valor medio estadístico resultante del análisis y ensayo de un lote representativo de una fabricación, funcionando en condiciones perfectamente especificadas. A estos efectos los fabricantes de fuentes de luz proporcionarán las curvas de mortalidad de cada tipo de fuente y sus tolerancias, para de ellas calcular las duraciones promedio.

4.2.7 Características de seguridad de las fuentes de luz

Todos los tipos de fuentes deberán satisfacer las prescripciones generales de seguridad incluidas en las normas específicas para cada tipo de fuente en lo relativo a la protección contra contactos accidentales en los portalámparas, calentamiento de las piezas de conexión de las fuentes, resistencia a la torsión y de aislamiento, líneas de fuga, seguridad al dejar de lucir, intercambiabilidad e información para el diseño de luminarias. Además, se considerarán las que se refieren a protección mecánica, interferencias radioeléctricas y contaminación atmosférica.

4.2.8 Control de calidad de las fuentes de luz

El control de calidad se llevará a cabo mediante la realización de los correspondientes ensayos eléctricos tales como las mediciones de tensión de arco, corriente de régimen, potencia de fuente de luz, etc. y la ejecución de las pruebas fotométricas de medición del flujo luminoso de las fuentes de luz y la depreciación del mismo así como contrastar las características colorimétricas en lo relativo a la temperatura de color correlacionada e índice de rendimiento en color y, por último, la verificación de las características de duración y mortalidad de las fuentes, así como su agotamiento, además de comprobar las características de seguridad.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.9 Características técnicas de las fuentes de luz

Las tablas que se muestran a continuación indican las principales fuentes de iluminación empleadas en túneles y sus características técnicas medias.

a. Lámparas fluorescentes tubulares de diámetro 26 mm y compactas

	Potencia nominal (W)	Índice rendimiento colores	Flujo luminoso a 100 h (lm)	Longitud (mm)	Luminancia máxima (cd/cm^2)	Potencia balasto (W)	Potencia total (W)	Eficacia luminosa (lm/W)
Blanco industrial ø 26 mm	36 58	55 55	3.000 4.600	1.200 1.500	0,95 1,25	10 10	46 68	65 67
Gama cromática ø 26 mm	36 58	85 85	3.350 5.200	1.200 1.500	1,15 1,40	10 10	46 68	73 76
Gama alta frecuencia ø 26 mm	32 50	85 85	3.200 5.000	1.200 1.500		4 6	36 56	89 89
Gama compacta con balasto electrónico	32 40 52	85 85 85	2.900 3.500 4.800	410 535 535		4 5 6	36 45 58	80 78 82

cve: BOB-2025a082-(I-327)

b. Lámparas de vapor de sodio alta presión tubulares claros

Potencia nominal (W)	Flujo luminoso a 100 h (lm)	Longitud (mm)	Luminancia media (cd/cm^2)	Potencia balasto (W)	Potencia total (W)	Eficacia luminosa (lm/W)
70	6.600	159	300	15	85	78
100	10.500	211	300	11 a 16	116	90
150	16.500	211	340	17	167	99
250	28.000	257	360	25	275	102
250+	32.000	257	420	25	275	116
400+	55.500	283	630	30	430	129

c. Lámparas de vapor de sodio baja presión

Potencia nominal (W)	Flujo luminoso a 100 h (lm)	Longitud (mm)	Luminancia media (cd/cm^2)	Potencia balasto (W)		Potencia total (W)	Eficacia luminosa (lm/W)
				Clásico	Hibrido		
26	3.700	310	8	9		35	106
36	6.150	425	8		11	47	131
66	10.600	528	8		16	82	130
91	17.000	775	8		16	107	159
131	26.000	1.120	8		20	151	172

cve: BOB-2025a082-(I-327)

d. Lámparas de inducción

Potencia nominal (W)	Flujo luminoso a 100 h (lm)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Eficacia luminosa (lm/W)
55	3.500	141	85	64
85	6.000	181	111	71
165	12.000	215	130	73

e. Tubos fluorescentes de diámetro 16 mm

Potencia nominal (W)	Índice rendimiento colores	Flujo luminoso a 100 h (lm)	Longitud (mm)	Potencia balasto (W)	Potencia total (W)	Eficacia luminosa (lm/W)
21	85	2.100	863	4	25	84
28	85	2.900	1.163	4	32	90
35	85	3.650	1.463	4	39	93

f. Módulos Led

Dado que los módulos Led no se encuentran estandarizados, a diferencia del resto de fuentes de luz, se procede a continuación a proporcionar unos datos orientativos entre los que se encuentran la mayoría de los aparatos disponibles actualmente en el mercado.

Potencia Total (W)	Índice rendimiento color	Flujo luminoso inicial (lm)	Tª color (K)	Vida útil estimada (1) (hrs)	Eficacia luminosa(2) (lm/W)
23	>70	2.500	4.000	80.000	110
…	…	…	…	…	…
450	>70	52.000	4.000	80.000	100

cve: BOB-2025a082-(I-327)

(1) Vida útil estimada suponiendo una depreciación de un 20% y un factor de supervivencia del 90%.

(2) Eficacia luminosa de la luminaria, no del módulo Led (este dato no siempre está disponible).

4.2.10 Equipos auxiliares

Las lámparas de descarga en general tienen una característica tensión-corriente no lineal y marcadamente negativa, que da lugar a la necesidad de utilización de un elemento limitador de la intensidad que se denomina genéricamente balasto para evitar el crecimiento ilimitado de la corriente y la destrucción de la lámpara, cuando ésta ha encendido. Asociado al balasto deberán preverse los elementos adecuados para la corrección del factor de potencia.

Además de los dispositivos de regulación de la corriente de lámpara y de corrección del factor de potencia, requeridos por todas las lámparas de descarga para su funcionamiento, algunos tipos de lámparas de alta corriente de descarga, como son las de vapor de sodio a alta presión (VSAP), lámparas de mercurio con halogenuros metálicos (HM) de tipo europeo y vapor de sodio a baja presión (VSBP) necesitan una tensión muy superior a la de la red para iniciar o «cebar» la corriente de arco. Se precisa, por tanto, incluir en el equipo auxiliar un dispositivo que proporcione y soporte en el instante de encendido la alta tensión necesaria para el cebado de la corriente de arco de la lámpara. Dicho dispositivo se denomina arrancador. Las lámparas fluorescentes necesitan para su funcionamiento un cebador, mientras que las de vapor de sodio a baja presión también pueden funcionar con un balasto autotransformador.

Los módulos Led, al partir de una tecnología totalmente diferente a la de las lámparas, necesitan de unos equipos auxiliares también muy diferentes. Los leds son diodos, por tanto funcionan con corriente continua, y debido a su muy baja resistencia interna no pueden ser alimentados a tensiones altas puesto que las corrientes de circulación resultantes los destruirían. Por este motivo, entre la alimentación de red (230 Vca) y los led se intercala una fuente de alimentación adecuada, denominada habitualmente “driver”. Estos “drivers” suelen ser, en su mayoría, fuentes de alimentación a intensidad de corriente constante, con intensidades de salida a partir de los 350 mA. Dado que variando la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

intensidad de alimentación al led se varía también su flujo luminoso emitido, es habitual que los drivers incluyan mecanismos de control que permitan la regulación, comunicación, programación, etc. de los módulos Led que alimentan.

4.2.11 Balastos

Los tipos de balastos más utilizados son los siguientes:

- Balasto serie de tipo inductivo.
- Balasto serie de tipo inductivo con dos niveles de potencia.
- Balasto autorregulador.
- Balasto autotransformador.
- Balasto electrónico.

Aun cuando el balasto serie de tipo inductivo es el más utilizado, proporciona una baja regulación de corriente y de potencia frente a las oscilaciones de la tensión de la red de alimentación, por lo que su uso será adecuado siempre que dicha tensión no fluctúe más del ± 5%. Cuando se prevean variaciones constantes o permanentes a lo largo del tiempo superiores en la tensión de la red, resultará idónea la instalación de balastos serie de tipo inductivo con dos tomas de tensión, aplicando la más conveniente. Si dichas oscilaciones de tensión son variables en el tiempo, bien durante las horas de encendido diario, a lo largo del fin de semana y/o estacionales, será adecuado utilizar balastos autorreguladores.

Los balastos autorreguladores, al presentar una buena regulación de la corriente y potencia de lámpara en relación a las alteraciones de tensión de la red de alimentación, se utilizarán cuando dicha tensión oscile más del ± 10%. En el caso de que la mencionada tensión sea insuficiente para un funcionamiento estable de la lámpara, se instalarán balastos autotransformadores que elevarán la tensión y regularán la corriente, y su uso se preverá generalmente cuando la tensión de la red de alimentación resulte inferior a 200 V.

Los balastos serie de tipo inductivo con dos niveles de potencia, permiten un ahorro energético en nivel reducido de aproximadamente un 40% siempre y cuando la tensión de alimentación sea la nominal. La realización de dos niveles de potencia también puede efectuarse mediante balastos autorreguladores.

El balasto electrónico podrá utilizarse en lámparas de descarga, dado que proporciona unas buenas prestaciones y cumple con los requisitos sobre las características de regulación de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

los balastos autorreguladores y autotransformadores, estabilizando la potencia de lámpara con variaciones de tensión de la red de alimentación de hasta el ± 20%. Esta es la opción más recomendable.

4.2.11.1.1 Características de los balastos

Los balastos deberán cumplir unas determinadas exigencias básicas referentes a las calidades y tipos de materiales utilizados en los aislamientos, bobinados y núcleos. Su idónea construcción garantizará la protección contra contactos eléctricos y el correcto funcionamiento de las lámparas a las que se asocia. Además, se adecuarán a concretas especificaciones térmicas, geométricas, etc., ajustándose en todo momento a las exigencias de las normas UNE-EN 61347 y 60921 de seguridad y aptitud a la función para lámparas tubulares fluorescentes, UNE-EN 61347 y 60923 para lámparas de descarga, UNE-EN 61347 y 60929 en el caso de balastos electrónicos en corriente continua, así como UNE-EN 61347 y 60929 en corriente alterna y, por último, UNE-EN 60968 y 60969 para lámparas fluorescentes con balasto propio.

En las tablas adjuntas se especifican los valores máximos admisibles de la potencia en los balastos serie de tipo inductivo y autorreguladores, expresados en vatios (W) para cada potencia y tipo de lámpara.

TABLA 4.2.11.1.1.1.1: Balastos serie de tipo inductivo

CONSUMOS (W)									
VSAP		VMAP		VSBP		HM		FLUORESCENTE	
Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo
50	9	50	9	18	4,5	35	9	4/6/8	4,5
70	11	80	11	35	6,5	70	11	5/7/9/11	4,5
100	13	125	13	55	10	100	13	10/13	4,5
150	20	250	20	90	13	150	20	15	8
250	29	400	23	135	28	250	29	16	5,5

cve: BOB-2025a082-(I-327)

400	33	700	33	180	28	400	33	18 TC-D	5,5
600	50	1.000	44			1.000	55	18/20	10
1.000	66					1.800	77	36/40	10,5
						2.000/220	83	58/65	13,5
						2.000/380	83		
						3.500	149		

TABLA 4.2.11.1.1.2: Balastos auto reguladores

CONSUMOS (W)					
VSAP		VMAP		HM	
Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo	Lámpara	Equipo
50	-	50	-	35	-
70	22	80	16	70	-
100	25	125	20	100	-
150	28	250	32	150	-
250	35	400	40	250	45
400	60	700	-	400	60
600	-	1.000	-	1.000	-
1.000	-	-	-	1.800	-
-	-	-	-	2.000	-
			-	3.500	

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.11.1.2 Control de calidad de los balastos

El control de calidad se efectuará mediante la realización de los correspondientes ensayos tales como la medición de impedancia, potencia perdida, valores eléctricos, factor de cresta, rigidez dieléctrica, calentamiento, etc.

4.2.12 Condensadores

En equipos para lámparas de descarga el condensador deberá ir asociado al balasto, bien en conexión a la red de alimentación para corregir el factor de potencia, o bien instalado en serie con el balasto y la lámpara sirviendo como elemento regulador de corriente y compensación, tal como es el caso de los balastos autorreguladores.

Los balastos electrónicos no requieren condensador para la corrección del factor de potencia, al incluir un circuito electrónico diseñado a tal efecto.

4.2.12.1.1 Características de los condensadores

Todos los condensadores deberán cumplir unas determinadas especificaciones básicas, eléctricas, térmicas, de terminales para el conexionado y geométricas. Estos se adecuarán a lo exigido en las normas UNE-EN 61048 y 61049 relativas a condensadores para utilización en los circuitos fluorescentes tubulares y otras lámparas de descarga.

4.2.12.1.2 Control de calidad de los condensadores

El control de calidad se ejecutará llevando a cabo ensayos de capacidad, rigidez dieléctrica entre placas y envolvente, tangente del ángulo de pérdidas (tg δ), etc.

4.2.13 Arrancadores

Los tipos de arrancadores para lámparas de descarga, excepto las lámparas fluorescentes tubulares, son los siguientes:

- En serie con la lámpara (de impulsos independientes).
- En semiparalelo (de impulsos dependientes del balasto al que va asociado).
- En paralelo (independiente de dos hilos).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En el caso de lámparas fluorescentes tubulares se instalarán cebadores, ya sean de efluvios o electrónicos. Dado que los balastos electromagnéticos que precisan cebadores tienden a desaparecer, se colocarán reactancias electrónicas de alta frecuencia con control del factor de potencia, precaldeo y para más de 10 encendidos hora.

Para la puesta en funcionamiento de la lámpara de vapor de sodio se necesitan tensiones de encendido muy elevadas que la reactancia no puede suministrar. El arrancador aprovecha la energía almacenada en el condensador y superponiendo una o varias impulsiones de tensión a la tensión de vacío de la lámpara hace saltar el arco en el interior del tubo de descarga con un valor de pico muy elevado y corta duración.

4.2.13.1.1 Características de los arrancadores

En lo que respecta a las prescripciones generales y de seguridad, así como prescripciones de funcionamiento, los arrancadores y cebadores, excepto los de efluvios, se ajustarán a lo exigido en las normas UNE-EN 61347 y 60927, mientras que los cebadores de efluvios para lámparas fluorescentes tubulares cumplirán lo establecido en la norma UNE-EN 60155

4.2.13.1.2 Control de calidad de los arrancadores

El control de calidad de los arrancadores y cebadores se realizará mediante mediciones de tensión de pico con las capacidades máxima y mínima especificadas por el fabricante, medidas de tensión de conexión y desconexión, de altura y anchura del impulso, resistencia eléctrica del bobinado, potencia perdida por el arrancador, etc.

La reactancia y el arrancador deberán ser del mismo fabricante, o bien el arrancador será de impulso directo o superposición.

Se tendrá en cuenta la capacidad del cable desde el equipo a la lámpara, ejecutándose la instalación de forma que dicha capacidad no supere la máxima admitida por el arrancador.

4.2.14 Drivers

Los equipos auxiliares para alimentación a módulos led se pueden dividir en los siguientes tipos:

- Resistencia limitadora
- Fuente de tensión lineal

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– Fuente de tensión conmutada

– Fuente de corriente

De todos los sistemas indicados, el más adecuado para módulos Led de alta potencia sería el basado en fuentes de corriente. Estos equipos deben de ofrecer un comportamiento fiable ante las oscilaciones de tensión de entrada y estar protegidos contra las posibles sobretensiones que tengan su origen en la red de suministro.

4.2.14.1.1 Características de los drivers

En cuanto a prescripciones generales y de seguridad, así como normativa específica de aplicación, estos equipos deben cumplir con las correspondientes directivas aplicables a los aparatos de baja tensión, con especial mención de las directivas de compatibilidad electromagnética (dadas sus características de funcionamiento) y marcado CE. Les son de especial aplicación las normas UNE EN 61000-3-2 y 3, así como la UNE EN 61547, todas ellas de compatibilidad electromagnética (CEM), y las UNE EN 61347-2-13 y UNE EN 62384 sobre dispositivos de control electrónicos para módulos LED.

4.2.14.1.2 Control de calidad de los drivers

Se medirá la corriente y tensión de salida en función de la tensión de alimentación, se medirán también las corrientes y tensiones de salida en función de los diferentes niveles de regulación. Se comprobarán la tasa de distorsión de armónicos y cos ϕ en cualquiera de los modos de funcionamiento posibles, así como que la “Tc Driver” medida en el punto indicado por el fabricante no supera el límite de temperatura establecido.

4.2.15 Luminarias

Son aparatos que distribuyen, filtran o transforman la luz emitida por una o varias fuentes. Contienen todos los accesorios necesarios para fijarlas y protegerlas y, cuando resulta necesario, disponen de los circuitos y dispositivos necesarios para conectarlas a la red de alimentación eléctrica.

Las luminarias deberán cumplir las exigencias del Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión Decreto 842/2002, las Instrucciones Técnicas Complementarias del mismo ITC-BT, hojas de interpretación del Ministerio de Ciencia y Tecnología, normas UNE-EN 60598,

cve: BOB-2025a082-(I-327)

UNE-EN 61140 y demás reglamentaciones nacionales y de la unión europea concordantes en la materia.

El control de calidad comprenderá la realización de ensayos sobre características constructivas que garanticen el cumplimiento de las normas UNE-EN 60598 de luminarias para alumbrado público y UNE-61140 referente a protección contra los choques eléctricos, así como ensayos sobre características fotométricas tales como la medición de la matriz de intensidades, del factor F ó superficie aparente del área de emisión de la luminaria vista bajo un ángulo de 76° expresada en m^2, etc.

4.2.16 Clasificación de las luminarias para alumbrado de túneles

Las luminarias utilizadas en los túneles están sometidas a unas condiciones particulares de utilización por lo que deben responder a unas características mecánicas y fotométricas muy específicas.

Ambientales

- Condiciones de temperatura extrema
- Suciedad debida a la circulación
- Corrosión debida a la humedad y los gases de escape de los vehículos

Explotación (mantenimiento)

- Concepción mecánica de las luminarias y sus fijaciones para el reglaje de inclinación
- Limpieza de luminarias, cambio de fuentes de luz y reparaciones eléctricas con la mínima interrupción de la circulación
- El material debe responder a su utilización de 24 horas al día

Fotometría

- Las condiciones de altura, situación axial o sobre las vías de circulación, instalación unilateral o bilateral, consideraciones de gálibo etc., conducen a utilizar ópticas específicas cuyo reparto fotométrico debe ser adaptado a los parámetros de la instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Instalación

– El sistema de fijación debe permitir el montaje y desmontaje rápido del aparato teniendo en cuenta la conexión eléctrica

– La fijación regulable debe asegurar perfectamente la alineación y la orientación de los aparatos

Las luminarias están constituidas por una caja hermética sostenida por un sistema de fijación y orientación y que contiene el sistema óptico y el bloque eléctrico de alimentación. Las luminarias o proyectores se clasifican fotométricamente para el alumbrado de túneles según el tipo de distribución fotométrica, es decir; tipo simétrico o a contraflujo.

Estos dos tipos están claramente definidos de acuerdo con, que la distribución de intensidad luminosa sea:

– Simétrica con respecto al plano 0°-180°, paralelo al tráfico.

– Dirigida en sentido contrario a la dirección de tráfico, en un plano próximo al plano 180° y con una intensidad luminosa mínima en la dirección del tráfico próxima al plano 0°.

4.2.17 Características de las luminarias para alumbrado de túneles

Las características que como mínimo deben cumplimentar las luminarias o proyectores a instalar en los túneles correspondientes a las diferentes clases de alumbrado, se resumen en el cuadro siguiente:

TABLA 4.2.17

TIPO DE LUMINARIA	TIPO A	TIPO B	TIPO C	TIPO D
Sistema óptico	Cerrado	Cerrado	Cerrado	Cerrado
Fotometría	Simétrico Contraflujo	Simétrico	Simétrico	Simétrico
Capacidad	Hasta: 450 W	Hasta: 400 W s.a.p.	Hasta: n x 58 W fluorescente	Hasta:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	… 100 W	Hasta: 2 x 165 W inducción	n x 28 W	28 W fluorescente o Led (también válido tira de led)
		Hasta: 450 W Led ... 100 W	Hasta: 150 W Led	
Composición Cuerpo (Nota 2)	Inyección aluminio (R) Extrusión aluminio Acero inoxidable	Inyección aluminio (R) Extrusión aluminio Acero inoxidable	Extrusión aluminio (R) Estampación	Extrusión aluminio (R) Estampación o Acero moldeado
Hermeticidad EN - 60.598	IP 65	IP 65	IP 65 IP66 IK08 en Led	IP 66 IK 08
Seguridad eléctrica UNE - 20.314	Clase I (R) Clase II	Clase I (R) Clase II	Clase I (R) Clase II	Clase I (R) Clase II
Cierre	Vidrio	Vidrio	Vidrio	La luminancia media de las paredes en la zona de umbral, hasta una altura de 2 m, debe ser similar a la luminancia media de la superficie de la calzada, admitiéndose un valor del 60% del valor de la luminancia media en la calzada para las paredes

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Rendimientos:	> 65 %	> 65 %	> 60 %	> 60 %

Nota 1: *El* símbolo (R) significa que, entre las posibilidades establecidas en la tabla, resultan recomendables las que llevan dicho símbolo.

Nota 2: Los avances tecnológicos tienden al uso de materiales plásticos para el cuerpo de las luminarias, asegurando mejores prestaciones frente al fuego. En ese caso se optaría por este tipo de soluciones si están contrastadas.

4.3 Alumbrado de túneles

4.3.1 Tipos de Iluminación

Se distinguen tres tipos de iluminación: normal, emergencia y de evacuación.

- La iluminación normal se proporcionará de modo que asegure a los conductores una visibilidad adecuada de día y de noche toda la longitud del túnel, así como en las zonas de acceso y de partida.
- La iluminación de emergencia se proporcionará de modo que permita una visibilidad mínima para que los usuarios del túnel puedan evacuarlo en sus vehículos, en caso de avería del suministro de energía eléctrica.
- La iluminación de evacuación estará situada a una altura no superior a 1,5 metros y deberá proyectarse de modo que permita guiar a los usuarios del túnel para evacuarlo a pie (por ejemplo, en caso de incendio).

En los túneles de Tipo I y II, se dispondrán de los tres tipos de iluminación, y en los túneles Tipo III, solo alumbrado normal.

4.3.2 Introducción

La razón principal por la que un túnel debe ser dotado de un sistema de iluminación se debe a la necesidad de poder aproximarse, atravesar y salir del túnel en condiciones diurnas y nocturnas a una velocidad determinada con un grado de seguridad y confort no inferior a las condiciones en carretera abierta

La conducción de vehículos a través de los túneles durante las horas diurnas plantea una problemática totalmente diferente a la conducción al aire libre por la noche, que se

cve: BOB-2025a082-(I-327)

concreta fundamentalmente en la adaptación del ojo humano a las diferencias existentes entre los elevados niveles de luminancia exteriores y los bajos niveles de luminancia en el interior de los túneles. Todo lo cual da lugar al denominado «efecto agujero negro» que impide, durante el día, que los conductores vean el interior del túnel cuando se encuentran a una cierta distancia de la boca del mismo.

Desde el punto de vista luminotécnico en los túneles se diferencian las siguientes zonas: de acceso, de ENTRADA constituida por las zonas de umbral y de transición, del interior, de salida y, finalmente, de partida. Por razones económicas, no es posible reestablecer en la zona de entrada de los túneles condiciones de iluminación idénticas a las existentes durante el día en el exterior (zona de acceso), que pueden alcanzar valores de hasta 100.000 lux.

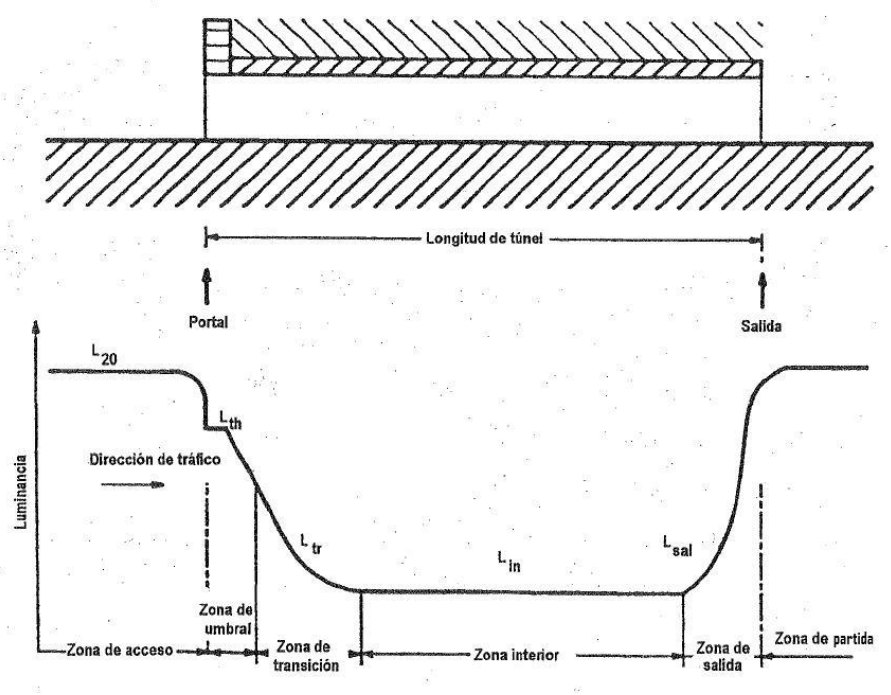


Fig 4.3.2. – Sección longitudinal típica en un túnel unidireccional. Zonas en un túnel

La zona de acceso es la parte de la carretera a cielo abierto, situada inmediatamente anterior a la entrada o portal del túnel, que cubre la distancia a la que un conductor que se aproxima debe ser capaz de ver en el interior del túnel. La longitud de la zona de acceso es igual a la distancia de parada (DP).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En la zona de umbral situada justo a la entrada del túnel, con una longitud aproximadamente igual a la distancia de parada, el alumbrado durante el día debe dimensionarse de forma que asegure una visión suficiente de eventuales obstáculos sobre la calzada, aunque se produzca una primera reducción brusca de los niveles de iluminación existentes en el exterior (zona de acceso), pero que resulta aceptable. En la segunda parte de la zona de umbral se disminuyen progresivamente los niveles de iluminación.

En la zona inmediata siguiente o zona de transición, de longitud variable en función de la velocidad de circulación, la instalación de alumbrado debe concebirse para paliar el efecto de adaptación por el paso súbito de un nivel de iluminación muy elevado a un nivel bastante bajo continuando con la disminución paulatina de los niveles de iluminación hasta haber completado el proceso de adaptación del ojo al llegar a la zona del interior, donde se instala un alumbrado con un nivel constante de iluminación.

La zona de salida es la parte del túnel en la que, durante el día, la visión del conductor está influida predominantemente por la elevada luminancia exterior del túnel. La zona de salida comienza al final de la zona del interior y con una longitud equivalente a la distancia de parada, termina en la boca de salida del túnel, y deberá ser iluminada de la misma manera que la zona interior del túnel de manera que se facilite a los conductores la adaptación a las condiciones luminosas exteriores.

La zona de partida es la parte de carretera situada a cielo abierto, con una longitud recomendable de dos veces la distancia de parada, inmediatamente posterior a la boca de salida del túnel, no siendo necesario en la práctica distancias superiores a 200 metros.

En los túneles bidireccionales el alumbrado se calculará según los requisitos de cada boca de entrada.

4.3.3 Problemática visual en los túneles

La problemática visual en los túneles comprende los efectos de inducción y adaptación, así como la influencia de las luminancias de velo. Todo lo cual exige tener en cuenta la distancia de parada en función de la velocidad del tráfico del túnel.

4.3.4 Efecto de inducción

Debido a la adaptación de los ojos del conductor que se aproxima a un túnel a las altas luminancias exteriores diurnas, cuando éste observa la boca o entrada del mismo, la parte de la retina que recibe la imagen del exterior ejerce sobre la otra parte que recibe la imagen

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de la boca del túnel un efecto de inducción, de forma que la entrada del túnel aparece como un «agujero negro» en el que no se ve ni un solo detalle.

4.3.5 Efecto de adaptación

Es el que permite el ajuste de la sensibilidad del ojo humano a un cambio en la distribución de luminancias en el campo de visión. El tiempo que tarda en producirse la adaptación de la sensibilidad del ojo al cambio en la distribución de luminancias, se denomina tiempo de adaptación.

La adaptación de la sensibilidad del ojo a los cambios rápidos de la distribución de luminancias en el campo visión no es instantánea, por lo que durante un determinado tiempo la capacidad de visión disminuye, llegando a producirse una ceguera momentánea en el caso de un cambio brusco de la distribución de luminancias

4.3.6 Influencia de las luminancias de velo

La luz parásita presente sobre el ojo de los conductores (luminancia de velo foveal o de Fry), el estado de la atmósfera (luminancia atmosférica) y los reflejos del parabrisas del vehículo (luminancia del parabrisas), se combinan para formar un velo luminoso que reduce la visibilidad de los obstáculos a la entrada de los túneles.

La razón principal de la iluminación de un túnel es asegurar en todo momento la visibilidad de los obstáculos, lo que exige percibir una diferencia entre la luminancia del obstáculo y la luminancia de fondo o de la calzada y paredes del túnel.

Por definición, el contraste se expresa de la forma siguiente:

$$C = \frac{L_o - L_f}{L_f}$$

donde:

L_o = Luminancia del obstáculo.

L_f= Luminancia de fondo.

El contraste C puede ser positivo o negativo:

Sí $L_o > L_f$ $C > 0$ Contraste positivo (obstáculo más claro que el fondo)

Si $L_o < L_f$ $C < 0$ Contraste negativo (obstáculo más oscuro que el fondo)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En el caso de túneles se deben diferenciar dos tipos de contraste: el denominado intrínseco o físico C_{int} medido junto al obstáculo y el contraste de retina C_R medido desde el ojo del conductor del vehículo, interponiéndose entre ambos contrastes un conjunto de luminancias de velo denominadas atmosférica L_{atm}, de parabrisas L_{pb} y foveal o de Fry, L_v, que dan origen en el ojo del conductor a un deslumbramiento de velo que perturba la visión. (Ver figura 4.3.6)

Las capas de aire de la atmósfera conteniendo partículas iluminadas por la luz solar dan lugar a la luminancia atmosférica L_{atm} debido a la refracción de la luz en dichas capas de aire de la atmósfera. Depende de las condiciones atmosféricas y de la posición del sol.

La luminancia de parabrisas L_{pb} se produce como consecuencia de la existencia en los vehículos del parabrisas, que provoca efectos de difracción o reflexión según la posición del sol en el campo visual y el estado, curvatura e inclinación del propio parabrisas.

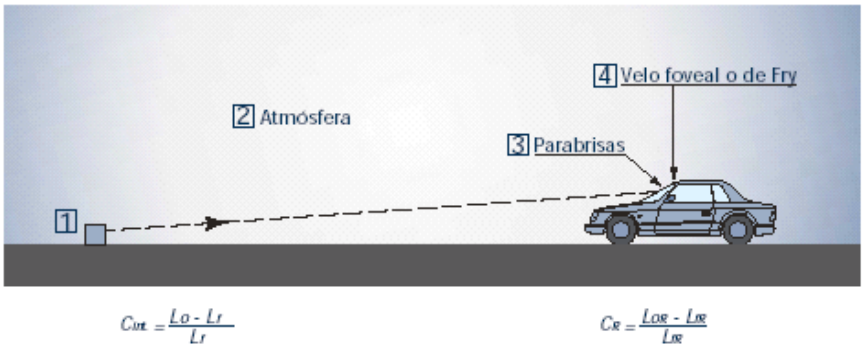


Fig 4.3.6 – Velos parásitos atmosféricos, de parabrisas y de velo foveal

La luminancia de velo foveal o de Fry, L_v está causada por la perturbación en la visión que induce una luminancia ajena a la tarea visual a realizar, y que dificulta la percepción de las imágenes, debido al velo luminoso producido en el ojo del conductor a causa de la difracción de la luz en el humor acuoso del globo ocular.

Las luminancias de velo atmosférico, de parabrisas y foveal, o de Fry que, se interponen entre el obstáculo y el conductor, reducen el contraste intrínseco C_{int} del obstáculo ($C_R < C_{int}$) sin cambiar el signo del contraste, disminuyendo la visibilidad de los obstáculos a la entrada de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Dicha reducción del contraste intrínseco podría ocasionar que no se llegara a asegurar la visibilidad de los obstáculos a la entrada de los túneles, sobre todo en el caso de luminancias de velo fuertes, que podrían obligar a duplicar los valores de luminancia a alcanzar en la zona de umbral del túnel mediante el alumbrado artificial.

Las luminancias o velos parásitos que caracterizan los efectos del entorno del túnel, del parabrisas y de la atmósfera y que perturban la visión del conductor, son variables según la región y zona donde se encuentra el túnel, así como su orientación, la estación del año, climatología, la hora de la jornada, etc.

4.3.7 Distancia de parada

Distancia de parada (DP) es la distancia necesaria para que el conductor de un vehículo que circula a determinada velocidad pueda detenerse antes de alcanzar a un obstáculo situado en la calzada. Dicha distancia consta de dos sumandos: el recorrido del vehículo desde el instante que el conductor divisa el obstáculo hasta que aplica los frenos, y la distancia de frenado propiamente dicha.

Cuando se aproxima un vehículo a un túnel los efectos de inducción, adaptación y la influencia de las luminancias de velo están íntimamente relacionadas con la distancia a la que el conductor del vehículo se encuentra de la boca de dicho túnel, en la denominada zona de acceso con una longitud aproximadamente igual a la distancia de parada (DP).

La Distancia de Parada depende fundamentalmente de dos factores: velocidad de circulación del vehículo y pendiente de la calzada.

Cuanto mayor es la velocidad de un vehículo, mayor resulta la distancia de parada (DP) y por ello deben tenerse en cuenta algunas consideraciones:

- La percepción de un obstáculo es proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia de parada (DP^{-2}), suponiendo que el contraste es constante.
- La luminancia de velo atmosférico L_{atm} es proporcional a la distancia de parada (DP). La transmisión atmosférica es $T_{atm} = 10^{-kDS}$.
- La velocidad de adaptación visual está relacionada con la velocidad de aproximación del vehículo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Para un conductor en la zona de acceso, cuanto mayor es la velocidad de su vehículo más larga es la distancia desde la boca del túnel hacia el interior en la que el conductor tiene que ver dentro del túnel, lo que supone mayor longitud de la zona umbral a iluminar.

Asimismo, a mayores distancias un obstáculo situado en el interior del túnel subtiende un ángulo más pequeño en el ojo del conductor y, por tanto, es menos visible. Además, la capa de aire entre el conductor situado en la zona de acceso y la entrada del túnel es mayor, lo que significa mayor luminancia atmosférica L_{atm}, reducción del contraste intrínseco C_{int} y, consecuentemente, disminución de la visibilidad de los obstáculos. Todo ello exige mayores niveles de iluminación en la zona de umbral del túnel.

La distancia de parada se calculará según lo indicado en el informe CIE-88, en su edición más actualizada y con la velocidad prevista proyecto.

4.3.8 Sistemas de alumbrado

Los sistemas de alumbrado de túneles pueden dividirse en dos familias: simétrico y asimétrico que a su vez comprende el sistema de alumbrado de flujo contrario al sentido de circulación de vehículos, también denominado a «contraflujo» y el sistema de alumbrado a favor de flujo que carece de utilidad práctica y, por tanto, no se considera.

El alumbrado de los túneles se caracteriza por el parámetro de calidad de contraste P, también conocido como coeficiente de revelado de contraste q_c cuya expresión es la siguiente:

$$P = q_c = \frac{L}{E_v}$$

donde:

L = Luminancia de la calzada en cd/m^2.

E_v= Iluminancia vertical del obstáculo en lux a nivel de la calzada en la dirección de la circulación de vehículos, es decir, iluminancia medida sobre una superficie vertical perpendicular al eje del túnel y, orientada hacia la entrada.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.9 Sistema de alumbrado simétrico

El sistema de alumbrado simétrico es un sistema en el que las luminarias tienen una distribución de la intensidad luminosa que es simétrica en relación a un plano perpendicular al eje del túnel.

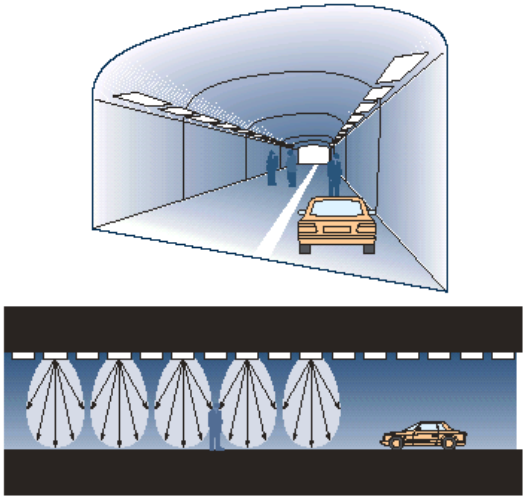


Fig 4.3.9 Sistema de alumbrado simétrico.

Los contrastes de los obstáculos pueden ser negativos o positivos; dependiendo de las propiedades de reflexión de la superficie de los mismos. No obstante, con este sistema se pretende asegurar una visión en contraste positivo, es decir, que los obstáculos se destaquen claros sobre el fondo oscuro de la calzada y paredes del túnel.

El sistema de alumbrado simétrico se utiliza en todos los casos en la zona del interior de los túneles, pudiéndose utilizar la implantación de dicho sistema en la zona de entrada de aquellos túneles que tengan establecida una limitación de la velocidad de aproximación de los vehículos baja.

Las características principales de este sistema de alumbrado se resumen en:

- Proporciona un contraste positivo de los obstáculos,
- Solución con deslumbramiento relativamente bajo,
- Bien adaptado a situaciones con densidad de tráfico alta,

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Permite diferentes ubicaciones de las luminarias en la sección del túnel,
- Hace más fácil un buen alumbrado en la pared.

Este sistema permite una buena visibilidad de los obstáculos y ausencia de deslumbramiento, siendo aconsejable fotométricamente que el pavimento de la calzada y las paredes del túnel sean superficies difusoras (factor especular S_1 pequeño) y claras (coeficiente de luminancia medio Q_o alto). Por tanto, el pavimento conviene que sea de la Clase R1, R2 ó C1, según Recomendaciones de la CIE, con alto grado de claridad o luminosidad (Q_o lo más elevado posible).

El dimensionamiento del alumbrado de los túneles, mediante sistema simétrico en la zona de entrada, conduce a niveles de iluminación difíciles de conseguir para velocidades de aproximación de los vehículos superiores a 90 km/h con luminancias de velo débiles o medias en la zona de acceso, o mayores de 70 km/h con luminancias de velo fuertes. Cuando se pretenda alcanzar niveles superiores a 200 cd/m^2, muy complicados de lograr en la práctica con el sistema simétrico, resulta necesario en dichos casos buscar otras alternativas, bien de limitación en la velocidad de los vehículos o de implantación del sistema de alumbrado a contraflujo, en la zona de entrada.

4.3.10 Sistema de alumbrado a contraflujo

El sistema de alumbrado a contraflujo es un sistema en el que las luminarias tienen una distribución de la intensidad luminosa asimétrica, que está dirigida contra el sentido de circulación del tráfico de vehículos, tal y como se representa la figura 4.3.10.

Este sistema de alumbrado favorece la visión de obstáculos por contraste negativo, es decir, que los obstáculos se destaquen oscuros sobre el fondo claro de calzada y paredes del túnel. Esta visión en contraste negativo se logra reduciendo la luminancia del obstáculo (L_o), limitando sensiblemente la iluminancia vertical del mismo (E_v), y aumentando la luminancia de la calzada.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

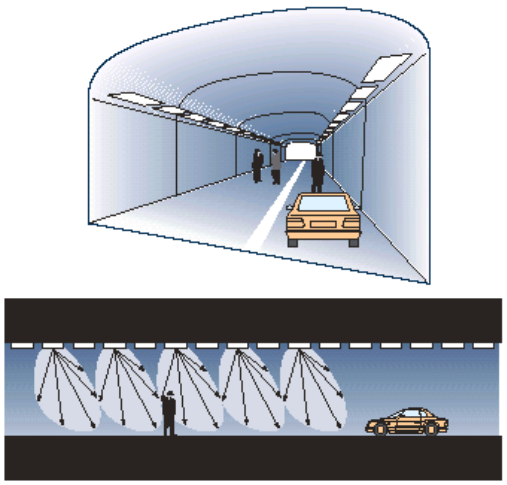


Fig 4.3.10 Sistema de alumbrado a contraflujo.

Las características de este sistema se resumen en:

- Sólo es válido en zona umbral y de transición,
- Más eficiente con pavimentos especulares,
- Menor nº de luminarias utilizadas, menor coste de inversión,
- Instalación muy cuidadosa y crítica para evitar deslumbramientos,
- Las luminarias deben ir colocadas forzosamente bajo techo,
- Menos confortable, no recomendado en situaciones con tráfico denso.

El sistema de alumbrado a contraflujo únicamente se utiliza en la zona de entrada de los túneles (no en la zona interior). Se recomienda en esta zona cuando la limitación de la velocidad de los vehículos sea elevada, es decir, a partir aproximadamente de 90 km/h, dadas las ventajas económicas que en dichos casos representa. Las luminarias se instalarán necesariamente encima de los carriles de tráfico.

Por la propia concepción de este sistema, debe evitarse su utilización en túnel de doble sentido de circulación (bidireccionales), dado que en dicho caso, lo que sería contraflujo para un sentido de circulación determinado, resultaría a favor de flujo para el sentido contrario, con lo que se modificarían las condiciones de visión de los conductores.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El sistema de alumbrado a contraflujo crea habitualmente mayor contraste entre obstáculo y el fondo, pero puede producir un cierto aumento del efecto «agujero negro» reduciendo el confort visual del conductor. Así mismo, este sistema a contraflujo puede no ser apropiado en la entrada de túneles con penetración muy alta de luz diurna, y resulta menos efectivo cuando las intensidades de tráfico sean muy elevadas o se prevea en el tráfico un elevado porcentaje de vehículos pesados.

En este sistema de alumbrado, que proporciona una buena visibilidad de los obstáculos, debe limitarse el deslumbramiento controlando la intensidad luminosa emitida por las luminarias, siendo aconsejable fotométricamente la utilización de pavimentos especulares (factor especular S_1 elevado) y claros, es decir, con coeficiente de luminancia medio Qo alto, pavimentos clase R3, R4 ó C2, según Recomendaciones de la CIE, con alto grado de claridad o luminosidad (Q_o, lo más elevado posible). Además, debe limitarse en las paredes del túnel, al menos hasta el nivel de 1 m, una elevada luminancia, con el fin de reducir la iluminancia vertical de los obstáculos (E_v).

4.3.11 Coeficiente de revelado de contraste

El sistema de alumbrado adoptado bien simétrico o a contraflujo se caracteriza por unos determinados coeficientes de revelado de contraste q_c cuyos valores se incluyen en la tabla adjunta.

TABLA 4.3.11

Coeficiente de revelado de contraste

SISTEMA DE ALUMBRADO	COEFICIENTE DE REVELADO $q_c=L/E_v$
Simétrico	$\leq 0,2$
Contraflujo	$\geq 0,6$

El valor del coeficiente de revelado de contraste $q_c = L/E_v$ está estrechamente ligado a las características intrínsecas del sistema de alumbrado del túnel, a la implantación de las luminarias y a las características reflexivas del pavimento, así como a la contribución

cve: BOB-2025a082-(I-327)

fotométrica de las paredes del túnel. Estos valores de la tabla caracterizan el sistema de alumbrado de los túneles únicamente en mediciones nocturnas.

4.3.12 Sistema de iluminación natural con luz diurna

Además de los sistemas de alumbrado artificial simétrico y a contraflujo, existe otra alternativa para la iluminación de la entrada de los túneles mediante la adecuada utilización de la luz diurna apantallada proporcionada por paralúmenes o pantallas. Este tipo de iluminación natural debe satisfacer los mismos niveles luminosos que los del alumbrado artificial, siendo los valores del factor k (coeficiente por el que se debe multiplicar la luminancia de la zona de acceso del túnel L_{20}, para obtener la luminancia de la zona de umbral de túnel L_{th}, es decir, $L_{th} = k\ L_{20}$), idénticas a las del sistema de alumbrado simétrico. Así mismo, el coeficiente de revelado de contraste q_c se determinará en la iluminación natural del mismo modo que para el alumbrado artificial, incluyéndose también en el cálculo la contribución de la luz interreflejada.

4.4 Implantación de luminarias en túneles

4.4.1 Luminarias de flujo simétrico

La implantación de luminarias forma parte y condiciona el estudio fotométrico del túnel y debe ser tenido en cuenta a la hora de definir la sección tipo del mismo ya que en función de ésta la instalación de los equipos puede ser muy diferente.

Se distinguen dos categorías de secciones:

- Secciones abovedadas
- Perfiles cuadrados

4.4.2 Túneles de perfil abovedado

a. Sin falso techo de ventilación

Dispone de un volumen importante de altura libre. La mejor implantación es situarlas encima de las vías de circulación

cve: BOB-2025a082-(I-327)

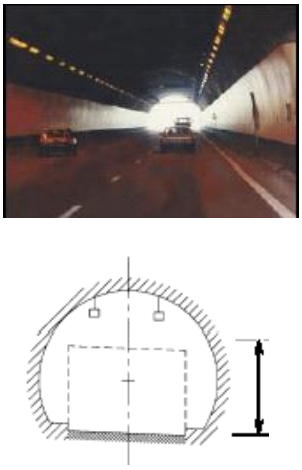


Fig 4.4.2 a.1 Túnel abovedado, luminarias encima de las vías de circulación (distancia de seguridad 0,10 m)

Las ventajas son las siguientes:

– Los aparatos presentan el mejor factor de utilización posible; en efecto el flujo puede estar distribuido de manera simétrica dentro del plano transversal de la calzada, de manera que se obtiene un reparto homogéneo y optimizado, aportando igualmente un mejor confort visual para los usuarios.

– El deslumbramiento es reducido en comparación con una implantación lateral, lo que permite en el caso de luminarias con elevado flujo luminoso una alineación de aparatos mucho menos severa que conducen a mejorar el rendimiento.

Este tipo de instalación presenta por otra parte, inconvenientes de orden práctico:

– Paso de filas luminosas a través de ciertos equipos (extractores, paneles de señalización, etc.)

– Acceso a las luminarias en operaciones de mantenimiento

– Necesidad de proveer en ciertos casos de un volumen de herrajes importante (suspensiones de gran longitud) lo cual se puede reducir situando los aparatos contra la pared en los laterales de la bóveda.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Por razones económicas cuando el túnel tiene una intensidad de tráfico poco densa se puede plantear la instalación de una sola fila de aparatos en el medio de la sección como se muestra en la figura.

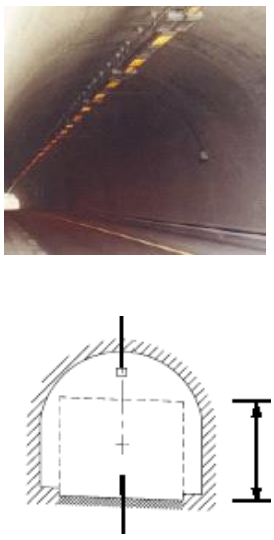


Fig 4.4.2 a.2 Túnel abovedado estrecho, la fila puede estar desplazada lateralmente encima de la vía rápida (distancia de seguridad a luminarias 0,10 m)

La principal ventaja con relación a la solución precedente es el coste inferior tanto en inversión como en explotación.

El inconveniente principal reside en que el mantenimiento requiere generalmente el cierre del tubo considerado. Si no se puede desviar la circulación sobre otro tubo o sobre un itinerario paralelo, estas dificultades de explotación pueden imponer la fijación lateral de la línea de aparatos. Esta solución es desaconsejable para túneles bidireccionales.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

b. Con falso techo de ventilación

En el caso de que el espacio disponible por encima de las vías de circulación sea suficiente se realizará la disposición similar a los casos precedentes, como muestra la figura:

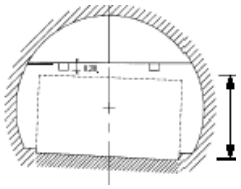


Fig 4.4.2.b.1 Túnel con falso techo suficientemente alto, aparatos encima de las vías de circulación (distancia de seguridad 0,10 m)

Conviene hacer notar la ventaja que presenta a la hora de alinear las luminarias, el situarlas ligeramente abovedadas. Las ventajas e inconvenientes que se presentan según sea la disposición de dos hileras sobre las vías de circulación o una hilera central son evidentemente las mismas que las enunciadas en el apartado anterior.

En el caso de que el espacio disponible por encima de las vías de circulación no sea suficiente se realizará una instalación lateral que necesita un retranqueo lateral de protección de 0,25 m, tal y como se muestra en la figura.

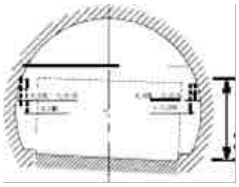


Fig 4.4.2.b.2Túnel con falso techo, instalación bilateral

Las ventajas esenciales que se presentan son:

– Una ganancia sensible sobre la sección total del túnel

– Un mantenimiento muy simple (luminarias fácilmente accesibles, posición de trabajo más manejable, uno sola vía de circulación a neutralizar)

Los inconvenientes principales son:

– Un factor de utilización no tan bueno como una instalación por encima de las vías de circulación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– La dificultad de evitar el deslumbramiento de los usuarios, lo que puede conducir a equipar los aparatos con paralúmenes considerables y disminuir así el rendimiento de la instalación.

4.4.3 Túneles de perfil cuadrado

Este caso es similar al precedente y las soluciones son las mismas que para el perfil abovedado con falso techo.

Cuando no se dispone de un espacio suficiente por encima de la altura libre para instalar las luminarias sobre las vías de circulación, la solución consiste en una implantación lateral.

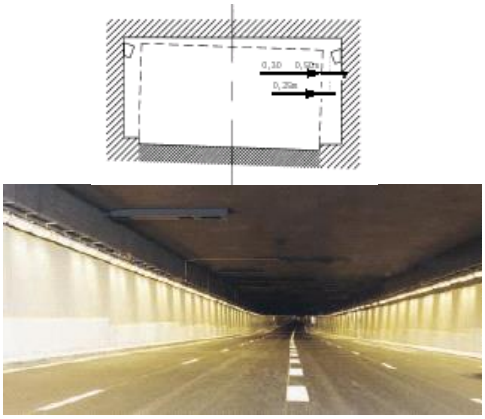


Fig 4.4.3.1 ***Perfil cuadrado instalación bilateral***

La figura muestra una instalación bilateral, las ventajas e inconvenientes para esta solución son evidentemente las mismas que las mencionadas para la sección abovedada con conductos de ventilación en el falso techo.

Si la calzada no presenta más de dos vías es posible proyectar una implantación unilateral según se muestra en la figura.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

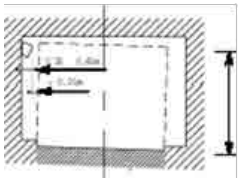


Fig 4.4.3.2 Perfil cuadrado, instalación unilateral

Para los túneles unidireccionales es preferible poner los aparatos a la izquierda, a fin de evitar el efecto de enmascaramiento producido por el paso de los vehículos pesados.

La ventaja esencial sobre la solución bilateral es el coste sensiblemente inferior. No debe usarse en túneles largos por razones de dificultad en obtener una uniformidad transversal de la iluminación a nivel de calzada.

En el caso de disponer de un perfil suficientemente alto se podrán instalar las luminarias por encima de las vías de circulación según se muestra en la figura.

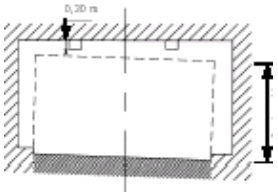


Fig 4.4.3.3 Perfil cuadrado suficientemente alto, aparatos encima de las vías de circulación

La elección definitiva de la implantación de luminarias debe tener en cuenta la fijación de otros equipos constituyentes de la instalación interior del túnel y en particular los elementos de señalización.

4.4.4 Luminarias de flujo asimétrico o a contraflujo

Con este sistema las luminarias serán instaladas obligatoriamente por encima de las vías de circulación para evitar el deslumbramiento de los usuarios, teniendo en cuenta los posibles embotellamientos a que pudiera dar lugar.

El problema es sobre todo importante en los túneles de sección cuadrada o similar. Se podrán fijar sobre una altura máxima de 0,4 m de los aparatos incluyendo las fijaciones. En

cve: BOB-2025a082-(I-327)

los túneles abovedados sin falso techo el espacio disponible es suficiente para permitir su implantación sin grandes dificultades.

En los túneles donde no hay espacio suficiente sobre las vías y la colocación de las luminarias tenga que ser en las esquinas de la sección con una rotación hacia el eje de la calzada, el deslumbramiento producido será inaceptable.



Fig 4.4.4 *Túnel con iluminación básica simétrica, y refuerzo a contraflujo*

4.5 Alumbrado normal de túneles

Las principales características fotométricas necesarias para establecer la calidad del alumbrado de un túnel son las siguientes:

- Nivel de luminancia de la calzada.
- Nivel de luminancia de las paredes, en particular hasta una altura de 2 m.
- Uniformidad de distribución de luminancia en calzada y paredes.
- Limitación del deslumbramiento.
- Control del efecto flicker.

En la figura 4.5 se ha representado una sección longitudinal de un túnel tipo I o II unidireccional interurbano, detallando las longitudes y niveles de iluminancia de las diferentes zonas del mismo. La nomenclatura y correspondiente definición de dichos niveles luminotécnicos se concreta a continuación:

– L_{20}= Luminancia en la zona de acceso.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- L_{th} = Luminancia en la zona de umbral.
- L_{tr} = Luminancia en la zona de transición:
- L_n= Luminancia en la zona del interior.
- L_{ex}= Luminancia en la zona de salida.

A continuación, se identifican y representan de forma esquemática los niveles de iluminación en las distintas zonas.

Donde:

$L_{tr} = L_{th} (1,9+t)^{-1,428}$

Con L_{th} = 100% y t=tiempo en segundos

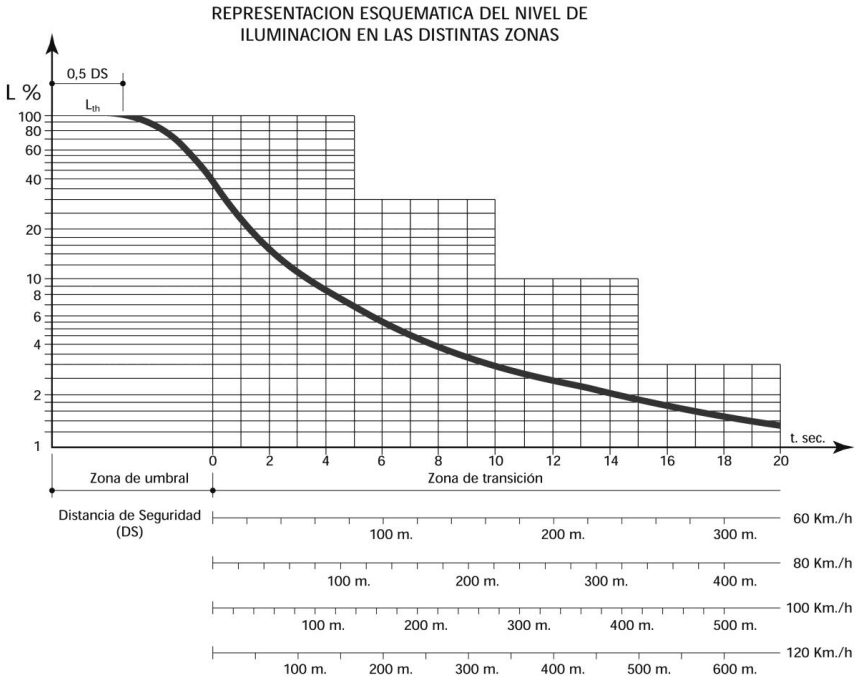


Fig 4.5:- Evolución de la luminancia a lo largo del túnel. El valor de 100% corresponde a la primera mitad de la zona de umbral.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.1 Luminancia en la zona de acceso

La luminancia de la zona de acceso L_{20} es la luminancia media contenida en un campo cónico de visión que subtiende un ángulo de 20º, con el vértice en la posición del ojo del conductor, situado a una distancia anterior al túnel igual a la distancia de parada, y orientado el cono hacia el portal de túnel sobre un punto situado a una altura de 1/4 de la boca del túnel.

La determinación de la luminancia de la zona de acceso L_{20} tiene una gran trascendencia, ya que es la que predetermina el nivel a obtener mediante el alumbrado en la zona de umbral. Dicha luminancia de la zona de acceso depende de las condiciones atmosféricas de la zona y del emplazamiento del túnel (orografía, alrededores, etc.).

4.5.2 Determinación de la luminancia en la zona de acceso del túnel

El valor de luminancia necesaria al comienzo de la zona de umbral debe basarse en el valor de la luminancia en la zona de acceso L_{20} a una separación delante del túnel igual a la distancia de parada “DP”. Bajo idénticas condiciones de luz diurnas, los túneles con distintas zonas de aproximación y alrededores (distinta orografía, entorno etc.) tendrán valores considerablemente diferentes de luminancia en la zona de acceso L_{20}.

Para diseñar y proyectar la instalación de alumbrado de un túnel se necesita conocer el valor máximo de L_{20} que tiene lugar con una frecuencia suficiente durante todo el año. Como en la mayoría de los casos este valor L_{20} depende de las condiciones estacionales y del tiempo meteorológico, se utilizan dos métodos empíricos simplificados para la evaluación de L_{20} que a continuación se especifican.

4.5.2.1.1 Método de aproximación

Como su propio nombre indica este método da solamente una indicación aproximada, y únicamente debe utilizarse cuando no exista información suficientemente detallada acerca de los alrededores inmediatos de la boca de entrada del túnel. Este método consiste en la elección de la luminancia de la zona de acceso L_{20} mediante la Tabla 4.5.2.1.1 expresada en kcd/m^2 (10^3 cd/m^2):

cve: BOB-2025a082-(I-327)

TABLA 4.5.2.1.1: Luminancia media de la zona de acceso L_{20} (Kcd/m^2)

SITUACIÓN Y DISTANCIA DE PARADA	PORCENTAJE DE CIELO (%) EN LOS CAMPOS DE VISIÓN CÓNICOS A 20°															
	35%				25%				10%				0%			
	NORMAL		NIEVE		NORMAL		NIEVE		NORMAL		NIEVE		NORMAL		NIEVE	
	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A
Situación de brillo en campo de visión	(1)		(1)		(1)		(1)		(2)		(3)		(2)		(3)	
Distancia parada 60 m (60 km/h)	(4)		(4)		**4**	**5**	**4**	**5**	**2,5**	**3,5**	**3**	**3,5**	**1,5**	**3**	**1,5**	**4**
Distancia parada 100 m (80 km/h)	**4**	**6**	**4**	**6**	**4**	**6**	**4**	**6**	**3**	**4,5**	**3**	**5**	**2,5**	**5**	**2,5**	**5**

Siendo:

1) Efecto dependiente fundamentalmente de la orientación del túnel:

– «B»: Bajo; En el hemisferio norte: «entrada sur».

– «A»: Alto; En el hemisferio norte: «entrada norte».

Para entradas este y oeste deben elegirse valores intermedios entre bajo y alto.

2) Efecto dependiente fundamentalmente del brillo de los alrededores:

– «B»: Bajo; Reflectancias de los alrededores bajas.

– «A»: Alto; Reflectancias de los alrededores altas.

3) Efecto dependiente fundamentalmente de la orientación del túnel:

– ««B»: Bajo; En el hemisferio norte: «entrada sur».

– «A»: Alto; En el hemisferio norte: «entrada norte».

Para entradas este y oeste deben elegirse valores intermedios entre bajo y alto.

4) Para una distancia de parada de 60 m no se encuentran en la práctica porcentajes de cielo del 35%.

Notas: La «entrada norte» significa la entrada para conductores de vehículos viajando hacia el sur. La «entrada sur» expresa la entrada para conductores de vehículos viajando hacia el norte.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.2.1.2 Método exacto

El segundo método, más exacto, debe utilizarse cuando exista disponible una vista en tres dimensiones de la boca del túnel. En este método la evaluación de la luminancia media de la zona de acceso L_{20} se obtiene a partir de un croquis de los alrededores de la entrada del túnel y se calcula mediante la fórmula siguiente.

$$L_{20} = aL_c + bL_R + cL_E + dL_{th}$$

Donde:

L_c= Luminancia del cielo	a = % de cielo
L_R= Luminancia de la carretera	b = % de la carretera
L_E= Luminancia de los alrededores	c = % de los alrededores
L_{th}= Luminancia de la zona de umbral del túnel	d = % de la entrada del túnel

Verificándose que

$$a + b + c + d = 1$$

Para distancias de parada (DP) superiores a 100 m, el valor de (d) es pequeño $(d < 10\%)$ y como la luminancia de la zona de umbral L_{th} es baja respecto a otros valores de luminancia a cielo abierto, puede despreciarse la contribución de L_{th}.

Para una distancia de parada (DP) de 60 m se puede establecer la siguiente expresión:

$$L_{20} = \frac{aL_c + bL_R + cL_E}{1 + k}$$

siendo:

$$k = L_{th} / L_{20}$$

Como el factor k, cuyos valores se establecen en la tabla 4.5.4, nunca excede de 0,1 la fórmula anterior queda de la siguiente forma:

$$L_{20} = aL_c + bL_R + cL_E$$

teniendo en cuenta que:

$$a + b + c < 1$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuando la determinación de a, b y c no resulta factible, pueden evaluarse por comparación con la colección de 8 diseños de entrada de túneles de la figura 4.5.2.1.3, que muestran los porcentajes de cielo en la visión del conductor para la zona de acceso.

En el caso de no disponer de valores locales exactos de Lc, L_R y L_E, pueden obtenerse mediante la Tabla siguiente, en la que dichos valores se expresan en Kcd/m^2 (10^3 cd/m^2).

TABLA 4.5.2.1.2: Valores de las luminancias de cielo, carretera y alrededores (Kcd/m^2)

Dirección de conducción	Cielo L_c	Carretera L_R	L_E (alrededores)			
			Rocas	Edificios	Nieve	Praderas
N	8	3	3	8	15 (V)/15(H)	2
E-O	12	4	2	6	10 (V)/15(H)	2
S	16	5	1	4	5(V)/15(H)	2

Nota: (V) Superficies verticales; (H) Superficies horizontales.

4.5.2.1.3 Uso de dos métodos

Para facilitar el uso de la tabla 4.5.2.1.1 del método de aproximación se incluye una colección de ocho diseños de entradas de túneles (figura 4.5.2.1.3). Estos diseños se basan en fotografías y se superponen a cada dibujo en el campo de vista cónico de 20°, definiendo la luminancia de la zona de acceso L_{20}. Bajo cada diseño aparece el porcentaje de cielo dentro del campo de 20°, junto con la distancia de parada a la entrada del túnel, desde la cual se tomó originariamente cada fotografía.

Para estimar el valor de porcentaje de cielo que contribuye al valor de la luminancia de la zona de acceso L_{20} en la entrada de cualquier túnel, debería sacarse una fotografía desde el punto donde se inicia la distancia de parada y conociendo alguna dimensión real de la misma, por ejemplo, la altura del túnel podría determinarse el diámetro del cono de 20° en la fotografía.

Si el túnel no está todavía construido, entonces podría utilizarse una fotografía sacada a lo largo de la línea del cielo, o un dibujo a escala, que debería no alterarse durante la construcción del túnel. La fotografía o el dibujo puede entonces compararse con el diseño (figuras 1 a 8) que se parezca más a los valores del porcentaje de cielo observados particularmente.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuando el porcentaje de cielo se sitúa entre los valores de la Tabla 4.5.2.1.1, entonces es necesario interpolar para obtener el valor de la luminancia de la zona de acceso L_{20}. Los valores L_{20} obtenidos utilizando dicha tabla son muy aproximados y se recomienda su uso cuando la disponibilidad de información de la entrada del túnel sea muy limitada.

El método exacto para determinar L_{20} debe utilizarse cuando se dispone de suficiente información de la entrada del túnel. En la práctica, el mejor sistema de operar, a la hora de proyectar la iluminación de un túnel, es realizar una estimación inicial del valor de la luminancia de la zona de acceso L_{20} utilizando la Tabla 4.5.2.1.1 del Método aproximado, pero el diseño final del alumbrado debe realizarse mediante el Método exacto.

Es conveniente definir el nivel adecuado que, ajustándose a las necesidades reales de costo, suponga tener la suficiente seguridad. Si se utilizasen solamente estrictos criterios de visibilidad para la definición del nivel de iluminación en el interior del túnel, se llegaría a valores insuficientes; son las medidas de seguridad, las que imponen unos niveles superiores a los antes mencionados. Hay que señalar que estos niveles de umbral de iluminación son mayores en los túneles urbanos donde las densidades de tráfico son más elevadas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

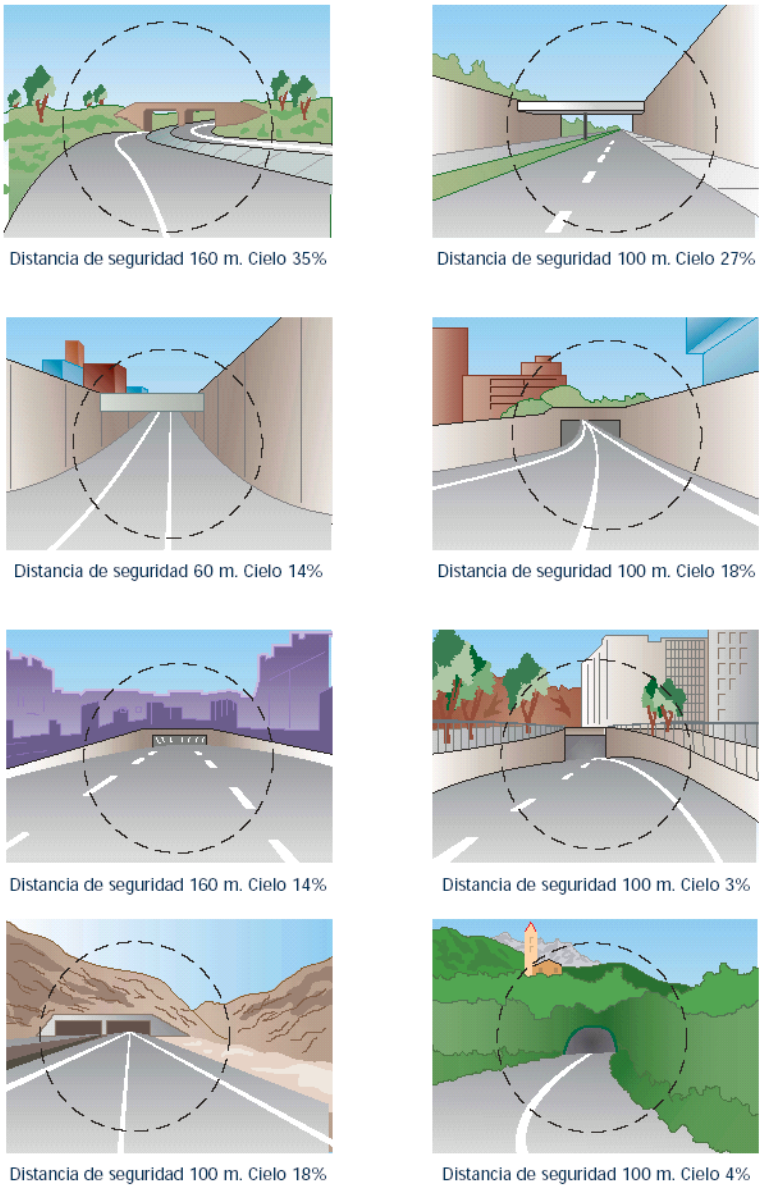


Fig 4.5.2.1.3 – Porcentajes de cielo en la visual del conductor

Los valores de luminancia de adaptación en el campo de 20º centrado en el eje del túnel, que se toman de referencia en las bocas de entrada varían con la distancia de parada, con la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

intensidad de iluminancia en el campo de visión y con el porcentaje de cielo en el campo de visión de 20º, con valores mínimos de 1500 cd/m^2 y máximos de 7500 cd/m^2. La tabla 4.5.2.1.3 indica unos valores en función de las condiciones del entorno visual.

TABLA 4.5.2.1.3

Luminancias de adaptación según las condiciones del entorno visual

CONDICIONES DEL ENTORNO VISUAL	LUMINANCIA (cd/m^2)
Más del 60% del área de visión está ocupada por el cielo o superficies con alta luminancia.	7.000
La embocadura del túnel y su entorno están localizados en un entorno abierto y orientados hacia el Sur. Más del 50% del campo de visión está ocupada por el cielo o superficies con alta luminancia.	6.000
La zona de entrada se encuentra despejada y en la embocadura presenta una gran superficie de obra clara, así como el pavimento. Más del 40% del área de visión está ocupada por el cielo o superficie clara	5.000
Más del 25% del área de visión está ocupada por el cielo o superficies con alta luminancia. La embocadura del túnel y su entorno están localizados en una zona bastante abierta y orientada al sudeste o sudoeste por lo menos 25º. Túneles en áreas urbanas en general.	4.000
No existen en el campo de visión superficies muy luminosas como cielo, más que en muy pequeña proporción La embocadura del túnel se encuentra flanqueada por laderas de pendiente acentuada o bosque a ambos lados. Túneles en áreas urbanas con la embocadura rodeada de altos edificios. Túneles localizados de tal manera que sobre su embocadura no pueden incidir directamente la luz solar en ningún momento ni época del año.	3.000
Embocadura del túnel de montaña orientada hacia el Norte y flanqueada por laderas cubiertas de vegetación, en cuyo campo de visión solo existen superficies de baja luminancia	2.000

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.3 Alumbrado de la zona de entrada

Tal y como se representa en la figura 4.5, la entrada del túnel consta de dos tramos consecutivos: la zona de umbral, que es la más próxima a la boca del mismo y la zona de transición.

Para establecer los requisitos de alumbrado de túneles de longitud inferior a 125 m deberá utilizarse la guía de referencia publicada en la CIE 88, en su última revisión.

4.5.4 Niveles de iluminación de la zona de umbral

Una vez conocida la luminancia en la zona de acceso del túnel, bien por el método aproximado (apartado 5.1.1.1) o por el método exacto (apartado 5.1.1.2), la luminancia de la zona umbral se calculará de la siguiente forma:

La zona de umbral es la primera parte del túnel ubicada directamente después del portal, comenzando, por tanto, en la boca del mismo. El nivel de luminancia L_{th} (luminancia media en servicio de la superficie de la calzada con mantenimiento de la instalación), que debe ser proporcionado por el alumbrado durante el día al comienzo de la zona de umbral, es un porcentaje de la luminancia de la zona de acceso L_{20}, de forma que se verifica:

$$L_{th} = k\, L_{20}$$

A este factor k se le denomina **coeficiente de poder revelador**, y relaciona la luminancia en la zona de umbral (L_{th}) y la luminancia en la zona de acceso (L_{20}) con la fórmula anterior.

Como la proporción tomada por la vista de la entrada es una función de la longitud de la zona de acceso, el valor mínimo de k que ha de cumplirse depende también de la distancia de parada (o la velocidad de circulación) de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 4.5.4. Valores mínimos del coeficiente de poder revelador (k)

Sistema de alumbrado	**Simétrico**	**Contraflujo**
Velocidad (km/h)	**$k = L_{th}/L_{20}$**	
≤ 60	0,05	0,04
80	0,06	0,05
120	0,10	0,07

Para todos aquellos valores intermedios se debe realizar una interpolación de los mismos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.5 Longitud de la zona de umbral

La longitud de la zona de umbral debe ser como mínimo igual a la distancia de parada (DP). En la primera mitad de dicha distancia (DS), la luminancia en la calzada será igual a L_{th}, es decir, el valor al comienzo de la zona de umbral.

A partir de la mitad de la distancia de parada (DP), la luminancia de la calzada puede disminuir gradual y linealmente hasta un valor, al final de la zona de umbral, igual a 0,4 L_{th} (figura 4.5). La reducción gradual en la segunda mitad de la zona de umbral puede realizarse de forma escalonada, de manera que la relación entre escalones no exceda de la relación 3:1 y la luminancia no caiga por debajo de los valores correspondientes a la disminución gradual lineal.

4.5.6 Luminancia de las paredes

Las paredes del túnel forman parte del fondo para la detección de obstáculos en el túnel; contribuyen al nivel de adaptación y al guiado visual. Por ello, la luminancia de las paredes del túnel es un componente importante de la calidad del alumbrado del túnel.

La luminancia media de las paredes, hasta una altura de 2 m, debe ser al menos el 60% de la luminancia media de la superficie de la calzada en el tramo o zona correspondiente.

4.5.7 Luminancia y longitud de la zona de transición

La zona de transición es la parte del túnel que sigue a la zona de umbral, tal como se indica en la figura 4.5. Por tanto, comienza al final de la zona de umbral y termina al inicio de la zona del interior.

De conformidad con la figura 4.5, la longitud de la zona de transición es la distancia que debe recorrer un vehículo para pasar, adaptándose visualmente, desde el nivel de luminancia del final de la zona de umbral, hasta el valor de la luminancia en el comienzo de la zona del interior. En consecuencia, para cada velocidad del vehículo la reducción permisible de la luminancia en la zona de transición L_{tr}, es función de la distancia recorrida en la mencionada zona.

La luminancia media en servicio de la calzada con mantenimiento de la instalación de la zona de transición L_{tr} disminuye gradualmente, desde la luminancia de la zona de umbral hasta la luminancia de la zona del interior.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La curva de la figura 4.5 es el resultado de numerosas pruebas experimentales en función de la adaptación del ojo desde altos niveles de luminancia a valores muy bajos, que han dado lugar a una aproximación matemática que responde a la siguiente expresión:

$$L_{tr}=L_{th}\,(1{,}9 + t)^{-1{,}428}$$ siendo: t = tiempo en segundos.

En la práctica, el descenso de la luminancia en la zona de transición puede llevarse a cabo mediante una serie de escalones que deben ser menores que la relación 3:1 y la luminancia no puede alcanzar valores inferiores a los de la curva de la figura 4.5, alcanzándose el final de la zona de transición cuando su luminancia es igual o inferior a dos veces el nivel de la zona del interior del túnel.

4.5.8 Alumbrado de la zona interior

La luminancia media de la carretera en la zona interior del túnel está dada a continuación en función de la distancia de parada (DP) y del caudal de tráfico. La zona interior de un túnel muy largo consiste en dos subzonas diferentes. La primera subzona corresponde a la longitud que es cubierta en 30 segundos y debe ser iluminada con los niveles de “túneles largos”. La segunda subzona corresponde a la longitud restante y debe ser iluminada con los niveles de “túneles muy largos”.

TABLA 4.5.8.1. Valores de luminancia en cd/m^2 en la zona interior (túneles largos)

Distancia de parada	**TÚNELES LARGOS** Caudal de tráfico (vehículos/hora/carril)	
	Bajo	Elevado
160 m	6	10
60 m	3	6

cve: BOB-2025a082-(I-327)

TABLA 4.5.8.2. Valores de luminancia en cd/m^2 en la zona interior (túneles muy largos)

Distancia de parada	**TÚNELES MUY LARGOS** Caudal de tráfico (vehículos/hora/carril)	
	Bajo	Elevado
160 m	2,5	4,5
60 m	1	2

Para distancias de parada que se encuentran entre las cifras establecidas y caudales de tráfico intermedios (entre bajo y elevado) puede usarse una interpolación lineal.

El caudal de tráfico usado en las tablas anteriores puede ser definido como sigue:

TABLA 4.5.8.3. Clasificación de caudal de tráfico

Caudal de tráfico	Tráfico unidireccional	Tráfico bidireccional
Elevado	>1500	>400
Bajo	<500	<100

Según la CIE 88:2004 la definición de Caudal de Tráfico es la que sigue: “el número de vehículos que pasan por un punto específico en un instante establecido en dirección o direcciones establecidas. En el diseño del túnel, se usará el tráfico en horas punta, vehículos por carril y por hora”, estableciendo así que se use el tráfico en horas punta por carril y hora. Dado que el dato de registros de tráfico del que se dispone habitualmente es la Intensidad Media Diaria (IMD), se considerará que el Caudal de Tráfico es la décima parte del valor de IMD, referido a cada carril de circulación, según la siguiente expresión:

$$Caudal\ de\ Tráfico = \frac{0{,}1 \cdot IMD}{número\ de\ carriles}$$

donde:

Caudal de Tráfico = Número de vehículos por carril y hora

IMD = Intensidad media diaria, en número de vehículos diarios

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La IMD a emplear deberá ser suministrada por DFB. Será el resultado de un estudio de estimación de tráfico a 10 años vista, y en el caso de túneles existentes nunca será inferior al 110% de la última IMD conocida.

4.5.9 Alumbrado de la zona de salida

Deberá ser iluminada de la misma manera que la zona interior del túnel, aunque en los túneles en los que se puedan dar situaciones peligrosas adicionales cerca de la salida del mismo y en los túneles en los que la zona interior corresponda a un túnel muy largo, deberá considerarse la necesidad de que la luminancia, durante el día, en la zona de salida, aumente linealmente sobre una longitud igual a la distancia de parada (DP) (antes del portal de salida), desde el nivel de la zona interior hasta un nivel cinco veces superior a una distancia de 20 m del portal de salida.

4.5.10 Alumbrado exterior

En caso de que el túnel pertenezca a una carretera sin iluminar se deberá disponer de iluminación en las zonas exteriores de los túneles de tipo I y II. Este alumbrado a su vez debe colocarse en túneles tipo III de nueva construcción y se recomienda en los túneles existentes de este tipo. Debe preverse esta iluminación en una longitud igual a la distancia de parada en la zona de acceso e igual a 2 veces la distancia de parada en la zona de partida, sin ser necesario exceder de una longitud de 200 m, con una luminancia media de calzada no inferior a 1/3 de la luminancia nocturna en la zona interior del túnel, recomendándose cumplir los niveles indicados en la Instrucción EA-02 del Reglamento de eficiencia energética en instalaciones de alumbrado exterior, para el alumbrado vial.

Aunque no se considera que este alumbrado cumpla funciones de alumbrado de emergencia, debido a la importancia que puede adquirir en el caso de un incidente nocturno que deba ser atendido desde las bocas, debe disponer de una fuente de alimentación redundante, bien a través de la segunda acometida o del grupo electrógeno de la instalación (alimentación automática con corte mediano).

4.5.11 Uniformidad de la luminancia de la calzada

En los túneles, la calzada y las paredes actúan como delimitadores o guías visuales para el tráfico de vehículos, de ahí que deba alcanzarse una buena uniformidad en la calzada y en las paredes de los túneles hasta una altura de 2 m.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En la tabla 4.5.11 se establecen los valores mínimos en servicio con mantenimiento de la instalación, de la uniformidad global y longitudinal de luminancias en las calzadas de los túneles, en todas sus zonas, es decir, en la longitud total de los mismos y la anchura completa de la calzada.

TABLA 4.5.11

Uniformidades de luminancia de la superficie de la calzada

UNIFORMIDADES	
Global Uo	Longitudinal Ul
0,4	0,6

Tales valores de uniformidad deben ser verificados para todos los escalones de reducción de flujo luminoso de la instalación de alumbrado. Además, en la zona de transición, así como en la segunda mitad de la zona umbral (y en la zona de salida si existe), la uniformidad de luminancia será calculada y medida en la parte central de cada escalón que reemplaza la curva de variación continua. Se recomienda que se alcancen los valores anteriores, independientemente de la longitud del escalón.

4.5.12 Limitación del deslumbramiento

Dado que el deslumbramiento reduce la visibilidad, es muy importante minimizarlo en el alumbrado de túneles. El deslumbramiento perturbador, definido como el incremento de umbral de contraste (TI) necesario para ver un obstáculo cuando hay deslumbramiento, se especifica mediante las siguientes expresiones:

$$TI = 65\frac{L_v}{(L_m)^{0,8}} \qquad \text{en \% para } 0,05 \leq L_m, \leq 5 \text{ cd/m}^2$$

$$TI = 95\frac{L_v}{(L_m)^{1,05}} \qquad \text{en \% para } L_m > 5 \text{ cd/m}^2$$

donde:

TI = Incremento de umbral correspondiente al deslumbramiento perturbador.

L_v = Luminancia de velo total en cd/m^2.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

L_m= Luminancia media de la calzada en cd/m^2.

El incremento de umbral (TI) debe ser menor del 15% para las zonas de umbral, de transición y zona interior durante el día, y para todas las zonas durante la noche. Para la zona de salida durante el día no existe limitación en el deslumbramiento perturbador.

4.5.13 Control del efecto Flicker

La sensación de parpadeo o efecto flicker es la impresión molesta e incómoda producida por las variaciones periódicas de la luminancia en el campo de visión, originadas por las luminarias instaladas en las paredes o techos de los túneles cuando existe una separación inadecuada entre las mismas, con una elevada velocidad de cambio en la distribución de la intensidad luminosa.

La incomodidad visual experimentada por el conductor, debida al parpadeo o efecto flicker depende fundamentalmente de los siguientes factores:

- Número de cambios de la luminancia por segundo (frecuencia de parpadeo o flicker).
- Duración total del efecto Flicker.
- Velocidad de cambio de claro a oscuro, en, un solo ciclo.
- Relación de pico-luz a valle-oscuridad, dentro de cada período (profundidad de modulación de luminancia).

La influencia de los tres primeros puntos depende de la velocidad del vehículo y de la separación entre luminarias; el último punto depende también de las características fotométricas (distribución de la intensidad luminosa) e interdistancia entre luminarias.

Cuando la distancia entre los extremos de las luminarias adyacentes es inferior a la longitud de una sola luminaria, el tercer punto relativo a la velocidad de cambio de claro a oscuro queda minimizado, y el parpadeo o efecto flicker percibido resulta despreciable, debido a que la implantación de la instalación de alumbrado puede asimilarse a una línea continua.

Para calcular la frecuencia de parpadeo o flicker en una zona del túnel, se divide la velocidad del tráfico en metros/segundo por la separación entre luminarias en metros.

Deben evitarse frecuencias de parpadeo o flicker (variación de la luminancia), comprendidas entre 4 y 11 Hz, recomendándose además evitar frecuencias comprendidas

cve: BOB-2025a082-(I-327)

entre 2,5 Hz y 15 Hz, a la velocidad de circulación durante más de 20 segundos, dado que el efecto de parpadeo puede despreciarse para frecuencias por debajo de 2,5 Hz y por encima de 15 Hz.

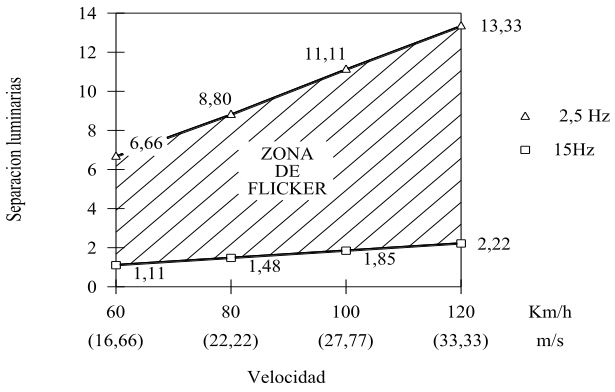


Fig 4.5.13 – Efecto Flicker

4.5.14 Alumbrado nocturno

Si el túnel se encuentra en un tramo de carretera iluminado, la calidad del almbrado dentro del túnel debe ser al menos igual al nivel de uniformidades y deslumbramiento de la carretera de acceso. La uniformidad durante la noche en los túneles satisfará los mismos requisitos que el alumbrado diurno.

Si el túnel es parte de un tramo de carretera que no está iluminado, la luminancia media de la superficie de la calzada interior no debe ser menor de 1 cd/m^2, la uniformidad global al menos del 40% y la uniformidad longitudinal al menos del 60%.

Es recomendable que, durante la noche y periodos crepusculares y/o días muy nublados proyectar luminancias medias ≥ 3 cd/m^2 en el interior del túnel.

4.5.15 Alumbrado túneles cortos

El diseño del alumbrado normal de los túneles cortos, responde a unas necesidades específicas que pueden hacer variar los niveles requeridos. La exigencia de alumbrado

cve: BOB-2025a082-(I-327)

artificial diurno en túneles cortos está relacionada con el grado en el que la salida del túnel es visible para un conductor situado enfrente de la entrada, a la distancia de seguridad (DS), es decir, la visión a través de túnel que depende de los siguientes factores:

- Longitud del túnel.
- Existencia de curvas en su interior.
- Presencia de pendientes o rampas en el túnel.

A continuación, se detalla un diagrama de decisión para instalar o no alumbrado diurno en los túneles cortos unidireccionales, así como en su caso, optar por el grado de iluminación diurno a implantar:

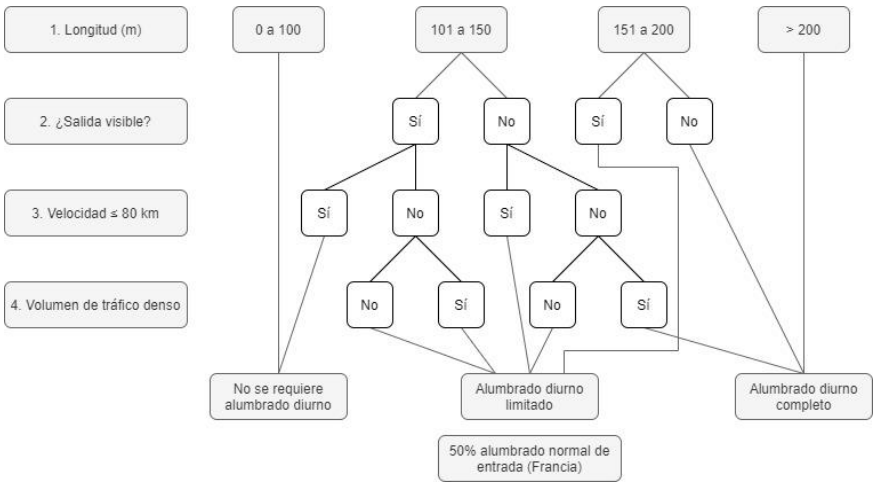


Fig 4.5.15 – Alumbrado diurno en túneles cortos interurbanos unidireccionales. Volumen de tráfico denso IMD>10.000

En el caso de túneles cortos bidireccionales, se debe hacer un estudio específico para determinar el factor de reducción a aplicar, no siendo los requerimientos nunca menos exigentes que para los túneles cortos unidireccionales de misma longitud.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.6 Alumbrados de emergencia y evacuación

En todos los casos deben tenerse en cuenta el alumbrado de emergencia por interrupción del suministro eléctrico y el alumbrado de evacuación en caso de incendio.

4.6.1 Alumbrado de emergencia por interrupción del servicio eléctrico

Cuando exista un fallo en la alimentación de corriente eléctrica, se requiere un sistema de alumbrado de emergencia que, al menos, asegure que una parte del alumbrado permanezca en funcionamiento al objeto de:

- Minimizar, en el momento del corte del fluido eléctrico, la reacción instintiva de los conductores de frenar rápidamente, lo que podría ocasionar múltiples colisiones.
- Dotar de unos niveles de iluminación razonables para el tráfico de vehículos, una vez que se haya impuesto una restricción en la velocidad de los vehículos.
- Ayudar y proteger el trabajo de los servicios de emergencia que se derivan de un accidente o una avería dentro del túnel

El alumbrado de emergencia se instalará a lo largo de todo el túnel, desde la entrada hasta la salida, con un nivel de iluminancia media de 10 lux y 2 lux como mínimo en cualquier punto. Esto se conseguirá alimentando desde SAI parte del alumbrado del túnel.

Deberá instalarse alumbrado de emergencia tanto dentro de las galerías de evacuación, como en sus vestíbulos, si se dispone de los mismos.

El alumbrado de emergencia no es necesario en los túneles sin iluminar o en túneles tipo III.

4.6.2 Alumbrado de evacuación en caso de incendio

Para todos los túneles de tipo I y II se requiere la instalación de un sistema de alumbrado de evacuación.

El alumbrado de evacuación debe permitir el guiado de los usuarios del túnel ante situaciones de incendio que requieran evacuar el túnel a pie. Se dispondrá a una altura no superior a 1,5 m en el hastial o hastiales en los que se sitúen las salidas de emergencia o, en su defecto, en el hastial derecho en el sentido de circulación, garantizando un nivel de iluminancia mínimo en toda la ruta de evacuación de 2 lux en un eje longitudinal paralelo al hastial y separado 0.5 m del mismo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La autonomía de dichos equipos no será inferior a los 60 minutos, considerando que durante dicho tiempo el flujo luminoso del equipo permanece constante. Para dotar a los equipos de la mencionada autonomía, éstos estarán alimentados de SAI o contarán con baterías autónomas.

El alumbrado de evacuación podrá estar permanentemente encendido, en cuyo caso se deberá prestar especial atención en su diseño a que no produzca efecto flicker ni deslumbramiento en los conductores, o podrá estar apagado en condiciones normales, debiendo en este caso poder ser activado de forma remota desde el centro de control mediante una única orden, e integrable en los procedimientos automáticos del plan de autoprotección, en caso de incidente con necesidad de evacuación. Si el alumbrado de evacuación permanece apagado en condiciones normales, deberá disponer de un sistema o procedimiento de supervisión que permita comprobar su funcionalidad y estado desde el centro de control, así mismo, en caso de pérdida de comunicación con el centro de control, se encenderá automáticamente.

En túneles tipo III no será necesaria la instalación de este sistema de alumbrado para guiado de evacuación en caso de incendio.

4.7 Guiado visual

Otro sistema que facilita la conducción en los túneles es el guiado visual, ya que el mismo permite incrementar la visibilidad de la calzada y de la señalización vertical y sobre todo horizontal.

Se entiende como sistema de guiado visual al conjunto de referencias que le permiten al conductor determinar en qué posición se encuentra y cuál es la trayectoria que debe seguir.

El guiado visual es importante cuando el usuario se aproxima al túnel y cuando la altura de la entrada al túnel es baja o el nivel luminoso de la misma es reducido.

Un buen guiado visual puede conseguirse:

- Dividiendo la superficie longitudinal del túnel en varias superficies de contraste, como por ejemplo dejando las paredes del túnel claras y el techo obscuro.
- Instalando otros dispositivos, como marcas reflectantes en el arcén, sistemas de balizamiento retrorreflectante en la calzada (captafaros, hitos, etc.), marcas y balizamiento retrorreflectante en los hastiales o diodos emisores de luz (LED).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Manteniendo permanentemente encendidas las luminarias del alumbrado de evacuación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL

5.1 Control del nivel de luminancia en el alumbrado

La luminancia en la zona de acceso varía con los cambios en las condiciones diurnas. Durante el día, los niveles de luminancia que deben ser proporcionados por la instalación de alumbrado en las zonas de umbral y transición deben ser porcentajes constantes de la luminancia en la zona de acceso, por lo que es necesario prever un control automático del alumbrado artificial en estas zonas.

En la práctica para el control del nivel de luminancia requerido en la zona de umbral debe usarse un luminancímetro con un campo de medición de 20º, centrado sobre la boca del túnel y posicionado a la distancia de parada (DP), enfrente del portal del túnel. Por necesidades reales de instalación y mantenimiento, el luminancímetro ha de estar montado a una mayor altura que la posición del ojo del conductor (como se ha definido para L_{20}), a una altura entre 2 y 5 m sobre el pavimento. Por ello, antes de su puesta en servicio, el instrumento deberá calibrarse por separado con una medición de L_{th}, en la zona umbral con un segundo luminancímetro portátil, ya que de la luminancia efectiva de la zona umbral depende del ajuste de los circuitos de luminarias que son alimentados. Se supone que las dos luminancias son proporcionales.

Este equipo estará conectado a un sistema de control inteligente que, automáticamente, regula los circuitos correspondientes según los datos obtenidos. Se recomienda que los luminancímetros tengan un rango de medida entre 1 y 10.000 cd/m2, y salida analógica 4-20 mA. Es importante que el sistema de control incluya un retardo en la señal del luminancímetro para evitar cambios de situaciones de alumbrado por nubes pasajeras. Dicho retardo se establecerá en 2 minutos.

En caso de fallo en el luminancímetro el control irá a una posición de seguridad, dando la orden de niveles máximos de alumbrado base y refuerzos si es de día, o al valor máximo de alumbrado nocturno si es de noche.

Para túneles tipo III, el sistema de control de alumbrado podrá realizar la gestión del sistema de alumbrado mediante células fotoeléctricas (luxómetros) y control horario. Las luminarias del alumbrado nocturno del túnel deberán poder reducir su flujo en un periodo horario determinado, durante la noche, con el objeto de optimizar el consumo eléctrico.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los niveles de iluminación que deben ser alcanzados en los diferentes modos de funcionamiento de la instalación deberán ser fijados en proyecto, mediante cálculo. Estos valores serán trasladados, como consignas de funcionamiento, a la programación del sistema de control. En las pruebas de funcionamiento deberá comprobarse, mediante mediciones lumínicas, que la instalación se comporta como había sido previsto.

5.2 Señales a recoger en centro de control

Se debe monitorizar, desde el centro de control el estado de todos los circuitos de alumbrado de los túneles Tipo I y II, estando integrado en una aplicación de gestión centralizada (SCADA).

En fase de proyecto se deberán considerar como mínimo las siguientes señales de los equipos de alumbrado a integrar en el Centro de Control, así como aquellas que el OITB considere tras su revisión:

- Estado de circuitos de alumbrado
- Señal de luminancimetros y luxómetros
- Regímenes o escenarios de funcionamiento configurables

En cualquier caso, estas señales deberán emplear el bus de comunicaciones bajo el cual se ha diseñado la red de control del túnel (recogido en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control). Por tanto, se deberá instalar toda pasarela o conversor necesario para que la integración sea lo más eficiente posible, en coordinación con el responsable del diseño y ejecución del sistema de comunicaciones de dicha Instrucción Técnica.

Cabe destacar que, en el SCADA, todas estas señales estarán reflejadas a dos niveles diferentes, sean de mantenimiento o de alarma. Por tanto, el sistema de Alumbrado debe identificar claramente a qué tipo corresponden, con el objetivo de realizar una integración eficiente y no saturar al operador con alarmas.

Desde el sistema de control deberá ser posible el encendido/apagado de los diferentes circuitos de luminarias que permitan el adecuado funcionamiento del sistema de iluminación del túnel. Asimismo, si las luminarias disponen de algún sistema de regulación, deberá ser posible también actuar sobre el mismo. Se podrá accionar de los siguientes modos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Telemandado desde el centro de control (Túneles Tipo I y II).
- Sistema automático de funcionamiento, debe disponer de un sistema inteligente en el local técnico del túnel para que en el caso de perder comunicaciones con el centro de control puedan seguir funcionando de manera automática.
- Control local que se accione manualmente y que tenga preferencia sobre cualquiera de los sistemas anteriores para que en caso de emergencia el personal autorizado pueda accionar los equipos desde el túnel.

5.3 Sistemas de control de los regímenes de funcionamiento

Para adaptar las luminancias interiores a las exteriores existen dos sistemas posibles: apagar (o encender) grupos de luminarias, o reducir su flujo luminoso.

El primero es el que más corrientemente ha venido siendo aplicado, particularmente para niveles de elevada luminancia. El segundo, ha sido utilizado a veces para niveles de luminancia inferiores, a menudo en combinación con, o como suplemento de, encendidos o apagados. Las posibilidades de regulación que ofrecen hoy en día las luminarias LED hacen que el sistema encendido/apagado se use cada vez menos. Deberá valorarse en cada caso qué sistema, o qué combinación de ambos, resulta más adecuada.

Cualquier actuación sobre los niveles de alumbrado debe tener un desfase de tiempo de varios minutos para evitar la modificación innecesaria, debido a la variación transitoria en el nivel luminoso local provocado por nubes que al pasar ocultan la luz solar.

Aunque la reducción del flujo luminoso de las luminarias parece ser el sistema idóneo, a la hora de tenerlo en cuenta, deben valorarse las variaciones de eficiencia (lm/W) respecto al funcionamiento nominal del equipo, así como el comportamiento del resto de parámetros eléctricos (cos ϕ, tasa de distorsión de armónicos, etc.).

El nivel mínimo requerido en la zona de umbral (L_{th}) debe ser determinado de modo continuo, a partir del valor de luminancia instantáneo de la zona de acceso (L_{20}), multiplicado por el coeficiente de poder revelador (k). Un luminancímetro permitirá leer la luminancia media sobre un campo de 20 grados de diámetro y deberá estar situado para este propósito a la distancia de parada del portal del túnel, de tal modo que el campo de medición esté tan próximo como sea posible al usado para el cálculo original de L_{20}.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.4 Sistemas de regulación del nivel luminoso

Con la finalidad de ahorrar energía, las instalaciones de alumbrado se proyectarán con dispositivos o sistemas para regular el nivel luminoso mediante alguno de los sistemas siguientes:

- Balastos serie de tipo inductivo para doble nivel de potencia
- Reguladores-estabilizadores en cabecera de línea
- Balastos electrónicos regulables
- Driver con opción de regulación según protocolo DALI, 0-10v ó similar.

Para el establecimiento del porcentaje de ahorro energético proporcionado por los diferentes sistemas de regulación del nivel luminoso y la elección en cada caso del sistema idóneo, deberán considerarse las variaciones de tensión de la red, el estado de las líneas eléctricas de alimentación a los puntos de luz (posibles caídas de tensión, equilibrio de fases y armónicos), tipo de fuente de luz, etc.

Los sistemas de regulación del nivel luminoso deberán permitir la disminución del flujo emitido hasta un 50% del valor en servicio normal, manteniendo la uniformidad de los niveles de iluminación, durante las horas con funcionamiento reducido.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 PUESTA EN MARCHA

El contratista responsable de la instalación del Sistema de alumbrado en un túnel de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, según el presente Decreto Foral, deberá presentar a la Dirección de Obra un plan de pruebas de los equipos. El plan de pruebas de los equipos estará formado por Programas de Puntos de Inspección (PPIs), y las pruebas estarán repartidas en el tiempo y con los alcances mínimos que se indican a continuación.

El plan de pruebas debe contemplar como mínimo las pruebas establecidas en las ITs.

6.1 Pruebas

La Dirección de Obra revisará el plan de pruebas presentado y podrá solicitar al contratista la inclusión de las pruebas adicionales que considere oportunas bien por iniciativa propia o por sugerencia del OITB, para dar su aprobación al plan de pruebas de los equipos. El OITB auditará la conformidad de la ejecución de ese plan de pruebas.

6.1.1 Pruebas por niveles

Se describen a continuación los diferentes momentos de la obra en los que se requiere la realización de pruebas.

- Nivel 0. Definición de PPIs a realizar en las pruebas de fábrica (FAT).
- Nivel 1. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta instalación de los equipos en la obra.
- Nivel 2. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos a nivel local (Centro de transformación, local técnico de Baja tensión, etc.)
- Nivel 3. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos en el Centro de Control.

6.1.2 Pruebas a equipos

Se hace a continuación una breve descripción de los alcances mínimos de las pruebas que tendrán que ser llevadas a cabo sobre el sistema de alumbrado.

- Pruebas de encendido/apagado de todas las luminarias, verificando que están alimentadas del circuito que les corresponde

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Medición de los niveles de luminancia e iluminancia en los diferentes tramos del túnel y a diferentes niveles de regulación si la hubiera, tal y como se indica en la ITC-EA-07 del Reglamento de Eficiencia Energética de Alumbrado Exterior. Cada medida lumínica deberá ir acompañada de las siguientes medidas eléctricas: tensión, intensidad, cos ϕ y tasa de distorsión de armónicos
- Pruebas de funcionamiento en remoto (desde señales recibidas del Sistema de Control en cada Cuadro General de BT de Alumbrado y Fuerza) para todos los circuitos de alumbrado, verificando encendido, apagado y regulación, si procede, de todas las luminarias
- Pruebas de funcionamiento del control de alumbrado a partir de las señales de los luminancímetros y/o luxómetros. Comprobación del funcionamiento en automático de los diferentes escenarios de alumbrado establecidos (soleado, nublado, refuerzos de salida, base y nocturno reducido)
- Comprobar señales y calibraciones de luxómetros y/o luminancímetros
- Verificar órdenes desde el Centro de Control para todos los circuitos de alumbrado
- Pruebas en el Sistema de testeo del alumbrado de evacuación desde el Sistema de Control central y encendidos a partir de alarmas del sistema de Protección Contra Incendios

6.2 Documentación final de obra

La documentación a entregar, referente al sistema de alumbrado, será la indicada en la ITC-EA-05 del Reglamento de Eficiencia Energética de Alumbrado Exterior, incluyendo los registros de niveles lumínicos obtenidos en cada escenario de alumbrado, con objeto de que el explotador pueda gestionar con mayor eficiencia el sistema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 MANTENIMIENTO

En el caso de los túneles, que son instalaciones con un alto grado de polución atmosférica, es muy importante disponer de un programa de mantenimiento (limpieza de paredes y luminarias) que defina los ciclos de limpieza que permitan cumplir el factor establecido en el estudio.

Las características y las prestaciones de una instalación de alumbrado público se modifican y se degradan en el transcurso del tiempo. Una correcta explotación y un buen mantenimiento permiten conservar la calidad de la instalación, asegurar el mejor funcionamiento posible y conseguir un ahorro indirecto, pues de no llevarse a cabo, una proporción importante de la energía consumida -entre un 30 y un 50% del total- se utilizará en compensar el envejecimiento de las fuentes de luz, el ensuciamiento de los sistemas ópticos (refractores y difusores) y cierres de los aparatos de alumbrado, en lugar de traducirse en energía luminosa es decir, en servicio al usuario.

Asimismo, hay que tener en cuenta los desperfectos mecánicos cuyo origen se debe a actos de vandalismo, golpes ocasionados por accidentes de tráfico, fenómenos de vibraciones debidas a la acción del viento, efectos de la radiación ultravioleta sobre los cierres de plástico de los aparatos de alumbrado, acciones de la corrosión, etc. Por último, se deben contemplar los fallos eléctricos cuyas causas más frecuentes hay que encontrarlas en el envejecimiento de los diferentes componentes de la instalación de alumbrado público, conductores y distintas redes eléctricas, en la oxidación y aflojamiento de los contactos eléctricos, defectos en los dispositivos y sistemas de puesta a tierra, a las rupturas de conductores debidas a trabajos, deslizamientos de terreno, etc.

La peculiar implantación de este tipo de instalaciones a la intemperie, el riesgo que implica que parte de sus elementos sean fácilmente accesibles, así como la función importante que dichas instalaciones desempeñan en materia de seguridad vial, así como de las personas y los bienes, obligan a establecer un correcto mantenimiento de las mismas.

Por tanto, al objeto de evitar la degradación de las instalaciones de alumbrado público en el transcurso del tiempo, se realizará un adecuado doble mantenimiento, el denominado preventivo que establecerá una programación en el tiempo consistente en efectuar sobre las instalaciones un cierto número de intervenciones sistemáticas, y el mantenimiento correctivo, que comprenderá una serie de operaciones necesarias para reponer las instalaciones averiadas o que han sufrido deterioro a un correcto estado de funcionamiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuando se lleve a cabo correctamente y de forma regular el mantenimiento preventivo, las operaciones de mantenimiento correctivo serán menos importantes y frecuentes.

Los trabajos de mantenimiento preventivo comprenderán los siguientes:

- Reposición masiva de fuentes de luz
- Verificación, conservación y limpieza de luminarias
- Reposición masiva de equipos auxiliares
- Verificación y conservación de equipos auxiliares
- Verificación y conservación de soportes

Las operaciones de mantenimiento correctivo consistirán en reemplazar cualquier material defectuoso como consecuencia de un accidente de tráfico, actos de vandalismo, etc. y en reparar las averías ocasionadas por fallos eléctricos o mecánicos de los elementos que componen las instalaciones de alumbrado público, lo antes posible.

7.1 Mantenimiento preventivo

La programación del mantenimiento preventivo se establecerá teniendo en cuenta la vida media de las fuentes de luz utilizadas, la depreciación del flujo luminoso en función del porcentaje de vida media transcurrida, así como el ensuciamiento de las luminarias en función de su hermeticidad y grado de contaminación atmosférica, pintado de soportes, verificación y revisión de cuadros eléctricos etc..

El mantenimiento preventivo comprenderá la siguiente programación con la periodicidad en las operaciones que se indican:

1. Lámparas
   - Reposición de lámparas de acuerdo a su factor de mantenimiento.
2. Equipos auxiliares
   - Verificación de sistemas de regulación del nivel luminoso (reguladores en cabecera de línea y balastos de doble nivel), una vez cada seis meses.
3. Luminarias
   - Limpieza del sistema óptico y cierre (reflector, difusor) de 1 a 2 años.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Control de conexiones y de la oxidación, de 1 a 2 años.
- Control de los sistemas mecánicos de fijación, de 1 a 2 años.
- Verificación de la continuidad de la línea de enlace con tierra 1 vez al año.
- Control del sistema global de puesta a tierra de la instalación 1 vez al año.
- Examen de las conexiones 1 vez al año.
- Comprobación del aislamiento de los conductores 1 vez al año.

4. Soportes

- Control de la corrosión (interna y externa) 1 vez al año.
- Control de las deformaciones (viento, choques) 1 vez al año.
- Soportes de acero galvanizado (Pintado primera vez) 15 años.
- Soportes de acero galvanizado (Pintado veces sucesivas) 7 años.
- Soportes de acero pintado 5 años.

Cuando en el transcurso del tiempo coincidan reposiciones de equipos y limpiezas, ambas operaciones se ejecutarán de forma simultánea.

Se deben realizar planes específicos de mantenimiento para cada túnel, como se especifica en la Instrucción Técnica VII de Explotación, que quedarán reflejados dentro del Plan de Mantenimiento del Manual de Explotación y deberá cumplirse esa frecuencia y plan de mantenimiento, un incumplimiento de dicha frecuencia podría conllevar una no conformidad.

7.2 Mantenimiento correctivo

Comprenderá las operaciones necesarias para la detección y reparación de las averías en las instalaciones de alumbrado público, y sus objetivos serán la rapidez en la detección y actuación a un coste bajo, con una buena calidad en la reparación que mejore la seguridad de este tipo de instalaciones, pudiendo implantarse sistemas de gestión centralizada. La reparación incluirá además de la sustitución o arreglo de los elementos averiados, la comprobación de la eliminación de las causas de la avería, evitando su repetición.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.3 Factor de depreciación o de mantenimiento

El factor de mantenimiento (fm) es la relación entre los valores lumínicos en la zona iluminada después de un determinado período de funcionamiento de la instalación de alumbrado exterior (Iluminancia o Luminancia media en servicio), y los mismos valores lumínicos obtenidos al inicio de su funcionamiento como instalación nueva (Iluminancia o Luminancia media inicial). Para el caso de Iluminancias, la expresión quedaría así:

$$fm = \frac{E_{servicio}}{E_{inicial}} = \frac{E}{E_i}$$

El factor de mantenimiento será siempre menor que la unidad (fm < 1), e interesará que resulte lo más elevado posible para una frecuencia de mantenimiento lo más baja que pueda llevarse a cabo.

A su vez, el factor de mantenimiento será el producto de los factores de depreciación del flujo luminoso de las fuentes de luz eléctricas, de su supervivencia, de la depreciación de la luminaria y del factor de depreciación de las paredes del recinto, de forma que se verificará:

$$fm = FDFL \cdot FSL \cdot FDLU \cdot FDSR$$

Siendo:

FDFL = factor de depreciación del flujo luminoso de la fuente de luz.

FSL = factor de supervivencia de la fuente de luz.

FDLU = factor de depreciación de la luminaria.

FDSR = factor de depreciación de las superficies del recinto

No se admitirá un valor de factor de mantenimiento superior a 0.8, debiendo estar éste justificado según la fórmula arriba indicada.

Con mucha frecuencia la contaminación atmosférica en el interior de los túneles es muy elevada, por lo que se ensucian rápidamente tanto las luminarias de la instalación de alumbrado, como las paredes del túnel. Todo ello exige una limpieza más asidua de las luminarias y las paredes del túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Resulta totalmente necesario efectuar la limpieza de las luminarias, ya que de otro modo con el transcurso del tiempo la pérdida de flujo puede llegar a ser casi total. Si las luminarias tienen un grado de hermeticidad elevado, fundamentalmente contra el polvo, entonces debería ser suficiente limpiar el exterior de los cierres de las luminarias para mantener el nivel luminoso.

El efecto de la limpieza de las paredes del túnel puede resultar no muy elevado en relación con la contribución total de la luz. Sin embargo, la limpieza siempre es deseable porque las paredes del túnel forman frecuentemente el "fondo" contra el cual se ven los objetos y quizá los peatones, y aportan una contribución significativa en el guiado óptico. La frecuencia de limpieza de las paredes del túnel varía de acuerdo con las condiciones de tráfico, el material que recubre las paredes y muchos factores más, con la finalidad de mantener las exigencias requeridas.

El ciclo de limpieza real de las luminarias y paredes del túnel debe estar relacionado con el factor de depreciación o de mantenimiento utilizado en los cálculos de los niveles de iluminación en servicio con mantenimiento de la instalación. Por tanto, el ciclo de limpieza de las luminarias y las paredes del túnel debe adecuarse para que el factor de depreciación no caiga por debajo del calculado.

7.4 Sistemas de control de los niveles luminosos en túneles

Resulta de gran importancia, por razones de seguridad y de coste económico, realizar comprobaciones del correcto funcionamiento de los luxómetros y/o luminancímetros de control de las zonas de acceso y umbral del túnel, para regular y adecuar el nivel de luminancia en el túnel a las condiciones de la luz solar diurna en el exterior. El buen funcionamiento de estos equipos debe comprobarse anualmente, comparando su medida con la de un equipo patrón (con certificado de calibración en vigor), emitido por un laboratorio acreditado.

Así mismo, en cumplimiento de lo exigido en el Reglamento de Eficiencia Energética 1890:2008, deben realizarse mediciones anuales del consumo (energía activa y reactiva) a diferentes regímenes de funcionamiento, tiempo de funcionamiento, niveles de iluminación en la instalación, etc. comparando estos resultados con los obligatorios registros de años anteriores o, en su defecto, con las medidas llevadas a cabo en su día para comprobar la adecuación de lo ejecutado a proyecto, antes de la puesta en servicio de la instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El Gestor de la Instalación será el responsable de que se lleven a cabo las mediciones y registros (durante al menos 5 años) indicados en el anterior párrafo, siguiendo los criterios definidos en el mencionado Reglamento de Eficiencia Energética 1890:2008.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

8 EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA INSTALACIÓN

Asimismo, los niveles máximos de luminancia o de iluminancia media de las instalaciones de alumbrado no podrán superar en más de un 20% los niveles medios de referencia establecidos en el Reglamento de Eficiencia Energética (hecha esta comprobación según las indicaciones de la ITC-EA-07 del propio reglamento) aprobado mediante Real Decreto 1890/2008. Esos niveles están basados en las normas de la serie UNE-EN 13201 “Iluminación de carreteras” para tramos iluminados a cielo abierto, y en la CIE-88 (que coinciden con los exigidos en la presente Instrucción) para los túneles y pasos inferiores.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO IV

VENTILACIÓN

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES EN CARRETERA

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(IV)

VENTILACIÓN

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1 OBJETO 5

2 ALCANCE 6

3 CODIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS 7

4 CRITERIOS DE DISEÑO 9

4.1 Introducción 9

4.1.1 Estudio y características principales del tráfico 10

4.1.2 Incendio en el túnel. Estudio del comportamiento de fuego/ humo 11

4.1.3 Necesidades de ventilación en los túneles 17

4.2 Sistema de Ventilación del Túnel 19

4.2.1 Condiciones de Ventilación en Cuartos Técnicos 20

4.2.2 Consideraciones generales sobre la Ventilación de Galerías de Evacuación 21

4.2.3 Sistema eléctrico del Sistema de Ventilación 23

4.2.4 Instrumentación asociada al Sistema de Ventilación 23

4.2.5 Sistema de control del Sistema de Ventilación del túnel 31

4.3 Criterios del Estudio de Ventilación 32

4.3.1 Criterios para la evaluación de la necesidad de ventilación forzada (Ventilación Sanitaria y en caso de Incendio) 33

4.3.2 Criterios para el diseño del sistema de ventilación forzada (Ventilación Sanitaria y en caso de Incendio) 33

4.3.3 Algoritmos de ventilación 48

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4 Requisitos del equipamiento ... 58
4.4.1 Implantación de ventiladores ... 58
4.4.2 Redundancia de equipos y de alimentación ... 61
4.4.3 Requisitos funcionales ... 62
5 INTEGRACION Y SISTEMA DE CONTROL ... 64
5.1 Ventiladores ... 64
5.2 Anemómetros ... 65
5.3 Galerías de evacuación ... 65
6 PUESTA EN MARCHA ... 67
6.1 Pruebas ... 67
6.1.1 Pruebas por niveles ... 67
6.1.2 Pruebas de componentes y objetivos, en las instalaciones del suministrador / fabricante ... 68
6.1.3 Pruebas de componentes y objetivos, en campo ... 69
6.1.4 Pruebas de funcionalidad del Sistema de Ventilación ... 73
6.1.5 Instrumentación de pruebas ... 80
6.2 Documentación final de obra ... 80
7 MANTENIMIENTO ... 81
7.1 Mantenimiento preventivo ... 81
7.1.1 Mantenimiento de ventiladores del túnel ... 81
7.1.2 Mantenimiento del sistema de anemómetros ... 82

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.1.3 Mantenimiento de la funcionalidad 82

7.2 Mantenimiento correctivo 83

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente Instrucción Técnica tiene por objeto definir las disposiciones, especificaciones de carácter técnico y cálculos que debe satisfacer el Sistema de Ventilación en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto, y planeamiento pertenecientes al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles en carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una instrucción técnica clara de diseño, construcción, puesta en servicio y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.

- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.

- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción técnica se aplicará a los túneles en todas sus fases de vida, planeamiento, proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo del Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras.

La Instrucción técnica define los requisitos de seguridad relacionados con el sistema de ventilación que serán de obligado cumplimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CODIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos de referencia aplicables en este documento:

- Fire and smoke Control in Road Tunnels (P.I.A.R.C).
- Human Factors & Road Tunnel Safety Regarding Users (P.I.A.R.C).
- Risk Analysis For Road Tunnels (P.I.A.R.C).
- Le dossier pilote du CETU (CETU).
- Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways – NFPA 502.
- FHWA Road Tunnel - Design Guidelines.(U.S. Department of Transportation).
- Road Tunnels Standard (Norwegian Public Roads).
- ISO 6944: Fire resistance test ventilation on ducts.
- FGSV 339:RABT: Richtlinien für die Ausstatung und den Betrieb von Strassentunneln. Guidelines of the equipment and operation of road tunels. 1994.
- Norme di prevenz one incende selle metropolitane. Ministerio del Transporti, Republica Italiana. 1988.
- VDI 6029: Ventilation plants for tunnels. Strassentunel (2000).
- Directiva 2004/54/CE del parlamento Europeo y del consejo, de 29 de abril de 2004, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Aplicable a túneles de más de 500 m.
- Corrección de errores de la Directiva 2004/54/CE.
- Circulaire n° 2006-20 du 29/03/2006, BO Equipement n° 2006-7 du 25/04/2006 anula a circulaire interministérielle n° 2000-63 du 25/08/2000, à l'exception de son annexe 2 qui demeure en vigueur pour les tunnels du réseau routier national.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers Inc.
- UNE EN 16798-3:2018 Ventilación de los edificios no residenciales. Requisitos de eficiencia para los sistemas de ventilación y climatización.
- Norma ISO 14694:2003 Industrial fans — Specifications for balance quality and vibration levels.
- Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras.
- UNE-EN 12101-6:2022, Sistemas para el control de humo y de calor. Parte 6: Especificaciones para los sistemas de diferencial de presión. Equipos.
- ISO 12944-2:2017, Paints and varnishes -- Corrosion protection of steel structures by protective paint systems -- Part 2: Classification of environments.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 Introducción

Consecuencia del tráfico de vehículos por el túnel, en su interior se producirá un ambiente polucionado por gases y humos, fundamentalmente CO y óxidos de nitrógeno, los cuales suponen un riesgo para las personas tanto desde el punto de vista sanitario, como problemas en el tráfico en sí, puesto que disminuyen la visibilidad y por tanto elevan el riesgo de accidentes.

Por ello en la explotación de un túnel funcionando “en servicio”, el objetivo esencial del sistema de ventilación es mantener el nivel de concentración de partículas y gases (CO, NO2, Opacidad,..) dentro de los umbrales admisibles bajo criterios de visibilidad y toxicidad. Para ello se dispone de un modo de funcionamiento denominado “Funcionamiento en Servicio” que garantiza el cumplimiento del objetivo definido.

Asimismo, en caso de producirse un incendio en el interior del túnel, el Sistema de Ventilación es la herramienta principal que dispone la infraestructura para tratar la emergencia y garantizar un proceso de autoevacuación en condiciones de seguridad durante los primeros minutos del incendio. Del mismo modo la correcta actuación del Sistema de Ventilación permitirá el acceso a los Servicios de Emergencia en condiciones de seguridad de modo que puedan intervenir y desarrollar las acciones necesarias requeridas para solventar la emergencia. Se conoce como modo de Pauta de Ventilación en caso de Incendio a las actuaciones del Sistema de Ventilación cuando se da un incendio en el interior del túnel durante la emergencia.

Partiendo de esta base, los puntos que en este apartado se exponen, tienen como misión definir el tipo de ventilación a utilizar. Asimismo, se indican aquellos puntos que se consideran mínimos a tener en cuenta en el diseño del Sistema de Ventilación, a fin de que éste consiga reducir a límites aceptables los contaminantes provenientes de la circulación de vehículos en el interior del túnel durante el Funcionamiento en Servicio. Por otra parte, se indican también aquellos criterios básicos para diseñar un Sistema de Ventilación de Emergencia que permita a los usuarios abandonar el túnel y el acceso de los Servicios de Emergencia en condiciones de seguridad en caso de incendio.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Puesto que el Sistema de Ventilación dentro de un túnel tiene una relación directa con el tráfico que discurre por él, así como con la posibilidad de un incendio, a continuación, se desarrollan algunos conceptos referentes a ello, y a los que a lo largo del documento se hará referencia.

4.1.1 Estudio y características principales del tráfico

En el presente apartado se pretende destacar algunos conceptos relacionados con el tráfico que permitan definir su relación con el Sistema de Ventilación.

Los parámetros que normalmente se manejan son, la capacidad de un carril o túnel, velocidad permitida de vehículos, intensidad de circulación, densidad de vehículos y emisión de gases. A continuación, se desarrollan algunos de estos conceptos.

4.1.1.1 Capacidad de la vía

En los cálculos aparece la capacidad tanto de un carril, de un tubo, o del conjunto del túnel.

La capacidad se mide en vehículos/hora, es decir, el máximo número de vehículos que puede pasar por él suponiendo una velocidad uniforme. Este valor viene dado en función de la velocidad de circulación y la separación media mínima entre los frontales de los vehículos a esa velocidad de circulación, la cual depende tanto del conductor como de la propia vía y vehículo.

Los factores que intervienen en la capacidad de una vía son, la anchura de carriles, anchura de arcenes, obstáculos laterales como bordillo, por ejemplo, carriles auxiliares, trazado con pendientes, y lógicamente el pavimento. Además de ello, es importante el tipo de tráfico en cuanto al porcentaje de vehículos pesados en la vía, velocidad de circulación, etc.

Estudios realizados indican que la capacidad máxima de una vía ideal es del orden de 2.200 – 2.400 vehículos/hora por carril en el caso de Autopista y Autovía; no obstante, la capacidad práctica se obtendrá incorporando los factores señalados.

4.1.1.2 Intensidad de circulación

Aunque la capacidad de la vía pueda ser una determinada, los distintos factores nos darán las intensidades del tráfico en vehículos/hora, ya que la vía puede ser en tráfico unidireccional o bidireccional, velocidad de circulación permitida y número de carriles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

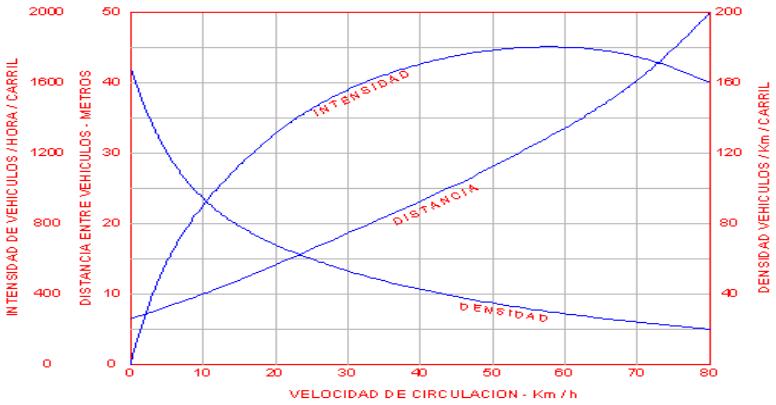
Basado en la intensidad máxima horaria, IMH, y teniendo en cuenta que existen distintas intensidades a lo largo del día, se maneja otro parámetro que es el más utilizado, la Intensidad Media Diaria, IMD. Se considerará que un túnel está en congestión cuando se produzcan alarmas por vehículo lento, detenido o colas en el interior o en su zona de influencia.

4.1.1.3 Densidad de circulación

A partir de los valores de intensidad y de la velocidad de circulación, se obtiene la densidad de circulación, entendiéndola como el número de vehículos por km de carril.

4.1.1.4 Relación entre parámetros

Se pueden correlacionar los tres parámetros más importantes, velocidad de circulación, intensidad horaria, y la densidad, tal como se indica en la siguiente gráfica.



4.1.2 Incendio en el túnel. Estudio del comportamiento de fuego/ humo

Las causas posibles y más frecuentes de un incendio son, o bien por fallo del propio vehículo, o por accidente. En cualquier caso, los daños más significativos se producen cuando en el incidente se ven involucrados los vehículos pesados.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Desde el punto de vista de las consecuencias de un incendio, en términos de seguridad para las personas, los factores más críticos son los gases y humos que se producen y cómo estos se propagan por el Túnel.

El humo y los efluentes producidos durante el incendio ponen en riesgo la seguridad de las personas y la autoevacuación del túnel. Asimismo, la intervención de los Servicios de Emergencia puede verse imposibilitada.

Por estas razones, ante situaciones con incendio en el interior del túnel, la primera medida consiste en facilitar la autoevacuación de las personas que se encuentren en el túnel mediante el correcto control del humo generado por el incendio durante un tiempo suficiente que permita mantener condiciones ambientales compatibles con la vida y garantizar un proceso de evacuación libre de humo y seguro. Posteriormente, cuando los Servicios de Emergencia accedan al túnel, puede ser necesaria la extracción o en su caso, el barrido del humo, para facilitar así la intervención de los Servicios de Emergencia. Durante esta segunda fase del tratamiento del Incendio se recomienda actuar con el Sistema de Ventilación en modo Manual siguiendo las indicaciones o necesidades de los Servicios de Emergencia.

Para atajar los efectos del humo, siendo importante el diseño del sistema de ventilación, lo es mucho más la definición de las Pautas de Actuación de dicho sistema en caso de incendio. Recibe el nombre de Pauta de Actuación, la estrategia secuencial de operación sobre el sistema de ventilación que responde y resuelve una determinada situación de incendio.

A continuación se desarrollan los conceptos mencionados.

4.1.2.1 Potencia de incendio, definición y aplicaciones

Denominamos potencia de incendio a la energía calorífica liberada al ambiente por el foco productor.

A continuación, se indican los valores más representativos a tomar como base para el proyecto de la ventilación de un túnel, obtenidos del comité de PIARC.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Tipo de vehículo	Potencia Máxima (MW)
Turismo	5
2-3 turismos	8
Furgoneta	15
Autobús / Camión de mercancías	20 – 30
Cisterna	>100

La aplicación práctica de este parámetro, como se verá posteriormente, será en el dimensionamiento del sistema de ventilación y el estudio de la velocidad crítica necesaria para el cálculo del caudal a considerar en la ventilación de emergencia, ya que la potencia máxima de incendio para la que se debe diseñar el túnel será función de las características específicas del mismo.

La Potencia Máxima del incendio a considerar será particular para cada túnel y representativa del incendio probable más crítico teniendo en cuenta la tipología del tráfico que circulará por el túnel objeto de estudio. Se considera obligatorio el siguiente criterio mínimo a considerar en el proyecto:

Tipología de tráfico	Potencia Máxima (MW)
Sin mercancías peligrosas	30
Con mercancías peligrosas	100

4.1.2.2 Comportamiento del humo en los túneles

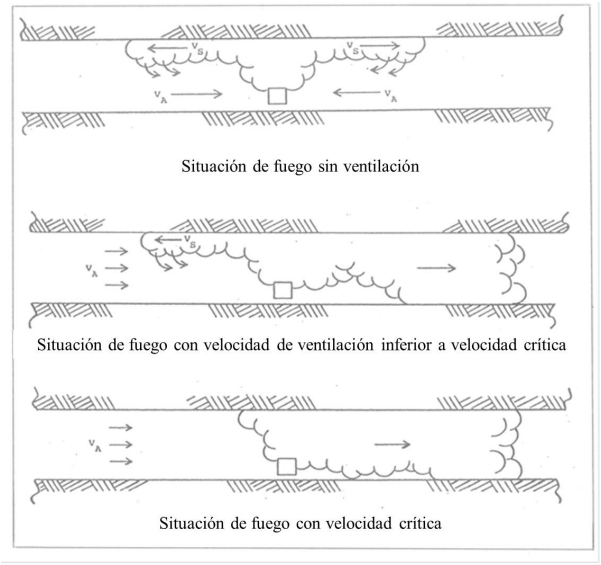
En primer lugar, indicaremos el caudal producido por distintos tipos de vehículos en base a los datos del comité de PIARC

Tipo de vehículo	Producción de humo (m^3/s)
Turismo	20
2-3 turismos	30
Furgoneta	50
Autobús / Camión de mercancías	60 – 90

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cisterna	100 - 200

De forma genérica se considera que el comportamiento del humo en un incendio es el que puede verse a continuación. En el ejemplo gráfico se presenta el comportamiento del humo en un túnel ideal sin pendiente y sección uniforme ante diferentes supuestos de ventilación longitudinal.



Tal y como puede apreciarse en condiciones de no existencia de corriente de aire en el túnel, el humo se distribuye por igual en ambas direcciones. En los primeros momentos permanece estratificado y se desplaza estratificado longitudinalmente a lo largo del túnel y al cabo de cierto tiempo, variable en función de diferentes factores, debido al enfriamiento del mismo comienza a desestratificarse llegando a ocupar toda la sección del túnel.

El resto de situaciones presentadas (Situación de fuego con velocidad de ventilación inferior a la velocidad crítica y con Velocidad Crítica) muestran la diferencia del comportamiento del humo ante diferentes velocidades de ventilación interior.

El parámetro que marca el comportamiento del humo en situación de incendio es la Velocidad Crítica.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Velocidad Crítica. Es la velocidad mínima de ventilación longitudinal que evita que el humo avance aguas arriba del Punto de Incendio. Se trata de un valor que depende de varios factores entre ellos los más importantes son: la potencia y la geometría del túnel.

Como puede apreciarse en el gráfico, en una situación con velocidad de ventilación inferior a la Velocidad Crítica el humo se propaga de forma predominante hacia el sentido de ventilación (aguas abajo). Sin embargo, como la velocidad es inferior a la crítica, parte del humo avanza en sentido opuesto al de ventilación. Este fenómeno se conoce como backlayering. La longitud del backlayering es un parámetro clave a tener en cuenta en el diseño de las Pautas de Ventilación.

En cambio, cuando se ventila con una velocidad de ventilación igual o superior a la Velocidad Crítica no se producirá el fenómeno de backlayering y el humo se propagará en su totalidad aguas abajo del Punto de Incendio. A medida que aumenta la velocidad de ventilación el humo se desestratificará más cerca (aguas abajo) del Punto de Incendio.

Para el dimensionamiento del sistema de ventilación de un túnel determinado debe tenerse en cuenta la Velocidad Crítica correspondiente a la potencia máxima del incendio de cálculo del túnel objeto de estudio.

4.1.2.3 Fuego de cálculo. Modelo de desarrollo del incendio

Las potencias de incendio definidas en el apartado anterior se corresponden con los valores máximos definidos en las diferentes normativas y recomendaciones de cálculo internacionales. Dichos valores se alcanzan una vez los incendios están completamente desarrollados y son los que deben tomarse como referencia para el dimensionamiento del Sistema de Ventilación.

Sin embargo, para el diseño del modo de Funcionamiento en Emergencia y para la definición de la Pauta de Actuación en caso de Incendio, se debe tener en cuenta el comportamiento real de un incendio ya que este tarda un tiempo en desarrollarse y por tanto en alcanzar la Potencia de Incendio Máxima.

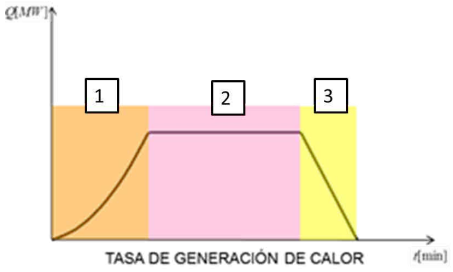
Como la Velocidad Crítica depende de la Potencia de Incendio, la actuación del Sistema de Ventilación debe tener en cuenta que hasta alcanzarse la Potencia de Incendio Máxima, la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Velocidad Crítica del incendio y el poder ascensional del humo serán sensiblemente inferiores a los valores de diseño (máximos). La actuación con velocidades de ventilación incorrectas puede provocar la desestratificación del humo y comprometer la seguridad del proceso de autoevacuación.

La temperatura del humo generado por el incendio es clave en su comportamiento y propagación. Para una misma área de fuego, cuanto más alta sea la potencia de un incendio, mayor será la temperatura del humo (mayor su poder ascensional y la velocidad de desplazamiento) y requerirá velocidades de ventilación mayores para controlarlo.

Para simplificar la evolución temporal se utilizan modelos de incendio. A continuación, se propone el siguiente modelo de incendio.



En el modelo de incendio propuesto se distinguen 3 fases:

1. **Fase creciente**. Es la parte creciente de la curva, gobernada por la siguiente ecuación, en la que t_α es un parámetro característico de la velocidad de crecimiento del incendio.

$$Q=(t/t_\alpha)^2$$

Q: la tasa de liberación de calor [MW].

t: el tiempo en segundos [s].

t_α: el tiempo necesario para alcanzar una velocidad de liberación de calor de 1 MW.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Incendios lentos tα = 600 seg

Incendios medios tα = 300 seg

Incendios rápidos tα = 150 seg

Incendios ultra-rápidos tα = 75 seg

2. **Fase de incendio completamente desarrollado**. En esta fase del incendio la curva se considera horizontal con el valor máximo de liberación de calor del escenario de incendio considerado (5 MW, 30 MW, 100 MW,…).

3. **Fase decreciente**. Una vez consumido el 70% de la carga combustible comienza la fase decreciente.

4.1.3 Necesidades de ventilación en los túneles

4.1.3.1 Ventilación Forzada o natural.

Para túneles integrados (los gestionados desde un centro de control), en fase de proyecto, es necesario evaluar las necesidades de ventilación a través de un Estudio de Ventilación mediante el cual se justificará la capacidad del túnel para alcanzar los requerimientos de seguridad establecidos en el apartado 4.1.3.3. del presente documento para su funcionamiento en servicio o en emergencia. Los túneles unidireccionales de longitud igual o superior a 500 metros dispondrán de ventilación forzada.

Dicho estudio deberá tener en cuenta las características reales del túnel, sus particularidades y considerar los escenarios de incendio probables más críticos característicos del propio túnel (4.3.3).

Para la realización del Estudio de Ventilación se utilizarán herramientas avanzadas de cálculo 3D (Dinámica de Fluidos Computacional) que permitan considerar dichas variables de una forma realista. Asimismo, la herramienta deberá tener en cuenta la particularidad del túnel y del sistema

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de ventilación. Se detallan a continuación los principales factores que deben ser considerados en el cálculo:

- Sección transversal, sección longitudinal y planta del túnel.
- Rugosidad de las paredes del túnel.
- Singularidades geométricas y cambios de sección.
- Condiciones ambientales en diferentes escenarios (presión en bocas, temperatura interior/exterior del túnel, tiro natural,…).
- Tipología del sistema de ventilación y disposición de ventiladores.
- Prestaciones de ventiladores (potencia, empuje,…).
- Características y ubicación de sistemas de detección y control interior (detectores CO, NO_x, anemómetros,…).
- Escenarios de incendio considerados (diferentes potencias máximas, ubicaciones y tipologías de tráfico).

4.1.3.2 Tipología de ventilación a implementar

Todos los túneles que requieran sistemas de ventilación forzada deberán contar con su correspondiente sistema de automatismo.

En el ámbito de aplicación de la presente norma, y prescindiendo de las ventajas y desventajas de otros tipos de ventilación, se utilizará Ventilación de Tipo Longitudinal, salvo que por las especiales características del túnel a estudio, el Estudio de Ventilación justifique la necesidad de ser utilizado cualquier otro tipo, pudiéndose utilizar otros sistemas de ventilación como longitudinal con extracción intermedia, transversal, semitransversal, mixto…

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.3.3 Objetivos del Sistema de Ventilación

El Sistema de Ventilación en el túnel (natural o forzada) tiene de forma genérica, dos objetivos principales en función del modo de funcionamiento en el que se encuentre operando:

1. Funcionamiento en Servicio (explotación normal): Garantizar un correcto mantenimiento de los niveles de confort y seguridad para el usuario. Para ello las concentraciones de sustancias en el interior del túnel se mantendrán dentro de los umbrales admisibles según el apartado 4.3.3.2. de la presente IT.

2. Funcionamiento en Emergencia (incendio): Actuar de forma que se controle el humo de forma estratificada permitiéndose la autoevacuación de las personas que se encuentren en el túnel, así como el mantenimiento de unas condiciones tales que el acceso de los Servicios de Emergencia se pueda producir en condiciones de seguridad.

En el apartado 4.3.3 se definen los objetivos operativos de cada uno de los modos de funcionamiento, así como los criterios a seguir para el diseño de las Pautas de Ventilación.

4.2 Sistema de Ventilación del Túnel

El Sistema de Ventilación será de tipo longitudinal salvo que por las especiales características del túnel se justifique la necesidad de ser utilizado cualquier otro tipo de sistema.

Un Sistema de Ventilación longitudinal estará formado por los ventiladores aceleradores de chorro situados a lo largo del túnel, el sistema eléctrico correspondiente a ellos, y el sistema de control.

Los ventiladores estarán situados en la clave del túnel mediante un sistema de soportado adecuado a su peso y condiciones dinámicas. Dispondrán de elementos antivibradores debidamente estudiados de forma que no permitan el paso de vibraciones hacia la estructura del túnel.

En general el dimensionamiento del Sistema de Ventilación y cálculo del empuje necesario a implementar en un túnel se realizará de acuerdo al proyecto y a la Potencia Máxima de Incendio

cve: BOB-2025a082-(I-327)

considerado para el túnel objeto de estudio. El número, la potencia y la ubicación de los ventiladores se determinarán en el Estudio de Ventilación realizado en fase de proyecto justificando de forma teórica el cumplimiento de los objetivos definidos en el apartado 4.1.3.3. de la presente Instrucción Técnica.

En cuanto al empuje a conseguir por ellos para el conjunto del túnel, estará calculado en función de los distintos factores que intervienen, y que se citan en el presente documento.

La implantación de los ventiladores será tal que el rendimiento de cada uno de ellos sea óptimo. Para ello, se situarán a la debida separación entre ellos tanto en sentido longitudinal como transversal al túnel, así como su separación del techo. Se situarán asimismo a las debidas distancias de elementos perturbadores del movimiento del flujo, como señales, etc. Se seguirán las instrucciones dadas en el presente documento.

En los túneles con ventilación forzada los ventiladores serán reversibles y su construcción será tal que permita su correcto funcionamiento durante al menos 2 horas sometidos a 400ºC.

Asimismo, si el estudio de ventilación realizado en fase de proyecto determina que la temperatura de exposición de los ventiladores es mayor bajo las condiciones del incendio más crítico considerado, la exigencia de temperatura máxima de funcionamiento deberá ajustarse en consecuencia.

El complemento a los elementos mecánicos será un sistema eléctrico de fuerza y un sistema de control, el cual, a través del Sistema de Gestión y Comunicaciones permitirá, por una parte, conocer la situación ambiental fundamentalmente desde el punto de vista de la polución, y por otra, la interacción sobre los ventiladores desde el Centro de Control.

4.2.1 Condiciones de Ventilación en Cuartos Técnicos

Los Cuartos Técnicos tienen que contar con ventilación forzada en todas sus salas. Asimismo, el cuarto del SAI contará con un sistema de refrigeración.

Las salas telemáticas tendrán una temperatura máxima de 27ºC.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los Cuartos técnicos contarán con un sistema de monitorización de temperatura interior y exterior, con el objetivo de regularla con la ventilación de modo que en el interior se mantenga la menor de las dos.

Los Cuartos de Técnicos interiores contarán con puertas cortafuegos.

4.2.2 Consideraciones generales sobre la Ventilación de Galerías de Evacuación

El sistema de ventilación de las galerías de evacuación tiene como principal objetivo el mantenimiento de su ambiente en condiciones aceptables, mediante la aspiración de aire limpio que se encuentra en condiciones de funcionamiento normal e impulsarlo en la galería de forma que ésta se mantenga en sobrepresión a fin de evitar la entrada de humo del tubo en el que se encuentre el incendio.

Los componentes de este sistema son fundamentalmente los ventiladores, conductos de aspiración, de impulsión, retorno y extracción con sus rejillas y las compuertas de sobrepresión y cortafuegos, al atravesar paredes, que permitan la sectorización con ambos túneles.

Los componentes del Sistema dependerán del tamaño de las galerías. Si es grande (superior a 25 m), la instalación podrá ser a base de un ventilador (axial ó centrífugo), que introduzca el aire en la galería y conductos con sus correspondientes rejillas para la impulsión y rejillas interiores en la pared para la descarga directa del aire de la galería (retorno) al tubo con compuerta de sobrepresión. Todos los pasos de paredes llevarán compuertas cortafuegos. En el caso de que la galería sea de pequeño tamaño, no será necesario el conducto de impulsión y sus rejillas.

Se podrá utilizar una solución de ventilador (axial ó centrífugo) con variador de frecuencia y sonda de sobrepresión, como sistema alternativo, al citado anteriormente (ventilador (axial o centrífugo) y compuertas de sobrepresión) para ajustar la sobrepresión en el interior de las galerías.

Lo anteriormente expuesto, corresponde para cada uno de los tubos, de tal forma que la instalación que toma el aire limpio del tubo en el que se encuentra el incendio, permanecerá sectorizado respecto a éste mediante las compuertas cortafuego mencionadas, y el aire impulsado

cve: BOB-2025a082-(I-327)

a la galería procederá como se ha dicho, del túnel en condiciones normales y evacuándose al mismo.

Una vez definida la situación de las galerías, es necesario asimismo definir los criterios a tener en cuenta desde el punto de vista del ambiente que deban tener.

Se considerará la colocación de vestíbulos cuando la geometría y/o particularidades de la galería así lo requiera.

4.2.2.1 Puertas cortafuego

Las galerías dispondrán de puertas cortafuegos en su comunicación con ambos tubos, según las características definidas en la Instrucción Técnica I de Infraestructura.

4.2.2.2 Control del ambiente interior

En cuanto al ambiente a mantener, los parámetros a tener en cuenta serán, la sobrepresión de la galería, la velocidad a su paso por las rejillas y velocidad terminal, así como la velocidad de diseño de los conductos.

4.2.2.3 Renovación del aire ambiental

En situación de explotación, se asegurará que en las galerías de evacuación se renueva el aire al menos 1 vez al día, para evitar acumulaciones de gas y condensaciones de humedad, y contribuir a que la temperatura máxima de la galería sea compatible con los servicios que contenga.

En edificios, locales y Cuartos Técnicos se seguirá la norma UNE 16798.

4.2.2.4 Presión diferencial respecto a los tubos

Con el fin de evitar entradas de humos procedentes del incendio, deberán mantenerse en ligera sobrepresión respecto a ambos tubos o exterior. Este valor estará entre 50 Pa y80 Pa.

Para el diseño del sistema se seguirá la norma UNE 12101-6.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.2.5 Velocidades del aire en conductos y elementos terminales

El diseño de los conductos y rejillas de galerías y Cuartos Técnicos se basará en la norma UNE-EN 12237.

4.2.2.6 Velocidades del aire Ambiente

La velocidad del aire en la zona de ocupación se considerará válida hasta **2 m/s** con la puerta peatonal abierta.

4.2.2.7 Compuertas cortafuego

Como ya se ha indicado, se instalarán compuertas cortafuego tanto en los conductos que atraviesen las paredes de comunicación con los tubos, como en los huecos de retorno de aire.

La resistencia al fuego de las compuertas cortafuego será la misma que la de las puertas cortafuego.

4.2.3 Sistema eléctrico del Sistema de Ventilación

Para su descripción, ver la Instrucción Técnica II de Energía Eléctrica.

4.2.4 Instrumentación asociada al Sistema de Ventilación

Los equipos de monitorización que se definen a continuación son las herramientas que el Sistema de Ventilación utilizará durante la explotación (sanitaria e incendio). Por tanto, su ubicación y número deberán servir para garantizar el correcto funcionamiento de las Pautas de Actuación (sanitaria e incendio).

Cuando el túnel disponga de Ventilación Forzada, asociada a ella tendrá como mínimo la siguiente instrumentación:

- Opacímetros.
- Detectores de CO.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Detectores de NO2.
- Anemómetros interiores.
- Neblímetros en bocas (en túneles nuevos o en túneles ya construidos en los que en explotación se haya detectado su necesidad).

La cantidad y ubicación de ellos estará en función fundamentalmente de la longitud. Su situación deberá ser definida en el Estudio de Ventilación en fase de proyecto teniendo en cuenta puntos representativos, como puntos altos o características de geometría, etc. donde sea previsible la aparición de concentración de gases, humos y partículas en suspensión, en valores más altos. No obstante, previo a la puesta en servicio deberá verificarse la representatividad de dichos puntos de forma experimental.

Todos estos instrumentos estarán asociados al sistema de ventilación, de tal modo que, en función de los valores medidos de forma continua, actuarán sobre el Sistema de acuerdo a los umbrales de referencia.

4.2.4.1 Detectores de CO

El gas contaminante más importante es el CO, resultado de la combustión incompleta de la gasolina. A fin de definir la mejor ubicación, se tendrá en cuenta que los puntos con mayor concentración de gases, son aquellos donde se produce un cambio de signo en la pendiente, puntos altos o bajos, siendo más problemáticos cuanta más distancia le separe de la boca más cercana.

En los túneles unidireccionales con ventilación forzada, la situación más desfavorable suele ser próxima a la boca de salida, pero al ser un gas especialmente nocivo se recomienda la instalación de un sensor cada 200 metros para la detección de las posibles bolsas de concentración de CO. Los sensores deben ubicarse en cualquier caso a más de 50 metros de la boca para que no vean afectados por la circulación turbulenta de aire de las bocas y a una altura de 1,5 m de la calzada aproximadamente, con objeto de monitorizar la concentración de CO a la altura de las personas y de este modo garantizar una concentración de CO adecuada en caso de evacuación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En los túneles bidireccionales con ventilación forzada las características de distancias definidas para los túneles unidireccionales se mantienen igualmente, pero se recomienda que la ubicación de los detectores esté en el medio del túnel a una altura superior al gálibo establecido. Como los principios de funcionalidad y detección son diferentes por la posición y el movimiento del flujo en el túnel, se recomienda elegir el detector con la tecnología más apropiada, de acuerdo al fin previsto, según su ubicación en el túnel.

Principales características

Rango de medida

El sensor analizará la concentración de CO en el aire y muestra el resultado de dicha concentración en partes por millón (ppm). Rango mínimo de 0 a 300 ppm.

Precisión

El error de la medida debería ser inferior al 1% a final de escala. Resolución de ± 0,5 ppm

Tiempo de respuesta

El sensor debe realizar la medida y dar el resultado en menos de 10 segundos.

Índice de protección.

Al ser el túnel un medio agresivo se recomienda que el índice de protección sea como mínimo IP65.

4.2.4.2 Detectores de NO_2

La legislación cada vez es más exigente con la emisión de humos, lo que provoca mejores acabados de los motores. La incorporación de catalizadores que mejoran la combustión, han hecho disminuir sensiblemente las emisiones de CO. Esto provoca, que otros gases, que históricamente no se discriminaban en el control de ventilación por tener unas concentraciones muy inferiores al CO, puedan ser tenidas en cuenta actualmente para el control de la ventilación. Es el caso de los nitróxidos (NOx) que pueden producir somnolencia, ataques de alergia y que, al igual que el CO, son tóxicos. La concentración necesaria para producir efectos a los usuarios

cve: BOB-2025a082-(I-327)

varía en gran medida por la sensibilidad de las personas, de este modo un asmático reaccionará a concentraciones de nitróxido 10 veces menores de las de un usuario que no sufra de este tipo de problemas.

Dentro de los nitróxidos, el gas peligroso y que se recomienda tener controlado es el NO_2. Se entiende por NOx la suma del NO y el NO_2. Algunos sensores dan la medida de NOx, hay que tener en cuenta que el ratio NO_2/NOx no es constante pero suele ser inferior al 10%. Por ello se debe realizar directamente la medida de NO_2.

En túneles con ventilación forzada, que se instalen sensores de NO_2 para disponer de históricos de medidas para el estudio específico del problema.

Se recomienda los mismos criterios de instalación que en los sensores de CO; es decir, a lo largo del túnel con un distanciamiento de unos 200 m, con un mínimo de dos sensores por tubo.

A continuación, se detallan las características idóneas de un sensor de NO_2.

Principales características

Rango de medida

El sensor analizara la concentración de NO_2 en el aire y muestra el resultado de dicha concentración en partes por millón (ppm). Lo ideal sería un rango de medida de 0 a 5 ppm.

Precisión

El error de la medida debería ser inferior al 1% a final de escala. Resolución 0,1 ppm

Tiempo de respuesta

El sensor debe realizar la medida y dar el resultado en menos de 10 segundos.

Índice de protección

Al ser el túnel un medio agresivo se recomienda que el índice de protección sea al menos IP65.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.4.3 Opacímetros

Los humos emitidos por los vehículos diésel ocasionan la concentración en los túneles de partículas que disminuyen la visibilidad interna y se convierten en un riesgo a prevenir, a la vez que produce una disminución de la velocidad de circulación y el confort en la conducción.

Según la tecnología usada, las unidades de la mediada son distintas. Las más usuales son el coeficiente de extinción K cuyas unidades son m^{-1} y la transmisión, que viene referida a una longitud entre la fuente y el observador. La relación entre ambas unidades es

$$s(\%) = 100 \cdot e^{-K(m^{-1}) \cdot L}$$

Principales características

Rango de medida

Se recomienda que el rango de medida de los sensores de visibilidad sea K .0 – 15 (10^{-3} m^{-1}).

Precisión

La precisión de la medida debería ser inferior al 2%.

Tiempo de respuesta

El sensor debe realizar la medida y dar el resultado en menos de 10 segundos.

Índice de protección

Al ser el túnel un medio agresivo se recomienda que el índice de protección sea al menos IP65.

En los túneles con ventilación forzada se instalarán opacímetros a lo largo del túnel con un distanciamiento máximo de 400 m. y como mínimo debe haber dos opacímetros por tubo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En las cercanías de las bocas del túnel por la que se expulsa el aire viciado el seguimiento de los niveles de opacidad deberá ser más exhaustivo puesto que es en esa zona donde se registrarán los niveles más altos.

4.2.4.4 Neblímetros

La presencia de niebla en las bocas del túnel supone un factor de riesgo ya que la entrada de esta en el interior del túnel reduciría de forma notable la visibilidad interior.

Es por ello que se estima necesario en túneles nuevos la instalación de un neblímetro en cada boca del túnel.

En túneles ya construidos se deberá evaluar su instalación en función de la experiencia adquirida durante la explotación del mismo y la frecuencia con la que ha aparecido niebla en el túnel.

Principales características

Rango de medida

Se recomienda que el rango de medida de los neblímetros sea K .0 – 15 (10^{-3} m^{-1}).

Tiempo de respuesta

El sensor debe realizar la medida y dar la señal de la presencia de niebla en menos de 10 segundos.

4.2.4.5 Anemómetros en el interior del túnel

Todo túnel que disponga de ventilación forzada debe estar dotado de anemómetros interiores, ya que con ellos se pueden evaluar los flujos longitudinales de aire en el túnel, su velocidad y sentido. En caso de incendio es de vital importancia disponer del dato de la velocidad de ventilación para confirmar que el sistema está funcionando según lo previsto en las Pautas de Ventilación y por tanto cumplir con los requerimientos establecidos en el apartado “4.1.1.3 Objetivos de Sistema de Ventilación” del presente documento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El comportamiento aerodinámico de cada túnel es característico y dependiente de la geometría, de la tipología del sistema de ventilación, de la ubicación de los ventiladores, etc. Por ello la posición y número de anemómetros interiores se debe analizar para cada caso concreto en el Estudio de Ventilación que se realizará en la fase de proyecto con objeto de garantizar el correcto funcionamiento de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio.

En términos generales se recomienda la instalación de al menos un anemómetro entre cada sección de ventilación, debiéndose garantizar que ante una situación de incendio se disponga de al menos dos anemómetros que no se vean afectados por efectos locales durante todo el control de la emergencia y para cada uno de los escenarios de incendio considerados en el diseño de la Pauta de Ventilación. De modo que, en una situación de incendio:

- Si se consideran válidas ambas medidas, el sistema automático de gestión considere ambos valores.

- Si se considera que alguna de las medidas es errónea (por fallo en la medición o del dispositivo) el sistema de gestión pueda descartar dicho valor y disponer al menos de una medida válida.

En el caso de túneles largos (>1000m) la definición de los algoritmos en la fase de proyecto o adaptación puede requerir la instalación de anemómetros adicionales para aumentar el número de dispositivos válidos.

Se definen a continuación criterios generales para evitar los efectos locales que pueden afectar a la medición de los anemómetros:

La medida de un anemómetro se verá afectada si:

- Se encuentra a menos de 10 Diámetros Hidráulicos aguas abajo de un ventilador trabajando en impulsión.

- Se encuentra a menos de 5 Diámetros Hidráulicos aguas arriba de un ventilador trabajando en succión.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Se encuentra a menos de 5 Diámetros Hidráulicos de obstáculos de sección importante (paneles, aspaflechas,…).
- Se encuentra afectado por el humo del incendio (longitud backlayering).
- El Diámetro Hidráulico se calcula a través de la siguiente ecuación DH=4 A/P, donde:
    - DH es el diámetro hidráulico [m].
    - A es la sección transversal [m^2].
    - P es el perímetro mojado de la sección [m].

Deberá justificarse de forma experimental, que la actuación con ventiladores, de acuerdo a la Pauta de Ventilación en caso de Incendio definida para el túnel objeto de estudio, no desvirtúa la medida registrada por al menos 2 anemómetros para cada uno de los escenarios de incendio considerados y durante todo el tratamiento de la emergencia.

El objetivo principal de los anemómetros es que su medida sea representativa de la velocidad media de la sección. En una situación ideal esta velocidad es uniforme sin embargo, en la realidad esto no es así ya que el flujo de aire se ve perturbado por diferentes factores. Por ello es necesario la realización pruebas experimentales que verifiquen la diferencia entre la medida de la velocidad puntual de cada anemómetro y el valor de la velocidad media de la sección de modo que se pueda realizar el ajuste de dicha medida puntual.

Se instalarán los anemómetros garantizando su funcionalidad y de modo que la circulación de vehículos no deteriore o colisione con el aparato.

Principales características

Rango de medida

Se recomienda que el rango de medida de los anemómetros de 0-15 m/s en cada sentido.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Precisión

La precisión de la medida debería ser inferior al 0,5 m/s.

Índice de protección

Al ser el túnel un medio agresivo se recomienda que el índice de protección sea al menos IP65.

4.2.5 Sistema de control del Sistema de Ventilación del túnel

El Sistema de Ventilación tendrá dos modos de funcionamiento y podrá actuarse desde dos puntos, de forma REMOTA o LOCAL. Es decir, con mando desde el Centro de Control o desde el Cuarto Técnico. En ambos casos, funcionará de dos modos, bien de forma MANUAL o en modo AUTOMÁTICO.

En modo MANUAL, el operador, tanto en forma LOCAL como REMOTA podrá poner en marcha cada ventilador de forma individual en ambos sentidos, es decir, en modo directo o inverso, o bien dar orden de parada.

En modo AUTOMÁTICO, los ventiladores arrancarán o pararán en función de las pautas de actuación definidas para la ventilación en servicio e incendio del túnel. Para ello se tendrá en consideración los datos suministrados por la instrumentación asociada (sistema DAI, detector lineal de incendios, detectores de CO, opacímetros, anemómetros…) y sus umbrales/alarmas previstos.

Por el contrario, cuando la actuación es LOCAL y MANUAL, ésta tiene preferencia sobre cualquier otra, puesto que se supone que esta actuación es en una situación especial como puede ser en emergencia o en operaciones de mantenimiento.

Con el fin de contrarrestar la inercia rotacional de los ventiladores, es recomendable que éstos estén prácticamente parados antes de arrancarlos en sentido contrario.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Las galerías de evacuación dispondrán de un Sistema de Ventilación independiente con un algoritmo de ventilación (en servicio y en emergencia), cuyas consignas serán parametrizables desde la Aplicación de Gestión Centralizada del Centro de Control.

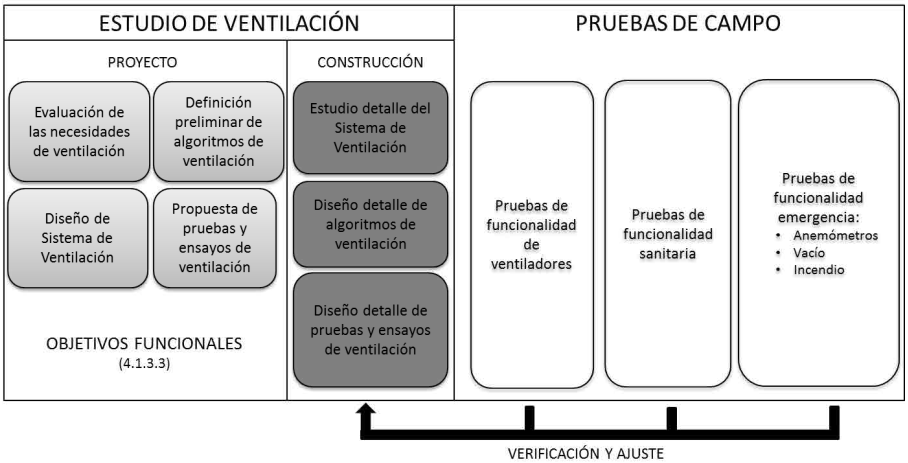
4.3 Criterios del Estudio de Ventilación

El primer paso del estudio deberá ser la evaluación de la necesidad (o no) de un sistema de ventilación forzada en el túnel.

Como se ha comentado anteriormente, el objetivo del Sistema de Ventilación debe ser el cumplimiento de los requerimientos de seguridad definidos en el presente documento (4.1.3.3).

Una vez definidas estas necesidades se plantearán las Pautas de Ventilación (sanitaria e incendio) que cumplan con los requerimientos establecidos y estas marcarán la tipología del sistema, la ubicación y distribución de la totalidad de equipos, la instrumentación y los dispositivos de control de Sistema de Ventilación.

El presente apartado tiene como objetivo indicar las bases de partida a tener en cuenta en los cálculos necesarios para el cumplimiento de la norma, así como especificar de forma básica las especificaciones de los equipos principales, el Montaje, Puesta en Marcha y Explotación de la instalación.



cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.1 Criterios para la evaluación de la necesidad de ventilación forzada (Ventilación Sanitaria y en caso de Incendio)

Tal y como se ha comentado con anterioridad, en fase de proyecto se realizará un Estudio de Ventilación que determinará la necesidad (o no) de implementar en un túnel integrado un sistema de ventilación forzada.

Dicho estudio deberá justificar cómo se alcanzan los objetivos de seguridad requeridos en la presente Instrucción Técnica (ventilación sanitaria y ventilación en caso de incendio) que se definen en el apartado 4.1.3.

Si a través del Estudio de Ventilación se justifica que para el túnel objeto de estudio (analizando cada tubo de forma independiente) y considerando todas las particularidades del mismo (longitud, sección transversal, pendiente, tipología de tráfico, incendio máximo considerado, viento exterior,..) se alcanza el nivel de seguridad requerido con la ventilación natural no deberá instalarse un sistema de ventilación forzada. Si el resultado del Estudio de Ventilación es que para alcanzar el nivel de seguridad definido se requiere un sistema de ventilación forzada, este deberá diseñarse en el Estudio de Ventilación de acuerdo a los criterios establecidos en la presente Instrucción Técnica.

4.3.2 Criterios para el diseño del sistema de ventilación forzada (Ventilación Sanitaria y en caso de Incendio)

En caso de que, una vez realizado el Estudio de Ventilación, se determine que es necesaria la instalación de un sistema de ventilación forzada, se debe garantizar que la capacidad del Sistema de Ventilación sea tal que pueda alcanzarse la Velocidad Crítica del Incendio máximo considerado para dicho túnel.

Tipología de tráfico	Potencia Máxima (MW)
Sin mercancías peligrosas	30
Con mercancías peligrosas	100

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.2.1 Dimensionamiento del Sistema de Ventilación Forzada

Se presenta a continuación un método de cálculo analítico que servirá para determinar las pérdidas de carga que el Sistema de Ventilación Forzada Longitudinal deberá ser capaz de vencer en una situación de incendio en el interior del túnel.

Asimismo, el proyectista podrá emplear métodos alternativos avanzados siempre que justifique debidamente que el Sistema de Ventilación puede alcanzar la Velocidad Crítica del Incendio máximo considerado para dicho túnel.

El caudal en caso de emergencia viene dado en función de la "Velocidad Critica" de la Potencia Máxima de Incendio considerado en el túnel objeto de estudio.

4.3.2.1.1 Método de Cálculo Analítico

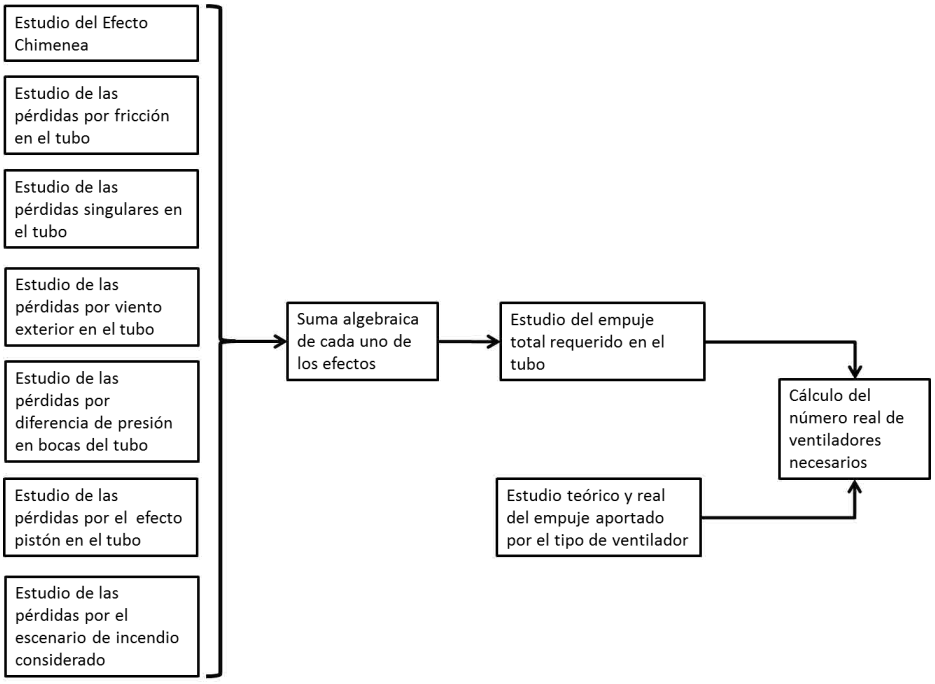
El método de cálculo analítico propuesto establece que se calculen por un lado la totalidad de las pérdidas de carga que se produzcan en cada tubo del túnel de forma independiente ante el escenario de incendio probable más crítico y estas se compensen con el empuje aportado por los ventiladores.

Es decir, el cálculo analítico propuesto pretende determinar las pérdidas de carga que se producirían en el incendio probable más crítico cuando el sistema ventilaría con una velocidad de ventilación igual a la velocidad crítica. Es por ello que el primer paso consiste en calcular dicha velocidad para el túnel considerado (de forma independiente para cada tubo si el túnel cuenta con 2).

Se definen en el presente apartado las diferentes pérdidas de carga a considerar. La suma de todas ellas da como resultado el empuje total que será necesario compensar con el sistema de ventilación.

Una vez determinado el empuje total a compensar, se determina el número de ventiladores necesarios para alcanzarlo en función del modelo de ventilador seleccionado.

cve: BOB-2025a082-(I-327)



4.3.2.1.1.1Cálculo de la velocidad crítica

En primer lugar, deberá realizarse el cálculo de la Velocidad Crítica del incendio probable de mayor potencia para el túnel objeto de estudio, la cual será el valor mínimo a tener en cuenta para el cálculo de las pérdidas de carga y la posterior elección de los ventiladores.

La velocidad crítica ya definida, viene dada de forma empírica, siendo función principalmente de:

- Aportación calorífica del fuego.
- Características geométricas de la posición donde se produce el incendio a partir de:
  - Sección neta del punto.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Altura.
- Pendiente del tramo.

Su cálculo se realiza mediante la iteración de las fórmulas:

$$Q^* = \frac{Q}{\rho_o \, c_p \, T_o \sqrt{g \, H^5}}$$

$$V_{crit} = V^* \sqrt{g H}$$

Donde:

V* = Velocidad crítica adimensional (-)

V_{crit} = Velocidad crítica (m/s)

g = Aceleración de la gravedad (m/s^2)

H = Altura de la sección del túnel (m)

Q = Calor liberado (kW)

Q* = Calor liberado adimensional (-)

ρ_o = Densidad del aire ambiente (kg/m^3)

C_p = Calor específico del aire a presión constante (kJ/ kq K)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

T_o = Temperatura del aire (K)

En base a las ecuaciones expresadas abajo se puede determinar el factor V*:

$$V^* = V^*_{\max} \left(\frac{Q^*}{0.12}\right)^{1/3} \quad \text{cuando} \quad Q^* < 0.12$$

$$V^* = V^*_{max} \quad \text{cuando} \quad Q^* > 0.12$$

Donde el valor de V*max varía desde 0.31 para fuegos que ocupen la práctica sección del túnel y 0.35 para fuegos pequeños.

Una vez calculada Q* y V*, la velocidad crítica se calcula mediante la expresión:

$$V_{crit} = V^* \sqrt{gH}$$

Esta velocidad se puede corregir cuando hay una pendiente en el túnel mediante la siguiente expresión:

$$V_{crit,\theta} = V_{crit}\,(1 + 0.008\,\theta)$$

Donde Θ es el ángulo de la pendiente en %.

4.3.2.1.1.2Cálculo de las pérdidas de carga

4.3.2.1.1.2.1 Estudio del efecto chimenea

En túneles con pendiente, el humo generado por el incendio tenderá a dirigirse hacia la boca situada a mayor cota, debido a las fuerzas de flotabilidad. El incremento de presión que este efecto genera se puede determinar según la siguiente expresión, propuesta por la Directiva Suiza de Ventilación:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$\Delta P_{Chim} = (\rho_i - \rho_{incendio})\eta_{incendio} \cdot g \cdot L_{incendio} \cdot \alpha \text{ [Pa]}$$

Dónde:

ρ_i: Densidad del aire dentro del túnel [kg/m3]

$\rho_{incendio}$: Densidad del aire en la zona del incendio [kg/m3]

$\eta_{incendio}$: Rendimiento del incendio [-]

g : Aceleración de la gravedad [m/s2]

$L_{incendio}$: Longitud del tramo afectado por el incendio [m]

α: Pendiente del túnel [-]

Asimismo, se debe considerar el efecto chimenea presente antes del comienzo del incendio. Este se determina de manera análoga al efecto chimenea producido por los humos, según la expresión:

$$\Delta P_{chim} = \alpha(\rho - \rho_0)g \cdot L$$

Dónde:

α : Pendiente del túnel

ρ : Densidad del aire externo [kg/m3]

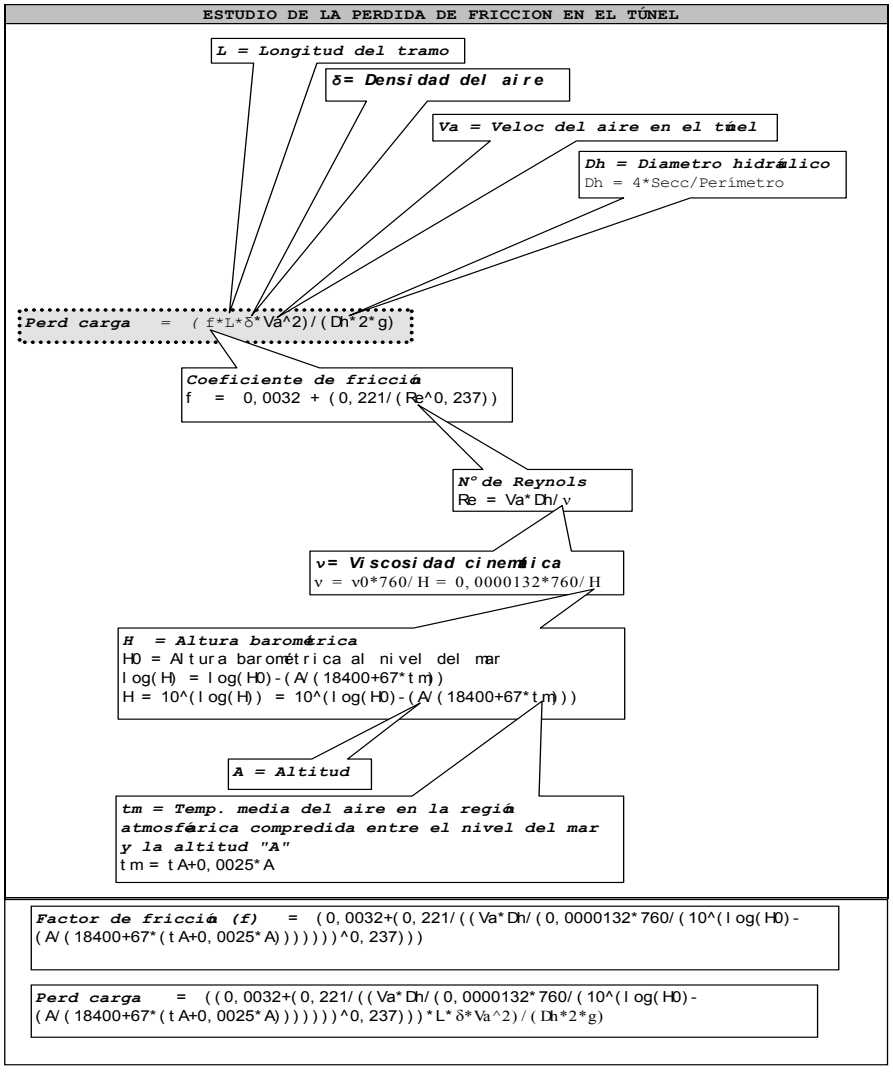
ρ_0 : Densidad del aire dentro del túnel [kg/m3]

g : Aceleración de la gravedad [m/s2]

4.3.2.1.1.2.2 Pérdidas por fricción

La fórmula a utilizar será la de Darcy-Weisbacch, que a continuación se indica:

cve: BOB-2025a082-(I-327)



cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.2.1.1.2.3 Pérdidas singulares

Las únicas pérdidas de este tipo a considerar, son las que se producen a la entrada y salida del túnel, cuya fórmula es:

$$H_{\sin g} = (\alpha \cdot \beta)\frac{\delta V_a^2}{2g}(mm.c.a.)$$

Siendo:

δ = Densidad del aire (kg/m^3)

V_a = Velocidad media del aire en el túnel (m/s)

α = Coeficiente de pérdidas singulares en la entrada. Este valor se considera del orden de 0,5 a 0,6

β = Coeficiente de pérdidas singulares en la salida, cuyo valor se considera del orden de la unidad

4.3.2.1.1.2.4 Pérdidas por presión del viento exterior

Si consideramos la presión que produce un viento desfavorable, el valor será por tanto la presión dinámica que a esa velocidad le corresponde, teniendo en cuenta el ángulo de la dirección de este y el túnel. Por tanto:

$$H_{vto} = \frac{\delta V_v^2 \cos^2 \varepsilon}{2g}(mm.c.a.)$$

Siendo:

δ = Densidad del aire (kg/m^3) en el exterior. Este valor puede calcularse tal como ya se ha indicado.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ε = Angulo de incidencia del viento con respecto al eje longitudinal del túnel. Lo normal será considerar el peor caso, es decir, viento opuesto directamente a la circulación del aire en el túnel. En este caso ε = 0 y cos ε = 1 siendo máxima H_{vto}.

V_v = Velocidad del viento, en m/s.

4.3.2.1.1.2.5 Caudal producido por la diferencia de presión en bocas

Consecuencia de la diferencia de alturas entre bocas y la posible diferencia de condiciones atmosféricas en ambas, existirá un tiro natural a través del túnel. Incluso la diferencia de densidades entre el interior y exterior del túnel puede provocar ese tiro. Aunque estos valores en conjunto en general son pequeños, se podrán tener en cuenta de la siguiente forma.

El desarrollo del cálculo será por igualación de un determinado caudal que tenga una pérdida de carga igual a la diferencia de presión que produce la diferencia de densidades del ambiente de ambas bocas, o interior/exterior.

Como ya se ha comentado, los valores obtenidos deberán tener en cuenta el signo, puesto que puede ser a favor o en contra del sentido de circulación para túnel unidireccional, mientras que el caso bidireccional se considerará siempre como condiciones desfavorables.

Se podrán aplicar las siguientes fórmulas:

$$\Delta p = \Delta H (\delta_1 - \delta_2) \text{ (mmc.a.)}$$

$$\Delta p = \Delta H (\delta_1 - \delta_2) \text{ (mmc.a.)}$$

Siendo

ΔH = Diferencia de cotas entre los puntos 1 y 2 en (m)

δ_1 y δ_2 = Densidades del aire en los puntos 1 y 2, bien sean las bocas o exterior e interior, en (kg/m^3).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Estos valores si no se conocen, podrán obtenerse de la siguiente forma:

$$\delta = \frac{\frac{10862}{6366198 \cdot 2A}\left(1 - 0.002837 \cos 2\phi\right)\left(H - \frac{3}{8}\, e\, p\right)}{\left(1 \cdot \frac{t}{273}\right)}$$

en la cual cada símbolo representa:

A = Altura del punto medio del tramo considerado, en msnm.

Ø = Latitud del mismo punto, en grados sexagesimales.

H = Altura barométrica del mismo punto, en mm Hg.

e = Grado de saturación, en tanto por uno.

t = Temperatura en el mismo punto, en °C,

p = Tensión de saturación, en mm Hg.

La tensión de saturación es función de la temperatura y puede calcularse de forma aproximada mediante la fórmula:

$$p = 4.58 + 0.373\, t + 0{,}011\, t^2$$

Una vez conocida la diferencia de presión entre las bocas, el caudal correspondiente deberá calcularse mediante la equiparación a un caudal que tenga esa misma pérdida de carga para el paso de una a otra boca a través del túnel, es decir considerando las pérdidas singulares y las pérdidas por fricción en el túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.2.1.1.2.6 Caudal producido por el efecto pistón

Denominamos efecto pistón al empuje que los vehículos transmiten al aire del túnel consecuencia de la circulación, siendo proporcional al aumento de circulación. Pero su efecto en la ventilación del túnel dependerá de forma importante de si ésta es en sentido único o no.

En el primer caso, se puede considerar que este efecto colabora con la ventilación del túnel de forma importante, mientras que en tráfico bidireccional el efecto es nulo o muy bajo en un sentido. En este caso se suele considerar del orden de 1/7 del considerado en un solo sentido.

Para el cálculo del caudal, debe estudiarse en primer lugar el empuje producido y posteriormente deducir el caudal que ello puede suponer.

La fórmula a emplear para el cálculo del efecto pistón es:

$$H_p = \Sigma\ [(Cw*Fv / S)*i*\delta*((V - Va)^2/(2*g))] \quad (mm.c.a.)$$

Para la obtención del valor total se tendrá en cuenta cada uno de los cálculos que de forma independiente deberá realizarse, considerando los vehículos ligeros y los pesados.

En el caso de circulación bidireccional se realiza el cálculo como si fuese unidireccional y posteriormente se obtiene el valor de 1/7 o cualquier otro % considerado como criterio.

Las variables son las siguientes:

H_p = *Presión total debida al efecto pistón*, en mm de columna de agua.

Fv = *Área de la sección transversal de los vehículos*. Se toma un área media para los turismos y otra para los pesados. Los valores empleados usualmente están alrededor de 2 m^2 y 8 m^2 respectivamente.

Cw = *Coeficiente de empuje*. Tiene en cuenta el diferente comportamiento aerodinámico de los cuerpos debido a su forma.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los valores que usualmente se toman como medios son 0,6 para turismos y 0,8 para pesados.

S = *Sección transversal del túnel*, en m^2.

δ = *Densidad del aire en el interior del túnel*, en kg/m^3

g = *Aceleración de la gravedad*, en m/s^2.

V = *Velocidad considerada de los vehículos*, en m/s, teniendo en cuenta la de ligeros y pesados.

$\mathbf{V_a}$ = *Velocidad del aire en el interior del túnel*, en m/s. En el presente cálculo esta velocidad se supone como valor cero. En los estudios de ventilación sanitaria funcionando ya ventiladores, ésta tendría un determinado valor, o como valor teórico inicial se deducirá del caudal teórico necesario para la dilución de CO/humos. En el caso del estudio del empuje en situación de emergencia el valor a considerar es distinto.

i = *Número de vehículos en el túnel, simultáneamente*, de cada tipo considerado, de turismos y de pesados.

Lo primero que habrá que hacer será repartir los turismos entre el carril izquierdo y el carril derecho, asignando unos porcentajes a cada carril (unos valores utilizados son 65 % de los turismos por el carril izquierdo y 35 % por el derecho).

Con esto ya se tendrá:

N° de turismos por el carril derecho por hora: N_1

N° de turismos por el carril izquierdo por hora: N'_1

N° de pesados por el carril derecho por hora: N_2

Para pasar los datos a números de vehículos presentes simultáneamente en el túnel, se calcula:

$$I = N*L / V$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

donde:

L = es la longitud del túnel en km.

V = es la velocidad considerada para el carril correspondiente, en km/h.

L / V = será el tiempo, en horas, que cada vehículo está en el túnel. Multiplicando el n° de vehículos por hora que pasa por el túnel (N), por el número de horas que cada vehículo permanece en el túnel, se tiene el número de vehículos que se encuentran simultáneamente en el mismo.

Una vez conocido la presión correspondiente al efecto pistón, el caudal correspondiente lo obtendremos basándonos en que dicho valor será el correspondiente a la presión dinámica del aire que desplazan, es decir, obtendremos la velocidad correspondiente a esa presión y al conocer la sección del túnel conoceremos el caudal.

$$Hp = \frac{\delta V_a^2}{2g}(mm.c.a.)$$ donde obtendremos V_a

Caudal = V_a * Secc del túnel

4.3.2.1.1.2.7 Pérdidas provocadas por el incendio

La existencia del incendio dentro de un túnel produce una caída de presión debido a la expansión de los humos. En el cálculo propuesto se sigue la expresión propuesta por el CETU:

$$\Delta P_{inc} = c \cdot \frac{\dot{Q}_C}{v_0 \cdot D_H^2}$$

Donde:

c : Constante (c =9x10^{-5}) [-]

Q c: Potencia convectiva del incendio [MW]

cve: BOB-2025a082-(I-327)

V_0 : Velocidad del aire [m/s]

D_H : Diámetro hidráulico [m]

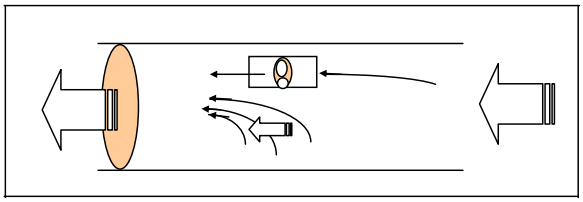
La potencia convectiva del incendio Qc se puede considerar como 2/3 de la potencia del incendio.

4.3.2.1.1.3Estudio del empuje de los ventiladores

La forma en que los ventiladores de chorro transmiten su potencia al aire del túnel, es mediante el empuje.

Para ello, recogen una cierta cantidad de aire del túnel, al cual le incorporan una determinada cantidad de movimiento equivalente a su potencia, transmitiendo el aire impulsado esa energía al conjunto del aire del túnel para el movimiento de éste.

Su representación esquemática es:



Para la definición del número de ventiladores a implantar, se deberá seguir el siguiente desarrollo.

4.3.2.1.1.3.1 Empuje total a considerar en el túnel

Una vez determinada la presión total a contrarrestar, el empuje total mínimo que deberá aportar el Sistema de Ventilación será:

Empuje Total (Nwts)= Presión total (mm.c.a.) * g * Secc del túnel(m^2)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

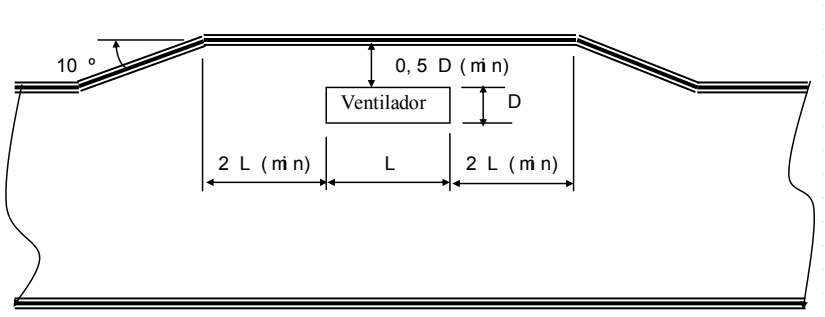
4.3.2.1.1.3.2 Numero de ventiladores a implantar

Una vez conocido el empuje total del túnel, obtendremos el número de ventiladores a implantar dividiendo este valor por el empuje del ventilador elegido.

Deberá tenerse en cuenta a la hora de considerar el Empuje del ventilador elegido, que los valores indicados en catálogo son valores teóricos, es decir, que en función de la forma de instalación ese valor puede quedar reducido consecuencia del "factor de instalación".

A falta de datos concretos del fabricante de los ventiladores a implantar se considerarán los siguientes puntos:

1.- Si el ventilador se sitúa en un nicho, deberá tenerse en cuenta el siguiente esquema.



2.- Se considerarán como factores de instalación, dependiendo de la separación del eje del ventilador a la pared o techo más próximo, los siguientes:

ESTUDIO DEL FACTOR DE INSTALACION				
Separación	1 Diám	1,5 Diám	2 Diám	3 Diám
Factor	0,87	0,91	0,94	0,99

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Además de ello deberá tenerse en cuenta a la hora de elegir el ventilador, el ruido, la posible separación entre ellos, etc.

Además de la disminución de la potencia de los ventiladores originada por la disminución de la densidad del aire en las proximidades del incendio, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que el/los ventiladores más próximos al fuego puedan ser inutilizados por la acción la acción térmica del incendio, así como por su proximidad al humo.

Por esa razón la ubicación y número de ventiladores deben ir acompañados del planteamiento de una Pauta de Ventilación de Emergencia que justifique que, ante los escenarios de incendio considerados, el Sistema de Ventilación es capaz de cumplir los requerimientos de seguridad establecidos en el presente documento.

Como se ha comentado al inicio del apartado, este cálculo debe realizarse para cada tubo del túnel de forma particular.

4.3.3 Algoritmos de ventilación

4.3.3.1 Ventilación del túnel

En el Estudio de Ventilación que se realiza en fase de proyecto se incluirá un diseño preliminar de los algoritmos de ventilación con el objetivo de que estos cumplan los criterios de seguridad definidos.

Asimismo, en el Estudio de Ventilación en fase de proyecto se definirán las pruebas y ensayos de ventilación mínimos que serán necesarios realizar en fase de obra o puesta en servicio del túnel para la verificación del funcionamiento del sistema.

En fase de obra se deberá complementar el Estudio de Ventilación mediante un análisis particular con modelos numéricos que permitan comprobar la capacidad del sistema de ventilación proyectado, así como ajustar y definir de forma detallada los algoritmos de ventilación. Asimismo, en fase de obra se realizarán los ensayos descritos en el Estudio de Ventilación que permitan verificar y ajustar (en caso necesario) los algoritmos de ventilación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los modelos numéricos permitirán comprobar el comportamiento del Sistema de Ventilación tanto en su Funcionamiento en Servicio como en situación de Emergencia y ajustar así en detalle el planteamiento preliminar de los algoritmos de ventilación.

Para ello deberá emplearse una herramienta informática de dinámica de fluidos computacional que permita simular de forma realista el túnel objeto de estudio, las características del sistema de ventilación implementado, así como el comportamiento y propagación de los escenarios de incendio considerados en el estudio. Deberá describirse el método de cálculo empleado, así como las hipótesis realizadas. Simultáneamente a la presentación de resultados, se realizará una interpretación de los mismos en las que se detallen las aportaciones que tienen sobre la solución adoptada. Los resultados mostrados deberán incluir las unidades de las magnitudes obtenidas.

4.3.3.1.1 Modo de Funcionamiento en Servicio

El objetivo que debe ser alcanzado con esta ventilación es el mantenimiento de los niveles de confort y seguridad para el usuario. La calidad del aire en el túnel deberá ser tal que durante el Funcionamiento en Servicio la dilución conseguida por la ventilación sanitaria permita no sobrepasar los valores de polución indicados en la tabla siguiente, bien sea mediante ventilación natural o forzada.

Los umbrales de referencia deberán estar de acuerdo con la normativa aplicable en el momento de la entrada en funcionamiento del túnel, no obstante, se indica a continuación unos valores básicos a tener en cuenta.

Estado	Nivel de CO	Nivel de NO_2	Opacidad
Baja	0 - 35 ppm	< 0,40 ppm	0 - 5 $x10^{-3}$ m^{-1}
Media	35 - 75 ppm	0,40 – 1,00 ppm	5 - 7 $x10^{-3}$ m^{-1}
Alta / Alerta	75 - 125 ppm	1,00 – 1,50 ppm	7 - 9 $x10^{-3}$ m^{-1}
Muy Alta / Alarma	> 125 ppm	> 1,50 ppm	9 -12 $x10^{-3}$ m^{-1}

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Túneles con Ventilación Natural:

Se justificará técnicamente en el Estudio de Ventilación que, debido a las características particulares del túnel objeto de estudio para el tráfico considerado el túnel, se cumple con el requisito establecido.

Túneles con Ventilación Forzada:

El proyectista deberá definir una Pauta de Ventilación Sanitaria que garantice el cumplimiento del requerimiento establecido.

Esta actuación será preferentemente de forma automática y de acuerdo a unos determinados criterios de explotación y umbrales de referencia anteriormente prefijados, es decir, función de los niveles de CO, NOx, y Opacidad. También se tendrá en cuenta las horas de funcionamiento de cada ventilador, de tal forma que se consiga que todos los ventiladores trabajen un número de horas aproximadamente iguales.

Con todo ello se definirá el algoritmo que gobernará la Pauta de Ventilación Sanitaria.

Para túneles unidireccionales con ventilación forzada se recomienda que la ventilación sanitaria sea en sentido del tráfico.

Mientras que para túneles bidireccionales con ventilación forzada se deberá analizar cada caso particular con objeto de optimizar la solución en términos de consumo energético, número de arranques y horas de funcionamiento de ventiladores, etc...

En el diseño será necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. Comportamiento del tráfico: mediante modelos del tipo macroscópico en los que se contemplen la composición, reparto entre carriles, previsiones a futuro, curvas de tráfico, etc.

2. Emisiones de vehículos y límites admisibles: de acuerdo con las recomendaciones o indicaciones internacionales, dándose preferencia a las dadas por PIARC.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3. Características geométricas del túnel: en particular se prestará atención a las de gran influencia en el comportamiento hidráulico (sección, perímetro), así como su pendiente, altitud, orientación, etc.

4. Condiciones atmosféricas: Se estudiará la influencia que su magnitud pueda implicar en el comportamiento del sistema de ventilación.

5. Equipos de ventilación: tanto sus características hidráulicas y eléctricas como la influencia que su colocación pueda tener en su rendimiento.

El objetivo de estos estudios será la comprobación de la capacidad del sistema para cumplir con las necesidades de dilución de contaminantes en el túnel, tanto para el CO como los humos generados por los vehículos. Además, se verificará que los niveles de NO_x no superen niveles aceptables.

4.3.3.1.2 Modo de funcionamiento en Emergencia (incendio)

El objetivo de esta ventilación consiste en el control del humo en caso de incendio a fin de permitir la evacuación de las personas, a través de una vía de escape con ambiente limpio, así como posibilitar la actuación y acceso de los servicios de emergencia.

En caso de que el túnel objeto de estudio requiera ventilación forzada, además de los ventiladores implantados en los tubos, deberá instalarse un sistema de ventilación, independiente en las propias galerías de evacuación que permitan que estas dispongan de aire limpio y a sobrepresión respecto al tubo en el que se encuentre el incendio.

Para el correcto control del humo generado por un incendio, mediante un sistema de ventilación forzada longitudinal, es necesario conocer los parámetros que condicionan el comportamiento del humo, la disposición de las vías de evacuación, la distribución de personas según la tipología de tráfico, así como la disposición y tipología de los diferentes sistemas que forman el Sistema de Ventilación (ventiladores, anemómetros,…).

Se definen a continuación los objetivos operativos mínimos que debe cumplir el Sistema de Ventilación forzada en su funcionamiento en modo de emergencia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Túneles Unidireccionales:

- El sentido de ventilación será el del tráfico salvo que se justifique la necesidad de modificar el criterio (particularidad del Túnel, accesibilidad de Servicios de Emergencia,…).
- Si al detectarse el incendio únicamente se encuentran vehículos atrapados aguas arriba del Punto de Incendio. Se debe definir una Pauta de Actuación tal que no se provoque la desestratificación del humo aguas arriba del Punto de Incendio.
- Si al detectarse el incendio se encuentran vehículos atrapados aguas abajo del Punto de Incendio. El objetivo debe ser mantener la estratificación del humo la mayor distancia y durante el mayor tiempo posibles, garantizando un mínimo aporte de aire fresco que permita la evacuación segura de las personas. En términos generales:
  - El humo no debe desestratificarse aguas arriba del Punto de Incendio.
  - Aguas abajo deberá caer lo más lejos posible del Punto de Incendio.
- Mantener en las galerías de emergencia una sobrepresión que garantice la evacuación de los usuarios por una zona libre de humos.

Túneles Bidireccionales:

- El sentido de ventilación dependerá del Punto de Incendio. En general se deberá ventilar hacia la boca del túnel más próxima salvo que se justifique la necesidad de modificar el criterio (particularidad del Túnel, accesibilidad de Servicios de Emergencia,…).
- El objetivo debe ser mantener la estratificación del humo la mayor distancia y durante el mayor tiempo posibles, garantizando un mínimo aporte de aire fresco que permita la evacuación segura de las personas. En términos generales:
  - El humo no debe desestratificarse aguas arriba del Punto de Incendio.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Aguas abajo deberá caer lo más lejos posible del Punto de Incendio.

- Mantener en las galerías de emergencia una sobrepresión que garantice la evacuación de los usuarios por una zona libre de humos.

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores el cumplimiento de los objetivos operativos aquí mencionados condicionará el diseño de todo el Sistema de Ventilación (ubicación y tipo de ventiladores, posición y número de anemómetros interiores, posicionamiento de sistemas de detección CO Opacímetros NO2,…). Por ello se deben justificar en el Estudio de Ventilación en fase de proyecto, las Pautas de Ventilación (sanitaria e incendio) que cumplan estos objetivos y en base a ellas definir la ubicación y distribución de equipos del Sistema de Ventilación.

Se deberá definir un algoritmo de Ventilación en caso de Incendio que, integrado en el Sistema de Control del túnel, será el encargado de controlar el Sistema de Ventilación cuando este entre en funcionamiento en modo de emergencia.

La base para el diseño del algoritmo serán los “Escenarios de Incendio”, que son una serie de hipótesis de los diferentes incendios críticos probables que pueden ocurrir en el túnel objeto de estudio.

Los Escenarios de Incendio se componen de:

- Tipo de Incendio.

- Ubicación.

- Tipología de Tráfico.

4.3.3.1.2.1Tipo de Incendio

En función del tráfico que pueda circular por el túnel se considerarán al menos los siguientes incendios:

- Túneles SIN tráfico de mercancías peligrosas:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Incendio de un vehículo turismo {5MW}.
- Incendio de un camión {30MW}.

- Túneles CON tráfico de mercancías peligrosas:
  - Incendio de un vehículo turismo {5 MW}.
  - Incendio de un camión {30MW}.
  - Incendio de un camión de mercancías peligrosas {100MW}.

Para la definición de cada uno de los tipos de incendio considerados se puede acudir al apartado "4.1.2. Incendio en el túnel. Estudio del comportamiento de fuego/humo".

4.3.3.1.2.2Ubicación

Para la realización de los algoritmos de control, se debe estudiar al menos tres posiciones representativas, buscando el caso más desfavorable dentro de cada una de ellas:

- Próxima a la boca de entrada.
- Próxima a la boca de salida.
- En la zona central del túnel.

El número de posiciones a estudiar debe aumentar en caso de existencia de especificidades geométricas o técnicas (chimeneas de evacuación de humos, ramales de acceso o salida en el interior del túnel...). Asimismo, en función de la longitud del túnel en el Estudio de Ventilación el proyectista deberá analizar más posiciones a fin de cumplir los requisitos de seguridad establecidos. Se recomienda analizar tantas ubicaciones como secciones de ventiladores haya en el túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.3.1.2.3Tipología de Tráfico

Este factor hace referencia a la presencia de vehículos atrapados en el túnel durante la emergencia de Incendio.

- Para túneles unidireccionales se considerarán al menos las siguiente Tipologías de Tráfico:
    - Fluido: vehículos atrapados únicamente aguas arriba del punto de incendio.
    - Congestionado: vehículos atrapados aguas abajo del punto de incendio.
- Para túneles bidireccionales se considerará al menos:
    - Tráfico bidireccional.

Para cada Escenario de Incendio (Tipo de Incendio, Ubicación y Tipología de Tráfico) se debe estudiar cómo se accionaría la ventilación en caso de incendio y los anemómetros que se tendrán en cuenta para el control de la ventilación. Asimismo, se deberá definir la Pauta de Actuación en caso de incendio para situaciones excepcionales de explotación como el tráfico bidireccional.

Se definen a continuación una serie de criterios de diseño de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio.

- No se actuará con ventiladores situados a menos de 10 DH de un anemómetro de referencia en impulsión o 5 DH en succión.
- Debido a la relación entre la velocidad de ventilación y la potencia del incendio, en general no se debe ventilar con velocidades superiores al 50% de la Velocidad Crítica Instantánea, salvo que los Servicios de Emergencia así lo requieran.
- Se tratará de evitar los cambios bruscos de velocidad de ventilación con los arranques de los ventiladores, preferentemente arrancando los mismos de manera individual o mediante variadores de frecuencia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- No se debe actuar con ventiladores próximos al humo, salvo que su actuación no afecte a la evacuación.

- Para túneles unidireccionales con vehículos atrapados únicamente aguas arriba del Punto de Incendio se recomienda ventilar con una velocidad ligeramente superior a la Velocidad Crítica Instantánea. Como se ha comentado en apartados anteriores, la Velocidad Crítica aumenta con la potencia del incendio y ésta crece a medida que el incendio va desarrollándose (tiempo).

- En caso de tráfico unidireccional congestionado o bidireccional es importante mantener la estratificación de los humos, esto se consigue con una velocidad del aire baja. Este hecho provocará la aparición de backlayering. No se debe actuar con ventiladores a menos de 10DH de la distancia máxima de retroceso de los humos.

- Se debe evitar que el humo expulsado de un tubo invada el contiguo. Para ello se deberá actuar con ventiladores del tubo (sin incendio) para generar una sobrepresión que impida que se produzca este fenómeno.

- Se debe considerar la influencia que el retroceso del humo esperable, tanto posible retroceso inicial del humo previo a la detección, como el posible backlayering cuando la ventilación sea inferior a la velocidad crítica, tendrá en el Sistema de Ventilación en los diferentes escenarios de incendio considerados.

4.3.3.1.2.4Definición de criterios para el control

Mediante la realización de estudios paramétricos se desarrollarán los criterios de control que permitan su integración con el sistema de Gestión Técnica Centralizada de la ventilación.

Será imprescindible que las pautas de actuación del sistema de ventilación queden definidas de una forma esquemática apropiada para su gestión informática (preferiblemente en forma de tablas para los distintos escenarios de incendio considerados).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El sistema propuesto debe tener en cuenta la situación de funcionamiento del túnel previamente al desarrollo del incendio. Partiendo de esta situación se definirán las actuaciones sobre los distintos equipos de ventilación que faciliten el control de la nube de humos.

En los estudios paramétricos a realizar se deberán valorar y cuantificar los distintos fenómenos empleados para la verificación del dimensionamiento del sistema y la elaboración de los estudios en régimen transitorio (tráfico, equipos de ventilación, fenómenos atmosféricos, etc.).

4.3.3.1.3 Modo de funcionamiento degradado

Se deberá definir un algoritmo de ventilación (servicio e incendio) para su funcionamiento en modo degradado, por pérdida temporal de suministro eléctrico, adaptándose a la particularidad del túnel.

4.3.3.2 Ventilación de galerías

Las galerías de evacuación del túnel dispondrán de un sistema de ventilación con los siguientes modos de funcionamiento:

4.3.3.2.1 Modo de funcionamiento en servicio

Con el fin de poder ventilar la galería en funcionamiento normal, deberá entrar en funcionamiento la ventilación según lo definido en el apartado 4.2.2.3 y quedará recogido en el Manual de Explotación.

4.3.3.2.2 Modo de funcionamiento en caso de emergencia

El modo de funcionamiento en caso de emergencia del sistema de ventilación de las galerías estará definido en la pauta de ventilación del túnel en caso de incendio. Cuando exista detección en uno de los tubos, se pondrá en funcionamiento el ventilador que aspira del tubo con aire limpio, de forma que el aire saldrá asimismo por la compuerta cortafuego y de sobrepresión que la galería conecta con el propio tubo sin incendio. Para ello, el ventilador que aspira del tubo con incendio permanecerá parado, y las compuertas de incendios de ese tubo, la del propio ventilador y la de salida por sobrepresión, permanecerán cerradas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se podrá utilizar una solución de ventilador con variador de frecuencia y sonda de sobrepresión, como sistema alternativo al citado anteriormente (ventilador y compuertas de sobrepresión) para ajustar la sobrepresión en el interior de las galerías.

4.4 Requisitos del equipamiento

4.4.1 Implantación de ventiladores

Tal y como se ha explicado con anterioridad, la ubicación de los ventiladores estará condicionada por las Pautas de Ventilación establecidas para el cumplimiento de los requisitos de seguridad establecidos en el presente documento y se definirá en el Estudio de Ventilación realizado en fase de proyecto.

A continuación, se describen una serie de recomendaciones a tener en cuenta en la distribución de los ventiladores.

4.4.1.1 Implantación

La implantación se realizará según el resultado del Estudio de Ventilación. La separación entre ellos será tal que el flujo de una pareja no se encuentre excesivamente próxima a la siguiente de forma que limite su rendimiento. En principio se considera adecuada una separación uniforme a lo largo del túnel con una interdistancia superior a 60-70 m. Los situados próximos a las bocas de entrada en túneles unidireccionales, se recomienda situarlos a una distancia no superior a 25-50 m de las bocas.

No obstante, y puesto que la agrupación en la zona de las bocas supone una instalación eléctrica más económica, podrá realizarse la implantación en grupos de ventiladores que permitan una cierta economía, siempre que se cumplan las siguientes reglas:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.1.2 Separación entre ventiladores

Separación mínima en sentido longitudinal, de **60 – 70 m.** Este valor tiene un cierto margen de seguridad, a fin de que el aire que llega a la aspiración de un ventilador no tenga ninguna turbulencia procedente del ventilador anterior.

Como base teórica para la definición de esa distancia, podremos considerar las siguientes fórmulas:

Velocidad residual. La velocidad residual del aire procedente de un ventilador tubular al aire libre y a una distancia (d), determinada.

Diam. Ventilador (cm)	Velocidad residual del aire, función de la distancia "d"
71	Vel r = -3,697909518*LN(d) +12,4951652025
80	Vel r = -3,9861622979*LN(d) + 13,6039880254
90	Vel r = -4,2706382915*LN(d) +4,6982826731
100	Vel r = -4,5251107391*LN(d) + 6,771625917
125	Vel r = -5,0640591802*LN(d) + 7,750337158

Variación por rpm. Este valor se supone al aire libre y para ventiladores a 1500 rpm. Por tanto, si las revoluciones son distintas, deberá transformarse a las del ventilador del proyecto, que de acuerdo a las leyes de los ventiladores será directamente proporcional al caudal, por tanto a la velocidad de salida y, como consecuencia, a la residual, es decir;

$$\frac{\text{Vel (r)}}{\text{Vel (r)'}} = \frac{\text{rpm}}{\text{rpm'}}$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$\frac{\text{Vel (r)}}{\text{Vel (r)'}} = \frac{\text{rpm}}{\text{rpm'}}$$

Además de lo anterior, y consecuencia del "efecto Coanda", el valor de la distancia calculada para la velocidad residual será del orden del 30% superior.

En mecánica de fluidos, el efecto Coanda es el fenómeno físico en el cual una corriente de un fluido tiende a ser atraída por una superficie vecina a su trayectoria.

En base a estos cálculos, las distancias varían entre 30 – 40 m, por lo cual para mayor seguridad se propone el mínimo de 60 -70 m. No obstante, en los casos en los que sea necesario un estudio específico, el cálculo se basará en lo expuesto anteriormente.

4.4.1.3 Obstáculos

No existirán obstáculos a la corriente de aire, tales como señales, etc., a una distancia mínima de 15 m a ambos lados del ventilador.

4.4.1.4 Factor de instalación

Los ventiladores se situarán en la clave del túnel perfectamente centrados y;

Distancia mínima del eje del ventilador al techo 1 vez el diámetro

Distancia mínima entre ejes de ventiladores 2 veces el diámetro

Se considera que, con estos valores, el "Factor de Instalación", es decir, el aprovechamiento del empuje teórico del ventilador es del orden del 94%. Si la distancia al techo se eleva a 3 veces, el factor alcanza el 99%. Al contrario, si fuese 0,5 veces, es decir, pegado al techo, el valor se reduce hasta el 83%.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.1.5 Soportado y anclaje

El suministro de los ventiladores incluirá los soportes a la estructura del túnel. Para ello, se deberán prefabricar los soportes y anclajes, teniendo en cuenta los siguientes puntos:

- Situación que se encontrará en su montaje final en el túnel.
- Categoría de corrosividad del túnel.
- Disponer y preparar el máximo número de componentes previos al montaje, a fin de que éste se realice con la mayor celeridad.
- Dispondrá de los correspondientes antivibratorios a fin de no transmitir vibraciones a la estructura del túnel de acuerdo a lo anteriormente indicado.
- Tal y como se establece en la IT de Infraestructura, estos elementos dispondrán de una resistencia a temperatura de 450ºC durante 120 minutos.

4.4.2 Redundancia de equipos y de alimentación

Dada la importancia del Sistema de Ventilación en la situación de incendio, en los cálculos a realizar se tendrá en cuenta el supuesto que el incendio pueda ocurrir justamente debajo o cerca de una pareja de ventiladores, con la consecuente reducción de la capacidad total de ventilación, en el proceso de cálculo.

En cuanto a la alimentación eléctrica, aunque existe una IT específica sobre este tema (Energía Eléctrica), el criterio a seguir es disponer que los ventiladores tengan alimentación de emergencia, bien a través de doble alimentación exterior segura y en anillo o bien mediante un grupo diésel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.3 Requisitos funcionales

4.4.3.1 Reversibilidad y resistencia al fuego de los ventiladores

Todos los ventiladores serán resistentes al fuego, debiendo soportar 400 ºC durante 2 horas antes de que alguno de sus componentes deje de actuar correctamente. Así mismo, todos los ventiladores serán reversibles con rendimiento mínimo del 95 % en sentido inverso.

Asimismo, si el Estudio de Ventilación realizado en fase de proyecto determina que la temperatura de exposición de los ventiladores es mayor bajo las condiciones del incendio más crítico considerado, la exigencia de temperatura máxima de funcionamiento deberá ajustarse en consecuencia.

4.4.3.2 Nivel de ruido en equipos y ambiente

La razón de que el parámetro del ruido deba ser tenido en cuenta en el ambiente del túnel, tiene su fundamento en la necesidad de que el Sistema de Megafonía tenga el máximo rendimiento y efectividad, dado que este sistema, se encuentra dentro del conjunto de sistemas de seguridad en caso de situación de emergencia, o incluso en situaciones cotidianas, como por ejemplo durante operaciones de mantenimiento.

Los ventiladores son la segunda fuente de ruido más importante en el ambiente del túnel, que si fuese excesivamente alta, produciría un aumento al alza del ya producido por el propio tráfico, principal foco emisor.

Por esta razón, los ventiladores deberán disponer de silenciadores tanto en la entrada como en la salida, aunque vayan a funcionar fundamentalmente en una dirección, de tal forma que el nivel de presión sonora sea aceptable.

Este valor se considerará correcto si midiendo a una distancia de 1 m del suelo y con un ángulo de 45º, con respecto al eje longitudinal de simetría, no se superan los 80 u 83 dB(A).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.3.3 Nivel de vibraciones de equipos

El nivel de vibraciones del ventilador estará de acuerdo a la norma ISO 14694:2003 Industrial fans

4.4.3.4 Monitorización de los ventiladores

Los ventiladores dispondrán de la sensórica para la monitorización de las vibraciones y temperatura (cojinetes y devanados) en el Centro de Control.

Según la Tabla 1 de la citada norma, los ventiladores de los túneles se clasificarán en BV-3 (Potencia ≤ 75KW) y como BV-4 (Potencia > 75KW).

Las tablas siguientes, extraídas de la normativa anteriormente mencionada, resumen los límites de vibración aceptables para los equipos en fábrica y en operación.

Table 4 — Vibration-levels limit for test in manufacturer's work-shop

Fan application category	Rigidly mounted mm/s		Flexibly mounted mm/s	
	Peak	r.m.s.	Peak	r.m.s.
BV-1	12,7	9,0	15,2	11,2
BV-2	5,1	3,5	7,6	5,6
BV-3	3,8	2,8	5,1	3,5
BV-4	2,5	1,8	3,8	2,8
BV-5	2,0	1,4	2,5	1,8

NOTE 1 Refer to Annex A for conversion of velocity units to displacement or acceleration units for filter-in readings.

NOTE 2 The r.m.s. values given in this Table are preferred. They are rounded to a R20 series as specified in ISO 10816-1. Peak values are widely used in North America. Being made up of a number of sinusoidal wave forms, these do not necessarily have an exact mathematical relationship with the r.m.s. values. They may also depend to some extent on the instrument used.

NOTE 3 The values in this Table refer to the design duty of the fan and its design rotational speed and with any inlet guide vanes "full-open". Values at partial load conditions should be agreed between the manufacturer and user, but should not exceed 1,6 times the values given.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Table 5 — Seismic vibration limits for tests conducted *in situ*

Condition	Fan-application category	Rigidly mounted mm/s		Flexibly mounted mm/s	
		Peak	r.m.s.	Peak	r.m.s.
Start-up	BV-1	14,0	10	15,2	11,2
	BV-2	7,6	5,6	12,7	9,0
	BV-3	6,4	4,5	8,8	6,3
	BV-4	4,1	2,8	6,4	4,5
	BV-5	2,5	1,8	4,1	2,8
Alarm	BV-1	15,2	10,6	19,1	14,0
	BV-2	12,7	9,0	19,1	14,0
	BV-3	10,2	7,1	16,5	11,8
	BV-4	6,4	4,5	10,2	7,1
	BV-5	5,7	4,0	7,6	5,6
Shutdown	BV-1	Note 1	Note 1	Note 1	Note 1
	BV-2	Note 1	Note 1	Note 1	Note 1
	BV-3	12,7	9,0	17,8	12,5
	BV-4	10,2	7,1	15,2	11,2
	BV-5	7,6	5,6	10,2	7,1

NOTE 1 Shutdown levels for fans in fan-application grades BV-1 and BV-2 should be established based on historical data.

NOTE 2 The r.m.s. values given in this Table are preferred. They are rounded to a R20 series as specified in ISO 10816-1. Peak values are widely used in North America. Being made up of a number of sinusoidal wave forms, these do not necessarily have an exact mathematical relationship with the r.m.s. values. They may also depend to some extent on the instrument used.

5 INTEGRACION Y SISTEMA DE CONTROL

Dada la importancia del Sistema de Ventilación en este tipo de infraestructuras, se ha diseñado un sistema con altos niveles de redundancia y seguridad con el objetivo de mantener un alto nivel de disponibilidad. Este nivel de disponibilidad del sistema solo se puede conseguir mediante una adecuada integración de los elementos de campo en el sistema de control del túnel.

Si un túnel dispone de sistema de ventilación forzado deberá estar integrado en una aplicación de gestión centralizada (SCADA), además de disponer de los equipos de control locales que marca la normativa.

En fase de proyecto se deberán considerar como mínimo las siguientes señales de los equipos del Sistema de Ventilación a integrar en el Centro de Control, así como aquellas que el Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia (OITB) tras su revisión:

5.1 Ventiladores

- Estados de todos los ventiladores: Comunica, No comunica, Sentido marcha directa, marcha inversa, paro y avería
- Órdenes de arranque y paro de todos los ventiladores

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Modo de operación: manual/automático
- Número de horas de funcionamiento
- Alarma de temperatura de bobinados
- Alarma de exceso de vibraciones
- Alarma disparo de protecciones
- Medidores de concentración de CO/NO2 y opacímetros
    - Estado de los equipos: Comunica, No comunica y avería
    - Alarmas de nivel

5.2 Anemómetros

- Estado de los equipos: Comunica, No comunica y avería
- Velocidad del aire

5.3 Galerías de evacuación

- Estado de los ventiladores y compuertas
- Órdenes de arranque y paro de los ventiladores
- Medida de sobrepresurización

Sin embargo, en fase de Obra, la Dirección de Obra, por decisión propia o sugerencia del Gestor/a del Túnel en fase de explotación y Gestor/a Delegado/a del túnel (explotadora), podrán solicitar la inclusión de las señales que consideren necesarias para la correcta explotación del sistema.

En cualquier caso, estas señales deberán emplear el bus de comunicaciones bajo el cual se ha diseñado la red de control del túnel (recogido en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control). Por tanto, se deberá instalar toda pasarela o conversor necesario para que

cve: BOB-2025a082-(I-327)

la integración sea lo más eficiente posible, en coordinación con el responsable del diseño y ejecución del sistema de comunicaciones de dicha Instrucción Técnica.

Cabe destacar que, en el SCADA, todas estas señales estarán reflejadas a dos niveles diferentes, sean de mantenimiento o de alarma. Por tanto, el Sistema de Ventilación debe identificar claramente a qué tipo corresponden, con el objetivo de realizar una integración eficiente y no saturar al operador con alarmas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 PUESTA EN MARCHA

El contratista responsable de la instalación del Sistema de ventilación en un túnel de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, según el presente Decreto Foral, deberá presentar a la Dirección de Obra un plan de pruebas de los equipos. El plan de pruebas de los equipos estará formado por Programas de Puntos de Inspección (PPIs), y las pruebas estarán repartidas en el tiempo y con los alcances mínimos que se indican a continuación.

El plan de pruebas debe contemplar como mínimo las pruebas establecidas en las ITs.

6.1 Pruebas

La Dirección de Obra revisará el plan de pruebas presentado y podrá solicitar al contratista la inclusión de las pruebas adicionales que considere oportunas bien por iniciativa propia o por sugerencia del OITB, para dar su aprobación al plan de pruebas de los equipos. El OITB auditará la conformidad de la ejecución de ese plan de pruebas.

6.1.1 Pruebas por niveles

Se describen a continuación los diferentes momentos de la obra en los que se requiere la realización de pruebas.

- Nivel 0. Definición de PPIs a realizar en las pruebas de fábrica (FAT).
- Nivel 1. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta instalación de los equipos en la obra.
- Nivel 2. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos a nivel local (Centro de transformación, local técnico de Baja tensión, etc.)
- Nivel 3. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos en el Centro de Control.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.2 Pruebas de componentes y objetivos, en las instalaciones del suministrador / fabricante

En ellas, se probará el componente como tal. Así, deberá probarse uno de cada tipo de los ventiladores que se utilicen en la instalación o un ventilador prototipo, cuadros eléctricos, etc.

Este punto es aplicable tanto a la ventilación del túnel como a las galerías de evacuación, cuartos técnicos, etc.

Los componentes que deberán probarse son:

1. Ventiladores
2. Cuadros eléctricos
3. Componentes del Sistema de Control

6.1.2.1 Ventiladores

- Verificación de los parámetros eléctricos de los motores de los ventiladores
    - Verificar / disponer de documentos de ensayos del fabricante
- Verificación de la curva caudal-presión – empuje, de uno de cada tipo de ventilador
    - Verificar / disponer de documentos de ensayos del fabricante
- Verificación del resto de los parámetros del ventilador (vibraciones, ruido)
    - Medición de vibraciones
    - Medición de ruido

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Verificación de la sensórica para el monitoreo de vibraciones y temperatura (cojinetes y devanado) de los ventiladores en el en el Centro de Control.

6.1.2.2 Cuadros eléctricos

- Verificación de los parámetros eléctricos
  - Rigidez dieléctrica
  - Tarado de magnetotérmicos, diferencial, etc.
  - Pruebas de actuación y maniobra

6.1.2.3 Componentes del Sistema de Control

Verificación de la actuación de acuerdo a la lógica de funcionamiento, mediante la simulación de las distintas señales.

6.1.3 Pruebas de componentes y objetivos, en campo

En ellas, se probará el componente como tal debidamente instalado, pero sin tener en cuenta las implicaciones que su montaje con el resto de componentes pueda tener, por ejemplo, durante la prueba de los ventiladores de túnel se probarán uno a uno, con el resto de ventiladores parados. En el caso de las galerías de evacuación cuartos técnicos, también se realizarán de forma independiente.

Las pruebas en campo constarán de:

1. Inspección inicial visual de los elementos montados
2. Pruebas de componentes mecánicos y eléctricos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.3.1 Inspección inicial visual de los elementos montados

Verificar el correcto montaje de los distintos elementos mecánicos, eléctricos o instrumentos, de acuerdo a situación en planos, etc.

6.1.3.2 Ventiladores

Los puntos que a continuación se exponen, deberán realizarse en cada uno de los ventiladores, e implementar las mediciones en el formato correspondiente. Ello es aplicable tanto a la ventilación del túnel como en las galerías de evacuación y cuartos técnicos.

6.1.3.2.1 Implantación de ventiladores

Revisar situación de la implantación de acuerdo al proyecto, de cada uno de los ventiladores.

6.1.3.2.2 Inspección visual del equipo

- Revisar el sistema de anclaje, sellado, conexión eléctrica, ausencia de golpes, etc.
- Verificación de la placa de características. Comprobar que dicha placa se encuentra perfectamente colocada y legible, y que se corresponde con los datos de proyecto.

6.1.3.2.3 Anclaje de ventiladores

En el caso de los ventiladores del túnel, se realizará la prueba de carga de cada uno de los pernos de anclaje de sujeción y seguridad, para una fuerza de al menos 4 veces su carga de servicio. Referencia normativa: 19_Note_Info_14_ancrages_accelerateurs_cle2eacff.pdf (developpement-durable.gouv.fr)

Los anclajes deben ser accesibles para permitir controles periódicos. En general, se realizará una inspección visual de los pernos de anclaje de cada uno de los ventiladores, tamaño, sujeción, etc.

6.1.3.2.4 Parámetros eléctricos

Verificación de los parámetros eléctricos de cada uno de los motores de los ventiladores mediante mediciones, y comparación con los datos de fabricante y diseño, así como del resto de componentes.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Toda la instalación eléctrica será probada mediante las siguientes medidas y operaciones:

- Antes de conectar los motores y demás equipos eléctricos y electrónicos se medirá la resistencia del aislamiento a tierra y entre conductores, haciéndose tanto de cada circuito como para alimentador, y debiéndose obtener un valor no inferior a 750.000 ohmios.

- Una vez conectados los motores y demás equipos se volverá a medir la resistencia del aislamiento en la misma forma, debiendo dar un valor no inferior a 250.000 ohmios.

- Deberá comprobarse la identificación de todos los componentes y comprobar la señalización de los circuitos.

- Tensiones de alimentación generales y parciales, a intensidad nominal o máxima.

- Frecuencia en cuadro general.

- Tierras generales de cuadro y parciales de máquinas.

- Las medidas de potencia en cada ventilador se realizarán en la prueba particular de cada uno.

- Prueba de diferenciales.

- Prueba de magnetotérmicos.

- Calibrado y prueba de guardamotores.

- Calibrado y prueba de térmicos.

- Calibrado y prueba de arrancadores.

- Verificación de enclavamientos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– Revisar aparamenta de cuadro s/especificación, conexiones, marcado de cableado, limpieza, señalización correcta de lámparas, intensidad de cortocircuito del interruptor principal, etc.

– Verificación del tarado de los correspondientes componentes como magnetotérmico, correspondencia entre la señalización en cuadro y funcionamiento real del equipo, giro correcto del ventilador, etc.

– Efectuar mediciones correspondientes a intensidad de arranque y nominal, tensión etc.

6.1.3.2.5 Curva característica del ventilador

Verificación de la curva caudal-presión-empuje de cada uno de los ventiladores mediante mediciones, y comparación con los datos de fabricante y diseño.

Se deberá disponer de las curvas del ventilador a probar. Con los datos de intensidades, y caudal y r.p.m. medidos, se comparará con el solicitado en el proyecto, en cuanto a empuje, etc., en el caso de los ventiladores de túnel, o presiones en el resto.

- Medición del caudal que pasa por él, o deducir este valor de forma teórica basándose en la intensidad real medida

- Comparación del punto de funcionamiento obtenido, con el valor teórico del ventilador

- Medición de las r.p.m.

6.1.3.2.6 Vibraciones y ruido

Verificación del resto de los parámetros del ventilador (vibraciones, ruido)

- - Medición de vibraciones

- - Medición de ruido

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.3.2.7 Verificación del resto de los parámetros del ventilador (vibraciones, ruido)

Se medirán las vibraciones en la carcasa del ventilador.

Se procederá a la medición del ruido del ventilador mediante un sonómetro colocado a la distancia que existe desde la calzada a la boca de salida del mismo y con un ángulo de 45º respecto al eje longitudinal de simetría del ventilador.

6.1.3.3 Inspección y Verificación de Instrumentos asociados

6.1.3.3.1 Inspección visual del equipo

- Revisar situación de la implantación de acuerdo al proyecto, de cada uno de los elementos.
- Revisar el sistema de anclaje, ausencia de golpes, etc, de cada uno de los instrumentos asociados a los ventiladores.
- Verificación de las placas de características. Comprobar que dichas placas se encuentran perfectamente colocadas y legibles, y que se corresponden con los datos de proyecto.

6.1.3.3.2 Verificación del sistema eléctrico

Revisar conexiones, marcado de cableado, limpieza, etc. de acuerdo a las especificaciones del proyecto.

Verificación del tarado de los correspondientes componentes, correspondencia entre la señalización en cuadro y funcionamiento real del equipo, etc.

6.1.4 Pruebas de funcionalidad del Sistema de Ventilación

En ellas, se observará la funcionalidad del conjunto del Sistema de Ventilación, tanto la ventilación de túnel, como en los demás subsistemas, (galerías, etc.). Tratará de simularse en este punto, las condiciones más próximas al funcionamiento normal de la instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Para la funcionalidad, se probarán todos los ventiladores funcionando como conjunto, tanto en Funcionamiento en Servicio como en Emergencia en las distintas formas previstas en el Manual de Explotación.

6.1.4.1 Prueba de funcionalidad del conjunto de los ventiladores del túnel

Se comprobará la funcionalidad de cada uno de los ventiladores;

- Arranque / parada de forma local con su señalización local y en Centro de Control, en sentido directo

- Arranque / parada desde el Centro de Control con su señalización local y en Centro de Control, en sentido directo.

- Las mismas verificaciones, pero en sentido inverso, en el caso de los ventiladores de túnel.

- Verificación del ruido. Se realizarán mediciones de ruido en distintos puntos del túnel y en distintas asunciones, tales como número de ventiladores en funcionamiento, y se comprobará la efectividad de la megafonía en esas condiciones.

- Verificación de correcto funcionamiento de la sensórica para la monitorización de las vibraciones y temperatura (cojinetes y devanados) de los ventiladores.

Una vez probados y puesto en operación cada uno de los ventiladores del túnel, y sus correspondientes instrumentos, se procederá a la prueba de funcionalidad del Sistema de acuerdo a las asunciones previstas en el Manual de Explotación.

De lo expuesto a continuación, aquello que no pueda ser real en el momento de la prueba, deberá simularse. Se verificarán las siguientes funcionalidades:

- Enclavamiento con el Sistema de Detección de Incendios.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Arranque/parada de los ventiladores necesarios de acuerdo a las distintas asunciones del Manual de Explotación en función de los enclavamientos con los instrumentos asociados, tal como se indica en el siguiente apartado.

- Enclavamiento con los instrumentos asociados.

  - Arranque/parada de los ventiladores previstos, de acuerdo a los valores suministrados por los detectores de CO y opacímetros.

- Enclavamiento con los ventiladores de ambos túneles en caso de incendio

- Verificación del software de los instrumentos asociados.

6.1.4.2 Prueba de funcionalidad de la ventilación de Galerías de Evacuación o Cuartos Técnicos

Una vez probados y puesto en operación cada uno de los componentes, y sus correspondientes instrumentos, se procederá a la prueba de funcionalidad.

De lo expuesto a continuación, aquello que no pueda ser real en el momento de la prueba, deberá simularse. Se verificarán los siguientes enclavamientos:

- Enclavamiento con el Sistema de Detección de Incendios.

  Galerías de Evacuación

  - Arranque de forma automática de los ventiladores previstos, de acuerdo a la situación del fuego y otras asunciones del Manual de Explotación.

  - Apertura de la compuerta cortafuego correspondiente de acuerdo a la situación prevista en el Manual de Explotación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cuartos Técnicos

- Parada de forma automática de los ventiladores previstos, de acuerdo a la situación prevista en el Manual de Explotación.

6.1.4.3 Prueba de Funcionalidad de la instrumentación asociada

Se comprobará la funcionalidad de cada uno de los instrumentos;

- Señalización en software del Centro de Control.
- Verificación mediante patrón de la fiabilidad de las lecturas de dichos instrumentos.

6.1.4.4 Verificación de la Pauta de Ventilación Sanitaria. Funcionamiento en Servicio

Pruebas para verificar el funcionamiento de los ventiladores previstos, en función de distintos valores de opacidad y CO.

El objetivo de esta prueba es verificar de forma experimental el correcto funcionamiento de la Pauta de Ventilación Sanitaria.

Para ello, se propone la siguiente prueba: se generará, en el entorno de un detector de {CO, Opacímetro} una concentración de alguno de los agentes que haga que se supere los umbrales admisibles definidos en el apartado 4.2.5.1 de modo que se provoque la activación de la Pauta de Ventilación Sanitaria. Deberá verificarse que el Sistema de Ventilación actúa de forma automática de acuerdo a la Pauta de Ventilación definida hasta lograr recuperar la situación admisible.

6.1.4.5 Verificación de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio. Funcionamiento de Emergencia

Pruebas para la verificación del funcionamiento del Sistema de Ventilación en modo de Emergencia. Pruebas de funcionamiento de los ventiladores en función de distintas situaciones de incendio, de los anemómetros así como de los subsistemas de galerías y cuartos técnicos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El objetivo de estas pruebas es verificar de forma experimental el correcto funcionamiento de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio.

6.1.4.5.1 Pruebas para la verificación del funcionamiento de Anemómetros

Tal y como se ha comentado los anemómetros son los dispositivos a través de los cuales se conocerá la velocidad de ventilación en situación de incendio de modo que se pueda controlar de forma eficaz el movimiento estratificado del humo. Es por ello que su correcto funcionamiento es clave.

Se describe a continuación las pruebas que deben realizarse y su objetivo.

6.1.4.5.1.1 Verificación de la no afección de anemómetros por ventiladores

Se deberá justificar experimentalmente qué anemómetros se ven afectados localmente por la actuación de los ventiladores. Para ello el contratista utilizará una red de anemómetros patrón con al menos 8 puntos de medida que no se verán afectados durante la activación secuencial de los ventiladores.

De este modo se identificarán los ventiladores que afectan localmente a cada anemómetro y se comprobará que la Pauta de Ventilación en caso de Incendio tiene en cuenta este factor a la hora de descartar los anemómetros que toma como referencia para cada escenario de incendio considerado.

Tal y como se ha definido en el apartado 4.2.4.5 “anemómetros en el interior del túnel” como mínimo debe haber 2 anemómetros no afectados por la acción de ventiladores para cualquier escenario de incendio considerado y durante la duración de toda la emergencia.

6.1.4.5.1.2 Ajuste de las medidas puntuales

Las medidas puntuales de los anemómetros interiores pueden verse afectadas por particularidades del túnel. El objetivo de estas pruebas es comparar las velocidades puntuales de los anemómetros con la velocidad media en la sección del túnel de modo que pueda ajustarse para que sea tomada como representativa.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El ajuste deberá realizarse de forma independiente para cada anemómetro. Comparando su medida puntual con la velocidad media patrón en su sección.

6.1.4.5.2 Pruebas en vacío para la verificación de la correcta integración

Se verificará la correcta integración de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio desencadenando desde el Centro de Control la totalidad de los escenarios planteados en la pauta. En las pruebas debe verificarse la activación correcta de los ventiladores, el descarte de los anemómetros no considerados, así como el correcto tratamiento de las medidas de los anemómetros que el algoritmo de ventilación toma como referencia.

6.1.4.5.3 Pruebas de Incendio de Alta Potencia.

El objetivo de esta prueba es la verificación experimental del funcionamiento en modo de emergencia del Sistema de Ventilación ante una situación de Incendio real en el interior del túnel.

Para ello la potencia mínima del incendio a simular durante la prueba será la del incendio mínimo considerado en la Pauta de Ventilación en caso de Incendio. Tal y como se establece en el presente documento la potencia mínima a considerar para la definición de la Pauta de Ventilación en caso de Incendio será de 5 MW.

Para ello se deberá justificar la capacidad del equipo para generar el humo equivalente al de un incendio real de 5 MW de potencia, en términos de temperatura y caudal de humo caliente.

Requerimientos de la prueba.

- Se deberá verificar la Pauta de Ventilación, en al menos una ubicación del túnel, para cada una de las diferentes Tipologías de Tráfico consideradas en el diseño.
- El funcionamiento del Sistema de Ventilación durante la prueba deberá ser automático.
- La prueba se deberá realizar en las condiciones de tiro natural existente sin forzarlo salvo que DO así lo indique.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Se deberán registrar las lecturas puntuales de los anemómetros del túnel y las órdenes de encendido/apagado de los ventiladores.

- Adicionalmente a los anemómetros del túnel se instalará al menos una sección de anemómetros (6 puntos de medida) en una sección del túnel no afectada por la acción de ventiladores ni del incendio.

- Se deberá monitorizar con cámaras de vídeo la propagación y comportamiento del humo en el túnel.

- No deberán causarse daños ni suciedad al túnel.

Criterios de Validación

Se definen a continuación los criterios a controlar durante las pruebas.

- Activación de ventiladores según lo definido en la Pauta de Ventilación en caso de Incendio.

- Descarte y toma de referencia de los anemómetros definidos según la Pauta de Ventilación en caso de Incendio.

- Se deberá verificar que las medidas de los anemómetros tomados como referencia son coherentes con las registradas por la red de anemómetros adicionales instalados para la prueba. Así como que se aplican los factores de corrección definidos (en caso de que los hubiera).

- El alcance de las velocidades objetivo.

- Para las pruebas en las que se verifique la hipótesis de tráfico fluido se verificará que no se produce desestratificación aguas arriba del Punto de Incendio.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Para las pruebas en las que se verifique la hipótesis de tráfico congestionado que no se produce desestratificación aguas arriba del punto de incendio y que la desestratificación aguas abajo se produce según lo previsto en la Pauta de Ventilación en caso de emergencia.

6.1.5 Instrumentación de pruebas

Todas las mediciones se realizarán con aparatos pertenecientes al Suministrador, los cuales deberán haber sido previamente contrastados y su certificación deberá ser entregada a la D.O. para la aprobación de su utilización. En ningún caso podrán utilizarse para la prueba los aparatos fijos pertenecientes a la instalación, sirviendo asimismo las mediciones para el contraste de éstos.

6.2 Documentación final de obra

El contratista deberá entregar al gestor/a del túnel los siguientes documentos:

- Resultados de las pruebas debidamente completadas.
- Manuales de Operaciones/instrucciones y Mantenimiento que contendrá los procedimientos para la operación y mantenimiento del equipo.
- En caso de disponer de algún tipo de software asociado al equipo, éste deberá adjuntarse junto con las licencias correspondientes.
- Proyecto “as built” que incluirán los elementos con la relación de las unidades y equipos empleados. Así como los planos “as built”.
- Certificados, declaraciones de conformidad y fichas técnicas de la instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 MANTENIMIENTO

No obstante, el Manual de Explotación deberá hacer mención expresa a este punto, debiendo ser debidamente desarrollado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y la normativa aplicable.

7.1 Mantenimiento preventivo

Se exponen a continuación una serie de operaciones de mantenimiento preventivo que deberán considerarse como mínimas a realizar para garantizar en la explotación del túnel el correcto funcionamiento del Sistema de Ventilación instalado.

Cabe destacar que el gestor/a del túnel podrá ampliar las operaciones de mantenimiento preventivo mínimas propuestas.

7.1.1 Mantenimiento de ventiladores del túnel

Se comprobará la funcionalidad de cada uno de los ventiladores de forma anual, para ello se realizarán las siguientes operaciones:

- Arranque / parada de forma local con su señalización local y en Centro de Control, en sentido directo e inverso.
- Arranque / parada desde el Centro de Control con su señalización local y en Centro de Control, en sentido directo e inverso.
- Verificación del ruido. Se realizarán mediciones de ruido en distintos puntos del túnel y en distintas asunciones, tales como número de ventiladores en funcionamiento, y se comprobará la efectividad de la megafonía en esas condiciones.
- Verificación de correcto funcionamiento de la sensórica para la monitorización de las vibraciones y temperatura (cojinetes y devanados) de los ventiladores.
- Verificación de anclajes, vibraciones, etc,… de los dispositivos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Verificación del funcionamiento de los equipos de ventilación de las galerías de evacuación.

7.1.2 Mantenimiento del sistema de anemómetros

Tal y como se ha descrito en el presente documento, los anemómetros juegan un papel clave en el control de la ventilación en caso de emergencia, por lo que una medida incorrecta de los mismos puede afectar de forma grave a las decisiones que se tomen en términos de control del humo del incendio. Por ello el mantenimiento de estos debe ser detallado. Se definen 2 tipos de operaciones de mantenimiento y verificación.

7.1.2.1 Pruebas trimestrales.

En el Estudio de Ventilación definirá un procedimiento de activación de ventiladores y de comprobación de lecturas de anemómetros. El procedimiento marcará las directrices de las pruebas que deberá realizar el explotador del túnel durante los cortes de mantenimiento y/o en horario nocturno con baja circulación. El objetivo de estas pruebas es detectar el mal funcionamiento de los anemómetros.

7.1.2.2 Ensayos de verificación de ajuste bienales.

Con el tiempo los anemómetros del túnel pueden sufrir afecciones locales que afecten a sus medidas. De forma bienal deberán realizarse ensayos de ajuste de anemómetros cuyo objetivo será la verificación de la validez de la corrección realizada en la puesta en obra y en su caso el reajuste de la medida puntual a la media de la sección. Este tipo de ensayos son similares a los descritos en el apartado 6.1.4.5.1.1. Verificación de la no afección de anemómetros por ventiladores.

7.1.3 Mantenimiento de la funcionalidad

Se realizarán de forma anual, coincidiendo con cortes de tráfico pruebas para verificar el correcto funcionamiento de los algoritmos de ventilación implementados en el sistema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.1.3.1 Ventilación sanitaria o servicio

Se generará, en el entorno de un detector de {CO, Opacímetro} una concentración de alguno de los agentes que haga que se supere los umbrales admisibles definidos en el apartado 4.3.3.2 de modo que se provoque la activación de la Pauta de Ventilación Sanitaria. Deberá verificarse que el Sistema de Ventilación actúa de forma automática de acuerdo a la Pauta de Ventilación definida hasta lograr recuperar la situación admisible.

7.1.3.2 Ventilación de emergencia o en caso de incendio

El objetivo de estas pruebas será el de verificar el mantenimiento del funcionamiento de los algoritmos de ventilación en caso de incendio a lo largo del tiempo. Se lanzarán en automático varios escenarios de incendio con el registro de señales de activación de ventiladores y lectura de anemómetros para verificar que el funcionamiento sigue el funcionamiento establecido.

El postproceso de los registros permitirá identificar posibles anomalías y actuar en caso de detectarse.

7.2 Mantenimiento correctivo

Comprenderá las operaciones necesarias para la detección y reparación de las averías en las instalaciones de ventilación, y sus objetivos serán la rapidez en la detección y actuación a un coste bajo, con una buena calidad en la reparación que mejore la seguridad de este tipo de instalaciones, pudiendo implantarse sistemas de gestión centralizada. La reparación incluirá además de la sustitución o arreglo de los elementos averiados, la comprobación de la eliminación de las causas de la avería, evitando su repetición.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO V

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES EN CARRETERA

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(V)

PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1	OBJETO	4
2	ALCANCE	5
3	CODIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS	6
4	CRITERIOS DE DISEÑO	8
4.1	Introducción	8
4.1.1	Causas posibles de incendio	8
4.1.2	Objetivos del Sistema de Protección Contra Incendios	9
4.2	Materiales y requisitos de resistencia al fuego	12
4.3	Sectorización	13
4.4	Sistema de Detección y Alarma	13
4.4.1	Arquitectura	13
4.4.2	Criterios del Sistema de Detección	16
4.4.3	Criterios del Sistema de Alarma	19
4.4.4	Enclavamiento del Sistema con otros sistemas o componentes	20
4.5	Sistema de Extinción	21
4.5.1	Sistema de Extintores Portátiles	21
4.5.2	Sistema de Bocas de Incendio Equipadas (BIE)	23
4.5.3	Sistema de Red de Hidrantes	24
4.5.4	Sistemas Fijos de Extinción automática de gases	31

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.5 Sistema fijo de Extinción Automática por Aerosol en armarios eléctricos y electrónicos 33

4.5.6 Sistemas para la protección de la Infraestructura 35

4.6 Señalización de emergencia 37

4.7 Evacuación 38

4.7.1 Señalización del recorrido de evacuación. 38

4.7.2 Señalización de indicación de salida. 39

4.7.3 Señalización dentro de la galería de comunicación entre tubos. 42

5 INTEGRACION Y SISTEMA DE CONTROL 43

6 PUESTA EN MARCHA 46

6.1 Pruebas 46

6.1.1 Pruebas por niveles 46

6.1.2 Pruebas a equipos 47

6.1.3 Instrucciones de Prueba 49

6.2 Documentación final de obra 53

7 MANTENIMIENTO 54

7.1 Mantenimiento preventivo 54

7.2 Mantenimiento correctivo 54

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente instrucción técnica tiene por objeto definir las disposiciones y cálculos del Sistema de Protección Contra Incendios en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto y planeamiento pertenecientes al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles en carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una instrucción técnica clara de diseño, construcción, puesta en servicio y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.
- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.
- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción técnica se aplicará a los túneles en todas sus fases de vida, planeamiento, proyecto, construcción, integración y puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo del Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras (DFST).

La Instrucción técnica define los requisitos de seguridad relacionados con el sistema de protección contra incendios que serán de obligado cumplimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CODIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos de referencia aplicables en este documento:

- Recomendaciones de la A.I.P.C.R.
- Normas UNE.
- NFPA 502 Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways.
- Directiva 2004/54/CE del parlamento Europeo y del consejo, de 29 de abril de 2004 y actualizaciones posteriores, sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Aplicable a túneles de más de 500 m.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado. Transposición de la Directiva 2004/54/CE.
- Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras.
- Reglas Técnicas de CEPREVEN.
- NFPA 24 Standard for the Installation of Private Fire Service Mains and Their Appurtenances
- Norma UNE 23500-2021 “Sistemas de abastecimiento de agua contra incendios”.
- Norma UNE-EN 54: Sistemas de detección y alarma de incendios
- Norma UNE 23007 “Componentes de los sistemas de detección automática de incendios”.
- Según la UNE 12845:2016 “Sistemas fijos de lucha contra incendios”
- NFPA 750 Standard on Water Mist Fire Protection Systems.
- Real Decreto 513/2017, de 22 de mayo y actualizaciones posteriores, por el que se aprueba el Reglamento de instalaciones de protección contra incendios.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Real Decreto 314/2006 del 17 de Marzo y actualizaciones posteriores, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (DB-SI)
- Instrucción de Carreteras Norma de Señalización Vertical 8.1-IC.
- UNE 23033: Seguridad contra incendios. Señalización de seguridad.
- UNE 14972: Sistemas fijos de lucha contra incendios. Sistemas de agua nebulizada. Diseño e instalación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 CRITERIOS DE DISEÑO

4.1 Introducción

Las funciones básicas del Sistema de Protección Contra Incendios en túneles son similares a las de cualquier otro campo, con ciertas peculiaridades. Las diferencias más importantes son las que se refieren a los siguientes ámbitos:

- Prevención de incendios
- Sectorización
- Detección y Localización
- Alarmas
- Extinción del incendio
- Evacuación de humos
- Señalización de rutas de evacuación y elementos de protección

En esta misma norma se detallarán dichas peculiaridades o se referirá a las normas genéricas de Protección Contra Incendios existentes para los casos comunes con la Edificación o el sector Industrial, cuando aplique.

4.1.1 Causas posibles de incendio

El conocimiento de las causas motivadoras de incendios permite fijar los objetivos sobre los que se debe actuar y por tanto el diseño de las instalaciones más adecuadas. Las principales causas son por:

– “equipos eléctricos”, puesto que las instalaciones y equipos eléctricos, aunque permiten su correcto funcionamiento y servicio, no garantizan la ausencia de corto-circuitos.

– “accidentes”, entre vehículos dentro del túnel,

– “incendio de un vehículo”, puesto que puede incendiarse por razones propias dentro del túnel o llegar incendiado al interior del túnel sin que el conductor lo haya advertido.

En cualquier caso, en el incendio intervendrán elementos sólidos, líquidos, (combustibles), o gases, además de los elementos eléctricos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Bajo esta premisa, por tanto, se considerará que pueden existir incendios del tipo A, B, C, y E, según la clasificación de incendios europea.

4.1.2 Objetivos del Sistema de Protección Contra Incendios

El Sistema de Protección Contra Incendios es uno de los sistemas que contribuyen a la seguridad del túnel en las siguientes facetas:

Prevención y protección pasiva: Ello lo consigue evitando de forma pasiva la aparición de un incendio, para ello se dispone en lo posible de materiales no combustibles, tales como cables no propagadores de la llama y elementos estructurales que en caso de fuego se deterioren lo mínimo posible a fin de que el túnel pueda ponerse en servicio en el mínimo tiempo posible después del incendio. En el caso de túneles de Tipo I y II subfluviales, urbanos o que no cuenten con revestimiento de hormigón, se realizará un estudio de la estabilidad de la estructura y su comportamiento ante el fuego, mediante el cual se evaluará la necesidad de instalar una protección estructural (protección pasiva o activa).

Sectorización: La sectorización permite la no extensión del fuego de determinadas zonas, como es el caso de las salas técnicas y las galerías de evacuación.

Detección: Los sistemas de detección utilizados permiten conocer de la existencia de un incendio en el túnel con un margen mínimo de error en cuanto al punto kilométrico. La utilización de detectores lineales a lo largo del túnel permite detectar y situar el foco del incendio. Los detectores lineales son complementados por los sistemas de control ambiental, (opacímetros, medidores de CO, etc.), y medios ópticos de vigilancia, si son de aplicación en el túnel, que confirma la existencia del fuego. Además de ello, en los locales técnicos, existen detectores puntuales de humo o de temperatura según el riesgo a proteger. En las galerías de evacuación existirá una detección lineal o por detectores puntuales de humo.

Alarma: El objetivo de este sistema es dar alarma en el Centro de Control bien de forma directa, al comunicarse con el Centro de Control a través del poste SOS, o de forma indirecta, por ejemplo, al desmontar un extintor de un poste SOS.

Extinción: Su objetivo es la extinción de un incendio en el túnel mediante los sistemas de extinción propios, como son los extintores, Bies e hidrantes, además de los sistemas fijos en las salas técnicas. Por otra parte, existe el equipo de extinción exterior de bomberos.

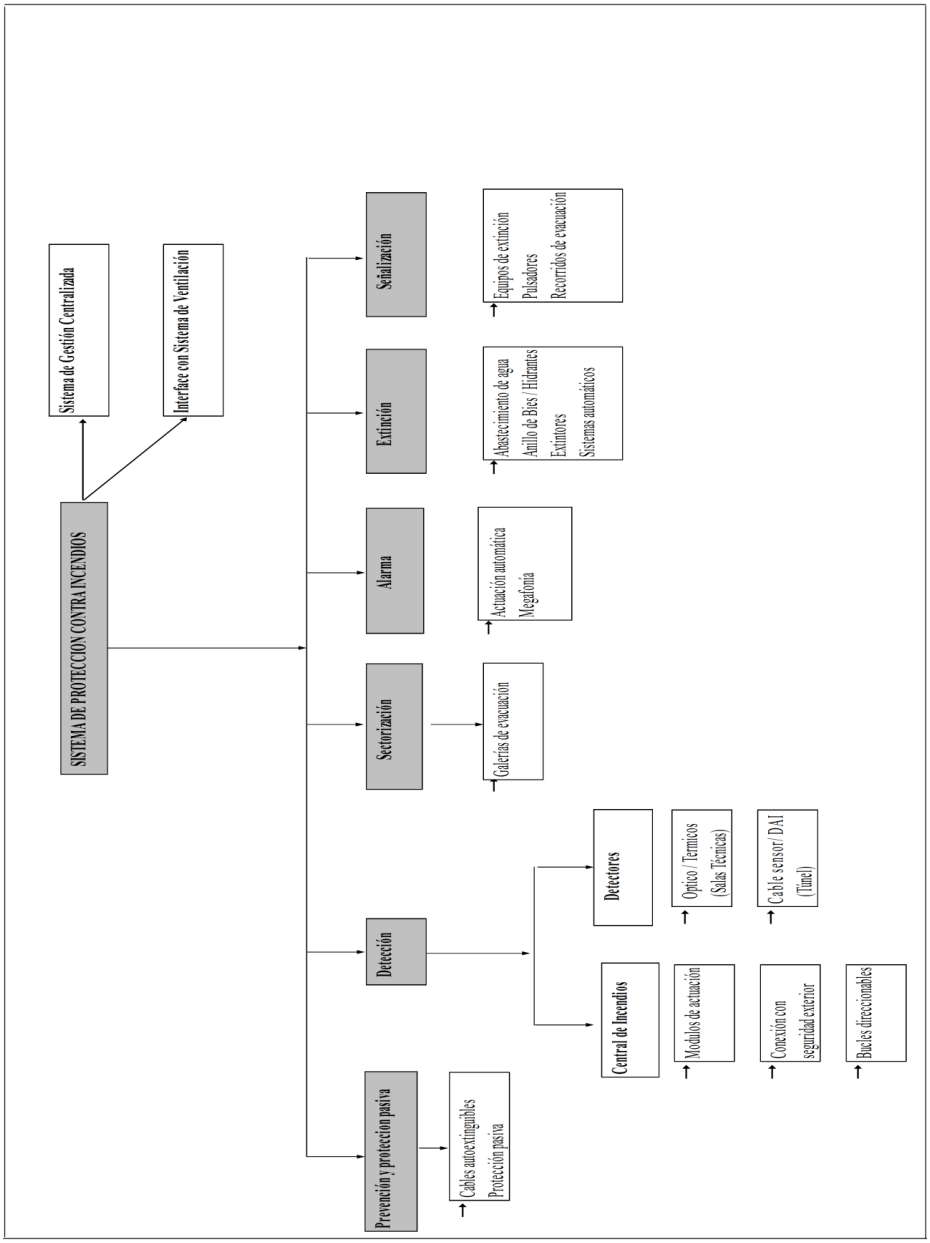
cve: BOB-2025a082-(I-327)

Señalización: El Sistema de Señalización permitirá fundamentalmente dos funciones, una será la fácil localización de los elementos de extinción, alarma, etc. y una segunda la señalización de las vías de escape o evacuación.

Evacuación: Su misión es conseguir que, en caso de incendio, los usuarios puedan abandonar el túnel de forma segura. Dentro de este sistema se encuentra como complemento el Sistema de Megafonía, descrito en la Instrucción Técnica VI Seguridad, Vigilancia y Control.

En el siguiente esquema se representa el Sistema de Protección Contra Incendios:

cve: BOB-2025a082-(I-327)



cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2 Materiales y requisitos de resistencia al fuego

En caso de ser necesario un sistema para la protección de la infraestructura, se analizará la instalación de sistemas de protección pasiva (mediante la instalación de placas, morteros, etc.) que eviten el colapso de la infraestructura, facilitando la evacuación de las personas y la intervención de los servicios de extinción.

De acuerdo con la UNE 23500, los grupos de bombeo deben estar colocados en un compartimento con una resistencia al fuego mayor o igual a 60 minutos, y que sólo sea usada para este fin.

Se admiten los materiales de la tubería de la Red de Hidrantes para instalación enterrada y aérea que se indican en el apartado 4.5.3.4.1. El empleo de otros materiales y revestimientos debe justificarse adecuadamente para su aceptación.

Además de las características que se indican en el documento de Instrucción II de Energía Eléctrica, de forma general el cableado de todos los sistemas de protección contra incendios instalados en el interior de túneles y galerías deberá mostrar una reacción al fuego mínima C_{ca}-s1b,d1,a1 según UNE EN 50575, es decir, de baja emisión de humos y libre de halógenos y no propagador del incendio.

Adicionalmente, el cable del lazo de detección de incendios deberá ser resistente al incendio 842ºC 90 minutos según UNE EN 50200.

Los cables de potencia del suministro eléctrico hasta el cuadro de la bomba eléctrica, así como desde éste hasta el motor eléctrico deben estar protegidos contra daños mecánicos y cumplir con la Norma UNE 211025. Para proteger los cables de la exposición directa al fuego, éstos deben atravesar sólo las zonas donde el riesgo de fuego sea despreciable y que estén separadas de cualquier riesgo significativo mediante paredes, tabiques o suelos con una resistencia al fuego no inferior a 60 min, o deben recibir una protección directa adicional o estar enterrados. Los cables deben ser trozos ininterrumpidos sin junturas. Los interruptores principales para el suministro del cuadro deben estar situados en un compartimento a prueba de fuego usado únicamente para el suministro de potencia eléctrica.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Todas las señales de evacuación y emergencia que se definan deben ser fotoluminiscentes con material autoextinguible y deben cumplir las características técnicas especificadas en: UNE 23034, 23035-1, 23035-2, 23035-3 y 23035-4.

4.3 Sectorización

Para una mejor y más eficaz actuación del Sistema de Protección Contra Incendios, ha de realizarse un estudio tanto del tipo de actividad de las distintas zonas, como del riesgo de fuego y posibilidades de actuación durante la extinción.

Bajo esta premisa, deberá considerarse como sectores cada uno de los túneles, y por tanto, las galerías de evacuación, tanto entre ambos tubos como en el caso de una evacuación directa con el exterior, y se deberán disponer cerramientos de separación con ellos, con la correspondiente estabilidad y resistencia al fuego.

Además de ello, si existiese alguna sala eléctrica en comunicación directa con el túnel, deberá considerarse de igual modo.

4.4 Sistema de Detección y Alarma

Para la detección de incendios se procesan los datos y alarmas de una serie de sensores que son tratadas de forma global por el software de control para detectar y localizar el foco del incendio.

El sistema de control del túnel deberá tener implantado e integrado un algoritmo donde se ponderarán todas estas señales y alarmas para determinar si se ha producido un fuego en el interior del túnel y generen una alarma en el centro de control, sugiriendo una posible localización del fuego. De todas formas, en caso necesario los protocolos de actuación en respuesta al fuego podrán ser desencadenados por el operador del centro de control, de forma manual o automática a través de un gestor de incidentes.

Las galerías de evacuación deberán disponer de un sistema de detección de incendios, bien sea por detección puntual (detectores de humos) o lineal (cable detección lineal).

4.4.1 Arquitectura

El software de control debe detectar automáticamente la existencia de un incendio, proponiendo al operador del centro de control la posible existencia de un incidente con fuego y su posible ubicación. Una vez confirmado por el operador el incidente, se realizarán las actuaciones

cve: BOB-2025a082-(I-327)

pertinentes que estarán definidas en el Plan de Autoprotección y el Manual de Explotación. Si después de un tiempo configurable desde la alarma de incendio el operador de consola no ha confirmado, ni rechazado la alarma se activarán las actuaciones pertinentes programadas en la lógica de campo de forma automática.

El túnel y los locales técnicos deben disponer de una serie de sensores y alarmas para la detección y ubicación de incendios. Al menos debe disponer de:

- Detector de incendios continuo (cable detección lineal) a lo largo del túnel que sea capaz de detectar y ubicar el incendio o tecnología alternativa de detección de incendios recogida en la IT de Seguridad, Vigilancia y Control.
- Sistema de detección de incendios en las galerías de evacuación, bien sea por detección puntual o lineal (cable detección lineal) o tecnología alternativa de detección de incendios recogida en la IT de Seguridad, Vigilancia y control.
- Detector de incendios en los locales técnicos.
- Alarmas de activación de medios de extinción de incendios (retirada de extintor o devanadera de la BIE.)

Esta última alarma además de su labor principal de ayuda en la detección y ubicación del foco del incendio también es empleada como sistemas de vigilancia contra intrusos.

Típicamente los detectores continuos ubicados a lo largo del túnel y los detectores de incendios de los locales técnicos son gestionados por controladores y centrales de sistemas de incendios. Independiente del sistema empleado se deberá proceder al envío de las medidas y alarmas al sistema de control centralizado a través de las ERUT (Estación Remota Universal de Túnel) o PLCs (Controladores Lógicos Programables), de forma que éstos eleven las alarmas al SCADA y ejecuten los automatismos necesarios de forma autónoma, cuando aplique.

El sistema de control lleva implementado un algoritmo de detección de incendios que detecta si se ha producido un incendio y su ubicación. Este algoritmo además de emplear los sensores y alarmas antes descritos también considerará:

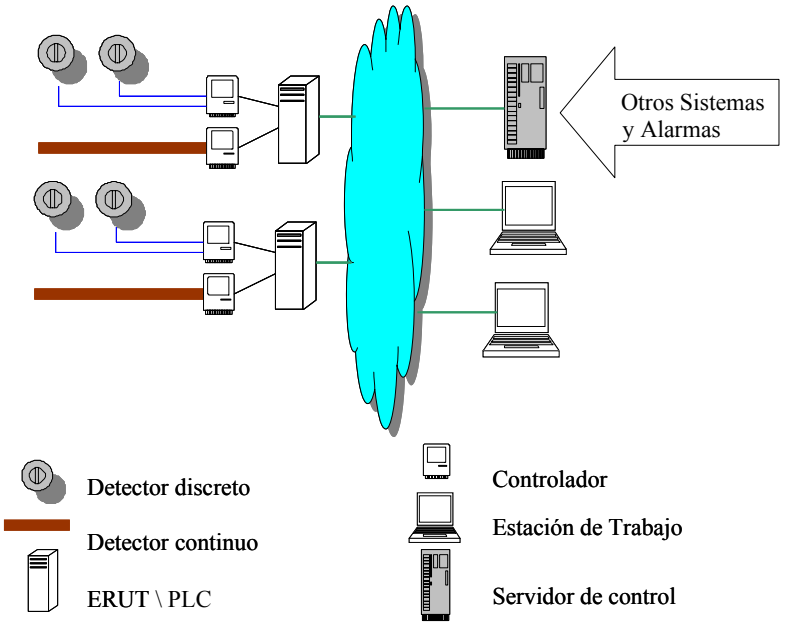
cve: BOB-2025a082-(I-327)

– DAI: el humo generado en el incendio provoca una alarma en el DAI que avisa con prontitud del incidente. Las características de este sistema se detallan en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control.

– Sensores del control de ventilación: una concentración excesiva de CO/NOx o una falta de visibilidad puede ser provocada por un incendio. Las características de estos equipos se detallan en la Instrucción Técnica IV de Ventilación.

– Activación de llamada en postes SOS. Los postes SOS se tratan en el capítulo correspondiente de comunicaciones de voz de la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control.

A continuación, se muestra un esquema tipo de la arquitectura del sistema de detección de incendios:



cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.2 Criterios del Sistema de Detección

En los túneles de Tipo I y II se deberán disponer de sistemas de detección de incendios que deberán cumplir lo indicado en la Norma UNE 23007 “Componentes de los sistemas de detección automática de incendios”. Las principales características del sistema de detección son:

Zonificación

El sistema de detección debe ser capaz de dar la alarma de incendio y ubicar el foco en el local técnico que se produzca o en la parte del túnel que se produzca. La zonificación en el interior de túnel se realizará en base a la interdistancia existente entre las cámaras CCTV fijas de interior de túnel.

Señales acústicas

Las señales para alertar en caso de incendio se realizarán con el sistema de megafonía en el interior del túnel y con sirenas en el interior de los locales técnicos.

Falsas alarmas

Se debe configurar el equipo para evitar las falsas alarmas, aun así desde que se detecta la alarma de incendio hasta que arrancan las actuaciones automáticas debe pasar un tiempo configurable en el sistema.

El operador de consola podrá confirmar o rechazar la alarma tras la verificación de la existencia de fuego a través del circuito cerrado de televisión. Si pasado ese tiempo no se ha producido ni confirmación ni rechazo se arrancarán las actuaciones programadas en la lógica de campo para tratar el incidente de fuego de forma automática.

Alarmas técnicas

El sistema debe contar con las alarmas técnicas suficientes para obtener un sistema de detección robusto siguiendo el siguiente principio: que una avería en un solo cable del sistema de detección no impida la activación de la alarma técnica relativa al efecto detectado

La cantidad, distribución y tipo de detectores de humo o incendio estará de acuerdo a los criterios de diseño que se exponen en este capítulo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.2.1 Sensor continuo de incendios.

Se ha de instalar un detector de incendios automático (cable sensor) a lo largo de los túneles que lo requieran. Se recomienda sensores térmicos continuos. Estos darán una alarma cuando la temperatura supere un umbral (térmica) y/o cuando la variación de temperatura en un espacio de tiempo supere un determinado gradiente. Los umbrales de alarma deben ser configurables para la optimización del sensor a las características ambientales del túnel.

El cable sensor se debe ubicar en la clave del túnel. No debe haber ningún punto de la calzada cuya distancia con la proyección en planta del sensor sea superior a 6,5 metros. Si el túnel tuviese una calzada superior a 13 metros se deben instalar al menos 2 cables paralelos para que la detección sea la adecuada.

Se recomiendan las dos tecnologías siguientes; detector térmico a partir de las oscilaciones generadas por la temperatura en la red cristalina de la fibra óptica, o detector lineal basado en sensores discretos ubicados en el mismo cable.

Características principales

- Precisión térmica: < 1 ºC
- Tiempo de respuesta: <10 segundos.
- Precisión de localización: < 5 metros.
- Alarma ante fallo detectado: Sí.

La detección lineal se prolongará a lo largo de las galerías de evacuación o bien se emplearán detectores puntuales en las galerías, para permitir la detección en estos espacios críticos.

Se podrá eliminar la instalación del sistema de detección lineal de incendios en los túneles de Tipo I y II, si se dispone de un sistema de detección automática de incidentes (DAI) y cámaras termográficas. Las características de los sistemas citados anteriormente se detallan el Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.4.2.2 Sensor de incendios en locales técnicos.

Los locales técnicos deben tener instalados sensores automáticos de incendio. Estos sensores deben estar zonificados para que desde el centro de control sepan en que local se está produciendo un incendio.

Se recomienda la instalación de detectores de humo. Se deben instalar tantos detectores de incendios como sea necesario para dar cobertura a todo el local técnico, para ello debe cumplir (según se indica en la UNE 23007-14:2014 que la superficie vigilada por un detector no rebase los valores S_V que se indican en la tabla siguiente y que ningún punto del techo de la cubierta quede situado a una distancia horizontal de un detector superior a los valores D_{max} :

Superficie del local (SL)	Tipo de detector	Altura del local (h)	Superficie máxima de vigilancia S_V y Distancia máxima entre detectores D_{max}			
			PENDIENTE DEL TECHO			
			Pendiente ≤ 20º		Pendiente > 20º	
m^2		m	$S_V\ (m^2)$	$D_{max}\ (m)$	$S_V\ (m^2)$	$D_{max}\ (m)$
SL ≤ 80	UNE-EN 54-7	h ≤ 12	80	6,3	80	6,3
SL>80	UNE-EN 54-7	h ≤ 6	60	5,5	90	6,7
		6 < h ≤ 12	80	6,3	110	7,4
SL ≤ 30	UNE-EN 54-7, Clase A1	h ≤ 7,5	30	3,9	30	3,9
	UNE-EN 54-7, Clase A2, B, C,D,E,F,G	h ≤ 6	30	3,9	30	3,9
SL>30	UNE-EN 54-7, Clase A1	h ≤ 7,5	20	3,2	40	4,5
	UNE-EN 54-7, Clase A2, B,	h ≤ 6	20	3,2	40	4,5

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	C,D,E,F,G					

TABLA 4.4.2.2._1 Superficie máxima de vigilancia y Distancia máxima entre detectores

El detector se debe ubicar de tal forma que el sensor se encuentre a una distancia del techo entre unos márgenes que se indican en la siguiente tabla:

Altura del local (h)	Separación de los detectores de humo del techo con pendiente	
	PENDIENTE DE LA CUBIERTA α	
	α≤ 20º	α > 20º
	Dv	Dv
h ≤ 6 m	0m -0,25 m	0 m – 0,5 m
h > 6 m	0 m – 0,4 m	0,35 m – 1,0 m

TABLA 4.4.2.2_2 Distancia del sensor al techo

Los sensores deben cumplir las características especificadas en la EN 54-7.

4.4.3 Criterios del Sistema de Alarma

Los Sistemas de Alarma de incendio estarán formados por los sistemas de seguridad instalados en el interior de los túneles, con el objetivo que de forma automática (cable detección de incendios, DAI, etc.) o manual (llamada desde postes SOS, retirada de extintor o devanadera de BIE) se pueda monitorizar la correspondiente alarma en el Centro de Control.

En los cuartos técnicos se dispondrá de pulsadores manuales, deberán ser fácilmente visibles y la distancia a recorrer para pulsarlos debe cumplir con la norma UNE 23008.

A fin de impedir la activación involuntaria de dichos pulsadores, estos dispondrán de dispositivos de protección.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En el interior de túnel de Tipo I y II y en sus locales técnicos, se dispondrán sistemas de seguridad que permitirán proporcionar de forma automática o manual una alarma de incendio.

En el software de centro de control, se tratarán como una alarma los siguientes eventos:

– Alarmas en el interior de Túnel

  - Alarma proveniente del sistema de detección lineal de incendios, o en su ausencia de las alarmas de las cámaras térmicas.
  - Alarma de humo por el sistema DAI.
  - Alarma proveniente de sistema de detección de incendios de galería de evacuación (sistema de detección lineal de incendios o detectores de humos)
  - Llamada desde un poste SOS
  - Retirada de extintor.
  - Apertura de la devanadera de la BIE.
  - Apertura de puertas y/o detectores de presencia de las galerías de evacuación

– Alarmas en locales técnicos

  - Apertura de puertas de Salas Eléctricas, grupo de bombeo, comunicaciones y control.
  - Alarma de incendio en las Salas Eléctricas/Telemática (detectores de humos, termovelocimétricos o pulsadores manuales), en grupo de bombeo (sistema de rociadores).
  - Alarma de arranque de bomba principal y/o reserva del grupo de presión y estado de equipos.

4.4.4 Enclavamiento del Sistema con otros sistemas o componentes

TABLA 4.4.4.1

Elemento	Actuación
Ventiladores de túnel	Parada/actuación/algoritmos de ventilación
Sistemas automáticos de extinción	Funcionamiento y alarma en SCADA

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Presión en la red hidrantes (BIEs)	Señalización y alarma en SCADA
Sistema de cámaras de CCTV y DAI	Enclavamiento de las cámaras próximas al incendio
Llamada desde el poste SOS, retirada de extintor o devanadera de la BIE	Alarma en SCADA
Apertura de puertas de evacuación y locales técnicos	Alarma en SCADA
Grupo de bombeo y depósito	Alarma en SCADA

4.5 Sistema de Extinción

En túneles de tipo I o con una longitud superior a 500 metros, se dispondrá del siguiente equipamiento:

– BIEs de 25 mm cada 50 m.

– Hidrantes en las bocas del túnel, en las zonas próximas a los accesos a las galerías y a lo largo del túnel y separadas una distancia no superior a 250 m.

– Extintores manuales en los postes SOS y BIEs, cada 50 m y en los cuartos técnicos.

– La red de hidrantes debidamente presurizada.

En los cuartos técnicos (energía, control y comunicaciones) del Centro de Control y túneles de Tipo I y II, se dispondrán en el interior de los mismos sistemas automáticos de extinción de incendios.

4.5.1 Sistema de Extintores Portátiles

Se dispone asimismo de extintores situados de acuerdo a los criterios de diseño y cumpliendo los siguientes requisitos:

- En el interior del túnel:

Se colocará al menos uno cada 50 m, el sistema de apertura del armario de los extintores estará situado como máximo a 1,50 m sobre el nivel del suelo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- En galerías de evacuación:

  En el caso de que el túnel disponga de galerías de evacuación se colocarán como mínimo dos extintores en el poste SOS. En el caso que debido a la longitud de la galería fuese necesario, se adecuará la colocación de más extintores, de manera que quede protegida. El emplazamiento de los extintores permitirá que sean fácilmente visibles y accesibles y su parte superior quedará situada entre 80 y 120 cm, tal y como se indica en el RIPCI.

- En cuartos técnicos:

  Según el DB-SI y/o normas de obligado cumplimiento, se considerarán cuartos técnicos de riesgo especial alto, los locales de contadores de electricidad y los centros de transformación, por lo cual tienen que contar con un extintor próximos a la puerta de acceso y su parte superior quedará situada entre 80 y 120 cm. Además, se instalarán en el interior los extintores necesarios para que el recorrido real hasta alguno de ellos sea inferior a 10 metros.

  No obstante, de lo anteriormente citado, se deberá respetar la normativa específica de cada caso (RAT, RBT, RIPCI, etc.)

Los extintores deberán estar dispuestos de modo que dispongan de fácil accesibilidad, estado de carga correcto, marcado de conformidad y sus revisiones en vigor.

El tipo de agente extintor será conforme al riesgo que proteja, según la norma UNE-EN-2. Los extintores de polvo tendrán al menos 6 kg de polvo extintor ABC con una eficacia mínima 21A-113B y los extintores de CO2 serán al menos de 5kg con eficacia mínima 89 B.

En el interior del túnel y galerías, los extintores irán instalados dentro de armarios de idénticas características constructivas que los armarios de las Bocas de Incendio. En todos los casos, dispondrán de un detector de retirada del extintor para su monitorización en el Centro de Control.

La cantidad, distribución y tipo de extintores portátiles estará de acuerdo a los criterios de diseño expuestos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.2 Sistema de Bocas de Incendio Equipadas (BIE)

Las BIEs se alimentarán de la red de hidrantes (columna húmeda), mediante tubería de Ø 50 mm (2”), dispondrán de una toma adicional de 45 mm que podrá ser usada por los servicios de extinción.

La boquilla, válvula de apertura manual y el sistema de apertura del armario de las BIEs estarán situadas como máximo a 1,50 m sobre el nivel del suelo, y tendrán la entrada del suministro de agua por su parte inferior con un caudal mínimo resultante de aplicar el RIPCI y la norma UNE-EN-671 partes 1 y 2, considerando un diámetro equivalente mínimo de 10 mm para la BIE de 25 mm y 13 mm para la toma de 45 mm. La red de BIEs deberá garantizar durante una hora, como mínimo, el caudal descargado por las dos hidráulicamente más desfavorables, a una presión dinámica a su entrada comprendida entre un mínimo de 300 kPa (3 kg/cm^2) y un máximo de 600 kPa (6 kg/cm^2).

En caso de ser necesario se instalarán válvulas reductoras de presión a la entrada de la BIE con objeto de no sobrepasar los valores indicados anteriormente.

Se podrá reducir el diámetro de la tubería de Ø 50 mm (2”) para abastecer a las BIES y toma de 45 mm adicional, siempre y cuando el proyectista/contratista justifique que se cumple el caudal mínimo citado anteriormente.

Las BIEs no sobresaldrán a la acera (idealmente empotradas en el revestimiento), y la distancia entre dos de ellas será como máximo de 50 m.

El conjunto de una BIE constará de un armario de acero inoxidable pulido o pintado de rojo RAL 3000, soporte de manguera de latón cromado tipo devanadera, válvula de bola para corte de 1”, manguera de tipo SEMIRÍGIDA o similar, de 25 mm de diámetro y 20 m de longitud como mínimo y preferentemente 30 m, lanza de 3 posiciones (corte, chorro y niebla), racor de 25 mm y manómetro de esfera de 0 a 16 kg/cm^2.

Los armarios contarán con detectores para monitorizar en el Centro de Control la retirada de la devanadera de la BIE.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se recomienda señalizar (señal fotoluminiscente) las BIEs para una mejor localización de acuerdo con la Norma UNE 23033.

La cantidad, distribución y tipo de Bocas de Incendio Equipadas estará de acuerdo a los criterios de diseño expuestos.

Sistema de Red de Hidrantes

4.5.3.1 Caudal necesario

Se considerará que el tipo de riesgo será “Alto”, y por tanto el caudal solicitado será de 2.000 l/min, y un tiempo de autonomía de 1 h.

4.5.3.2 Alimentación

La red hidráulica que abastece a los hidrantes debe permitir el funcionamiento simultáneo de dos hidrantes consecutivos durante una hora, cada uno de ellos con un caudal de 1.000 l/min y una presión mínima de 5 bares en cumplimiento de lo establecido en el RIPCI.

La red de hidrantes se deberá conectar a un sistema de abastecimiento de agua, con depósito de reserva, grupo de presión y control de presión en la red mediante presostato.

En caso de que sea factible el abastecimiento de agua por conexión a la red pública de abastecimiento y siempre y cuando ésta garantice los valores de presión y caudal requeridos, se podrá admitir la elusión del sistema de autoabastecimiento descrito.

En el punto de conexión de la red pública general de abastecimiento de agua, ésta será Categoría 1 según UNE 23500. La reserva de agua desde donde se alimenta la red de uso público debe tener una capacidad de al menos 5 veces la calculada para la instalación de extinción de incendios. La conexión se realizará según lo indicado en UNE 23500.

Si es posible se aprovechará el drenaje de aguas de filtraciones del túnel como parte de la alimentación al depósito de reserva. Entre dicho depósito y la red se situará un grupo de presión, que mantendrá la red presurizada. Se podrá prescindir del grupo de bombeo en caso de que el depósito sea elevado y proporcione a la red la presión requerida. En este caso la presión generada por la diferencia de cotas entre la base inferior del depósito y la cota de la red general menos la pérdida de carga debe ser mayor o igual que la presión requerida en la red general.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

No obstante, si fuese posible, se dispondrá de otra alimentación desde la misma red general, o desde otra independiente, con una conexión de uso exclusivo para el Sistema Contraincendios. En esta conexión se situarán dos válvulas de corte y dos antirretorno, a fin de evitar en todo momento un posible retorno de agua hacia el sistema del agua de la red alimentación general.

Otros tipos de abastecimiento deben justificarse adecuadamente para su aceptación y estar de acuerdo a UNE 23500.

4.5.3.3 Depósito de reserva

En los túneles, en el caso de que la red de hidrantes no pueda conectarse a la red general de abastecimiento según los requerimientos indicados para dicho sistema, se deberá disponer de un depósito como mínimo, de 2.000x60/1000 = 120 m^3/h x 1 h = 120 m^3 de capacidad efectiva. En el dimensionamiento del depósito se tendrá en cuenta el nivel más bajo de agua considerado como mínimo requerido para la aspiración de las bombas. Si el depósito no está protegido contra heladas, el nivel normal de agua se debe aumentar en 1 m.

El depósito cumplirá los requisitos establecidos en la UNE 23500, disponiendo de los siguientes elementos auxiliares:

-Boca de hombre

-Escaleras de acceso

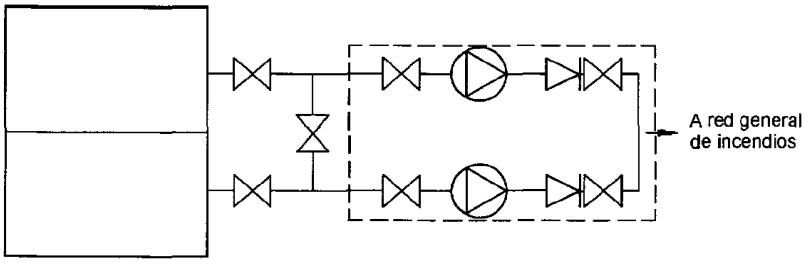
-Rebosadero

-Boca de vaciado

El depósito será de doble compartimento, de tal forma que ante cualquier emergencia que haya que actuar o vaciar uno de ellos por mantenimiento, el otro quede de reserva.

El abastecimiento del sistema debe quedar totalmente asegurado en el caso de que uno de los compartimentos esté fuera de servicio, debiendo tener la aspiración de las bombas una configuración como la que se indica más abajo. Cada compartimento tendrá su propia alimentación de agua, vaciado y transmisor de nivel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)



En la norma UNE 23500 se detalla que, si el depósito no fuese exclusivo de la instalación contra incendios, las tomas de salida para otros usos deberán situarse por encima del valor máximo correspondiente a la capacidad de reserva calculada como exclusiva para la instalación contra incendio y siendo el nivel de agua controlado de manera permanente.

El depósito debe disponer de una conexión de reposición automática de agua por cada compartimento capaces de llenar el depósito en un período no superior a 36 horas. En caso contrario la capacidad efectiva del depósito se debe aumentar en un 30 por 100.

4.5.3.4 Tubería

Se dispone una red de distribución para uso exclusivo del Sistema Contraincendios, no permitiéndose tomas para ninguna otra instalación salvo las excepciones contempladas en UNE-23500.

La tubería se situará en un costado del túnel en la que están conectados tanto los hidrantes como las BIEs. A través de las galerías de evacuación que comunican ambos tubos se conectará la red de cada uno de ellos a fin de conseguir una mayor seguridad en la alimentación, asemejándose a un anillo.

Toda parte visible o accesible de la tubería estará pintada de rojo RAL 3000 para identificar el uso al que se destina.

4.5.3.4.1 Material de la tubería y revestimientos

Se admiten los materiales de tubería y revestimiento para condiciones enterrada y aérea que se indican a continuación:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Material	Enterrado	Aéreo	Revestimiento
Acero		X	Preparación ISO-Sa 2 ½ (*) Exterior: Epoxi 200 µm ó Poliuretano 800 µm Interior: Epoxi 200 µm
Hierro fundido dúctil	X	X	Según UNE 545
Poliéster reforzado con fibras de vidrio (PRFV)	X		
Polietileno de alta densidad (PEAD)	X		

(*) Mínimo espesor total de película seca.

El empleo de otros materiales y revestimientos debe justificarse adecuadamente para su aceptación.

4.5.3.4.2 Diámetro del anillo

El diámetro interior de la tubería se selecciona junto a la presión de impulsión del grupo de bombeo en base a los cálculos hidráulicos de pérdida de carga de tal forma que se asegure el caudal (120 m3/h) y presión requeridos en cualquier punto del anillo.

El diámetro interior mínimo de la tubería del anillo de la red es 150 mm.

Se realizará al menos un cálculo simplificado del golpe de ariete.

4.5.3.4.3 Instalación de la tubería

En los puntos de la red en que sean previsibles esfuerzos mecánicos la tubería se enterrará a una profundidad adecuada y/o se protegerá mecánicamente. Cuando se utilicen accesorios de unión de tipo enchufable en los cambios de dirección (curvas y tes) se anclarán para evitar su deslizamiento.

Cuando exista riesgo de congelación del agua en las tuberías, éstas deberán estar convenientemente protegidas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se debe disponer de un extremo libre con válvula y brida ciega de las dimensiones que permitan el máximo caudal a una velocidad mínima de 3m/s para las operaciones de limpieza interior.

4.5.3.5 Drenaje y venteo

La red dispondrá asimismo de válvulas de drenaje canalizadas hacia el sistema de drenaje, para vaciar la red en caso necesario. Las conexiones estarán situadas en sus puntos bajos. Asimismo, dispondrá de venteos en la parte superior debidamente canalizados.

4.5.3.6 Válvulas de seccionamiento

Dicha red dispondrá de válvulas de seccionamiento situadas en arquetas para poder hacer reparaciones por tramos sin perder la funcionalidad del resto del circuito.

Las válvulas de seccionamiento cuyo cierre pudiera impedir que llegue el agua a los sistemas específicos de protección, incluidas las válvulas asociadas a los grupos de bombeo, darán una señal de información de su estado (abierto/cerrado) en el Centro de Control, si es que existe, y deben ser accionadas mediante volante con al menos dos vueltas completas para pasar de apertura total a cierre total al objeto de evitar golpe de ariete. Si se considera oportuno las válvulas pueden ser motorizadas.

4.5.3.7 Control de la presión

Con el fin de conocer en todo momento la existencia de presión suficiente en la red, se dispondrá de tantos presostatos como sectorizaciones en la red, cuyos estados se monitorizarán permanente desde el Centro de Control. Se admite a su vez la colocación en su lugar de manómetros, siempre que desde el centro de control se disponga al menos de la presión de salida del grupo de bombeo. Estos deben ser fácilmente accesibles.

Cualquier otro método utilizado para el control de la presión de la red se debe justificar. En caso de no disponer de grupo de bombeo, la red incluirá un detector de flujo correctamente dimensionado para detectar una fuga de caudal equivalente al de apertura de una BIE.

4.5.3.8 Conexión de Bomberos y Sistema de Columna Seca

Además de la doble alimentación, la red dispondrá de conexiones de Ø 80 mm (3”) para conectar una toma IPF-41 de 2 x 70 mm a través de la cual los bomberos podrían bombear agua a los diferentes sistemas de protección alimentados por ella en caso de fallo del sistema principal de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

suministro. Esta conexión dispone de una válvula antirretorno situada próxima al punto de suministro de hidrantes.

Se dispondrá de una conexión en cada boca, en los apartaderos, en los depósitos de bombeo (en caso de existir) y donde se considere necesario.

Para los túneles que cuenten con galerías de evacuación, se recomienda la instalación de columna seca para el uso exclusivo del cuerpo de bomberos

4.5.3.9 Hidrantes y equipo auxiliar

Se colocarán hidrantes en las bocas del túnel, en las zonas próximas a los accesos a las galerías y a lo largo del túnel y separados una distancia no superior a 250 m. Se recomienda que los hidrantes del interior del túnel sean de arqueta, o empotrados en el hastial. La colocación de otro tipo de hidrantes debe ser justificada.

Los hidrantes de arqueta estarán conectados a la red, a través de una válvula de corte. La toma será de 100mm de diámetro nominal y el hidrante estará provisto de dos salidas de 70 mm tipo Barcelona.

Se recomienda la colocación de equipos auxiliares si el protocolo define que la primera actuación sea realizada por un equipo interno cualificado. Estos equipos dispondrán de dos mangueras de 70 mm y 20 m de longitud y dos de 45 mm también de 20 m, 1 bifurcación de 70-45 mm, 2 lanzas de 70 y 2 de 45 mm.

Se recomienda que las dimensiones mínimas interiores de las arquetas sean de 0,65 m en la dirección longitudinal del túnel y 0,35m en la transversal, con tapa de hierro fundido y cerco, pintada de rojo RAL 3000.

Los hidrantes de las bocas de las galerías de evacuación se colocarán en la entrada en el lado del túnel nunca en el interior de éstas. Así como, en la parte del dintel que quede más protegido según el sentido de la circulación y fuera del paso, es decir nunca delante de las puertas de las galerías peatonales de evacuación. Se podrán instalar hidrantes de columna o de arqueta, los cuales deben quedar protegidos al tráfico.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se deben señalizar los hidrantes para una mejor localización de acuerdo con la Norma UNE 23033.

4.5.3.10 Grupo de presión

4.5.3.10.1 Componentes

La presión necesaria se consigue mediante una estación de bombeo automático con su correspondiente by-pass con una bomba eléctrica principal, un grupo diesel con bomba de alimentación, bomba Jockey eléctrica, cuadros de control y accesorios y material diverso (tubería, valvulería, presostatos para automatismo, manómetros, etc.).

El grupo de presión tendrá las características constructivas, hidráulicas y de instalación especificadas en UNE 23500.

4.5.3.10.2 Estudio de las presiones

El grupo de presión será capaz de soportar la pérdida de carga del circuito para el hidrante más alejado del grupo, la altura geométrica y dejar disponible en boca del hidrante 5 Bares.

Se preverán la instalación de reductores de presión en los elementos donde la presión resulte excesiva.

La presión en la descarga de las bombas no será en ningún caso superior a 15 bar.

4.5.3.10.3 Funcionamiento

La bomba "jockey", mantiene presurizada la red de forma automática, compensando las pérdidas o fugas de la instalación evitando la puesta en marcha de la bomba principal. La bomba jockey realiza la maniobra de arranque y paro mediante una señal de presostato regulado entre dos valores de presión mínima de 0,9 P_0, siendo P_0 la presión a caudal cero, y presión máxima en la red (entre 0,8 y 1,5 bar por encima del arranque).

El arranque de la bomba jockey debe señalizarse en el centro de control de tal forma que si hay una pérdida en algún lugar de la tubería se sepa si es por fugas normales o son pérdidas continuas, pudiendo saber con qué frecuencia arranca la bomba jockey.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Si la presión continúa bajando hasta una presión no inferior a 0,8 P_0, los presostatos de baja presión darán señal de arranque a la bomba principal eléctrica.

Si aún continúa bajando la presión hasta una presión no inferior a 0,6 P_0 (por una mayor demanda de caudal o fallo de la bomba eléctrica), los presostatos de muy baja presión darán señal de arranque a la bomba diésel.

La parada de las bombas se realizará manualmente desde la sala de bombas, asegurándose antes de pararla que la emergencia ha finalizado y dejando el equipo listo para nuevas posibles emergencias.

Por señal de bajo nivel en dicho depósito se activa la alarma correspondiente en la sala de control. El arranque de las bombas principales del grupo de bombeo se deberá monitorizar en el Centro de Control.

4.5.3.10.4 Compartimento para salas de bombeo

Los compartimentos para grupos de bombeo deben estar protegidos mediante rociadores. Estos se alimentarán desde el primer punto accesible aguas abajo de la válvula de retención de la bomba, mediante una válvula de cierre subsidiaria mantenida en posición abierta, con un detector de flujo de acuerdo a la norma EN12259-5, para indicar visual y audiblemente la operación de los rociadores.

La sala de bombas se debe mantener a una temperatura no inferior a 4ºC y no superior a 40ºC, salvo que concurran circunstancias excepcionales en cuyo caso se tomarán medidas que aseguren la operatividad de la sala. Deben estar previstos y calculados los sistemas de ventilación y renovación natural de aire necesarios en función de los motores instalados y sus sistemas de refrigeración.

4.5.4 Sistemas Fijos de Extinción automática de gases

En los cuartos técnicos (equipamiento eléctrico, comunicaciones y control) de los Túneles de Tipo I y II y Centro de Control, se dispondrá de un sistema fijo de extinción automática mediante accionamiento local, tal como se indica en los siguientes apartados.

Dado que generalmente estos cuartos contienen equipos u objetos de alto valor tanto económico como de seguridad, se estudiará preferentemente la extinción automática basada en gases o

cve: BOB-2025a082-(I-327)

aerosoles, ya que son especialmente adecuados para áreas donde los equipos pueden ser dañados si se utilizan otros agentes extintores, como los basados en agua. Cualquier otro agente deberá justificarse en base a su idoneidad para el cuarto técnico en cuestión.

Para la extinción por gases son de aplicación las normas UNE 15004 partes 1 a 11 en función del gas empleado. En cualquier caso, se emplearán gases no tóxicos y con baja afección a la atmósfera, basándose el proyecto en la norma de diseño NFPA 2001.

En caso contrario, deberá justificarse adecuadamente la necesidad de la instalación y los detalles acerca de cómo se trata el gas una vez producida la descarga. En fase de proyecto se dimensionará el sistema de extinción (tamaño de botellas) teniendo en consideración el volumen de las sala o salas a proteger. En caso que se justifique la necesidad de CO_2 como agente extintor, el estudio deberá cumplir la NFPA 502.

El sistema de extinción automática por gas estará formado por:

- Centralita de Extinción Automática
- Una batería de botellas de elemento extintor
- Sistema de Detección
- Dispositivo automático de disparo
- Una red de tuberías
- Difusores de descarga
- Válvulas selectoras y de seguridad
- Pulsadores de bloqueo/disparo
- Alarmas acústicas
- Señalización de “SISTEMA DE GAS DISPARADO”
- Cableado correspondiente.

En los túneles en los que se garantice la redundancia de suministro eléctrico mediante grupo electrógeno, la sala en que se ubique éste se protegerá mediante un sistema de extinción por gas. Alternativamente, podrá emplearse extinción por otros medios (aerosoles, agua nebulizada, etc.)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

debidamente justificada, siempre que la sala sólo contenga el citado grupo electrógeno y sea independiente respecto de otras salas y usos.

4.5.4.1 Funcionamiento manual

En caso de iniciarse un incendio, se accionará el pulsador de disparo correspondiente al sistema de protección; la señal eléctrica accionará el mecanismo de apertura de las botellas y éste abrirá la válvula neumática de aislamiento situada en el colector de acceso al elemento incendiado.

Los pulsadores de disparo e inhibición de actuación deberán estar situados en un lugar claramente visible y accesible, próximos a la zona protegida por la instalación y exterior a ella. Junto a dichos pulsadores estarán situadas las señales acústica y luminosa, las cuales se activarán con la actuación del detector.

4.5.4.2 Funcionamiento automático

El correspondiente sistema de detección enviará una señal a la Central de Incendios, la cual, enviará una señal de apertura a las botellas continuándose como en el caso anterior.

No obstante, la señal de apertura de las botellas no se hará efectiva hasta que no haya pasado un tiempo de espera definido previamente. De esta forma, durante ese tiempo de espera, si estuviese presente alguna persona en el local, éste podría decidir si acciona el pulsador manual para que se inicie inmediatamente la descarga del gas prescindiendo del tiempo de espera prefijado, o accionar el pulsador inhibidor, en caso de que hubiera podido extinguir el fuego de forma manual con los extintores portátiles, evitando de esta forma la descarga inútil del gas.

Con el fin de asegurar que la persona que pueda estar en la sala advierta la situación de fuego, en el momento en que éste se detecta, se activará la alarma acústica.

4.5.5 Sistema fijo de Extinción Automática por Aerosol en armarios eléctricos y electrónicos

Este sistema también de aplicación local, directamente en los armarios eléctrico/electrónicos. Es un sistema fijo de extinción por aerosol con inundación total del cubículo del armario. Se diseñarán conforme a las siguientes normas:

- Norma NFPA 2010. Fixed aerosol fire extinguishing system.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- UNE-ISO 15779: Sistemas de extinción de incendios. Aerosoles condensados. Requisitos y métodos de ensayo para los componentes y diseño del sistema, instalación y mantenimiento. Requisitos generales

En este caso, el sistema está formado por:

– Un bote de aerosol situado en el interior.

– Sistema de Detección.

– Dispositivo automático de disparo.

– Pulsadores de bloqueo/disparo.

– Alarmas acústicas.

– Señalización de “SISTEMA DE AEROSOL DISPARADO”

4.5.5.1 Funcionamiento manual

En caso de iniciarse un incendio, se accionará de forma manual el pulsador de disparo correspondiente al sistema de protección; la señal eléctrica accionará el mecanismo de apertura de los botes a través del detonador, que permite la impulsión del aerosol.

Los pulsadores de disparo e inhibición de actuación deberán estar situados en un lugar claramente visible y accesible, próximos a la zona protegida por la instalación y exterior a ella. Junto a dichos pulsadores estarán situadas las señales acústica y luminosa, las cuales se activarán con la actuación del detector.

4.5.5.2 Funcionamiento automático

La Central de Incendios detectará el fuego y enviará una señal que permita que la señal eléctrica accione el detonador, el cual permita la apertura de los botes y la impulsión del aerosol.

No obstante, en este caso, la señal eléctrica que acciona el detonador y por tanto la apertura de los botes no se hará efectiva hasta que no haya pasado un tiempo de espera definido previamente. De esta forma, durante ese tiempo de espera, si estuviese presente alguna persona en el local, ésta podría decidir si acciona el pulsador manual para que se inicie inmediatamente la descarga del aerosol prescindiendo del tiempo de espera prefijado, o por el contrario, accionar el pulsador

cve: BOB-2025a082-(I-327)

inhibidor, en caso de que hubiera podido extinguir el fuego de forma manual con los extintores portátiles, evitando de esta forma la descarga inútil del aerosol.

4.5.6 Sistemas para la protección de la Infraestructura

Para los túneles de Tipo I y II, subfluviales, urbanos o que no cuentan con revestimiento de hormigón, se realizará un estudio de estabilidad de la estructura y su comportamiento ante el fuego. Este estudio valorará la necesidad de instalar un sistema fijo de extinción u otros sistemas estructurales de protección. El objetivo de estos sistemas será prevenir situaciones de riesgo y mitigar las consecuencias de un incendio, evitando el colapso de las infraestructuras y su gran impacto social y económico, resguardando la vida de las personas, el medio ambiente, así como facilitar la intervención de los servicios de extinción.

En caso de ser necesario la instalación de un sistema para la protección de la infraestructura, se analizará la solución (sistema de diluvio, sistema de agua nebulizada, sistemas estructurales pasivos u otros sistemas) más viable. El equipamiento de estas instalaciones (red de distribución, grupo de bombeo, …) serán independientes de la red de PCI.

4.5.6.1 Sistema de agua nebulizada

Este sistema permite controlar el calor generado en un incendio, mediante impulsión de agua a alta o media presión, de esta manera reducirá la temperatura y atenuará la radiación. El sistema tendrá que cumplir los requisitos marcados en la NFPA 750.

La instalación deberá ser operada por secciones, cada una de ellas deberá tener la suficiente longitud como para vaporizar gotas de agua sobre la localización aproximada del fuego. El tamaño de la sección también estará directamente relacionado con el tipo de ventilación.

La activación del sistema se realizará mediante una de las dos formas:

- Activación manual
- Mediante un sistema de detección de incendios

El sistema tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Las boquillas se instalarán en la clave a una altura máxima de 6 metros.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Los valores de diámetros de tubería, así como el material de ésta y la presión del agua estará conforme a las indicaciones de la norma NFPA 750.

Existen dos alternativas para la presurización del sistema:

- Equipo de bombeo a alta o media presión
- Presurizando el agua directamente mediante un gas, habitualmente nitrógeno

El depósito de almacenamiento del agua garantizará el funcionamiento del sistema durante 30 minutos.

4.5.6.2 Sistema de diluvio

Este sistema de agua de gota grande permite la aplicación de aguas por zonas controlando el incendio principalmente por la eliminación del calor y la inhibición del proceso de combustión.

El diseño de la instalación será acorde a la NFPA 13, a la norma UNE-EN 12845 y a las especificaciones del túnel.

La ubicación de los equipos de este sistema deberá respetar la funcionalidad del resto de equipación del túnel y el gálibo del mismo. A su vez debe considerarse en el diseño del drenaje del túnel.

La activación del sistema puede ser:

- Activación manual
- Semi-automática activándose automáticamente, pero con un tiempo de retardo para la confirmación manual.
- Automática, mediante un sistema de detección de incendios

4.5.6.3 Otros sistemas estructurales pasivos

Se instalarán sistemas de protección pasiva (mediante la instalación de placas, morteros, etc.) que eviten el colapso de la infraestructura, facilitando la evacuación de las personas y la intervención de los servicios de extinción.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.6 Señalización de emergencia

Una de las distintas medidas preventivas que se llevan a cabo en caso de cualquier tipo de incidente es la evacuación de todos los usuarios del túnel para que, en último caso, no se produzca daños físicos sobre las personas (o estos sean mínimos). Para facilitar esta medida se ha previsto una señalización de emergencia que ayuda a la evacuación de los usuarios

Todo túnel de Tipo I y II debe disponer de la señalización adecuada para guiar a los usuarios hasta la salida más cercana.

Las puertas y zona de acceso a las galerías estarán pintadas de un color verde RAL-6029. Existirán bandas electrofotoluminiscentes de guiado a lo largo de al menos 25 m a ambos lados de la galería.

El sistema de señalización de emergencia debe abordar:

- Señales de recorrido de evacuación que indiquen la distancia a la salida más próxima en cada uno de los sentidos posibles. Con este sistema se guía a los usuarios hasta la boca o salida de emergencia más cercana.
- Señales de indicación de salida de emergencia que adviertan de la puerta a la galería de evacuación, para que el usuario no tenga dudas de cuál es la salida. En el caso típico de túnel con 2 tubos las salidas de evacuación son las bocas o las galerías de comunicación entre tubos por lo que se ubicarán en las puertas de acceso a las galerías de comunicación entre tubos.
- Señalización dentro de las galerías de comunicación entre tubos. Una vez que el usuario llega a la galería de comunicación debe disponer de la suficiente información para realizar la evacuación hasta el exterior del túnel de forma segura.
- Deben estar señalizados todos los sistemas contraincendios (BIEs, extintores, hidrantes) mediante señales visibles a dos caras (perpendicular al sentido de la marcha). La señal de los extintores, BIEs e hidrantes podrá estar integrada con la señal de los postes SOS cuando coincida su ubicación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– Iluminación de evacuación. Para facilitar la evacuación el túnel contará con una iluminación de evacuación para la evacuación cuyo estudio detallado se encuentra en la lnstrucción Técnica III de Alumbrado.

Todas las señales de evacuación y emergencia que se definan deben ser fotoluminiscentes clase A con material autoextinguible y deben cumplir las características técnicas especificadas en: UNE 23034, 23035-1, 23035-2, 23035-3 y 23035-4.

4.7 Evacuación

Cuando se produce un incidente grave, típicamente un incendio, que requiere que los usuarios evacuen el túnel, éstos deben abandonar la zona de riesgo y llegar a una zona segura lo más rápidamente posible. Por eso los usuarios deben evacuar el túnel por la salida más cercana que dispongan, a no ser que se encuentre próximo al foco del incendio, en tal caso deben evacuar alejándose del incendio por motivos de seguridad.

Cualquier incidente que requiera una evacuación de los usuarios implicara el cierre del túnel, o lo que es lo mismo el cierre de todos los tubos que forman el túnel.

Las salidas naturales en un túnel son las propias bocas del túnel. A partir de cierta longitud donde se incrementa el riesgo los túneles dispondrán de salidas de evacuación tal como se indica en la Instrucción Técnica I de Infraestructura. En el caso típico de un túnel formado por 2 tubos paralelos, las salidas de evacuación serán las galerías de comunicación entre los tubos. En cuestión de evacuación se considera que el tubo que no está afectado por el incidente es un lugar seguro, aunque no se completará la evacuación hasta que todos los usuarios abandonen el interior del túnel.

4.7.1 Señalización del recorrido de evacuación.

El primer objetivo de la señalización de evacuación es llevar a los usuarios hasta la salida de emergencia más cercana, ya sea boca de túnel o galería de evacuación. Para ello se debe instalar un conjunto de señales fotoluminiscentes a lo largo del recorrido de evacuación. Estas señales se deben ubicar en el hastial en donde se encuentren las salidas de emergencia y en el sentido de la marcha, en caso de que no se disponga de salidas de emergencia se podrá ubicar en cualquiera de los hastiales. La separación entre dos señales no debe superar los 25 metros. El color de fondo de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

las señales se corresponderá con un Pantone nº 349, similar o equivalente al RAL 6029 especificado para las puertas y su entorno.

La señal de recorrido de evacuación debe indicar la distancia a la salida más cercana en cada uno de los sentidos, tal como se muestra en la figura siguiente:

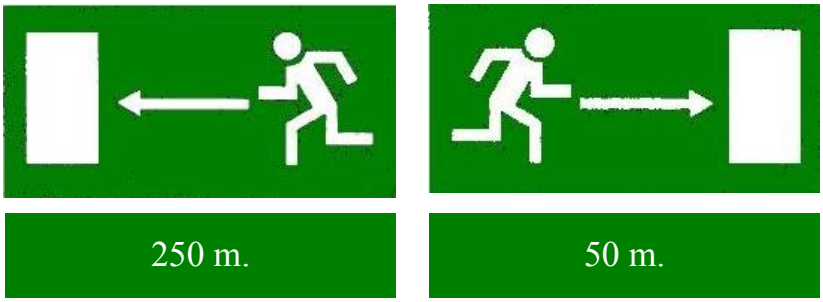


Figura 4.7.1._1 Señal de recorrido de evacuación.

Para el tamaño de las señales de recorrido de evacuación e instalación de las mismas se tomará como referencia la Norma de Señalización Vertical 8.1-IC. Se recomienda que la señal de recorrido de evacuación esté a una altura aproximada de 1,5 metros.

4.7.2 Señalización de indicación de salida.

Las puertas de evacuación deben estar suficientemente señalizadas para que los usuarios no tengan ninguna duda de que es la salida correcta para evacuar.

Se debe instalar señales luminosas, ubicadas encima de las puertas de evacuación y visible a dos caras (perpendicular a la dirección de evacuación). Para asegurar que en caso de fallo de la alimentación siga siendo efectiva la señal debe contar con un panel electroluminiscente traslucido y conectado al sistema de alimentación ininterrumpida (SAI). La señal no debe tener un tamaño inferior a los 50 cm de lado y debe mostrar la figura siguiente:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

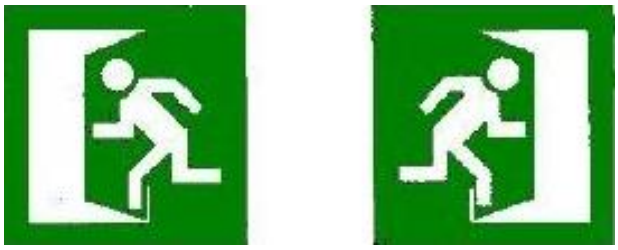


Figura 4.7.2_1 Señal luminosa de indicación de salida

Se recomienda prolongar el alumbrado de evacuación en el retranqueo entre el hastial del túnel y la puerta de la galería, con el objeto de facilitar el guiado de las personas.

En ambos hastiales de la galería (zona de acceso y a una altura superior de las puertas) se instalarán luminarias alimentadas desde el Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).

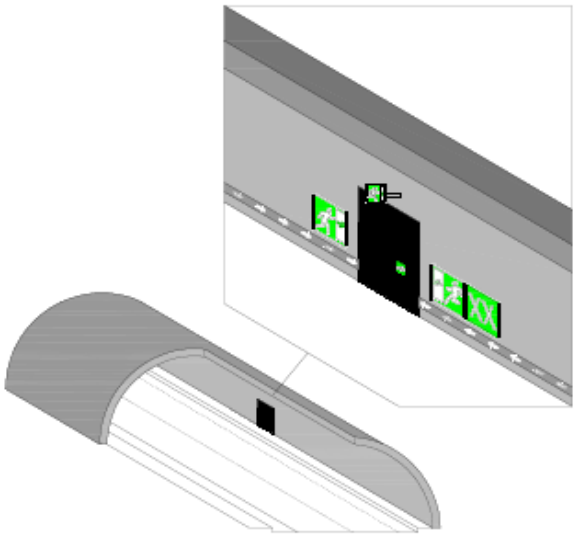
Se dispondrá de un cartel colocado encima de las puertas que defina la existencia de una galería de evacuación e indique el nº de identificación de la misma.

Además de esta señal luminosa ubicada encima de la puerta de evacuación se debe reforzar la señalización con señales fotoluminiscente a ambos lados de la puerta con la misma figura y un tamaño mínimo de 1,5x1,5 metros.

Las puertas de evacuación deben tener un sistema de apertura con barra antipánico con el cual se abren las puertas al ejercer presión sobre la barra. En la propia puerta sobre la barra se debe ubicar la señal correspondiente según la UNE 23033.

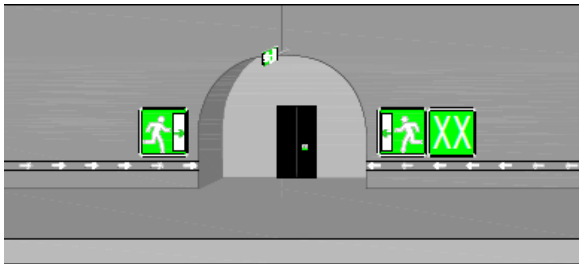
Esquema

cve: BOB-2025a082-(I-327)



En los casos donde se considere conveniente reforzar la señalización de las salidas de emergencia, se recomienda iluminar o balizar el arco que rodea la puerta como indica la norma 8.1-IC, incluir señales en hastial contrario en túneles curvos, etc.

Conviene que el arco que rodea la puerta esté iluminado con bombillas o fluorescentes de gran intensidad siguiendo el arco (se recomiendan bombillas de 100 W cada 30 cm) cuya alimentación proceda de la galería y del exterior del túnel.



cve: BOB-2025a082-(I-327)

Si dentro del túnel existiera alguna puerta que no fuese salida de evacuación (locales técnicos...) deberá señalizarse de forma adecuada con una señal fotoluminiscente encima de la puerta con la figura correspondiente según UNE 23033.

4.7.3 Señalización dentro de la galería de comunicación entre tubos.

Las galerías dispondrán de dos puertas resistentes al fuego que las separe el habitáculo intermedio de cada uno de los tubos tal como se especifica en la Instrucción Técnica I de Infraestructura. Aunque desde el punto de vista de un incendio ya se puede considerar lugar seguro el habitáculo se debe completar la evacuación hasta el exterior del túnel. Para ello las galerías de evacuación deben disponer, al menos de:

- Encima de cada una de las puertas en el interior del habitáculo un cartel que denomine a cada uno de los tubos a los que se accede por dicha puerta, para que al dar instrucciones a los usuarios, estas no den lugar a equívocos, como por ejemplo “Riesgo de Atropello”
- Encima o cercano al poste SOS se debe instalar un plano de situación (“usted se encuentra aquí”) conforme a la UNE 23032, donde se represente todo el túnel con sus distintas galerías de evacuación, así como un identificador del poste. Todos los postes SOS deberán llevar las instrucciones de uso en varios idiomas: Euskera, Castellano, Inglés y Francés. También deberán llevar una identificación del poste SOS de forma visible para el usuario, de tal forma que en el transcurso de la conversación con el operador pueda indicar de forma unívoca y clara la identificación del poste SOS desde el que está haciendo la llamada.
- También en las proximidades de los postes SOS se debe ubicar un cartel que identifique la galería (“galería 1” o “galería A”).
- En las propias puertas por el lado interior del habitáculo se deben instalar señales similares a las de recorrido de evacuación que indiquen la distancia desde la galería a las bocas del túnel.
- Encima de las puertas de evacuación y en el exterior del habitáculo se dispondrá un cartel que indique que la puerta contigua es una puerta de salida de evacuación, así como la identificación de la galería a la que se accede.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 INTEGRACION Y SISTEMA DE CONTROL

Dada la importancia de los equipos de protección contra incendios en este tipo de infraestructuras, se ha diseñado un sistema con altos niveles de redundancia y seguridad con el objetivo de mantener un alto nivel de disponibilidad. Este nivel de disponibilidad del sistema solo se puede conseguir mediante una adecuada integración de los elementos de campo en el sistema de control del túnel, para que este último monitorice las instalaciones de protección contra incendios, asegurando de esa forma una información al operador en tiempo real del posible origen y evolución de un eventual incendio.

El sistema de protección contra incendios de un Túnel de Tipo I o II deberá estar integrado en una aplicación de gestión centralizada (SCADA), además de disponer de los equipos de control locales que marca la normativa.

En fase de proyecto se deberán considerar como mínimo las siguientes señales de los equipos de protección contra incendios a integrar en el Centro de Control, así como aquellas que el Organismo de Inspección de Túneles de Bizkaia (OITB) tras su revisión:

- Grupo de bombeo
    - Estados de todas las bombas del grupo
    - Estados de todas las válvulas de los circuitos de impulsión, aspiración y pruebas.
    - Estado de los sistemas auxiliares de las bombas, tales como las baterías o el tanque de combustible.
    - Órdenes de arranque de todas las bombas
    - Arranques de la bomba jockey
    - Todas las alarmas de funcionamiento que según la normativa debe proporcionar el cuadro de control local del grupo de bombeo.
- Depósito / Red Pública
    - Niveles analógicos del agua existente en los depósitos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Estados de todas las válvulas de entrada y salida a los aljibes.
- Medida analógica de caudal entrante desde la red pública.
- Estado de los presostatos de los circuitos de entrada y salida del aljibe o la red pública.

- Centralita de Detección de Incendios
  - Alarmas de funcionamiento y estado de la propia centralita
  - Estados de las zonas de detección programadas (alarmadas, silenciadas, anuladas, reposo…)
  - Alarmas de detección de incendio por cada elemento de cada lazo de detección, sea en túnel o en local técnico.
  - Estado de avería de cada elemento del lazo que disponga de dicha información.
- Centralita de Extinción Automática de Incendios
  - Alarmas de funcionamiento y estado de la propia centralita
  - Estados de los circuitos de extinción
  - Estado de cada botella de agente extintor (no llena)
  - Estado de las válvulas de la red de tuberías del circuito del agente extintor
  - Estado de pulsadores y de los avisos acústicos y visuales instalados en el local.
  - Alarmas de preaviso y gas disparado
- Red de Hidrantes
  - Medida de la presión existente en cada sector de la red de hidrantes que pueda ser aislado individualmente.
  - Estado de todas las válvulas instaladas en la red de hidrantes.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Órdenes de apertura y cierre de las válvulas motorizadas instaladas

- Equipos en túnel
  - Estado de BIEs y extintores (retirado o presente)

- Magneto-térmicos y diferenciales de los cuadros de alimentación
  - En caso de instalar cuadros de alimentación intermedios entre los instalados por el sistema de energía y los equipos finales, se deberán monitorizar los estados de todas las protecciones mediante contactos auxiliares.

Sin embargo, en fase de Obra, la Dirección de Obra, por decisión propia o sugerencia del Gestor/a del Túnel en fase de explotación y Gestor/a Delegado/a del túnel (explotadora), podrán solicitar la inclusión de las señales que consideren necesarias para la correcta explotación del sistema.

En cualquier caso, estas señales deberán emplear el bus de comunicaciones bajo el cual se ha diseñado la red de control del túnel (recogido en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control). Por tanto, se deberá instalar toda pasarela o conversor necesario para que la integración sea lo más eficiente posible, en coordinación con el responsable del diseño y ejecución del sistema de comunicaciones de dicha Instrucción Técnica.

Cabe destacar que, en el SCADA, todas estas señales estarán reflejadas a dos niveles diferentes, sean de mantenimiento o de alarma. Por tanto, el sistema de Protección contra Incendios debe identificar claramente a qué tipo corresponden, con el objetivo de realizar una integración eficiente y no saturar al operador con alarmas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 PUESTA EN MARCHA

El contratista responsable de la instalación del Sistema de Protección Contra Incendios en un túnel de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, según el presente Decreto Foral, deberá presentar a la Dirección de Obra un plan de pruebas de los equipos. El plan de pruebas de los equipos estará formado por Programas de Puntos de Inspección (PPIs), y las pruebas estarán repartidas en el tiempo y con los alcances mínimos que se indican a continuación.

El plan de pruebas debe contemplar como mínimo las pruebas establecidas en las ITs.

6.1 Pruebas

La Dirección de Obra revisará el plan de pruebas presentado y podrá solicitar al contratista la inclusión de las pruebas adicionales que considere oportunas bien por iniciativa propia o por sugerencia del OITB, para dar su aprobación al plan de pruebas de los equipos. El OITB auditará la conformidad de la ejecución de ese plan de pruebas.

6.1.1 Pruebas por niveles

Se describen a continuación los diferentes momentos de la obra en los que se requiere la realización de pruebas.

- Nivel 0. Definición de PPIs a realizar en las pruebas de fábrica (FAT).
- Nivel 1. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta instalación de los equipos en la obra.
- Nivel 2. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos a nivel local (Grupo de Bombeo, etc.)
- Nivel 3. Definición de protocolos de inspección (PPIs) para comprobar la correcta integración de los equipos en el Centro de Control.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.2 Pruebas a equipos

En ellas, se probará el componente como tal debidamente instalado, pero sin tener en cuenta las implicaciones que su montaje con el resto de componentes pueda tener, por ejemplo, pruebas hidrostáticas de las tuberías, grupo de presión, funcionamiento de todos los detectores, BIEs, etc..

A continuación, se hace una breve descripción de los alcances mínimos de las pruebas que tendrán que ser llevadas a cabo sobre determinados equipos, una vez puestos en obra.

1. Inspección inicial visual de los elementos montados
2. Pruebas de componentes mecánicos y eléctricos

6.1.2.1 Inspección inicial visual de los elementos montados

Verificar el correcto montaje de los distintos elementos mecánicos, eléctricos o instrumentos, de acuerdo a situación en planos, etc. Chequear visualmente que los elementos están en buen estado (sin golpes o vicios de montaje, etc.).

6.1.2.2 Pruebas de componentes mecánicos y eléctricos

6.1.2.2.1 Grupo de presión

Parámetros eléctricos

Verificación de los parámetros eléctricos de los motores eléctricos de las bombas mediante mediciones, y comparación con los datos de fabricante y diseño, así como del resto de componentes.

Curvas características de las bombas

Verificación de la curva caudal-presión de cada una de ellas mediante mediciones, y comparación con los datos de fabricante y diseño.

- Medición del caudal y presión
- Comparación del punto de funcionamiento obtenido, con el valor teórico de las bombas
- Medición de las r.p.m.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Pruebas de la bomba Diesel

Verificación de los parámetros indicados por el fabricante

Vibraciones

Verificación de vibraciones de acuerdo con los límites establecidos en las normas de HI (Hydraulics Institute Standards).

6.1.2.2.2 Red de tuberías

Limpieza:

Se procederá a realizar la limpieza exterior e interior una vez terminado en montaje. La limpieza interior podrá realizarse bien con aire o agua a presión principalmente. Si fuese necesario se empleará un método químico para eliminar o disolver sustancias extrañas.

Pruebas Hidrostáticas:

Todas las tuberías, equipos y materiales que trabajen a presión deberán ser sometidos a pruebas hidrostáticas de acuerdo a UNE 805.

La presión de prueba será 15 bar cuando la presión máxima de diseño (golpe de ariete incluido) prevista sea igual o inferior a 10 bar. Cuando sea superior a 10 bar, la presión de prueba será de 5 bar por encima.

La duración de la prueba de presión será de 3 horas.

La presión después de la prueba, para que ésta sea aceptable, no debe descender más de 2 bar.

Cualquier tubería o accesorio con defectos, deberá ser eliminado y sustituido por el CONTRATISTA y repetir las pruebas hasta que éstas sean satisfactorias.

Pruebas de pintura en los tramos aéreos:

Se realizarán pruebas de espesor de capa y su adherencia de acuerdo a la norma UNE 545 para la tubería de fundición y normas SSPC-PA2 (espesor) y ASTM D3539 (adherencia por reticulado) para la tubería de acero.

Válvulas

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se comprobará que las válvulas llegan a obra con el correspondiente certificado de origen y que sus características cumplen los requisitos especificados en proyecto. Una vez montada se comprobará la facilidad de acceso y actuación.

6.1.2.3 Pruebas de funcionalidad y objetivos, del conjunto del sistema

En ellas, se observarán la funcionalidad del conjunto del Sistema. Tratará de simularse en este punto, dentro de lo que se pueda, las condiciones más próximas al funcionamiento normal de la instalación.

Se realizarán pruebas del Sistema de Detección y del de Extinción en las distintas formas previstas en el Manual de Explotación

6.1.3 Instrucciones de Prueba

6.1.3.1 Sistema de Detección

Se destacan algunos de los puntos que deberán ser tenidos en cuenta:

- El sistema de control y señalización debe cumplir con los requisitos y métodos de ensayo indicados en la norma española UNE 23007.

6.1.3.1.1 Verificaciones iniciales

- Comprobación de que todos los bucles de detección, pulsadores, alarmas, están conectadas y en reposo.
- Medida del consumo de la instalación en reposo y en alarma para que la instalación funcione con sus baterías los tiempos indicados por el fabricante.
- Simulaciones de avería en entradas y salidas de las señales y en circuitos supervisados.

6.1.3.1.2 Comprobaciones

- Activación del 100% de los detectores de cada bucle, comprobando que las alarmas registran e indican adecuadamente la situación del detector, así como el funcionamiento de las alarmas acústicas.
- Activación de los pulsadores de alarma de incendio y comprobación de igual forma.
- Pruebas de la zonificación del sistema de detección lineal de incendios.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

– Prueba de avería de un número representativo de detectores. Se considera que si se cambia el tipo de detectores, hay condición de avería.

– En función de las alarmas de los equipos de detección de incendios (sistema de detección lineal de incendios, Sistema DAI, etc.), verificar el funcionamiento del Sistema de Ventilación y presurización de galerías (caso de incendio).

– Verificación de la actuación automática de los sistemas automáticos de extinción, sin estar conectado el sistema de disparo de las botellas.

– Verificación del enclavamiento de las cámaras de video próximas al incendio detectado.

– Verificación de la alarma por apertura de la extracción de un extintor y retirada de la devanadera de una BIE.

– Verificación de la alarma por apertura de una puerta de una galería de evacuación.

– Verificación del sistema DAI (alarma de humo)

6.1.3.2 Grupo de presión

Los puntos que a continuación se exponen deberán, una vez realizados, registrarse con las mediciones tomadas, en el formato correspondiente.

6.1.3.2.1 Implantación

– Revisar situación de la implantación de acuerdo al proyecto.

6.1.3.2.2 Inspección visual del equipo

– Revisar el sistema de anclaje, sellado, conexión eléctrica, ausencia de golpes, etc.

– Verificación de la placa de características. Comprobar que dicha placa se encuentra perfectamente colocada y legible, y que se corresponde con los datos de proyecto.

6.1.3.2.3 Verificación del sistema eléctrico

Revisar aparamenta de cuadro s/especificación, conexiones, marcado de cableado, limpieza, señalización correcta de lámparas, intensidad de cortocircuito del interruptor principal, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Verificación del tarado de los correspondientes componentes como magnetotérmico, correspondencia entre la señalización en cuadro y funcionamiento real del equipo, giro correcto de las bombas, etc.

Toda la instalación eléctrica será probada mediante las siguientes medidas y operaciones:

- Antes de conectar los motores y demás equipos eléctricos y electrónicos se medirá la resistencia del aislamiento a tierra y entre conductores, haciéndose tanto de cada circuito como para cada alimentador, y debiéndose obtener un valor no inferior a 750.000 ohmios.
- Una vez conectados los motores y demás equipos se volverá a medir la resistencia del aislamiento en la misma forma, debiendo dar un valor no inferior a 250.000 ohmios.
- Deberá comprobarse la identificación de todos los componentes y comprobar la señalización de los circuitos.
- Tensiones de alimentación generales y parciales, a intensidad nominal o máxima.
- Frecuencia en cuadro general.
- Tierras generales de cuadro y parciales de máquinas.
- Prueba de diferenciales.
- Prueba de magnetotérmicos.
- Calibrado y prueba de guardamotores.
- Calibrado y prueba de térmicos.
- Calibrado y prueba de arrancadores.
- Verificación de enclavamientos.

6.1.3.2.4 Verificación de los parámetros eléctricos de los motores de las bombas

Efectuar mediciones correspondientes a intensidad de arranque y nominal, tensión etc.

6.1.3.2.5 Verificación de los grupos diésel

Se realizarán las verificaciones indicadas en UNE 23500.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.3.2.6 Verificación del caudal y r.p.m. de las bombas

Se deberá disponer de las curvas de las bombas a probar. Con los datos de intensidades, caudal, presión y r.p.m. medidos para los puntos nominal, de sobrecarga (1,4xQn), a válvula cerrada y de máxima potencia absorbida, se comparará con lo solicitado en el proyecto y lo mostrado en las curvas de las bombas.

6.1.3.2.7 Verificación de vibraciones de las bombas

Se medirán las vibraciones en la carcasa de cada una de las bombas.

6.1.3.2.8 Prueba de Funcionalidad del Grupo

Se comprobará la funcionalidad del conjunto del grupo de presión;

- Arranque/parada de forma local son su señalización local y en el Centro de Control de cada una de las bombas.
- Arranque / parada de la bomba jockey función de la presión del anillo
- Arranque del resto de bombas en función de la caída de presión.
- Verificación de la alarma en Centro de Control por falta de presión en el anillo

6.1.3.3 BIES e Hidrantes

Se destacan algunos de los puntos que deberán ser tenidos en cuenta:

– Fácil desenrollamiento de la manguera.

– Comprobación de los tres efectos de la lanza.

– Comprobación de la longitud mínima del chorro alcanzado.

– Comprobación de funcionamiento de los hidrantes.

6.1.3.4 Extintores portátiles

Se comprobará su situación, altura de montaje y cumplimiento de condiciones exigidas en el proyecto.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.1.3.5 Instrumentación de pruebas

Todas las mediciones se realizarán con aparatos pertenecientes al CONTRATISTA, los cuales deberán haber sido previamente contrastados y su certificación deberá ser entregada a la D.O. para la aprobación de su utilización. En ningún caso podrán utilizarse para la prueba los aparatos fijos pertenecientes a la instalación, sirviendo asimismo las mediciones para el contraste de éstos.

6.2 Documentación final de obra

El contratista deberá entregar al gestor/a del túnel los siguientes documentos:

- Resultados de las pruebas debidamente completadas.
- Manuales de Operaciones/instrucciones y Mantenimiento que contendrá los procedimientos para la operación y mantenimiento del equipo.
- En caso de disponer de algún tipo de software asociado al equipo, éste deberá adjuntarse junto con las licencias correspondientes.
- Proyecto “as built” que incluirán los elementos con la relación de las unidades y equipos empleados. Así como los planos “as built”.
- Certificados, declaraciones de conformidad y fichas técnicas de la instalación.”

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 MANTENIMIENTO

7.1 Mantenimiento preventivo

Como base de partida, tendrá en cuenta lo dispuesto en el Anexo II del Reglamento de Instalaciones de Protección Contra Incendios (RIPCI) referente al "Mantenimiento Mínimo de las Instalaciones de Protección Contra Incendios", en los periodos de 3 meses, 6 meses, 1 año y 5 años.

No obstante, el Manual de Explotación deberá hacer mención expresa a este punto, debiendo ser debidamente desarrollado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y la normativa aplicable.

7.2 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es el que se realiza con carácter de urgencia debido a la detección de una anomalía o disfunción en los equipos o instalaciones que puede afectar en mayor o menor medida a la seguridad vial de los usuarios de la calzada.

Será la mayor o menor afección a la seguridad vial de los usuarios lo que determinará los plazos preestablecidos para llevar a cabo las acciones de mantenimiento correctivo sobre el equipo o sistema que presente el problema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO VI

SISTEMAS DE SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL

Bizkaia
foru aldundia
diputación foral

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES DE CARRETERAS

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(VI)

SISTEMAS DE SEGURIDAD, VIGILANCIA Y CONTROL

cve: BOB-2025a082-(I-327)

I N D I C E

1 OBJETO 7
2 ALCANCE 8
3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS....9
4 GESTIÓN DE TRÁFICO....12
4.1 Señalización dinámica....12
4.1.1 Introducción....12
4.1.2 Criterios de diseño en la señalización de los accesos de los túneles....13
4.1.3 Criterios de diseño en la señalización en el interior de los túneles....19
4.1.4 Control de la señalización dinámica de los túneles....26
4.1.5 Paneles de Mensaje Variable (PMV)....27
4.1.6 Señales aspa-flecha y limitación de velocidad variable....28
4.1.7 Semáforo exterior....30
4.1.8 Barreras de cierre....31
4.2 Control de Gálibo....31
4.2.1 Introducción....31
4.2.2 Criterios de diseño....32
4.2.3 Señal vertical fija de control de gálibo....34
4.2.4 Control de gálibo electrónico y mecánico....34
4.2.5 Señal oculta....35
4.3 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos....36
4.3.1 Introducción....36
4.3.2 Funcionalidades de los sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos....37
4.3.3 Criterios de diseño en los sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos....38
4.4 Control ambiental....39
4.4.1 Criterios de diseño en el control ambiental....40
4.4.2 Elementos de los SeVAC....41
5 SISTEMA DE VÍDEO EN CIRCUITO CERRADO Y DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES....42

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.1 Cámaras 43
5.1.1 Criterios para la ubicación de las cámaras 43
5.1.2 Principales características 44
5.2 Especificaciones técnicas 44
5.2.1 Cámaras Fijas 44
5.2.2 Cámaras DOMO 46
5.2.3 Cámaras Termográficas 47
5.3 Sistema de selección, control y visualización de las imágenes 48
5.4 Detección Automática de Incidentes (DAI) 49
5.4.1 Elementos del DAI 49
5.4.2 Características del sistema DAI 50
5.5 Servidor de Vídeo 52
6 SISTEMAS DE COMUNICACIONES 55
6.1 Postes SOS 55
6.1.1 Introducción 55
6.1.2 Arquitectura del sistema de postes SOS 55
6.1.3 Requerimientos de instalación de postes SOS en los túneles 56
6.1.4 Equipamiento en los armarios de los postes SOS en el interior de los túneles 61
6.2 Megafonía 62
6.2.1 Introducción 62
6.2.2 Arquitectura del sistema de megafonía 63
6.2.3 Requisitos generales del sistema 64
6.2.4 Requisitos de la instalación de megafonía 68
6.2.5 Altavoz 69
6.2.6 Etapas amplificadoras 70
6.2.7 Gestores locales de megafonía 71
6.2.8 Sistema de control centralizado de megafonía 72
6.3 Radiocomunicaciones. Retransmisión por radio 73
6.3.1 Objetivo del sistema de radiocomunicaciones 73
6.3.2 Funcionalidades del sistema de comunicación 74

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.3.3 Radiocomunicaciones a retransmitir 74
6.3.4 Estructura de los sistemas de radiotelefonía....75
6.3.5 Supervisión del sistema de Radiocomunicaciones....78
7 SISTEMA DE CONTROL CENTRALIZADO....79
7.1 Introducción....79
7.2 Red de control en campo....84
7.2.1 Equipos de campo....84
7.2.2 UPD....87
7.2.3 PLC....89
7.2.4 Estaciones remotas universales de túneles (ERUT)....90
7.3 Red de comunicaciones....92
7.3.1 Red Troncal de comunicaciones....93
7.3.2 Red de Área Local de campo....94
7.4 Centro de Control....96
7.4.1 Funcionalidad del Centro de Control....96
7.4.2 Arquitectura del Centro de Control....98
7.4.3 Requerimientos de sistema de Centro de Control....99
7.4.4 Equipos del centro de control....100
7.4.5 Integración de un túnel nuevo en un centro de control existente....101
7.4.6 Características del recinto....101
7.4.7 Alimentación del Centro de Control....104
8 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL....105
8.1 PMV....105
8.2 Señales Aspa-Flecha y Limitación de Velocidad Variable....105
8.3 Semáforos de exterior....105
8.4 Barreras de cierre....105
8.5 Control de gálibo....106
8.6 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos....106

cve: BOB-2025a082-(I-327)

8.7 Control ambiental 106
8.8 Sistema de Vídeo en Circuito Cerrado y Detección Automática de Incidentes 107
8.9 Postes SOS 108
8.10 Megafonía y radiocomunicaciones 108
8.11 Sistema de Control Centralizado 108
9 PUESTA EN MARCHA Y RECEPCIÓN 110
9.1 Pruebas 110
9.1.1 PMV 110
9.1.2 Señales Aspa-Flecha y Limitación de Velocidad Variable 110
9.1.3 Semáforos de exterior 110
9.1.4 Barreras de cierre 111
9.1.5 Control de gálibo 111
9.1.6 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos 111
9.1.7 Control ambiental 112
9.1.8 Sistema de Vídeo en Circuito Cerrado y Detección Automática de Incidentes 112
9.1.9 Postes SOS 113
9.1.10 Megafonía y radiocomunicaciones 113
9.1.11 Sistema de Control Centralizado 113
9.2 Documentación final de obra 113
10 MANTENIMIENTO 115
10.1 Mantenimiento Preventivo 115
10.2 Mantenimiento Correctivo 116

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 OBJETO

La presente Instrucción Técnica tiene por objeto definir las disposiciones y especificaciones de carácter técnico que deben satisfacer las instalaciones de seguridad, vigilancia y control en los túneles en explotación, puesta en servicio, construcción, proyecto, y planeamiento pertenecientes al ámbito geográfico de la Diputación Foral de Bizkaia.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles en carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga una instrucción técnica clara de diseño, construcción y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.
- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.
- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejor gestión económica de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 ALCANCE

La presente Instrucción técnica se aplicará a los túneles en todas sus fases de vida, planeamiento, proyecto, construcción, integración, puesta en servicio y fase de explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo del Decreto Foral sobre Seguridad de Túneles en carreteras (DFST).

La Instrucción técnica define los requisitos de seguridad relacionados con los sistemas de seguridad, vigilancia y control que serán de obligado cumplimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos de referencia aplicables en este documento:

- Directiva 2004/C 95 E/05 del Parlamento Europeo y del Consejo sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras.
- Corrección de errores de la Directiva 2004/54/CE.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de carreteras del Estado.
- Corrección de errores del Real Decreto 1942/1993, de 5 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Protección contra Incendios. BOE número 109 del 7 de mayo de 1994.
- Decreto Foral sobre Seguridad de Túneles en carreteras.
- Instrucción de carreteras 8.1-IC. Señalización vertical.
- Instrucción de carreteras 8.2-IC. Marcas viales.
- Instrucción 8.3-IC, Señalización de Obras. Señalización, balizamiento, defensa, limpieza y terminación de obras fijas fuera de poblado,
- Recomendaciones DRIVE.
- Recomendaciones AIPCR (todos los congresos).
- Recomendaciones FIRETUN.
- Norma UNE-EN 614 “Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico”.
- Norma UNE 135314 “Señalización vertical. Perfiles de acero galvanizado empleados como postes de sustentación de señales, carteles laterales y paneles direccionales. Elementos móviles de sustentación. Tornillería. Características y métodos de ensayo”.
- Norma UNE-EN 12966 “Señalización vertical en carretera. Paneles de Mensaje Variable”.
- Normas UNE 135411 “Equipamiento para la señalización vial. Estaciones remotas”.
- Normas UNE 135421 “Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos”.
- Norma UNE 199071 “Equipamiento para la gestión del tráfico. Sensores de variables medioambientales en carretera. Sensores de variables atmosféricas en carretera”.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Normas UNE 135701: “Equipamiento para la señalización vial. Sistemas de ayuda y transmisión de datos mediante postes S. O. S.”.
- Normas UNE-EN 12352. “Equipamiento de regulación del tráfico. Dispositivos luminosos de advertencia de peligro y balizamiento”.
- Normas UNE-EN 12368: “Equipos de control de tráfico. Cabezas de semáforo”.
- Normas UNE-EN 50132 “Sistemas de alarma. Sistemas de vigilancia CCTV para uso en aplicaciones de seguridad”.
- Normas UNE 20324 “Grados de protección proporcionados por las envolventes (Código IP)”.
- Normas UNE-EN 60068 “Ensayos ambientales”.
- Normas UNE 20427 “Métodos de ensayo adicionales para cables eléctricos. Ensayo de propagación de la llama”.
- Normas UNE-EN 50200 “Método de ensayo de la resistencia al fuego de los cables de pequeñas dimensiones sin protección, para uso en circuitos de emergencia”.
- Normas UNE-EN 50362 “Método de ensayo de la resistencia al fuego de los cables de energía y transmisión de datos de gran diámetro, sin protección, para uso en circuitos de emergencia”.
- Normas UNE-EN 60332 “Métodos de ensayo para cables eléctricos y cables de fibra óptica sometidos a condiciones de fuego”.
- Norma UNE-EN 50267 “Métodos de ensayo comunes para cables sometidos al fuego. Ensayo de los gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables”.
- Normas UNE-EN 60754 “Ensayo de los gases desprendidos durante la combustión de materiales procedentes de los cables”.
- Normas UNE-EN 61034 “Medida de la densidad de los humos emitidos por cables en combustión bajo condiciones definidas”.
- Normas UNE 21123 “Cables eléctricos de utilización industrial de tensión asignada 0,6/1 kV”.
- Normas UNE-EN 60228 “Conductores de cables aislados”.
- Normas UNE-EN 60793 “Fibra óptica”.
- Normas UNE-EN 60794 “Cables de fibra óptica”.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Normas UNE-EN 60228 “Conductores de cables aislados”.
- Normas CEI 60502 “Cables de energía con aislamiento extruido y sus accesorios para tensiones asignadas de 1 kV (Um= 1,2 kV) a 30 kV (Um = 36 kV)”.
- Normas UNE-EN 60849 “Sistemas electroacústicos para servicios de emergencia”.
- Norma UNE-EN 60268-16:2011 “Equipos para sistemas electroacústicos. Parte 16: Evaluación objetiva de la inteligibilidad del habla mediante el índice de transmisión del habla. (Ratificada por AENOR en noviembre de 2011”.
- Normas UNE 23007 “Sistemas de detección y de alarma de incendios”.
- UNE-EN 54-16:2010 “Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 16: Control de la alarma por voz y equipos indicadores”.
- UNE-EN 54-24:2010 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 24. Componentes de los sistemas de alarma por voz. Altavoces.
- Normas de señalización circunstancial en Paneles de Mensaje Variable del anexo I del BOE 143 del 13 de junio de 2009.
- IEC 61158 “Industrial communication networks - Fieldbus specifications”.
- IEC 61784 “Industrial communication networks - Fieldbus specifications”.
- Normas UNE-EN 61131 “Autómatas Programables”
- Normas UNE-HD 60364 “Instalaciones eléctricas de baja tensión”.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 GESTIÓN DE TRÁFICO

4.1 Señalización dinámica

4.1.1 Introducción

La señalización dinámica permite al operador del centro de control informar a los conductores del estado de la vía y de situaciones de riesgo o emergencia que puedan producirse, así como dar instrucciones sobre las acciones que deben llevar a cabo para evitar que se ocasionen daños.

Los objetivos que pueden abordarse con la señalización dinámica como componente de seguridad de los túneles son:

- Prohibir el acceso al túnel en caso de necesidad, es decir, realizar un cierre del túnel.
- Gestionar el uso de los carriles de circulación.
- Informar a los usuarios del estado de la vía y de situaciones de peligro.

Tanto para la gestión de emergencias como para el control de tráfico, la señalización dinámica es vital para realizar actuaciones de forma remota. Según la funcionalidad del sistema de señalización dinámica, cabe distinguir entre:

- Señalización dinámica en los accesos del túnel (en las bocas y su entorno).

  Tiene como función informar de incidentes y riesgos existentes en el interior del túnel o su entorno. Además, en caso de incidente grave o cuando los trabajos de mantenimiento y explotación en el interior o en los accesos así lo requieran, permite cerrar el túnel.

- Señalización dinámica en el interior del túnel.

  La señalización dinámica en el interior del túnel suele ser útil particularmente para informar sobre incidentes a la salida del túnel, o en el interior. Constituyen un instrumento esencial para adoptar medidas de precaución tales como limitación de la velocidad y otras. En los casos más graves (incendio) permiten interrumpir el tráfico en el interior del túnel (medida adicional al corte del tráfico en bocas, para túneles largos).

Los principales elementos de los que consta un sistema de señalización dinámica para túneles son:

- Paneles de Mensaje Variable (PMV).
- Señales de afección de carril: señales aspa-flecha (AF) y de límite de velocidad variable (CLV).
- Semáforos Rojo-Ámbar-Verde (RAV).
- Barreras de cierre de túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.2 Criterios de diseño en la señalización de los accesos de los túneles

Todo túnel que se pretenda controlar y actuar de forma remota debe disponer de elementos en los accesos que permitan su cierre en caso que sea necesario y la emisión de información a los usuarios sobre la causa y/o duración del cierre. Los túneles de Tipo I y II, según definición realizada en el Decreto Foral de Seguridad en Túneles, deben disponer de señalización en sus accesos.

A continuación, se recogen diversos criterios generales que deberán considerar los proyectistas en el diseño de la señalización de cierre de túneles. Más adelante, se ofrecen diversas soluciones particularizadas para las arquitecturas de túnel más típicas.

4.1.2.1 Visibilidad.

Se considera que la máxima distancia a la que se puede leer un mensaje es igual a 800 veces la altura de la letra o símbolo.

Esta distancia no será inferior a la mínima necesaria para que un conductor que circule a la velocidad máxima establecida (en cada sección o elemento) pueda percibir la señal o cartel, interpretar su mensaje, decidir la maniobra que debe ejecutar y, en su caso, ejecutarla total o parcialmente. En caso contrario, se aumentará la altura de la letra o símbolo.

Siguiendo este criterio se establecen las distancias mínimas medidas sobre la carretera para las cuales los elementos de señalización deben ser percibidos y legibles por el conductor:

- 200 metros para los Paneles de Mensaje Variable.
- 200 metros para los semáforos.

Como criterio general, tanto para caracteres como para pictogramas, deberán utilizarse siempre los rangos de dimensiones D o E previstos en la norma EN12966, en función de la velocidad de diseño de la vía.

4.1.2.2 Paso entre calzadas.

El paso entre calzadas es la infraestructura de obra civil que permite la transferencia de tráfico entre dos calzadas de una misma vía.

En aquellos túneles unidireccionales con una calzada para cada sentido de circulación que presenten un paso entre calzadas en los accesos al túnel las barreras de cierre del túnel se ubicarán antes del mismo en el sentido de la circulación, siempre que éste no se encuentre a una distancia superior a 200 metros de la boca del túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.2.3 Información a los conductores del cierre del túnel.

Ante un cierre de un túnel de larga duración es necesario informar a los conductores que circulan por la vía que el túnel se encuentra cerrado y de los desvíos y rutas alternativas existentes, evitando de este modo las retenciones provocadas por el cierre del túnel. Esta información se proporcionará a los conductores, entre otros medios, mediante Paneles de Mensaje Variable instalados antes de los desvíos. Para ello se tomará como guía para la señalización variable el BOE 143 del 13 de Junio de 2009 SEC I página 49905 en adelante.

Se debe estudiar la señalización necesaria en las vías que presentan un enlace a la vía en la que se encuentra cerrado el túnel, siendo preciso informar a los conductores de esta situación antes de que cojan el desvío hacia el túnel cerrado.

4.1.2.4 Incorporaciones y confluencias.

Se debe realizar un estudio especial en aquellos túneles que presenten incorporación de ramal o confluencia en las proximidades de las bocas de acceso.

En el caso de una incorporación de un ramal en las cercanías de la boca de entrada de un túnel se debe instalar en la vía de acceso al ramal un Panel de Mensaje Variable. Este panel se debe ubicar con anterioridad al acceso para informar a los usuarios antes de que se incorporen al ramal.

Si se trata de una confluencia entre dos vías situada antes del acceso de un túnel, cada una de las vías debe tener las secciones completas de señalización de los accesos del túnel y de este modo detener de forma eficiente a los vehículos antes de que entren en su interior. Se debe evitar la duplicidad de señalización.

4.1.2.5 Ejemplos de soluciones de proyecto de señalización en bocas para diversas arquitecturas.

Los factores que influyen en la configuración y disposición de los elementos que confeccionan la señalización en los accesos del túnel son:

1. Velocidad máxima permitida en la carretera donde está ubicado el túnel.
2. Tipo del túnel, unidireccional o bidireccional.
3. Número de carriles por sentido.
4. Características del trazado (visibilidad de la boca, existencia de desvíos o incorporaciones).
5. Características geométricas de la vía (anchura de arcenes y carriles, existencia de paso entre calzadas y ubicación...).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A continuación se presentan soluciones de señalización en los accesos del túnel para las arquitecturas más comunes, con los criterios a adoptar en cada una de ellas.

Las distancias de los elementos de señalización dinámica a la boca de los túneles son orientativas y se deberán adaptar en función de las características del entorno y a la geometría particular del trazado de la vía (visibilidad de la señalización en las inmediaciones, visibilidad de la entrada al túnel desde el sitio de parada, proximidad del último desvío...).

Cuando el paso por el túnel sea interrumpido por un tiempo prolongado será necesario desviar el tráfico por un camino alternativo. Para poder adoptar esta medida de manera eficiente, será en general necesario disponer de señalización variable en los accesos a los itinerarios alternativos. Una solución específica para la adopción de estas medidas deberá estudiarse en cada proyecto.

ARQUITECTURA 1. Túneles unidireccionales con dos o más carriles por cada sentido y velocidad máxima permitida de la vía dónde se encuentra el túnel de 100 km/h o superior.

La señalización en los accesos del túnel debe tener instalada:

- Sección de señales de aspa-flecha, semáforo RAV y señal limitadora de velocidad en el dintel de la boca de entrada, por carril. Si se prevé que el túnel pueda funcionar de forma bidireccional, aunque sea en casos excepcionales por cierre del otro tubo, se debe dotar con señales aspa-flecha en el dintel de salida, por carril. Esta medida se aplicará para túneles de nueva construcción o en remodelaciones del sistema de señalización de túneles existentes.
- Conjunto de barreras con semáforos doble rojo en cada una de ellas y alarma acústica. Si la carretera es de doble calzada y dispone de un paso entre calzadas (comunicación entre ambas calzadas) a una distancia inferior a 200 metros de la boca de entrada se han de situar las barreras antes del paso entre calzadas para facilitar el accesos de los vehículos de emergencia en caso de cierre de uno de los tubos del túnel. Si el túnel tiene un único tubo, no dispone de paso entre calzadas o la separación de éste con la boca de entrada es superior a los 200 metros la barrera se debe separar de la boca por una distancia no inferior a 50 metros.
- Sección de semáforos rojo-ámbar-verde sobre carril a 200 metros de la boca del túnel.
- Sección de semáforos rojo-ámbar-verde sobre carril a 400 metros de la boca del túnel.
- Sección con panel de mensaje variable formado por 2 gráficos y 3 líneas de 12 caracteres a 700 metros de la barrera. En caso de encontrarse antes del último desvío (en el sentido de la marcha) se estima suficiente con esta señalización. En caso contrario, se recomienda la instalación de un

cve: BOB-2025a082-(I-327)

panel de las mismas características antes del último desvío, de forma que si se produce un corte de larga duración en el túnel se pueda desviar el tráfico por un camino alternativo.

- En caso de optarse por la instalación de este segundo panel, que será obligatorio para aquellos túneles en los que el desvío anterior se encuentre a una distancia máxima de 1500 metros, habrá que estudiar por separado la ubicación adecuada de los paneles con funciones de detención del tráfico y de indicación de desvío, analizando si por las condiciones del trazado estas funciones pueden o no ser soportadas por un único panel.

La Figura 1 muestra un ejemplo de la arquitectura de la señalización en los accesos del túnel.

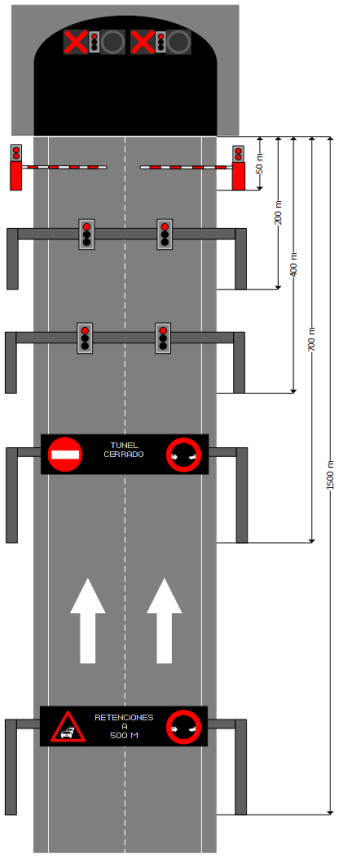


Figura 1 Ejemplo de señalización en accesos túnel unidireccional ubicado en una vía con velocidad máxima permitida de 100 km/h o superior.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ARQUITECTURA 2. Esta arquitectura se aplica en túneles unidireccionales, con dos o más carriles por cada sentido y velocidad máxima permitida de la vía dónde se encuentra el túnel inferior de 100 km/h. Los elementos de señalización que se deben instalar en los accesos del túnel son:

- Sección de señales de aspa-flecha, semáforo RAV y señal limitadora de velocidad en el dintel de la boca de entrada, por carril. Si se prevé que el túnel pueda funcionar de forma bidireccional, aunque sea en casos excepcionales por cierre del otro tubo, se debe dotar con señales aspa-flecha en el dintel de salida, por carril. Esta medida se aplicará para túneles de nueva construcción o en remodelaciones del sistema de señalización de túneles existentes.
- Conjunto de barreras con semáforos doble rojo en cada una de ellas y alarma acústica. Si la carretera es de doble calzada y dispone de un paso entre calzadas (comunicación entre ambas calzadas) a una distancia inferior a 200 metros de la boca de entrada se han de situar las barreras antes del paso entre calzadas para facilitar el accesos de los vehículos de emergencia en caso de cierre de uno de los tubos del túnel. Si el túnel tiene un único tubo, no dispone de paso entre calzadas o la separación de éste con la boca de entrada es superior a los 200 metros la barrera se debe separar de la boca por una distancia no inferior a 50 metros.
- Sección de semáforos rojo-ámbar-verde sobre carril a 150 metros de la boca del túnel.
- Sección de panel de mensaje variable formado por 2 gráficos y 3 líneas de 12 caracteres. El panel se debe ubicar antes del último desvío, de forma que si se produce un corte de larga duración en el túnel se pueda desviar el tráfico por un camino alternativo. Si el último desvío se encuentra a una distancia máxima de 1500 metros de la boca del túnel, y se opta por la instalación de un segundo panel de las mismas características, se debe instalar un panel a 500 metros de la boca del túnel y otro antes del desvío. Habrá que estudiar por separado la ubicación adecuada de los paneles con funciones de detención del tráfico y de indicación de desvío, analizando si por las condiciones del trazado estas funciones pueden o no ser soportadas por un único panel.

La Figura 2 muestra un ejemplo de la distribución de los elementos necesarios para realizar la señalización en los accesos de este tipo de túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

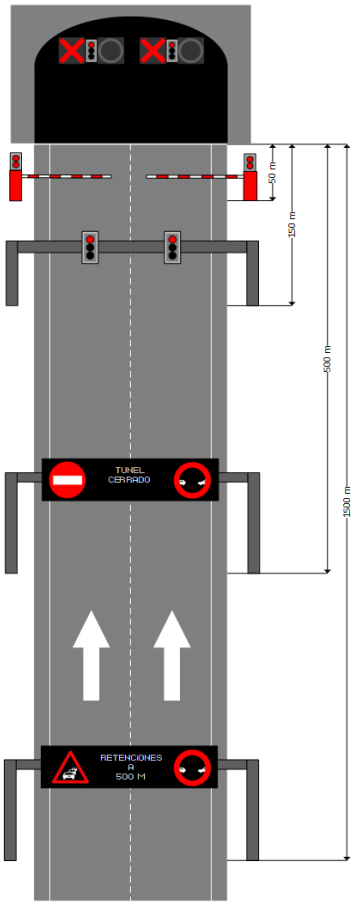


Figura 2 Señalización en accesos túnel unidireccional ubicado en una vía con velocidad máxima permitida inferior a 100 km/h

ARQUITECTURA 3. Esta arquitectura se aplica en túneles bidireccionales con un carril por sentido.

La señalización en los accesos del túnel debe incluir, (en ambos sentidos):

- Sección de señales de aspa-flecha, semáforo RAV y señal limitadora de velocidad en el dintel de la boca de entrada, por carril. Si se prevé que el túnel pueda funcionar de forma bidireccional, aunque sea en casos excepcionales por cierre del otro carril, se debe dotar con señales aspa-flecha en el dintel de salida, por carril. Esta medida se aplicará para túneles de nueva construcción o en remodelaciones del sistema de señalización de túneles existentes.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Una barrera con semáforo doble rojo y alarma acústica. La barrera se debe separar de la boca por una distancia no inferior de 50 metros.
- Sección de semáforos rojo-ámbar-verde sobre báculo a 150 metros de la boca del túnel.
- Sección de panel de mensaje variable formado por 2 gráficos y 3 líneas de 12 caracteres. El panel se debe ubicar antes del último desvío, de forma que si se produce un corte de larga duración en el túnel se pueda desviar el tráfico por un camino alternativo. Si el último desvío se encuentra a una distancia máxima de 1500 metros de la boca del túnel, y se opta por la instalación de un segundo panel de las mismas características, se debe instalar un panel a 500 metros de la boca del túnel y otro antes del desvío. Habrá que estudiar por separado la ubicación adecuada de los paneles con funciones de detención del tráfico y de indicación de desvío, analizando si por las condiciones del trazado estas funciones pueden o no ser soportadas por un único panel.

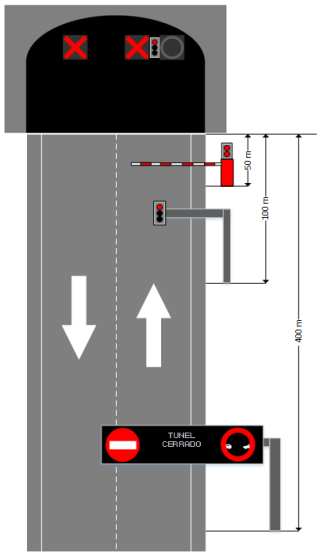


Figura 3 Señalización en accesos túnel bidireccional

4.1.3 Criterios de diseño en la señalización en el interior de los túneles

A continuación se recogen diversos criterios generales que deberán considerar los proyectistas en el diseño de la señalización del interior de los túneles. Más adelante, se ofrecen un ejemplo de soluciones particularizadas para las arquitecturas de túnel más significativas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.3.1 Señalización del estado de servicio de los carriles

Dadas las limitaciones de espacio en el interior de los túneles, la realización de trabajos de conservación, mantenimiento de instalaciones, o la ocurrencia de un incidente en el interior de un túnel provoca en la mayoría de los casos la ocupación parcial o total de uno o varios carriles de tráfico. Esto supone un incremento del nivel de riesgo en estas situaciones que debe ser señalizado convenientemente. Para ello, todo túnel que se encuentre supervisado y controlado de forma remota debe tener instalados conjuntos de señales de afección de carril (señales aspa-flecha) si la longitud del túnel supera los 400 metros. La separación entre dos secciones consecutivas de afección de carril no superará los 400 metros y se intentará que no sea inferior a los 300 metros, siendo la distribución de las secciones uniforme a lo largo del túnel. En la selección de la interdistancia se tendrá en cuenta que una señal sea vista desde la señal anterior. En túneles de dos carriles o más, en al menos las dos primeras secciones (dintel y primera sección interior del túnel) deberá disponer de cuatro aspectos: aspa, flecha, flecha ámbar oblicua izquierda y derecha.

En túneles bidireccionales, las señales de afección deberán ser siempre duplicadas, de modo que cuando en un sentido sea visible el aspa en el opuesto se muestre la flecha, y viceversa.

En túneles unidireccionales que ocasionalmente puedan ser operados como túneles bidireccionales, una de cada dos secciones de señales de afección de carril deberá ser también visible en el sentido contrario al habitual del tráfico.

4.1.3.2 Señales de limitación de velocidad.

Una de las medidas más eficaces para compensar el incremento del nivel de riesgo tanto en el interior del túnel como en las proximidades de la boca de salida es la limitación de la velocidad de circulación en su interior. Considerando la importancia de esta medida, será necesario que en situaciones de riesgo el usuario perciba de manera reiterada el mensaje. En consecuencia, se establece que al igual que se propone con las señales de afección de carril, todo túnel supervisado y controlado de forma remota debe tener instalado conjuntos de señales de limitación de velocidad si su longitud supera los 400 metros.

Cada sección de señales de limitación de velocidad estará constituida por conjunto de “n” señales (una por carril en el sentido de la marcha). Las secciones de señales de limitación de velocidad se harán coincidir con las de afección de carril de manera alterna, por lo que las secciones de señalización, incluida el dintel de entrada, deberán estar formadas por una señal de afección de carril y una señal de limitación de velocidad por carril (el dintel de entrada, además dispondrá de un semáforo RAV entre ellas). Se instalarán señales de limitación de velocidad en secciones alternas de señalización o en

cve: BOB-2025a082-(I-327)

aquellas secciones de señalización en las que se disponga de alguna característica que implique una reducción de velocidad, reducción de carriles, salidas, etc. Con estas distancias se procura que la señalización sea suficientemente reiterativa, sin llegar a ser excesiva, lo que podría ocasionar que los conductores se distrajesen, aumentando el riesgo de accidente. En la selección de la interdistancia se tendrá en cuenta que una señal sea vista desde la señal anterior.

4.1.3.3 Información al usuario.

Algunos incidentes requieren para su adecuada gestión, la transmisión de determinada información a los usuarios. Así, por ejemplo, cuando el tráfico queda bloqueado en el interior de un túnel largo, aumenta el estrés de los conductores y crece su interés por conocer las causas de la detención y el tiempo que durará tal situación.

Todo túnel cuya longitud supere los 800 metros debe contar con paneles de mensaje variable en su interior. La separación entre dos paneles consecutivos no debe ser superior a los 800 metros, siendo su distribución uniforme a lo largo del túnel.

Las características de los paneles dependerán del número de carriles. Así se tiene:

- Túneles de dos carriles por tubo (ya sea bidireccional o unidireccional): Paneles de Mensaje Variable de 1 gráfico y 2 líneas de 12 caracteres como mínimo.
- Túneles de tres o más carriles por tubo (ya sea bidireccional o unidireccional): Paneles de mensaje variable de 1 gráfico y 2 líneas de 16 caracteres como mínimo.

Al instalar los Paneles de Mensaje Variable se debe respetar un gálibo mínimo de 5 metros de altura en toda la calzada, si esto no se cumpliese se estudiará la reducción de líneas del panel como alternativa.

Los paneles de exterior deben ser instalados sobre pórtico visitable, si no fuese posible se instalará sobre banderola visitable tipo “L invertida”.

Los Paneles de Mensaje Variable ubicados en el interior de los túneles contarán con focos ámbar intermitente en las esquinas del panel como refuerzo a la señalización.

4.1.3.4 Ejemplos de soluciones de proyecto de señalización en interior de túnel para diversas arquitecturas.

Los factores que influyen en la configuración y disposición de los elementos que confeccionan la señalización en el interior de los túneles son:

1. Tipo del túnel, unidireccional o bidireccional.
2. Características geométricas (visibilidad dentro del túnel, número de carriles, altura del túnel...).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A continuación se presentan ejemplos de soluciones tipo para las arquitecturas más comunes.

ARQUITECTURA 1. Túnel unidireccional.

Afección de carril.

De acuerdo con los criterios de diseño, si se trata de túneles controlados de forma remota debe tener instalado conjuntos de señales de afección de carril si la longitud del túnel supera los 400 metros. En este ejemplo, la separación entre dos secciones consecutivas de afección de carril se establece entre 300 y 400 metros y no se han incluido las señales del dintel de entrada.

Nótese que aquellos túneles en los que sea de obligado cumplimiento la instalación de señales de afección de carril, ya deben tener instalado una sección de señales de aspa-flecha en el dintel de la boca de entrada según se indica en los criterios de diseño de la señalización en los accesos del túnel.

En el ejemplo, se asume que el túnel puede operar ocasionalmente en modo bidireccional (para la realización de trabajos de mantenimiento en el tubo gemelo y otros casos). En consecuencia, se instalan en sentido contrario a la circulación conjuntos de señales aspa-flecha en una de cada dos secciones de señales de afección carril.

Para túneles de longitudes superiores a los 800 metros se recomienda que se incorpore uno o dos aspectos más en la señal de afección de carril, que incluyan flechas oblicuas ámbar tanto a la izquierda como a la derecha.

Señales de limitación de velocidad

Se prevén secciones de señales de limitación de velocidad en una de cada dos secciones de señales de afección carril.

Información al usuario

Por tratarse de un túnel unidireccional cuya longitud supera los 800 metros se deben instalar paneles de mensaje variable con cuatro focos ámbar intermitente en sus esquinas. La separación entre dos secciones consecutivas de información al usuario se establece en este caso en 800 metros.

En el ejemplo, por tratarse de un túnel de dos carriles por sentido, los paneles de mensaje variable previstos son de 1 gráfico y 3 líneas de 12 caracteres como mínimo.

Si el túnel supera los 800 metros, se deberá tener especial cuidado en la fase de proyecto que las secciones de señalización y aspa-flecha no coincidan en proximidad con el Panel de Mensaje Variable.

cve: BOB-2025a082-(I-327)



Figura 4 Señalización en interior de túnel unidireccional

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ARQUITECTURA 2. Túnel bidireccional.

Afección de carril.

La solución adoptada es similar a la de los túneles unidireccionales, sin embargo, todas las secciones de señales de afección de carril deben ser visibles en ambos sentidos de circulación, por lo que todas las señales estarán duplicadas.

Para túneles de longitudes superiores a los 800 metros y más de dos carriles, se recomienda que se incorpore uno o dos aspectos más en la señal de afección de carril, que incluyan flechas oblicuas ámbar tanto a la izquierda como a la derecha.

Señales de limitación de velocidad

Al igual que en el caso anterior, se prevén secciones de señales de limitación de velocidad en secciones alternas de afección de carril. En cada carril, estas señales sólo serán visibles en el sentido habitual de circulación.

Información al usuario

Si se tratase de un túnel bidireccional cuya longitud supera los 800 metros se instalarán dos paneles de mensaje variable de 1 gráfico y dos líneas de 12 caracteres como mínimo, con cuatro focos ámbar intermitente en sus esquinas, cada 800 metros, uno en cada sentido.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

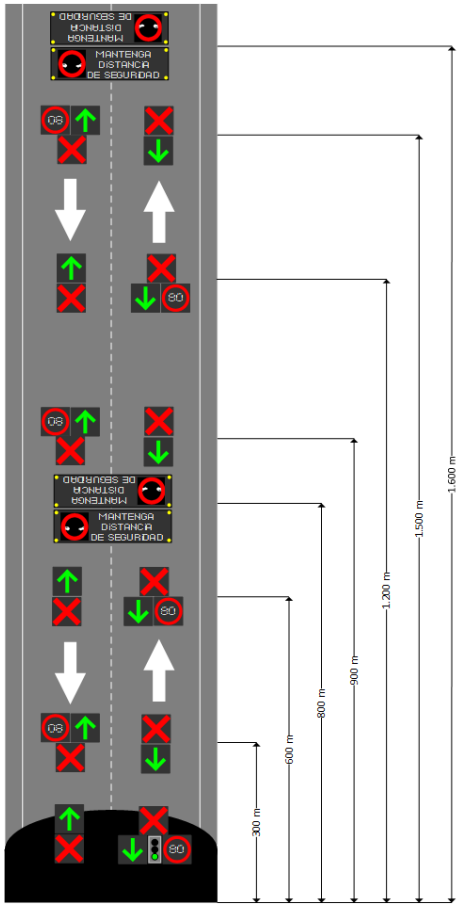


Figura 5 Señalización en interior de túnel bidireccional

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.4 Control de la señalización dinámica de los túneles

Todo túnel que disponga de un sistema de señalización dinámica, ya sea en sus accesos o en su interior debe contar con elementos de control adecuados para su correcto funcionamiento y gestión remota. La señalización de los túneles debe poder accionarse de los siguientes modos:

- Operado remotamente desde el centro de control ya sea manual o automático. Esta es la forma natural de funcionamiento.
- Control local manual, el cual debería restringirse a acciones muy concretas como "activar/desactivar cierre de tubo(s)". En el Plan de Emergencia deberían quedar reflejadas con precisión estas actuaciones. Asimismo, en los locales técnicos deberían estar claramente identificados los elementos que permiten esta funcionalidad y su utilización.
- Control local automático, se realizará llevándola a un estado preestablecido en el caso de pérdida de comunicaciones con el centro de control. Este estado puede ser:
    - Mantener el último estado de señalización en el caso de que el túnel disponga de personal de primera intervención que llegue al control local del túnel de forma rápida.
    - Quitar toda la señalización en cualquier otro caso.
    - Pasar a modo degradado y actuar según el plan.

  Las actuaciones de control local automático deben definirse en el Plan de Emergencia.

Todo el sistema de control y señalización debe disponer de un sistema de alimentación ininterrumpida que asegure su funcionamiento en escenarios degradados por pérdidas temporales de suministro eléctrico.

El control y supervisión de los elementos instalados en los accesos y el interior de los túneles se realiza a través de una o varias Estaciones Remotas Universales de Túneles (ERUT) o PLC. Estos elementos pertenecen al sistema de control centralizado, y son los encargados de transmitir las órdenes y actuaciones recibidas desde el centro de control a cada uno de los elementos que integran la señalización dinámica en los accesos y el interior de los túneles. De forma inversa adquieren las señales y alarmas generadas por los elementos que conforman la señalización en los accesos y las transmiten al centro de control.

La actuación y adquisición de señales e información de los elementos situados en el túnel por parte de las ERUT o PLC se pueden realizar mediante una comunicación a través de protocolos de comunicación o directamente a través de señales analógicas y digitales, actuando a través de contactos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.5 Paneles de Mensaje Variable (PMV)

Los paneles de mensaje variable permiten difundir mensajes a los conductores que transitan por la vía utilizando elementos individuales que pueden encontrarse en uno de varios estados, pudiendo crear así varios mensajes en la misma cara del panel.

Para definir las especificaciones a cumplir por los distintos tipos de paneles considerados en esta Norma, se toma como referencia la Norma Europea EN 12966 sobre Paneles de Mensaje Variable, redactada por el comité técnico CEN/TC 226 “Equipos para carreteras”.

En un panel de mensaje variable se puede distinguir una zona gráfica y una zona alfanumérica. La parte gráfica es full-color y en ella se puede representar desde un gráfico, pictograma o texto. La zona alfanumérica está compuesta por una o varias líneas de caracteres en las cuales se muestran textos.

La tecnología que se emplea en los paneles de mensaje variable es tecnología LED. Los distintos paneles que se engloban en esta instrucción técnica se refieren a configuraciones formadas por zonas gráficas full-color y alfanuméricas con varias líneas de caracteres.

Esta instrucción técnica será de aplicación a los paneles o señales de mensaje variable que se instalen en los accesos a los túneles y en su interior.

4.1.5.1 Características técnicas del panel de mensaje variable

Un panel de mensaje variable estará formado por los siguientes elementos y sistemas: placas visualizadoras, fuente de alimentación, sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), carcasa, ventanas de acceso, calefacción, ventilación, CPU y sistema de comunicaciones. Los PMV deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Norma UNE-EN 12966:2015.

El ángulo de visión de los LED será tal que la visión conjunta del panel sea nítida en todo el margen de visualización del mismo. Como referencia, éste comprende todo el ancho de calzada, en el rango comprendido desde la ubicación del panel hasta una distancia aproximada de 200 metros. Empleando la nomenclatura de la norma UNE-EN 12966, se establece como parámetros mínimos de prestaciones fotométricas los siguientes:

- Luminancia: Clase L3
- Relación de Contraste: Clase R2
- Ángulo: B4 para tronco de autopista e interior de túnel, B6 para entornos urbanos y ramales de accesos.
- Color: Clase C2

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En cuanto a las prestaciones físicas:

- Temperatura: T2 (entre -25ºC y 55ºC)
- Protección: P2 (IP55)
- Resistencia a la polución clase D3

4.1.5.2 Estructura soporte de la señalización variable

En función de si se trata de la señalización en los accesos como en el interior la ubicación varía se tiene:

- Señalización dinámica en los accesos de los túneles.

  En el apartado de la arquitectura de la señalización se precisa la separación entre los elementos que componen la señalización y las distancias con la boca del túnel.

  El panel en este caso deberá ser instalado sobre un pórtico de aluminio o de acero galvanizado, que debe ser visitable por al menos dos personas para labores de mantenimiento. En caso que por las características del trazado no pueda ser instalado un pórtico, por ejemplo si la mediana es insuficiente, se colocará una banderola también visitable donde se instalará el panel en cuestión.

- Señalización dinámica en el interior del túnel.

  Los paneles de mensaje variable irán instalados sobre una estructura anclada en la parte más alta de la sección del túnel y siguiendo las arquitecturas establecidas para ello.

- Báculos para semáforos y otra señalización.

En fase de proyecto los pórticos deberán asegurar que cumplen la UNE-EN 12899. Para el cálculo de las cargas y soportes para los pórticos y banderolas se considerará todo lo dispuesto en el apartado 5.3.2 de la UNE-EN 12899.

Las cimentaciones se dimensionarán como zapatas aisladas, de acuerdo con las prescripciones de la instrucción EHE, admitiendo la presión máxima de contacto que se deduzca de los ensayos geotécnicos realizados en el terreno.

4.1.6 Señales aspa-flecha y limitación de velocidad variable

Las señales de aspa-flecha y las señales de límite de velocidad variable son señales que pueden mostrar varios aspectos (pictogramas). El encendido de los distintos aspectos se realiza a través de un circuito microprocesador incorporado en la señal, el cuál recibe la información del pictograma o figura que debe mostrar en cada momento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Esta instrucción técnica será de aplicación a las señales de aspa-flecha y señales de límite de velocidad variable de tecnología LED que se instalen en los accesos e interior de los túneles.

4.1.6.1 Características técnicas de las señales de afección de carril y limitación de velocidad

Las señales de afección de carril deberán cumplir con los requisitos establecidos en la Norma EN 12966.

La señal de límite de velocidad variable representará el límite de velocidad pudiendo configurarse hasta con tres dígitos.

Las señales aspa-flecha están compuestas por cuatros aspectos diferenciados:

- Aspa roja: formada por LEDs de color rojo.
- Flecha vertical verde: formada por LEDs de color verde.
- Flecha oblicua derecha: formada por LEDs de color ámbar.
- Flecha oblicua izquierda: formada por LEDs de color ámbar.

Cada una de estos aspectos o pictogramas estarán formados por un conjunto de LEDs, activándose cada grupo de LEDs de forma conjunta. Cada pictograma se activa de forma individual no pudiendo representarse más de una figura al mismo tiempo. La altura mínima de dicho pictograma será de 800 mm. Los píxeles deben tener una luminosidad suficiente para ser vistos con luz diurna e incidencia solar directa.

Las señales de LED en las que se limita la velocidad, según las condiciones del túnel, están constituidas por dos partes:

- Orla roja: formada por tres circunferencias concéntricas de leds rojos. El diámetro de la circunferencia de radio mayor debe ser como mínimo de 800 mm.
- Dígitos. Los dígitos se presentarán por medio de una placa visualizadora de leds formada por una matriz de píxeles. Los píxeles estarán compuestos con un mínimo de 4 leds. El tamaño del dígito debe ser como mínimo de 300 mm.

El ángulo de visión de los LEDs será tal que la visión conjunta del panel sea nítida en todo el margen de visualización del mismo. Como referencia, éste comprende todo el ancho de calzada, en el rango comprendido desde la ubicación del panel hasta una distancia aproximada de 200 metros. Empleando la nomenclatura de la norma UNE-EN 12966, se establece como parámetros mínimos de prestaciones fotométricas los siguientes:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Luminancia: Clase L3
- Relación de Contraste: Clase R2
- Ángulo: B4 para tronco de autopista e interior de túnel, B6 para entornos urbanos y ramales de accesos.
- Color: Clase C2

En cuanto a las prestaciones físicas:

- Temperatura: T2 (entre -25ºC y 55ºC)
- Protección: P2 (IP55)
- Resistencia a la polución clase D3

Toda la señalización dinámica deberá tener un sistema de alimentación ininterrumpida que proporcione tensión a la señal en caso de fallo eléctrico.

4.1.7 Semáforo exterior

Los semáforos exteriores deberán cumplir con los requisitos establecidos en las “Recomendaciones para la aplicación de la Norma Europea de semáforos UNE-EN 12368:2015 a los semáforos de LEDs”.

Como características deberá:

- Serán modulares. La unidad módulo es el foco de diámetro de lente de 300 mm.
- Los semáforos estarán compuestos por tres focos: Rojo, Verde y Ámbar.
- Los semáforos de barrera estarán formados por 2 focos: Rojo, Rojo también de dimensiones 200 mm instalándose de forma que se garantice su visibilidad (empleando un báculo independiente, un brazo dedicado, etc.
- Incorporarán visera para facilitar contraste luminoso.
- Los focos serán de tipo N.
- La intensidad luminosa alcanzará al menos las prestaciones de nivel 2, clase 1 indicadas en la norma UNE-EN 12368.
- Resistentes a intemperie, atmósfera sucia y corrosión.
- Margen de temperatura clase A, de -15 a 60ºC
- Grado de protección IP-55
- Resistencia a la corrosión según CEI 68.2-11K

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.8 Barreras de cierre

Las barreras tienen que llevar asociada una señalización acústica y luminosa con objeto de prevenir en lo posible la colisión de vehículos contra éstas. La señalización se compondrá de un semáforo rojo-rojo por barrera (de características descritas en el apartado anterior) y una sirena para advertir a los conductores de la bajada de la barrera.

En relación a las **características físicas**, el movimiento natural de la barrera es vertical, en su posición de reposo se encuentra subida permitiendo el paso de los vehículos y se baja para prohibir la entrada al túnel. Además, las barreras deben ser degondables. El brazo debe ser construido en material ligero y deformable. La barrera debe cubrir la calzada si no es posible con una barrera se instalarán dos, una en cada lateral de la calzada. La configuración de las barreras en posición horizontal deberá permitir el paso de los vehículos de emergencias.

El brazo del mástil tiene que estar pintado con franjas rojas y blancas reflectantes para que sea visible para los conductores que se acerquen hacia él. En este punto debe reforzar la visualización de la barrera incluyendo alguno de los elementos tales como la instalación de: flecos reflectantes, una señal de STOP en el mástil, una tira de luces LED que se mantendrá encendida cuando no esté en su posición vertical.

La carcasa que contiene el motor eléctrico que realiza el movimiento vertical del mástil, así como la electrónica necesaria para el control y las protecciones necesarias, con un grado de protección IP-54 como mínimo.

Referente a las **características eléctricas y electrónicas**, la lógica de mando y control de la barrera se realiza mediante microprocesador con programa interno. La barrera tiene que poder ser controlada tanto de forma local como remota mediante una comunicación RJ-45, contactos o serie: RS-232, RS-422 o RS-485. Se permite el control remoto sobre la subida, bajada, bloqueo y detección de obstáculo.

El control de la barrera tiene que permitir la detección de un obstáculo durante la bajada a través de un sistema electrónico anti-aplastamiento (ya sea fotocélula o espira) que realice la parada inmediata del movimiento. En caso de fallo de alimentación la barrera permanecerá en su posición vertical.

4.2 Control de Gálibo

4.2.1 Introducción

Sistema que evita que entren en un túnel vehículos que sobrepasen el gálibo admitido. Todo túnel cuyo gálibo de circulación libre para los vehículos sea igual o inferior a 5 metros debe contar con un sistema de control de altura para evitar que aquellos vehículos que superen la altura máxima entren en el túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se exceptúan los túneles de vías de peaje en las que no sea posible el acceso a los túneles de vehículos con exceso de gálibo, por realizarse este control en las áreas de peaje.

Los principales elementos de los que consta el sistema de gálibo son:

- Señal vertical fija de aviso de control de gálibo.
- Control de gálibo mecánico y electrónico.
- Señal oculta de exceso de gálibo que se activa de forma local cuando se salta la alarma electrónica de exceso de gálibo.

El sistema de control de gálibo se debe situar a una distancia que permita detener el vehículo en una zona segura (apartadero o similar) o que permita tomar un desvío alternativo antes de que este entre en el túnel.

Si el túnel dispone de instalaciones para cerrar el acceso (señalización dinámica), el área de parada reservada para los vehículos con exceso de gálibo se situará con antelación a dichos equipos de cierre de túnel. Las áreas de parada deben disponer de un sistema de comunicación con el centro de control para que los usuarios con vehículos con exceso de altura puedan recibir instrucciones de los operadores.

En aquellos puntos en los que un exceso de gálibo no suponga la parada del vehículo, sino un cambio de itinerario, no será necesario prever una zona de parada de los vehículos con exceso de gálibo.

Si el túnel se encuentra en una vía de alta capacidad se recomienda duplicar el sistema de control de gálibo ubicando otro control antes del último desvío.

4.2.2 Criterios de diseño

La distancia entre cada uno de los elementos e instalaciones que integran el gálibo tiene que ser de tal manera que el usuario tenga el tiempo suficiente para poder reaccionar a la señalización y así poder efectuar las maniobras necesarias de manera segura.

El control de gálibo en los accesos del túnel debe tener instalado:

- Señal de preaviso de control de gálibo.
- A 150 metros, pórtico de control de gálibo de acero de 6 metros con detección electrónica y mecánica de altura que detecte la altura máxima autorizada de gálibo el túnel.
- A 200 metros de la detección del gálibo se sitúa la señal oculta de exceso de altura en el lado derecho según el sentido de la circulación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- A 150 metros de la señal oculta, si no es posible redireccionar los vehículos por un itinerario alternativo, se dispondrá del área reservada para la detención del vehículo con gálibo excesivo. Se ha previsto la instalación de un poste SOS para que el usuario pueda comunicarse con el Centro de Control

Las distancias entre los elementos del control de gálibo y entre éstos y la boca de los túneles se podrán adaptar en función de las características del entorno y a la geometría particular del trazado de la vía (visibilidad de la señalización en las inmediaciones, visibilidad de la entrada al túnel desde el sitio de parada, proximidad del último desvío, velocidad de la vía...).

Se presentan las distintas arquitecturas de señalización en los accesos del túnel con los criterios para adoptar cada una de ellas.

La Figura 6 muestra la arquitectura del control de gálibo instalado en los accesos de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

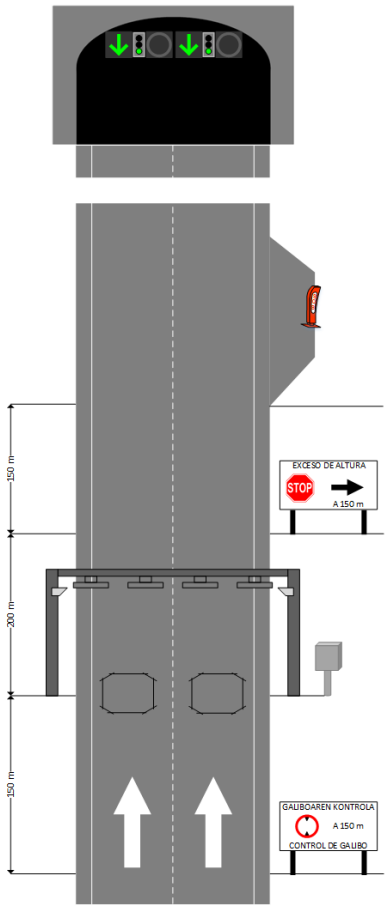


Figura 6 Sistema de gálibo

4.2.3 Señal vertical fija de control de gálibo

La señal previa informativa sirve para informar a los conductores del gálibo permitido en el túnel y la elección de rutas alternativas en caso que se sobrepase dicho gálibo.

La señal de preaviso de control de gálibo deberá cumplir con la normativa vigente sobre Señalización Vertical, Norma 8.1-IC del Ministerio de Fomento del Gobierno de España.

4.2.4 Control de gálibo electrónico y mecánico

El control de gálibo está formado por los siguientes equipos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1. Un equipo detector electrónico redundante (tipo espira-fotocélula, doble fotocélula u otros) que detecte la altura mínima que tenga autorizada de gálibo el túnel.
2. Se instalará sobre un pórtico (de acero galvanizado o aluminio) de control de gálibo de 6m de altura. En caso que no sea posible la instalación de un pórtico, se permitirá la instalación en columnas. El pórtico, o columna, dispondrá de un perfil para poder regular el gálibo deseado. En caso de instarse sobre pórtico, debe disponer de un sistema mecánico de gálibo para que el conductor advierta que ha sobrepasado la altura máxima permitida.
3. El control electrónico del sistema de gálibo se realiza a través de un dispositivo programable tipo PLC o similar. Este equipo recibe todas las señales de los detectores, fotocélula, señal oculta y las suyas propias, las procesa y transmite la señal correspondiente (alarma de gálibo o alarma de sistema) al centro de control, a la vez que envía la orden de encendido a la señal oculta. La señal oculta es controlada localmente por este equipo, que al recibir la señal de exceso de gálibo por la barrera de infrarrojos, envía la señal de activación de la señal oculta.

4.2.5 Señal oculta

La señal oculta, de tecnología LED, se situará en el lado derecho, según el sentido de la circulación, y a una distancia de 200 metros de la detección de gálibo en el sentido de la marcha. La distancia dependerá de cada emplazamiento en particular. La señal oculta se activa de forma local mediante la señal combinada del detector de vehículos y del detector de altura. Para determinar la altura del carácter de la señal, se debe cumplir:

- La señal oculta activada deberá ser visible para el conductor durante un mínimo de 6 segundos.
- La máxima distancia a la que se puede leer un mensaje es igual a 800 veces la altura de la letra o símbolo.

Por lo que la altura del tamaño de los caracteres, en metros, vendrá determinado por la siguiente ecuación:

$$Altura_{caracter} = \frac{Velocidad_{VIA}\ (en\ {}^{m}/_{s}) \cdot 6\ segundos}{800}$$

La señal deberá contener, además del texto indicando el exceso de altura y/o la prohibición de entrada al túnel, una señal indicando la necesidad de parar o desviar el vehículo para que no circule por el interior del túnel, así como una flecha y la distancia de la parada o el desvío. Para señales instaladas antes de un área de parada, la señal será un STOP y la distancia al punto de detención. Para señales instaladas antes de un desvío, el aspecto será el adecuado para describir el desvío alternativo, así como la distancia al punto de desvío.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.5.1 Características de la señal oculta

La dimensión de la señal vendrá determinada por el mensaje a mostrar, la velocidad de la vía, que determina el tamaño de los caracteres, y por los elementos a incluir en la señal (STOP, flecha, distancia…). Deberá cumplir con la UNE-12666 y particularmente con

- Grado de protección IP55
- Cuerpo metálico con tratamiento anticorrosión
- Puertas traseras con cerraduras antivandálicas.

La señal oculta debe tener un sensor de luminosidad para adaptarla a la luminosidad exterior y tener un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) que proporcione tensión a la señal al menos durante 15 minutos en caso de fallo eléctrico, o estar alimentada por el SAI general del túnel.

4.3 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos

4.3.1 Introducción

Este sistema detecta el paso de vehículos por la vía, con el objetivo de contar y clasificar el volumen del tráfico. Gracias a este sistema el operador de control dispone de información y alarmas sobre el estado del tráfico en tiempo real.

Con los datos sobre el estado de la circulación de vehículos, los sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos pueden presentar dos funcionalidades:

- aforador de tráfico con finalidad estadística, proporcionando información sobre flujo, ocupación, velocidad, distancias entre vehículos, porcentaje de vehículos pesados.
- detector automático de incidentes de tráfico: se generan alarmas de retenciones, vehículos circulando en sentido contrario, vehículos a velocidades excesivas.

Es obligatorio que los túneles de Tipo I y II cuenten con un sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos.

Los Sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos por sensores, detectores y estaciones de toma de datos, detectan la presencia y/o paso de un vehículo, que es recibida por el detector y la transmiten adecuadamente a la estación de toma de datos, las cuales realizan el cálculo de las variables de tráfico y las transmiten al sistema de control centralizado. El sistema detector puede ser: un lazo magnético, una cámara de visión, un sistema infrarrojo, un radar, sistemas de ultrasonidos o cualquier otro sistema que surja como avances en dicha tecnología de detección, clasificación y contaje, en este último caso deberá ser validado por el Organismo de Inspección Técnica de Túneles de Bizkaia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Cada uno de ellos deberá ser instalado conforme a las características que indique el fabricante para su uso y emplazamiento final.

Los parámetros básicos de tráfico, que podrán estar integrados en un periodo no superior a los 5 minutos y que debe proporcionar el sistema de aforamiento, serán como mínimo:

- Flujo de vehículos
- Ocupación
- Velocidad
- Distancia entre vehículos (GAP)
- Clasificación (dos clases)
- Porcentaje de vehículos pesados

Estos valores se darán por clase de vehículo, distinguiéndose como mínimo dos clases. Las alarmas que generará y transmitirá de manera inmediata e independiente al resto de parámetros de tráfico estadísticos son:

- Retenciones, congestión o atascos
- Vehículos circulando en sentido contrario

4.3.2 Funcionalidades de los sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos

Los sensores generan la señal de presencia y/o paso de un vehículo, que es recibida por el detector y la transmiten adecuadamente a la central de tratamiento y comunicación las cuales realizan el cálculo de las variables de tráfico y las transmiten a las Estación Remota Universal de Túnel o PLC.

Los sensores emplean distintas tecnologías para detectar la presencia de un vehículo durante un cierto tiempo en un carril. Los detectores recogen y miden las alteraciones de la señal empleada por los sensores, convirtiéndolas en señales digitales, que son transmitidas a la unidad de proceso. Por último ésta genera los parámetros básicos de tráfico y a partir de ello la información del estado de la circulación en esa vía.

En función de la tecnología, los sensores pueden ser:

- Sensores de lazo inductivo.
- Sensores por radar microondas.
- Sensores por infrarrojos.
- Sensores por láser.
- Ultrasonidos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Sensores de visión artificial por ordenador (cámaras).

Para los sensores de lazo inductivo, las estaciones de toma de datos, tras procesar las señales de los detectores, transmiten los datos y alarmas generadas a la Estación Remota Universal de Túnel (ERUT) o PLC utilizando los protocolos de Aplicación definidos en la Norma UNE 135421 "Equipamiento para la señalización vial. Estaciones de toma de datos.". Por último es la ERUT o el PLC, el que transmite esta información al centro de control.

El sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos por visión artificial está compuesto por un equipo de digitalización y tratamiento de imágenes (analizador) y de un servidor central. Si la cámara no dispone de analizador integrado, las señales de las cámaras fijas se transmiten por el Circuito Cerrado de Televisión hasta donde se ubican los analizadores para conectarse a ellos. Debido a la configuración del sistema de control de túneles en la Diputación de Bizkaia donde todos los túneles se centralizan en los Centros de Control de túneles, se recomienda dotar con ese sistema de detección a los túneles que dispongan de un sistema de CCTV con cámaras fijas.

4.3.3 Criterios de diseño en los sistemas de detección, clasificación y contaje de vehículos

Todo túnel que se pretenda controlar y actuar de forma remota debe disponer de un sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos para conocer en todo momento la situación del tráfico tanto en el interior del túnel como en sus accesos.

La localización y distribución sistema de detección, clasificación y contaje de los vehículos en el interior del túnel depende de la funcionalidad que presente el sistema de estaciones de datos:

- Aforador de tráfico con finalidad estadística.
- Detector automático de incidentes de tráfico.

Se presentan las distintas arquitecturas de distribución de las estaciones de datos en el interior de los túneles.

ARQUITECTURA 1. En aquellos túneles con longitud superior a 200 metros se deberán instalar un sistema de detección, clasificación y contaje de los vehículos que circulan por la vía con la única función de aforar. Para ello, se deberá dotar a los túneles de un mínimo de dos secciones de detectores por túnel, situadas en las proximidades del acceso y de la salida del mismo, se recomienda que la sección instalada en la boca de salida, sea situada al menos a 100 metros en el exterior del túnel con el objetivo de detectar colas que estén creciendo y progresando hacia el interior del túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se deben dotar con detectores a todos los ramales de acceso o salida y los carriles pertenecientes a bifurcaciones o confluencias de calzadas en el interior del túnel para la adquisición de los datos estadísticos.

Como consideración constructiva, se recomienda la instalación de los sistemas de detección, clasificación y contaje de los vehículos coincidiendo con las secciones dónde se encuentren los postes SOS, en aquellas situaciones que se opte por soluciones de sensores de detección y clasificación dedicados.

ARQUITECTURA 2. Túneles en los que se vayan a instalar un sistema de detección, clasificación y contaje de los vehículos que circulan por la vía y se le quiera dotar adicionalmente con la función de detección automática de incidentes de tráfico.

En este caso se distribuirán estaciones detectoras en el interior del túnel. La separación entre dos estaciones detectoras no debe superar los 200 m, debiéndose ubicar puntos de detección en los apartaderos, si el túnel dispone de esta infraestructura.

Como consideración constructiva, se recomienda la instalación de los sistemas de detección, clasificación y contaje de los vehículos coincidiendo con las secciones dónde se encuentren los postes SOS, en aquellas situaciones que se opte por soluciones de sensores de detección y clasificación dedicados.

4.4 Control ambiental

La finalidad del sistema de control ambiental es la detección de las condiciones medioambientales que permita o posibilite la información a los usuarios de la existencia a la salida del túnel de condiciones adversas y que éstos puedan modificar su conducción de forma adecuada.

Los fenómenos meteorológicos más relevantes a efectos de seguridad vial y que se deben controlar:

- Falta de visibilidad por niebla u otro fenómeno.
- Lluvia.
- Vientos de intensidad fuerte, en particular, vientos laterales.
- Formación de hielo en la calzada.

En general, la niebla es el fenómeno meteorológico que causa un mayor número de accidentes de tráfico por dificultar de manera notable la visibilidad. Con el fin de poder informar a los usuarios y señalizar el riesgo se instala un detector de niebla o visibilímetro.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Para la detección de otros fenómenos meteorológicos adversos, como lluvia, viento, nieve, e incluso la presencia de hielo en la calzada se instalan otros sensores. Cuando se instalan un conjunto elevado de sensores estos se agrupan en lo que se denomina Sensor de Variables Atmosféricas en Carreteras (SeVAC).

Se define como unidad de SeVAC, a la unidad electrónica basada en un microprocesador, al cual están conectados el conjunto de equipos, sondas, mástiles, correctores de datos y energía, instalaciones de alarmas y las realizaciones o actuaciones necesarias para el alojamiento, conexión y puesta a punto, en el lugar determinado en los accesos de los túneles, incluso obra civil.

El SeVAC debe generar alarmas en presencia de fenómenos meteorológicos adversos o la previsión de que esto ocurra de manera inminente.

4.4.1 Criterios de diseño en el control ambiental

El SeVAC se compone de un conjunto de equipos y sensores, los cuales realizan medidas sobre diferentes magnitudes. De este modo no existe un único SeVAC sino varios, dependiendo de los sensores que lo componga. Los sensores o sondas de los que debe disponer un SeVAC, son:

- Anemómetro: Instrumento que sirve para medir la componente horizontal de la velocidad del viento.
- Veleta: Instrumento que sirve para medir la dirección del viento.
- Sensor de Calzada: Dispositivo pasivo y/o activo para su instalación en el pavimento, cuya funcionalidad es medir continuamente los distintos parámetros presentes en la superficie de rodadura. Los datos que proporciona el sensor una vez tratados son:
    - Temperatura
    - Calzada seca, húmeda, mojada, húmeda ó mojada con aditivos
    - Punto de congelación
    - Altura de la película de agua
    - Presencia de nieve, escarcha o hielo
    - Riesgo de formación de hielo en calzada y punto de congelación de la mezcla líquida en calzada
- Sensor de visibilidad: Realizará la medida de presencia de niebla u otros agentes reductores de la visibilidad.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Higrómetro: es un sensor de humedad y realiza la medición de las condiciones de humedad relativa, deduciéndose las del asfalto, ya sea seco, húmedo o mojado, suministrando la variación del coeficiente de rozamiento a la rodadura correspondiente.
- Temperatura: es la unidad de medida de la intensidad de calor.

Los SeVAC se deben instalar en los accesos de los túneles que presenten condiciones meteorológicas especialmente adversas, presentando riesgo para los usuarios de la vía o que puedan presentar diferencias meteorológicas significativas entre ambas bocas, principalmente cuando comuniquen valles y/o cuencas diferentes.

4.4.2 Elementos de los SeVAC

Los SeVAC deberán cumplir con lo establecido en la Norma UNE 199071 “Equipamiento para la gestión del tráfico. Sensores de variables medioambientales en carretera. Sensores de variables atmosféricas en carretera”, donde se describe el equipo y su equipamiento, se establecen los requisitos físicos y funcionales y se definen los protocolos de enlace y aplicativos en la comunicación entre este equipo y la ERU/T o PLC.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 SISTEMA DE VÍDEO EN CIRCUITO CERRADO Y DETECCIÓN AUTOMÁTICA DE INCIDENTES

El circuito cerrado de televisión es un sistema de vigilancia y control del estado del túnel. Con este sistema el operador del centro de control puede visualizar desde el centro de control imágenes del túnel, con los siguientes objetivos:

- Detectar incidentes en el túnel o servir de herramienta para la confirmación de incidentes detectados por otros medios.
- Permitir el seguimiento de la evolución de los incidentes hasta su resolución, particularmente aquellos incidentes que requieran evacuación.
- Registrar las imágenes donde se desarrolle el incidente que posteriormente se utilizará para la mejora de la explotación tanto en aspectos preventivos como correctivos de la gestión de incidentes.

Es imprescindible la instalación de un sistema de circuito cerrado de televisión en cualquier túnel que se pretenda controlar y actuar de forma remota. Cualquier túnel que según la definición del Decreto Foral de Seguridad en Túneles sea de Tipo I y II dispondrá de circuito cerrado de televisión.

Los principales elementos de los que consta un circuito cerrado de televisión son:

- Cámara: elementos encargados de recoger la información visual y transformarla en señal de vídeo
- Sistema de transmisión de la señal: Conjunto de emisores, receptores y cableado empleados en la transmisión de la señal de vídeo desde la cámara hasta el centro de control.
- Sistema de selección, control y visualización de las imágenes: a partir de las señales de video que llegan desde el túnel se realiza el control de alarmas y conmutación (matrices o servidores de vídeo) a los monitores donde se reconvierte la señal de vídeo en imagen luminosa visible.
- Detección Automática de Incidentes (DAI): sistema de procesado digital de imágenes para la detección de incidencias en tiempo real.
- Equipos de grabación: almacenan las imágenes de forma temporal o permanente.
- Elementos auxiliares de fijación, conexionado y alimentación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.1 Cámaras

Las cámaras son los equipos que recogen la información visual y la convierten en señales de video. Hay diversos tipos de cámaras según sus características y finalidad para los que se utilizan.

5.1.1 Criterios para la ubicación de las cámaras

Se deben instalar cámaras para conseguir una cobertura visual del 100% del túnel sin ángulos muertos ni puntos ciegos, para ello la separación entre cámaras no debe exceder los 100 metros. Con una interdistancia superior se corren riesgos de empeorar sustancialmente el funcionamiento del DAI. La distancia deberá ser fijada por un estudio previo validado por el suministrador del sistema DAI a instalar en el túnel.

En el diseño de ubicación se debe asegurar que los siguientes puntos singulares tengan una buena visibilidad por cámaras:

- En el Túnel:
  - Postes SOS.
  - Entradas y salidas de evacuación.
  - Arcén del carril lento.
  - Anchurones y apartaderos (si dispone).
  - Señalización variable interior (si dispone).
  - Frente a las galerías de evacuación.
  - Accesos al túnel.
- En las Galerías de Evacuación (si dispone):
  - Interior de galerías de evacuación.
  - Cámara de presurización o vestíbulo presurizado (si dispone).
- En los Locales Técnicos y Centro de Control.
  - Interior de los locales técnicos.
  - Accesos al Centro de Control.
  - Interior de las zonas sensibles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Como norma general en los tramos rectos de túneles unidireccionales las cámaras se instalan en la clave del túnel para mejorar la operación de los sistemas DAI. Cuando un túnel tuviese un tramo con una curvatura pronunciada puede interesar ubicar las cámaras en el lado exterior de la curva, ya sea el hastial izquierdo o el derecho, en este caso de deberá realizar un estudio completo de la visibilidad de las cámaras instaladas.

La altura de las cámaras en el interior del túnel puede varias ubicándose a una altura que permita el gálibo del túnel, siempre por debajo de las luminarias de alumbrado del túnel y asegurándose que éstas no produzcan deslumbramientos en la cámara, ni entorpezcan el ángulo de visión de las mismas.

A la hora de ubicar e instalar las cámaras se debe evitar el riesgo de deslumbramiento que se producen en los accesos y salidas de los túneles, debido al cambio de luminosidad que se origina en estos puntos.

Las galerías de evacuación, locales técnicos y el centro de control deben disponer de cámaras para la detección de presencia y visualización de personas. En el interior de las galerías de evacuación se instalarán cámaras. Deben disponer de algoritmos de detección de movimiento o en su defecto detectores de presencia asociados a cada cámara.

Los accesos del túnel deben estar vigilados por cámaras motorizadas con posicionador y zoom, o DOMO con control de posición y zoom. Para mejorar la visibilidad se recomienda su instalación sobre mástil de 15 metros de altura, ya sea fijo o abatible.

Se recomienda la instalación de una red de cámaras termográficas con una doble finalidad: detección temprana de incrementos térmicos y visión en condiciones adversas. La ubicación de las mismas será definida en el proyecto correspondiente.

5.1.2 Principales características

Se deben instalar cámaras que proporcionen imágenes en color del área de vigilancia. La resolución mínima en todos los casos de las cámaras será Full HD. La cámara debe disponer de algún sistema que mejore sus prestaciones en caso de baja visibilidad, con las que llegar al menos a 0,05 lux. La relación Señal Ruido (S/N) no debe ser inferior a los 60 dB.

5.2 Especificaciones técnicas

5.2.1 Cámaras Fijas

Se recomienda la instalación de cámaras fijas que cumplan con los requisitos mínimos que a continuación se especifican:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Funciones Básicas

- Rendimiento en condiciones de baja iluminación con una sensibilidad mínima de 0,05 lx en color.
- Flujos H.264, H.265 y M-JPEG.
- Flujo independiente de imágenes para visualización y para grabación remota.
- Conexiones con soporte ONVIF, para su integración en proyectos de gran envergadura que permitan una interoperabilidad entre productos de video de cualquier fabricante.

Certificaciones y homologaciones:

- Resolución Full HD
- Normativa ONVIF: EN 50132-5-2.
- Escaneado progresivo
- Directivas de la CE: EN60950-1.

Especificaciones técnicas

- Red
  - Protocolos. IPv4, IPv6, UDP, TCP, HTTP, HTTPS, RTP/ RTCP, IGMP V2/V3, ICMP, ICMPv6, RTSP, FTP, Telnet, ARP, DHCP, SNTP, SNMP (V1, MIB-II), 802.1x, DNS, DNSv6, DDNS, SMTP, iSCSI, UPnP (SSDP), DiffServ (QoS), LLDP, SOAP, CHAP, Digest Authentication.
  - Ethernet: 10/100/1000 Base-T, detección automática, dúplex completo/semi-dúplex
  - Conector red RJ-45 o fibra óptica.
  - Conectividad Perfil S de ONVIF, Auto MDIX.
- Óptica
  - Control de enfoque.
  - Ajuste del foco motorizado.
  - Control del iris automático.

Especificaciones técnicas de la Carcasa Exterior

- Debe disponer de un diseño sólido cumpliendo con normas IP66.
- Certificados y homologaciones
  - Inmunidad: conforme a EN 50130-4 (CE), EN 55022

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Especificaciones técnicas Lentes

- Óptica de alta calidad para su uso con sensores HD y procesamiento avanzado.
- Control de enfoque y zoom.

5.2.2 Cámaras DOMO

Se recomienda la instalación de cámaras DOMO que cumplan con los requisitos mínimos que a continuación se especifican:

Funcionalidades básicas

- Cámara IP día/noche con zoom óptico, amplio rango dinámico (WDR) y modo de equilibrio de blancos.
- Rendimiento en condiciones de baja iluminación con una sensibilidad mínima de 0,05 lx en color.
- Flujos H.264, H.265 y M-JPEG.
- Flujo independiente de imágenes para visualización y para grabación remota.
- Conexiones con soporte ONVIF, para su integración en proyectos de gran envergadura que permitan una interoperabilidad entre productos de video de cualquier fabricante.

Especificaciones técnicas

- Lentes de zoom óptico mínimo 18x asegurándose un nivel mínimo de observación según el estándar EN 50132
- Red:
    - Compresión de vídeo en H.264 (ISO/IEC 14496-10), H.265 y M-JPEG.
    - Ethernet 10/100/1000 Base-T/TX, RJ45 o fibra óptica.
    - Protocolos. IPv4, IPv6, UDP, TCP, HTTP, HTTPS, RTP/ RTCP, IGMP V2/V3, ICMP, ICMPv6, RTSP, FTP, Telnet, ARP, DHCP, SNTP, SNMP (V1, MIB-II), 802.1x, DNS, DNSv6, DDNS, SMTP, iSCSI, UPnP (SSDP), DiffServ (QoS), LLDP, SOAP, CHAP, Digest Authentication.

Especificaciones medioambientales

- Debe disponer de un diseño sólido cumpliendo con normas IP66, tanto para exterior como interior.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Certificados y homologaciones

- Resolución Full HD
- Normativa ONVIF: EN 50132-5-2.
- Escaneado progresivo
- Directivas de la CE: EN60950-1.

5.2.3 Cámaras Termográficas

Este sistema de vigilancia está basado cámaras que operan en longitudes de onda de visión del infrarrojo térmico. Se recomienda la instalación de una red de cámaras termográficas con una doble finalidad: detección temprana de incrementos térmicos y visión en condiciones adversas. En túneles de nueva construcción o adecuaciones de túneles ya existentes, la configuración de cámaras térmicas instaladas será de tal forma que cubra completamente la calzada del túnel. Será posible la sustitución del sistema de Detección Lineal de Incendios por un sistema que disponga de un sistema DAI-CCTV (del espectro visible) y Cámaras termográficas. Las cámaras termográficas deben cumplir con los requisitos mínimos que a continuación se especifican:

Funcionalidades básicas

- Debe poder configurarse y controlarse remotamente desde puestos de control.
- La gestión de alarmas podrá realizarse desde múltiples dispositivos situados remotamente.
- El sistema es automático, capaz de detectar y realizar el seguimiento de cualquier tipo de incidencia térmica.

Especificaciones técnicas

- Cámara térmica con zoom óptico.
- Codificación en alguno de los formatos: H.264, H.265 y M-JPEG Y ONVIF
- Resolución mínima de 320x240 píxeles, se aconseja 640x512 píxeles o superior.

Especificaciones medioambientales

- Certificado IP66.

Certificados y homologaciones

- Homologación UNE-EN 50561, UNE-EN 55032, UNE-EN 50130
- Certificado de calibración
- Certificado EMC 2014/30/UE

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.3 Sistema de selección, control y visualización de las imágenes

Las señales procedentes de las cámaras llegan al Centro de Control donde deben ser visualizadas por el personal de operación. El Centro de Control debe disponer de equipos y espacio suficiente para realizar el trabajo de forma eficiente. Los equipos que debe tener un sistema en centro de control son:

Estación de trabajo

En cada centro de control habrá al menos una estación de trabajo donde el personal de operación realice todas las labores de vigilancia y control. Desde cada estación se debe tener una disponibilidad total de todos los sistemas instalados en el túnel, entre ellos el de vídeo. La estación de trabajo debe cumplir con la normativa vigente al respecto, Real Decreto 488/1997 *disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas al trabajo con equipos que incluyen pantallas de visualización*, así como la UNE-EN 614 “Seguridad de las máquinas. Principios de diseño ergonómico”.

Monitor.

Elemento básico de visualización de imágenes. Se recomienda monitores de 24 pulgadas mínimo. La ubicación de los monitores debe ser adecuada para que se tenga una buena visualización desde las estaciones de trabajo. El ángulo definido por la normal al plano del monitor y la línea horizontal de la línea de visión será de 30º como máximo. Se evitará, la colocación de los monitores, en lugares donde se prevean contraluces provocados por focos luminosos colocados detrás, así como donde puedan producirse reflexiones en la pantalla por focos luminosos frente a la misma.

Video Wall

Se optará por la instalación de pantallas de grandes dimensiones ofreciendo una solución en la que la presentación se realice mediante un mosaico de monitores integrados y que permitan visualizar como una única pantalla la señal elegida.

El ángulo vertical en donde deben encontrarse los monitores no debe ser mayor a 25 grados y horizontalmente no debe ser mayor a 90 grados, contados desde la línea directa de los ojos del operador. Para la visualización de sistemas de CCTV la distancia apropiada de visualización es entre 1,5 y 5 veces el tamaño de la diagonal del monitor, recomendándose ubicar los puestos de trabajo de los operadores a 2,5 veces el tamaño de la diagonal del monitor.

Gestor de vídeo

Es el equipo encargado de proporcionar las siguientes funciones:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Conmutación manual de las imágenes de todos los monitores desde cualquier estación de trabajo.
- Visualización de secuencias preprogramadas en todos los monitores, configurables desde cualquier estación de trabajo.
- Debe permitir la configuración dinámica del entorno de visualización y la visión de varias cámaras en la misma pantalla.
- Se debe poder ver todas las imágenes de un mismo túnel para verificar, en caso de incendio, que la evacuación se ha efectuado adecuadamente.
- El sistema de gestión de vídeo debe permitir la entrada de alarmas y su enclavamiento.

5.4 Detección Automática de Incidentes (DAI)

El DAI es un sistema de detección de incidentes en tiempo real basado en técnica de procesado digital de imágenes o visión artificial.

Los túneles de tipo I deberán disponer de un sistema DAI, y se recomienda que el resto de túneles que dispongan de sistema cerrado de televisión instalen un sistema DAI.

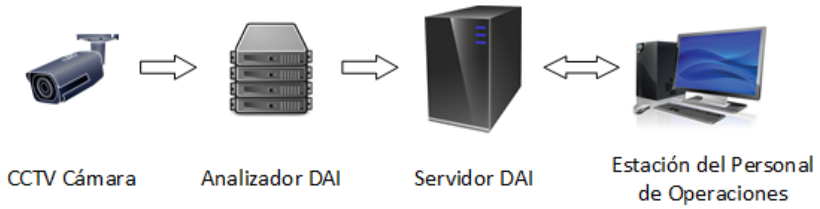


Figura 7 Elementos del Sistema DAI

5.4.1 Elementos del DAI

El sistema DAI constará de los siguientes elementos:

Analizador

Consta de una unidad central de proceso, un software para el procesado de imágenes, para los sistemas antiguos un sistema para digitalizar señales de video (ya que las actuales cámaras IP transmiten las imágenes digitalizadas) y una tarjeta de comunicaciones.

El elemento que hace el procesado de imagen debe realizar las siguientes tareas:

- Adquisición, digitalización (si es necesaria) y sincronización de las señales de vídeo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Detección de incidentes y medidas de tráfico de cada imagen de vídeo.
- Grabación continua de las imágenes de las cámaras. En caso de incidente se podrá disponer de las imágenes de las cámaras desde 2 minutos antes de que se produzca el incidente.
- Almacenamiento de alarmas, medidas de tráfico e imágenes.

Servidor de control DAI

El servidor central deberá desempeñar las siguientes funciones:

- Comunicación con los analizadores y supervisión de todo el sistema DAI.
- Centralización de las alarmas, mediciones de tráfico y secuencias de video.
- Gestión del acceso a la base de datos de secuencias de vídeo de incidente.
- Comunicación con el sistema de gestión del túnel.
- Configuración de los analizadores DAI.

5.4.2 Características del sistema DAI

Incidentes detectados

El sistema debe avisar de al menos los siguientes incidentes:

- Vehículo parado, ya sea en la calzada, en el arcén o en apartaderos.
- Tráfico lento, indicando en comienzo y el final del grupo de vehículos afectados.
- Vehículo lento en calzada o arcén, con umbral parametrizable en condiciones de tráfico normal.
- Presencia de viandantes, ya sea en la calzada, en el arcén, en apartaderos o en las aceras.
- Presencia de obstáculo en la calzada.
- Vehículo en sentido contrario, en calzada o arcén.
- Vehículo que exceda una velocidad umbral parametrizable.
- Congestión de vehículos, siendo configurable la longitud umbral de la cola, el sistema deberá proporcionar la longitud de cola.
- Humo o niebla.

El sistema debe poder reconocer incidentes para no dar múltiples alarmas producidas por el mismo incidente.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Para aquellos túneles que dispongan además de un sistema de cámaras térmicas con DAI térmico, deberá alertar de:

- Detección de objeto caliente caído de un vehículo (rueda u otro elemento).
- Detección de riesgos térmicos en tiempo real (elementos a altas temperaturas, fuego, humo caliente).

Alarmas Técnicas

- Cámara movida de su posición de referencia.
- Perdida de señal de una cámara.
- Calidad pobre en la señal de vídeo.
- Fallo en uno de los equipos del sistema.
- Problema en la red de comunicaciones.

Índice de detección

Ratio que muestra la bondad del sistema para detectar incidentes. Se calcula dividiendo el número de incidentes detectados entre el total de incidentes. El DAI debe tener un índice de detección superior al 95%.

Índice de Falsas Alarmas

Es la ratio que refleja la robustez del sistema para no generar falsas alarmas. Se calcula dividiendo el número de falsas alarmas entre las alarmas totales generadas por el sistema. El índice de falsas alarmas no debe superar el 15%, a partir de ese valor se deberá revisar su configuración, no siendo aceptable un valor igual o superior al 20%.

Para la generación de los informes se deberá discriminar por tipo de alarma: objeto caído, vehículo detenido, peatón, alta congestión, congestión, sentido contrario y humo, además de tener un cómputo del total. De esta manera se puede evaluar si hay algún tipo de incidente particular que requiera una revisión de la configuración.

Para el cálculo del índice de falsas alarmas, se tendrán en consideración todas las situaciones que detecte el DAI, ya sean por: tráfico diario, tareas de mantenimiento u otras acciones que generen una alarma del DAI.

En el caso de que se haya realizado el mejor ajuste posible y no se haya alcanzado niveles aceptables de falsas alarmas, se requerirá la redacción de un informe técnico, con el concurso del fabricante del

cve: BOB-2025a082-(I-327)

DAI, el instalador o técnico cualificado en estos sistemas, en el que se detallen las circunstancias concretas de los fallos recurrentes (cámara, tipo alarma, meteorología, iluminación...) y en donde se detallen las actuaciones que se han realizado para ajustar los equipos DAI. Así como las propuestas para mitigar impacto de los fallos y proponer mejoras. El objeto del informe es garantizar la fiabilidad del sistema DAI en cada túnel y que ayude en las tareas de explotación del túnel.

Este informe, para túneles de nueva construcción o remodelados, deberá ser presentado por la DO en un plazo inferior a los 6 meses desde la puesta en marcha de la explotación. Para túneles en explotación, el informe se deberá presentar, a petición del explotador, el encargado de seguridad o tras un informe de auditoría del OITB.

Tiempo de detección.

Indica la rapidez del sistema para detectar incidentes. El tiempo de detección debe ser inferior a 10 segundos.

Grabación Continua.

El sistema guardará las imágenes de las cámaras donde se produce el incidente, desde por lo menos 2 minutos antes de que este se inicie hasta que se dé por concluido el incidente, este sistema se debe activar tanto para una alarma generada por el DAI como por una alarma externa. Además se podrá salvar cualquier imagen de cualquier cámara aunque no esté asociado a ningún incidente.

5.5 Servidor de Vídeo

Cualquier túnel que disponga de circuito cerrado de televisión, debe instalar un servidor de vídeo que incluya la grabación de imágenes donde además se registraran todos los incidentes importantes para:

- Disponer de un histórico para facilitar una posterior verificación de los protocolos de actuación y estudio de la actuación de los usuarios del túnel.
- Realizar un registro de actuaciones de los usuarios y personal de la explotación.
- Emplear los vídeos para la formación continua de los explotadores.

Funcionalidades básicas

- Compresión de video H.264, recomendada H.265 o aquellas que surjan de avances tecnológicos que supongan una mejoría a los anteriores citados.
- Resoluciones mínimas de grabación: 720P (1280x720) y CIF para cámaras térmicas. Todas ellas con un mínimo de 5 imágenes por segundo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Sistema de monitorización centralizado.
- Interfaz de fácil configuración.
- Fácil de ampliar con múltiples grabadores asociados.
- Grabación y reproducción multicanal en tiempo real.
- Reproductor para visualizar las imágenes grabadas.

Especificaciones técnicas

- Velocidad de trabajo en tiempo real, tanto para la grabación como para la visualización.
- Almacenaje en medio externo de periodos de grabación seleccionados.
- Posibilidad de selección de calidad de imagen a almacenar: muy alta, alta, estándar.
- Modo de búsqueda por calendario, evento, fecha/hora, túnel.
- Diferentes configuraciones para la visualización: una única cámara por pantalla, 4 cámaras en una pantalla o 9 en una.
- Posibilidad de reproducción a diversas velocidades: x2, x4, x8, x16, x32, fotograma a fotograma, pausa.
- Red de comunicaciones con interfaz Ethernet 10/100/1000 y protocolo de comunicaciones TCP/IP estándar.
- Opción de back-up externo en memorias USB o discos externos.

Debe poder realizarse la grabación de la imagen de cualquier cámara de forma manual a criterio del personal de operación y automáticamente cuando se produzca una alarma en el túnel en un punto que cubra dicha cámara.

Para disponer de las imágenes de los momentos anteriores al inicio del incidente, debe realizarse una grabación continua que sólo se almacenará de forma permanente cuando el personal de operación así lo requiera.

El sistema de grabación debe permitir la grabación y reproducción de imágenes de forma simultánea, sin producir ninguna merma en la funcionalidad del sistema CCTV y DAI.

Los medios en los que almacene las imágenes deben ser amplia difusión en el mercado, DVD, HD, etc. y con formatos estándar tipo AVI, M-JPEG, H.264, H.265, etc.

Un sistema de grabación centralizado estará formado por uno o varios servidores de almacenamiento para equilibrar la carga. De esta manera será posible ampliar el sistema añadiendo más servidores cuando sea necesario, sin afectar al sistema instalado hasta dicho momento. Los servidores de almacenamiento tendrán las siguientes especificaciones:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El equipo debe tener la capacidad para guardar las imágenes de todas las cámaras como mínimo durante 7 días y se deberá cumplir todo lo referente, en materia de seguridad, a la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal y la Instrucción 1/2006 de la Agencia de Protección de Datos, o la correspondiente normativa de aplicación de la Unión Europea sobre el tratamiento de datos personales con fines de vigilancia, a través de sistemas de cámaras o videocámaras.

El sistema deberá disponer de una sencilla herramienta que permita la gestión, selección, extracción y borrado de cualquier secuencia de cualquier cámara del CCTV. Se recomienda que el sistema permita la visualización de la grabación de varias cámaras a la vez y que la señal contenga la fecha y hora de la grabación de cada cámara. El objetivo sería poder analizar incidentes o simulacros comparando diferentes cámaras de la zona del evento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6 SISTEMAS DE COMUNICACIONES

6.1 Postes SOS

6.1.1 Introducción

Los postes SOS es un sistema clásico de comunicación de emergencia en las carreteras, que facilita el flujo de información sobre los incidentes ocurridos y permite a los usuarios solicitar ayuda. Proporcionan un medio de comunicación rápido y fiable con un operador del centro de control a través de un canal de voz que se establecerá tras la solicitud del usuario, al pulsar el botón de llamada.

La incorporación masiva a la sociedad de la telefonía móvil y la creación del servicio 112 ha hecho de los postes SOS una herramienta menos crítica, aunque la experiencia ha demostrado que sigue siendo un recurso de gran utilidad y uso.

Las desfavorables condiciones de visibilidad y las limitaciones de espacio en los túneles, hacen que la presencia de vehículos detenidos y/o personas en su interior suponga un riesgo considerablemente superior al que se genera por esta misma situación a cielo abierto. Además, los túneles son naturales zonas de sombra para las señales de radio utilizadas para la telefonía móvil, servicio que sólo estará disponible en los túneles que cuenten con equipos específicos para la retransmisión de las señales correspondientes.

Los postes SOS serán también de ayuda en circunstancias más extremas, como puede ser una evacuación. Por ello, en las galerías de evacuación (intercomunicación entre tubos paralelos o bien salidas directas al exterior) deberán instalarse postes de auxilio que permitan solicitud de ayuda en caso de necesidad, como por ejemplo, por la presencia de personas que sean incapaces de evacuar por sí solas, el bloqueo de una puerta, etc...

6.1.2 Arquitectura del sistema de postes SOS

El sistema de postes SOS consta principalmente de los siguientes elementos:

- Poste SOS: elementos de comunicación situados junto a la carretera.
- Red de comunicaciones de postes SOS, generalmente basada en VoIP sobre fibra óptica, aunque pueden disponer de otros enlaces de comunicaciones como puedan ser GSM, 3G, 4G o su evolución tecnológica y una centralita de comunicaciones IP.
- Centralita de postes SOS: constituida por un ordenador y los correspondientes elementos de fonía que permite gestionar las llamadas recibidas para que estas sean convenientemente registradas y atendidas según su prioridad, desde uno o varios puestos de trabajo. Se

cve: BOB-2025a082-(I-327)

recomienda la integración de la central de postes SOS en la aplicación de control de todas las instalaciones de los túneles.

Se recomienda que los Postes SOS se instalen por parejas maestro-esclavo a lo largo del túnel. El poste maestro es el que contiene la electrónica necesaria para el funcionamiento del sistema, y el poste esclavo sólo contiene un pulsador de llamada, un micrófono, un altavoz, y uno o varios contactos de alarmas.

Cuando un usuario pulsa el botón de auxilio de un poste, éste envía un mensaje al centro de control en el que se identifican los datos de localización. Al mismo tiempo emite un mensaje de fonía a dicho usuario indicándole que la llamada ha sido cursada, quedando a la espera de ser atendido.

Las comunicaciones con el Centro de Control se realizarán mediante una red de comunicación de campo basada en tecnología IP.

6.1.3 Requerimientos de instalación de postes SOS en los túneles

El sistema de postes SOS a instalar en los túneles, deberá cumplir con los requisitos de aplicación que establece las UNE 135701 “Sistemas de ayuda y transmisión de datos mediante postes SOS. Parte 2: elementos, funciones y características técnicas del poste” y la UNE 135701 “Sistemas de ayuda y transmisión de datos mediante postes SOS. Parte 1: Requisitos Generales”, además las comunicaciones se realizarán mediante el protocolo VoIP.

Todos los túneles de Tipo I y II, (según la definición del Decreto Foral de Seguridad en Túneles) deben estar dotados de postes SOS. Estos se ubicarán:

- En el interior de los túneles, cada cierta distancia, en el hastial derecho. Con objeto de minimizar el recorrido de un viandante en el interior del túnel hasta al poste SOS más cercano, la distancia entre los mismos no debe superar los 150 metros.
- En las vías de evacuación (galerías de intercomunicación entre tubos, u otros pasillos o escaleras que comuniquen con el exterior). En el caso de que exista vestíbulo o la vía de evacuación sea larga o tenga curvas en su trazado, deberá ser siempre visible (mediante visión directa o señalización) y accesible un poste SOS para los usuarios en todo el trayecto de evacuación.
- En las bocas de entrada y salida. Con ello se pretende evitar que un incidente en el exterior pudiera incitar a algún usuario a entrar en el túnel, en busca de un poste SOS.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- En el caso de que el túnel disponga de apartaderos, se hará coincidir la ubicación del poste SOS con el apartadero. Su ubicación en este caso deberá ser en una zona del apartadero protegida del tráfico y nunca en el muro final de apartadero, emplazamiento que se considera peligroso por un posible impacto de un vehículo.

6.1.3.1 Especificaciones Técnicas de los Postes SOS

Un poste SOS está compuesto por los siguientes elementos:

- Circuitos electrónicos: deberán de estar protegidos por una envolvente IP65.
- Pulsador de auxilio: estanco (IP-55) y con una indicación de pulsar en caso de auxilio. El pulsador debe estar a una altura que garantice su accesibilidad.
- Instrucciones de uso: Todos los postes SOS deberán llevar las instrucciones de uso en varios idiomas (como mínimo en euskera, castellano, inglés y francés) y un teléfono de emergencia al que llamar en caso de avería. También deberán llevar una identificación del poste SOS de forma visible para el usuario, de tal forma que en el transcurso de la conversación con el operador pueda indicar de forma unívoca y clara la identificación del poste SOS desde el que está haciendo la llamada.
- Detectores de puerta abierta: podrán ser de contacto o magnéticos.
- Altavoces y micrófonos: formarán un conjunto especialmente diseñado para obtener un alto rendimiento acústico y permitir el test de fonía.
- Módulos de alimentación: en caso de no disponer el túnel de SAI, la alimentación será una batería que permita el funcionamiento del poste durante 20 días sin recargarse. La carga de la batería se realiza por medio de la alimentación del poste, que podrá ser:
    - Alimentación por panel solar (postes de exterior).
    - Alimentación por red (postes de túnel).
- Carcasa:
    - En los postes SOS exteriores deberá de fabricarse en poliéster reforzado con fibra de vidrio, cumplir un IP-55 e IK05, y tener reflectantes con SOS e instrucciones.
    - En el caso de SOS para túnel ésta carcasa será un armario de acero inoxidable de 1,5 mm de espesor, pintado en color RAL 2004, que contenga todos los elementos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

antes descritos, más una caja de conexiones y protecciones, cumpliendo con la normativa vigente UNE 135701.

El grado de protección del armario interior de Poste SOS y del armario de conexiones y protecciones tendrán un IP-55, debiendo ser totalmente estancos.

Los postes SOS exteriores (tipo carretera) y los del interior de los túneles deben estar integrados dentro de una misma red, ya que son funcionalmente similares, existiendo entre ellos tan sólo ligeras diferencias en lo que se refiere a su envolvente.

6.1.3.2 Funcionalidad de los postes SOS.

Las funciones mínimas que deberán permitir los postes SOS instalados son las siguientes:

- Generar llamada de auxilio: Cuando un usuario oprime el pulsador de auxilio, el poste envía un mensaje al Centro de Control y espera recibir el acuse de recibo de éste. Si no lo recibe repite el mensaje hasta dos veces más y si sigue sin recibirlo emite el mensaje grabado, en el sintetizador de voz, “Poste fuera de servicio” en los cuatro idiomas indicados, y quedando con un tono de línea ocupada. Si recibe la confirmación emitirá un tono de llamada y quedará en espera, hasta la puesta en fonía del sistema.
- Comunicación con el usuario:
  - Mediante tonos acústicos: Comentados anteriormente (espera y ocupado).
  - Mediante sintetizador de voz: en varios idiomas: euskera, castellano, inglés y francés.
  - La comunicación se podrá originar desde el centro de control o desde el propio poste SOS mediante conexión de fonía full-duplex.
- Prueba del sistema, automática o por petición del operador, incluyendo:
  - Prueba completa del poste (maestro-esclavo): Mediante el test de mantenimiento se comprueba el estado del poste maestro, poste esclavo (cuando proceda), atenuador de entrada, atenuador de salida, nivel de volumen del maestro y nivel de volumen del esclavo.
  - Supervisión del estado en línea del Poste SOS (en línea, fuera de línea).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Prueba de fonía: de manera remota, el sistema permitirá la emisión por el altavoz de un tono o mensaje de prueba, que se realimentará en el micrófono, y permitirá conocer el estado de ambos desde el Centro de Control.
- Prueba de alimentación: El poste chequeará los niveles de alimentación y de batería (si dispone).

- Ajuste del volumen de salida del amplificador de audio: Puede dejarse en automático, o en manual desde el centro de control.
- Generación automática de alarmas:
  - Desconexión del poste (no comunica).
  - Fallo de alimentación.
  - Puerta abierta.
  - Extintor (caso de disponer de estos elementos).
- Transmisión de datos:
  - Se realizará empleando aquellos protocolos de VoIP vigentes: H.323, PBX, XMPP, SIP… y aceptados por el sistema existente en el Centro de Control del túnel.
- Operatividad del poste SOS una vez finalizada la comunicación: El poste SOS, una vez se corte la comunicación con el Centro de Control, deberá pasar a operativo en un tiempo máximo de 10 segundos, de tal forma que si el usuario necesita volver a contactar con el Centro de Control pueda hacerlo sin necesidad de la intervención del operador.

6.1.3.3 Postes SOS en el interior de los túneles

Con objeto de facilitar el uso de los postes SOS a los usuarios, se recomienda que todos ellos presenten un mismo aspecto en todos los túneles, tanto en sus dimensiones, color (RAL 2004, naranja puro) como en la disposición de sus elementos.

Además, en aquellos túneles en los que los postes SOS se instalen en nichos con un habitáculo y puerta, deberá colocarse, en la puerta de entrada al nicho, un mensaje en los mismos idiomas que las instrucciones de uso en el que se especifique claramente que en caso de emergencia no es un lugar seguro, solo se debe utilizar para realizar la llamada de auxilio. El color de la puerta del nicho será el mismo que el del poste SOS: RAL 2004.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los armarios de los postes SOS del interior de los túneles podrán serán modulares, instalándose los módulos necesarios en cada caso. En la Figura 8 se muestra un ejemplo de Poste SOS típico. En la parte superior el identificador, en azul el indicador de poste SOS, a la izquierda el teléfono de contacto en caso de fallo de comunicaciones y abajo las instrucciones de uso en los cuatro idiomas mencionados.



Figura 8 Poste SOS típico de interior de túnel

El alojamiento del extintor deberá estar identificado con una señal foto luminiscente según norma UNE 23033.

Con objeto de facilitar la localización de los postes SOS en el interior del túnel, cada poste estará señalizado con una baliza luminosa situada junto al poste SOS, por encima del poste SOS que no invada el gálibo y cuya cota inferior no sea inferior a 2,2m. Esta baliza constará de un panel luminoso en el que se mostrará un icono asociado a cada uno de los elementos que se encontrará en el poste: un extintor, un teléfono con las letras SOS en su parte inferior, una BIE, etc… Este panel luminoso deberá estar permanentemente iluminado, facilitando la localización del poste.

6.1.3.4 Postes SOS de EXTERIOR

Los postes SOS exteriores se ubicarán en las proximidades de las bocas de entrada y salida, preferentemente a una distancia no superior a 75 metros, y en los apartaderos exteriores habilitados para ello. En todo caso, se asegurará que sean visibles y accesibles desde los mismos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

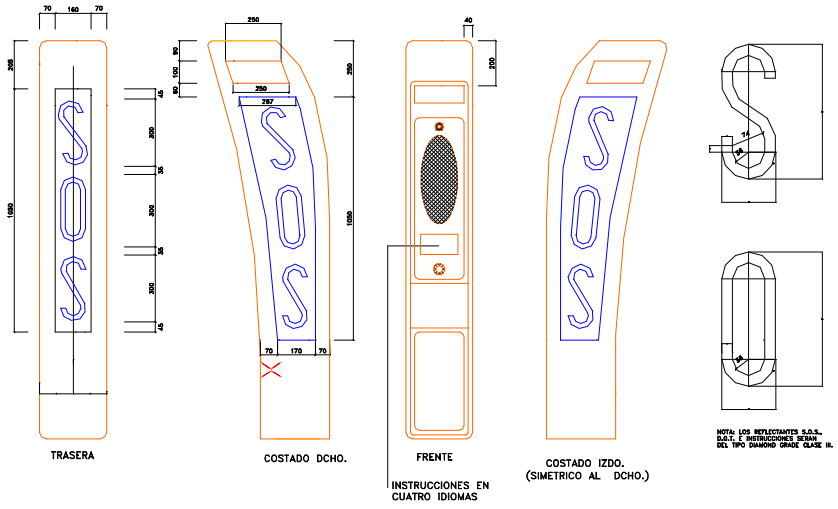


Figura 9 Poste SOS de exterior

La envolvente de los postes SOS se ajustará a las dimensiones y características reflejadas en la imagen.

6.1.4 Equipamiento en los armarios de los postes SOS en el interior de los túneles

En el armario de conexiones de los postes SOS se ubicarán las protecciones eléctricas necesarias para la alimentación de cada uno de los dispositivos instalados en el poste SOS. Además, se permite la instalación de diversos equipos y dispositivos de campo en su interior, protegiéndolos de la intemperie, además de procurarles alimentación, protección eléctrica y comunicación con la ERUT/PLC para su integración en el sistema de control.

En los armarios de conexiones de los postes SOS se ubicarán las protecciones eléctricas necesarias para la alimentación de cada uno de los dispositivos instalados en el poste SOS. Así mismo, se puede realizar la distribución de fibra óptica y cable de comunicaciones en el interior de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.2 Megafonía

6.2.1 Introducción

La megafonía es un sistema de seguridad del túnel, que tiene como objetivo transmitir mensajes acústicos a los usuarios del túnel. El sistema de megafonía se emplea en caso de incidentes o para informar a los usuarios de la presencia de riesgos inminentes (fuego, concentración letal de CO, etc.) a la vez que se les da indicación de cómo actuar en cada situación (apagar el motor, abandonar el coche, etc.).

Un sistema de megafonía para emergencias debe permitir la emisión inteligible de información sobre medidas a tomar para la protección de los usuarios.

El sistema de megafonía sirve de apoyo al sistema de señalización dinámica, al avisar ésta a los usuarios de las mismas circunstancias que la megafonía quiere poner de manifiesto, aunque puede resultar útil para calmar a los usuarios e indicarles las acciones a realizar en caso de evacuación.

Se debe instalar sistema de megafonía en los túneles de Tipo I y los de Tipo II que dispongan de galería de evacuación, según la definición realizada en el Decreto Foral de Seguridad en Túneles. El sistema de megafonía debe cubrir:

- El interior de cada uno de los tubos que constituyen los túneles.
- Las bocas de acceso de cada uno de los tubos.
- Las galerías de evacuación.

El sistema deberá permitir enviar mensajes sectorizados que sólo se emitan en zonas determinadas. Esta característica de sectorización de la megafonía será muy útil a la hora de ayudar a la evacuación, para dar mensajes distintos según el tramo del túnel.

Estos mensajes se deberán poder emitir desde:

- Un micrófono instalado en la mesa del operador en el centro de control,
- Mediante micrófono en sala técnica,
- Mediante mensajes pregrabados reproducidos por el servidor de megafonía.

El sistema deberá permitir la emisión reiterativa de mensajes de megafonía pregrabados, sin necesidad de intervención del operador en cada uno de ellos, como medio de ayuda a la evacuación del túnel.

Los principales elementos de los que consta un sistema de megafonía son:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Altavoz: elementos de transmitir los mensajes acústicos que se transmiten desde el centro de control a los usuarios del túnel.
- Amplificador: es el dispositivo que aumenta la intensidad y la potencia de la señal de audio que recibe y trasmite la señal amplificada a las líneas de altavoces.
- Gestor local de megafonía: direcciona los avisos hacia las zonas seleccionadas, así como realizar el control de volumen. Puede realizar la supervisión de las líneas de altavoces y de su correspondiente amplificador, y en caso que este falle poder conmutar a uno de reserva.

  Los gestores locales se encuentran controlados por uno o varios ordenadores centrales.
- Sistema de transmisión de la señal: es el encargado de transmitir las señales de audio y los datos de control, desde el Centro Control hasta los gestores locales de megafonía.
- Sistema de control central de megafonía, controlado por ordenador/es, el cual contiene múltiples entradas y salidas de audio (pupitres microfónicos) con selección de zonas/áreas, grabación/reproducción de mensajes, control remoto, monitorización de amplificadores y líneas.

6.2.2 Arquitectura del sistema de megafonía

El sistema de megafonía se trata de un sistema microprocesado controlado por un servidor central de megafonía diseñado para la difusión de mensajes de megafonía. Este servidor se comunica con el servidor central de control del Centro a través de la red LAN Ethernet con protocolo TCP/IP existente en el Centro de Control. El servidor central realiza el control del sistema de megafonía transmitiéndole los mensajes que el servidor central de megafonía debe emitir en cada zona de cada túnel.

Desde las estaciones de trabajo del personal de operación, se podrá emitir mensajes (pregrabados o generados expresamente), supervisar y controlar los equipos de campo del sistema de megafonía, elaborar mensajes pregrabados y emitir mensajes a los usuarios de un túnel seleccionando la zona o un conjunto de zonas (denominada área).

Las estaciones de trabajo disponen de pupitres microfónicos, (físicos o virtuales) y estar integrados en la aplicación de gestión. A través de los pupitres microfónicos, con capacidad para emitir mensajes y seleccionar zonas, los operadores pueden difundir mensajes efectuados por el personal de operación del Centro de Control a cualquier zona o área.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En su modo más básico, el sistema está formado por un servidor de megafonía, un conjunto de estaciones de trabajo con el software de gestión y control del sistema y los gestores locales de megafonía que redirigen los mensajes hacia los circuitos independientes de cada zona.

Los datos de control del sistema de megafonía se transmiten desde el servidor central de megafonía hasta los gestores locales de megafonía, ubicados en los túneles, a través de la red troncal de transporte y de la red de control de campo, comunicando de este modo el servidor central con los distintos gestores locales de megafonía ubicados en los túneles. La señal de audio se puede transmitir desde el servidor central de megafonía hasta los gestores locales de megafonía, mediante la red troncal de transporte y de la red de control de campo, o bien disponer de un medio de transporte dedicado y exclusivo. Se recomienda la primera opción para optimizar los recursos de comunicaciones entre el centro de control y los túneles.

Cada gestor local de megafonía contiene un conjunto de circuitos de altavoces independientes, abarcando cada circuito una zona. El gestor local controla las etapas amplificadoras, de las que sale la señal de audio a cada uno de los sectores en los que está dividido el sistema de megafonía. Los gestores locales de megafonía supervisan las líneas de altavoces y sus correspondientes amplificadores, para detectar anomalías o fallos y comunicarlos al servidor central de megafonía. Es posible que una etapa disponga únicamente de un único altavoz.

6.2.3 Requisitos generales del sistema

La instalación de megafonía comprende el servidor central de megafonía, pupitres microfónicos, preamplificadores y ordenadores clientes dispuestos en el Centro de Control incluyendo los elementos necesarios para transmitir los mensajes desde éste hasta el túnel. Además la instalación de megafonía incluye el siguiente equipamiento de campo: gestores locales de megafonía, medio físico de transmisión de la señal de audio sin amplificar en el túnel, etapas amplificadoras, circuitos de salida a altavoces y los propios altavoces.

El sistema de megafonía deberá cumplir obligatoriamente las siguientes normas, en todos aquellos aspectos que sean de aplicación y que puedan ser satisfechos en el ámbito de un túnel:

- UNE-EN 60849 “Sistemas electroacústicos para servicios de emergencia”.
- UNE-EN 54-4:2010 y UNE 23007 “Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 4: sistema de alimentación”.
- UNE-EN 54-16:2010 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 16: Control de la alarma por voz y equipos indicadores

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- UNE-EN 54-24:2010 Sistemas de detección y alarma de incendios. Parte 24. Componentes de los sistemas de alarma por voz. Altavoces.

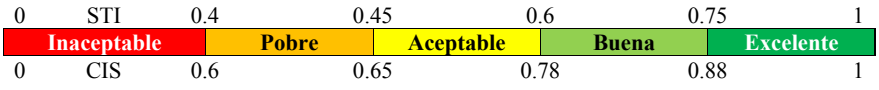
De estas normas se desprenden los principales criterios que debe seguir el sistema de megafonía particularizándolos para el caso de un túnel. Estos son:

1. A menos que la instalación de megafonía se encuentre dañada por el incidente que provocó la emergencia, el sistema de megafonía debe encontrarse disponible para operación todo el tiempo.
2. Ante la presencia de una emergencia, el sistema deberá emitir una primera señal de alerta con una duración inferior a 5 segundos que precederá a la emisión del primer mensaje.
3. El sistema de megafonía deberá ser capaz de emitir señales de alerta y mensajes de voz a una o más áreas de forma simultánea. Deberá haber al menos una señal de alerta apropiada con uno o más mensajes de voz adecuados. El número mínimo de mensajes simultáneos que debe permitir emitir el sistema deberá ser como mínimo dos y aquellos túneles que dispongan de galerías 3 mensajes. Para túneles que ya dispongan de un sistema de megafonía implantado, el funcionamiento será el existente hasta ese instante. En caso de remodelación del sistema de megafonía, será de obligado cumplimiento este punto (por lo que, si dispusiese de galería/s deberá poder emitir tres mensajes simultáneos).
4. El personal de operación deberá poder monitorizar el estado del sistema de megafonía (alarmas, etapas, estado del servidor…) desde la aplicación de gestión integral del túnel. Desde dicha aplicación se podrá interactuar con el sistema y emitir mensajes por una o varias zonas de manera simultánea. Desde la aplicación propietaria de megafonía, se podrán realizar tareas de mantenimiento, como la inclusión de nuevos mensajes.
5. Para aquellas instalaciones en las que varios altavoces dependen de un amplificador, el fallo de un único circuito amplificador o altavoz no implicará la pérdida total de servicio en la zona de altavoces cubierta.
6. Los mensajes de emergencia que son emitidos podrán ser pregrabados siguiendo una secuencia si la emergencia se tiene tipificada o pueden ser emitidos por los operadores a través de micrófonos instalados en los ordenadores de las Estaciones de Trabajo o por medio de los pupitres microfónicos. Los mensajes emitidos estarán de acuerdo con el Plan de Evacuación del Plan de Emergencia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7. Todos los mensajes deberán ser claros, cortos, sin ambigüedades, con buena dicción y, hasta donde sea posible, preplanificados. Los mensajes pregrabados deberán estar en sistemas de almacenamiento permanente. Se aconseja que los mensajes pregrabados procedan de un estudio o gocen de una calidad en el sonido similar al mismo, así como estar en euskera y castellano.
8. El sistema de megafonía deberá ser capaz de dividirse en zonas de altavoces de emergencia creando zonas de megafonía, si los procedimientos de evacuación así lo exigen. Las siguientes zonas de megafonía deberán ser tenidas en cuenta en el diseño del sistema de megafonía de los túneles:
    a. Entre dos salidas de emergencia consecutivas.
    b. Entre las bocas del túnel y la salida de emergencia más cercana.
    c. Los accesos a cada uno de los tubos del túnel.
    d. En túneles de más de un tubo, los altavoces instalados en las galerías de interconexión entre los tubos deben pertenecer a zonas diferentes a las de los altavoces del interior de los tubos del túnel.
9. El sistema deberá asegurar la inteligibilidad de los mensajes en todas las zonas.

De acuerdo con la Norma EN 60849, el sistema de megafonía instalado en los túneles cumplirá con lo establecido en el apartado 5.1 de dicha norma, en el que se fija las magnitudes a medir así como los valores de las mismas. Se tomarán como valores de referencia las mediciones realizadas en las bocas de los tubos y las galerías de evacuación, siendo el valor mínimo de esta medida 0.45 (en la escala STI-PA) y de 0.65 en la escala CIS. Valores inferiores a este valor indicará que debe revisarse y ajustarse el sistema, e inferior a 0.4 STI-PA, 0.6 CIS se consideraría una solución inaceptable; todo ello siguiendo los rangos establecidos en la Norma UNE-EN 60268-16:2011.



Para la conversión de STI a CIS se emplea la ecuación:

$$CIS = 1 + log\ (STI)$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.2.3.1 Indicador de estado automático

Las Estaciones de Trabajo dispuestas en el Centro de Control deberán proporcionar, a través de un interfaz gráfico, información relativa a:

- La disponibilidad del sistema de megafonía.
- Cualquier condición de fallo de amplificadores, líneas de altavoces y gestor local de megafonía.
- Qué zonas de altavoces están seleccionadas y el modo de operación de cada zona, el mensaje que se encuentra emitiendo en cada una de las zonas y si el mensaje lo emite el personal de operación desde un micrófono o pupitre microfónico. Donde se den mensajes de alarma diferentes, en función de los requisitos de evacuación, el sistema deberá mostrar de forma apropiada qué mensaje está siendo emitido y dentro de qué zona. Esta información se mostrará de forma continuada y actualizada.

6.2.3.2 Monitorización automática de fallo

Las Estaciones de Trabajo instaladas en el Centro de Control deberán proporcionar una indicación clara de:

- Fallo del micrófono, incluyendo la cápsula electrodinámica, el preamplificador y el cableado esencial al resto del sistema.
- Fallo de los caminos de señal críticos a través de la cadena de la cadena de amplificación, con amplificadores individuales identificados por separado.
- Fallo de gestores locales de megafonía.
- Ausencia de amplificadores o módulos críticos.
- Fallo de cualquier amplificador auxiliar.
- Fallo de cualquier circuito de altavoces, fallos de circuito abierto y cortocircuito.
- Fallo de micrófonos o pupitres microfónicos en el Centro de Control.
- Fallo del servidor de megafonía.

En caso de detectarse un fallo en el sistema de megafonía, este se comunicará al personal de operación del Centro de Control a través de una alarma.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.2.3.3 Interfaz con el sistema de control centralizado

El servidor de megafonía intercambia datos e información con el Servidor de Central de Control, a través de la red existente en el Centro de Control. En el caso de pérdida de comunicación o fallo del servidor de megafonía se indicará esta situación en las Estaciones de Trabajo (puestos de personal de operación). El sistema de Control Centralizado deberá ser capaz de recibir información relativa a fallos en el sistema de megafonía mostrándolos en las Estaciones de Trabajo a través de la pantalla e indicándolo de forma acústica. También será posible la selección de zona o zonas donde emitir los mensajes, el mensaje o mensajes a emitir en cada zona, el número de repeticiones y la detención total de la emisión en todas las zonas o en las zonas seleccionadas.

Será capaz de emitir los mensajes en el interior del túnel de tal manera que se acoplen lo mínimo, emitiendo el mensaje en todo el tubo o túnel, por zonas para que dicho acople sea el menor posible.

6.2.3.4 Registros a conservar

El sistema de Control Centralizado deberá mantener una serie de registros en soporte informático donde se conserven las fechas y usos del sistema de megafonía y de la ocurrencia de fallo o alarma, ensayos realizados al sistema y todas las operaciones y eventos del sistema.

6.2.3.5 Conectores y cajas de derivación

Los conectores deberán cumplir con la Norma CEI 60268-11 o con la Norma CEI 60268-12. Los requisitos para resistencia al fuego de los conectores pueden ser estipulados por las autoridades competentes. Las cajas de conexionado tendrán iguales características de resistencia al fuego que el cableado. En cualquier caso, deberán ser libres de halógenos, estancas al agua, previstas de prensaestopas de entrada/salida de cables, deberán tener un grado de protección IP-65 y deberán cumplir el reglamento electrotécnico para Baja Tensión y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, las Normas UNE 60695, UNE-EN 60754, UNE 50102 y Normas BAT.

6.2.4 Requisitos de la instalación de megafonía

El sistema de megafonía deberá instalarse de acuerdo con la Norma CEI 60364 y con normas nacionales o locales obligatorias, tal como el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.

Los cables que conforman los circuitos de los altavoces de las galerías de interconexión y las bocas de los túneles, deberán estar protegidos o ser resistentes al fuego (90 minutos a 830ºC con impactos, según Normas: IEC 60331, UNE-EN 50200 y UNE-EN 50362) y en todos los casos: libres de halógenos y no propagadores de llama ni incendio, según Norma UNE-EN 60332.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El cableado y el tipo de cubierta a instalar deben cumplir con las características para cables y cubiertas a instalar en túneles, según lo indicado en la Instrucción Técnica II de Energía Eléctrica.

6.2.5 Altavoz

Su construcción deberá ser extremadamente robusta y fiable. Deberá soportar las condiciones agresivas que reinan en el interior del túnel, tanto de polvo como de humedad, gases, etc., por lo que deberán tener un índice de protección IP-66. Además deberá de tener una reproducción fiel del sonido, exenta en lo posible, de distorsiones.

6.2.5.1 Ubicación de los altavoces

La ubicación de los altavoces en el túnel vendrá determinada por el estudio acústico que se realice del túnel, según lo establecido en la norma UNE-EN 60849.

Cada galería de interconexión será una zona independiente de megafonía y así poder emitir mensajes diferentes a los que se difundan en el interior del túnel.

Siempre que sea posible, y siguiendo las pautas que establecerá el estudio acústico realizado para el túnel, se procurará que en los túneles unidireccionales los altavoces se instalan en la clave o en el hastial derecho según el sentido de la circulación, donde están ubicados todos los equipos y, como norma general, donde los usuarios detendrán sus vehículos en caso de incidente. En los túneles bidireccionales se ubicarán los altavoces en los hastiales o la clave del túnel para informar a los usuarios que circulan en ambos sentidos. La altura a la que se instalarán los altavoces la marca el estudio acústico, pero se debe tener en cuenta la posible pérdida de gálibo, el revestimiento de los túneles y las posibles bandejas de cableado colocadas en los hastiales. Aproximadamente la altura de los altavoces en el interior del túnel puede variar entre los 4,5 y los 6 metros. En caso de instalación en clave se garantizará una distancia mínima de 20 metros respecto al ventilador más cercano.

6.2.5.2 Características técnicas

Los altavoces elegidos para sonorizar el recinto deben ser un tipo de altavoz adecuado a las características del túnel, en todo caso se deber garantizar los siguientes valores:

- Grado de protección IP65.
- Mínima Potencia RMS 30W
- SPL a 1 metro, 1kHz: valor mínimo 110 dB.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.2.6 Etapas amplificadoras

Las entradas de las etapas amplificadoras tendrán cargas simétricas y balanceadas. Al menos se exige dos entradas por cada etapa amplificadora: una de programa y otra de prioridad. La comunicación con el sistema gestor de megafonía se realizará mediante protocolos UDP-TCP/IP.

La potencia de salida de las etapas amplificadores se selecciona en función de la potencia de la línea de altavoces que se conecten a la salida de la etapa, así como la tensión de alimentación de los mismos (tensión de salida en línea) típicamente 100 V, 70 V y 50 V. La impedancia de la línea de altavoces de salida, es decir, la impedancia de la carga de la etapa amplificadora debe ser lo más semejante a la impedancia característica de salida de la etapa amplificadora. La etapa amplificadora debe incorporar circuitos de protección térmica contra sobrecargas y cortocircuitos en la línea de altavoces.

En túneles de nueva construcción o remodelaciones del sistema de megafonía en túneles existentes, en cada conjunto de etapas amplificadoras se dispondrá de una etapa de reserva. En el caso de que se opten por configuraciones con líneas de altavoces al tresbolillo, no será necesario.

Por cada etapa amplificadora se debe disponer de un sistema de supervisión de etapas amplificadoras y líneas de altavoces que informa del estado de los mismos, a través del gestor local de megafonía o directamente, al Sistema de Control Centralizado. En caso de avería se conmutará a la etapa de amplificación de reserva.

6.2.6.1 Ubicación de las etapas amplificadoras

Se recomienda que las etapas amplificadoras se instalen junto a los gestores locales de megafonía, ubicados generalmente en los locales técnicos de los túneles. De forma excepcional y por una causa justificada, se podrán instalar las etapas amplificadoras en las galerías de evacuación o en los armarios de los postes SOS desde los que se alimentan (en el compartimiento dedicado al equipo de intercomunicación).

6.2.6.2 Transmisión de la señal audio desde la etapa amplificadora a la línea de altavoces

La transmisión de la señal de audio desde la etapa amplificadora hasta los altavoces se realizará preferentemente, a través de un cable de dos hilos trenzados siempre que la señal de audio no sea sensible a ruidos externos. En este caso se empleará cable trenzado y apantallado con la pantalla conectada a tierra, para evitar que los ruidos presentes en el entorno deterioren la señal de audio y que no se atenúen las frecuencias altas.

El cable eléctrico y el tipo de cubierta a instalar deben cumplir con las características para cables eléctricos y cubiertas a instalar en túneles, según lo indicado de la Instrucción Técnica II de Energía

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Eléctrica. En cualquier caso se permite el uso de otros cables según lo especificado con anterioridad y siempre y cuando se garantice el rendimiento global del sistema.

La sección de los cables de transmisión de la señal de audio amplificada se realizará en base a lo especificado en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión, con una caída de tensión máxima del 5% desde la etapa de potencia hasta el último altavoz.

6.2.7 Gestores locales de megafonía

Los gestores locales de megafonía son los equipos de control del sistema de megafonía instalados en campo (en los túneles). Estos reciben las señales de audio a trasmitir en cada una de las zonas del túnel además comunicarse con el Sistema de Control Centralizado, realizando el control y supervisión del sistema de megafonía.

Los gestores locales de megafonía reciben las señales de audio y las direccionan hacia las zonas seleccionadas, transmitiendo estas señales de audio hacia las etapas amplificadoras de las líneas de altavoces asociadas a cada zona del túnel.

Los gestores locales de megafonía deben ser capaces de procesar las señales de audio, supervisar las etapas amplificadoras y sus respectivas líneas de altavoces, mezclar y permitir realizar cualquier combinación de entradas y salidas de audio. Los gestores locales de megafonía son controlados por el servidor de megafonía ubicado en el Centro de Control.

La transmisión de la señal de audio desde los gestores de megafonía hasta las etapas amplificadoras se puede realizar a través de:

- Señal eléctrica a través de par trenzado, categoría 6A, con interfaz de red 10/100 Base-TX.
- Señal óptica a través de fibra óptica, empleando transceptores para la conversión de la señal óptica a eléctrica y viceversa.

Los gestores locales de megafonía controlarán y supervisarán las etapas amplificadoras asociadas a estos, recibiendo información del estado de funcionamiento de las etapas amplificadoras y de las líneas de altavoces, activando cada una de las etapas amplificadoras cuando deben transmitir un aviso.

Cada gestor local de megafonía controlará y supervisará el funcionamiento de las etapas amplificadoras asociadas a este, recibiendo información del sistema de supervisión de etapas amplificadoras y de sus líneas de altavoces. El gestor local de megafonía activa cada etapa amplificadora cuando ésta debe transmitir un mensaje.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

También existen equipos que integran en un mismo equipo el gestor local de megafonía y la etapa amplificadora lo cual simplifica la instalación.

6.2.8 Sistema de control centralizado de megafonía

En el Centro de Control se instalará el servidor central de megafonía que gobernará el sistema y su principal función será la multiplexación de las señales de audio. Este servidor se comunicará con el servidor de seguridad, vigilancia y control de los túneles el cual podrá emitir mensajes pregrabados.

Los mensajes podrán ser emitidos:

- Desde pupitres (físicos o virtuales mediante aplicación software) con micrófono emisor microprocesado, con capacidad para dar mensajes y seleccionar zonas.
- Utilizando mensajes pregrabados, reproducidos por el ordenador a través de una tarjeta de audio con conversores ADC y DAC o bien generados por un equipo independiente. Los mensajes podrán programarse para que sean repetidos automáticamente hasta la indicación contraria por parte del operador. Se podrán configurar secuencias de mensajes para ser reproducidos uno tras otro en la misma o en distintas zonas, y podrán ser activados automáticamente desde las aplicaciones de seguridad, vigilancia y control en el servidor.

El sistema debe ser totalmente escalable tanto en el número de estaciones gestoras como en el número de gestores locales de megafonía que controle.

6.2.8.1 Elementos del sistema de control centralizado de megafonía

Entre los elementos que componen el sistema se distinguen los siguientes:

- Estación de trabajo: permite al personal de operación gestionar el sistema, administrar los reproductores y mensajes. La estación de trabajo incluye también el pupitre microfónico, desde el cual se puede enviar mensajes en tiempo real o realizar grabaciones para su repetición posterior.
- Servidor de Megafonía: concentra todas las peticiones de las estaciones de gestión y sistemas externos generadores de mensajes automáticos, transmitiéndolos a los diferentes gestores locales de megafonía distribuidos en la red, pudiéndose administrar en remoto a través de las estaciones del personal de operación.

También se instalarán preamplificadores, elementos generadores automáticos de avisos, las placas electrónicas, el software de control y del sistema operativo, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.3 Radiocomunicaciones. Retransmisión por radio

El túnel es un medio cerrado y confinado donde los servicios encargados de la explotación y de la seguridad necesitan disponer de una continuidad de comunicación de radio cuando deban intervenir. De la misma forma los usuarios valoran conservar la recepción de la señal de emisoras comerciales e incluso de la telefonía móvil.

Ahora bien, excepto circunstancias muy excepcionales, los túneles representan "zonas de sombra" en las cuales las ondas hertzianas utilizadas no se propagan.

El sistema de radiocomunicaciones o de retransmisión de radio del túnel se encarga de proporcionar un servicio de comunicaciones de radiofrecuencia en el interior del túnel, con prestaciones como las que se dan en el exterior del mismo, dado que lo único que se hace es una extensión de la cobertura radioeléctrica existente en el exterior de los túneles al interior de los mismos.

Los túneles, en su interior, deben disponer de cobertura de radiocomunicaciones para los servicios de emergencia. Para conseguir esto, todos los túneles de tipo I y tipo II deben disponer de un sistema de retransmisión de señales de radio de las frecuencias de uso para emergencias y explotación, cuando los servicios de emergencias, explotación, conservación y mantenimiento tengan un nivel de señal insuficiente o no admisible en su interior.

El sistema de radiocomunicaciones debe procurar cobertura de los servicios de explotación, mantenimiento, conservación y los servicios de emergencia:

- El interior de cada uno de los tubos que constituyen los túneles.
- En los accesos de cada uno de los tubos.
- En galerías de comunicación entre tubos y en su caso entre túneles.

Se recomienda que los locales técnicos posean cobertura radioeléctrica de los servicios mínimos, en caso de no ser posible, los locales técnicos deberán disponer de un medio de comunicación por voz con el Centro de Control, mediante telefonía o interfonía.

6.3.1 Objetivo del sistema de radiocomunicaciones

La voluntad de garantizar las radiocomunicaciones en el interior de los túneles contempla un objetivo esencial, la seguridad. El sistema de radiocomunicación garantiza a los distintos servicios de ayuda y seguridad una mejor eficacia, incrementando la seguridad en su interior, ya que en condiciones extremas producidas por cualquier incidencia, los servicios de emergencia disponen de un sistema de comunicaciones eficaz que posibilita la coordinación de todos los servicios involucrados en el mismo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En el caso de que el sistema de radiocomunicaciones, incluya la funcionalidad de radiodifusión de emisoras en la banda de FM comercial, la continuidad de la escucha de radio en el túnel tiene otra ventaja, la comodidad. En túneles donde los usuarios se ven obligados a estar un tiempo importante, ya sea por su longitud o debido a congestión del tráfico, la posibilidad de escucha de programas de radio comercial, permite reducir el efecto de claustrofobia además de aumentar el confort de los usuarios.

En el caso de incorporar el servicio de retransmisión de emisoras comerciales, el sistema debe posibilitar la inclusión de mensajes de seguridad destinados a los usuarios, interrumpiendo la emisión de la señal comercial.

El sistema deberá permitir la emisión reiterativa de mensajes pregrabados de radio en las emisoras comerciales, sin necesidad de intervención del operador en cada uno de ellos, como medio de ayuda a la evacuación del túnel. Con esta funcionalidad añadida, el sistema de radiocomunicaciones sirve de apoyo al sistema de megafonía y a la señalización dinámica.

Si el sistema de radiocomunicaciones dota de cobertura en el interior del túnel de telefonía móvil, los usuarios pueden comunicarse con el exterior, pudiendo informar sobre cualquier incidente.

6.3.2 Funcionalidades del sistema de comunicación

El sistema de retransmisión de comunicaciones permitirá una serie de facilidades de comunicación de los terminales radio que se encuentran en el interior del túnel para cada uno de los canales o servicios que lo integran. A continuación se describen las facilidades de comunicación de cada uno de ellos:

- Terminal radio móvil o portátil dentro del túnel con terminal móvil o portátil también dentro del túnel.
- Terminal radio móvil o portátil dentro del túnel con su estación base o centro de control en la población en donde presta sus servicios y viceversa.
- Terminal radio móvil o portátil dentro del túnel con terminal radio móvil o portátil fuera del túnel que se encuentre bajo la cobertura de los repetidores o estación de cobertura del servicio correspondiente y viceversa.

6.3.3 Radiocomunicaciones a retransmitir

Los distintitos tipos de radiocomunicaciones que se deberán retransmitir en los túneles de carretera son los siguientes:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Radiotelefonía privada. Los radioteléfonos privados son utilizados por los servicios de explotación, mantenimiento, conservación y de emergencia. Estos radioteléfonos operan generalmente en modo semidúplex, requiriendo dos frecuencias por canal: una para la emisión y otra para la recepción.
- Radiodifusión de emisoras comerciales. Normalmente se contempla únicamente la banda de FM comercial (88 a 108 MHz). En caso de ocurrir un incidente en el interior o en la salida del túnel, se aprovecha este sistema para interrumpir la señal de la emisora comercial y sustituirla la por un aviso a los usuarios. Estos mensajes se deberán emitir en las frecuencias de las emisoras comerciales, obteniendo la fuente de audio de un micrófono instalado en cada mesa de operador en el centro de control o de mensajes pregrabados reproducidos por ordenador, en una o varias lenguas. Se deberá retransmitir a un mínimo de 6 emisoras comerciales, siendo las de mayor audiencia en las proximidades del túnel las que se transmitan en primer lugar.
- Radiotelefonía móvil. Todos los túneles, en su interior deberán facilitar la instalación de telefonía móvil en su interior o disponer de cobertura de telefonía móvil. Los servicios de teléfonos móviles, cuyas bandas de frecuencia son 800 MHz, 900 MHz, 1.500 MHz, 1.800 MHz, 2.100 MHz y 2.600 MHz, requerirán un sistema de retransmisión en el interior de los túneles para mantener la cobertura. Durante la fase de proyecto se analizará con los diferentes operadores la instalación, generando así las especificaciones necesarias; por lo que se debe incluir un estudio en la fase de proyecto en la que se fijará el espacio físico que ocupará el sistema, las acometidas necesarias para su funcionamiento, así como todos los elementos necesarios para su instalación y correcto funcionamiento.
- Recomendable la instalación de un Sistema RDS. El sistema de datos vía radio (RDS o Radio Data System), utiliza una subportadora de FM para transmitir datos a baja velocidad (unos 250 bps) a receptores especialmente preparados para decodificar esta señal. RDS contempla varios servicios, de los cuales RDS-TA (Traffic Announcement) y RDS-TMC (Traffic Message Channel) están específicamente diseñados para la difusión de información de tráfico. El sistema de retransmisión de emisoras en la banda comercial no deberá afectar a la información RDS.

6.3.4 Estructura de los sistemas de radiotelefonía

6.3.4.1 Espectro de frecuencias a retransmitir

Todos los túneles deben tener cobertura para los sistemas de radiocomunicaciones privadas de los siguientes servicios:

- SOS DEIAK.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Servicio de extinción de incendios y salvamento: bomberos.
- Servicios sanitarios: DYA, Cruz Roja y Red de Transporte Sanitario Urgente (RTSU).
- Ertzaintza.
- Explotador del túnel.

En la realización del proyecto de radiocomunicaciones se deberá partir de las frecuencias de trabajo de cada uno de los servicios indicados, así como de los servicios de radiodifusión añadidos en el interior del túnel.

El nivel mínimo de señal a garantizar será 6 dB por encima de la sensibilidad del receptor medio.

6.3.4.2 Elementos del sistema de retransmisión de radio

6.3.4.2.1 Subsistema de captación de señales del túnel

El subsistema de captación de señales del túnel debe encargase de enlazar con las estaciones radio que proporcionan cobertura del sistema de comunicaciones en las zonas exteriores de los túneles. Su función es la de capturar las señales de los repetidores externos de los servicios a incorporar al sistema de comunicaciones del túnel y su envío al subsistema de retransmisión, encargado de dotar de cobertura al interior del túnel.

Este subsistema está compuesto por una red de antenas, encargadas de transmitir y recibir las señales de los canales de comunicaciones radio que se incorporarán al sistema de comunicaciones del túnel, así como de recibir las señales de las emisoras comerciales.

Las antenas a instalar son de dos tipos:

- Directivas: cuando se debe transmitir y recibir señales de RF con la estación repetidora más cercana (servicios de emergencia, telefonía móvil...).
- Omnidireccionales: cuando únicamente ésta recibe las señales de las estaciones repetidores (emisoras comerciales).

Cada una de las antenas debe conectarse a su respectivo subsistema de alimentación de señal mediante el cableado correspondiente.

6.3.4.2.2 Subsistema de alimentación de señal de RF

Este subsistema debe amplificar las señales de RF captadas por el subsistema de antenas, mediante amplificadores de canal (bi o unidireccionales) o por un sistema de transceptores. En sentido contrario,

cve: BOB-2025a082-(I-327)

este subsistema recogerá las señales de RF del sistema radiante, las amplificará y transmitirá al sistema de antenas.

Se compondrá de un conjunto de dispositivos de tratamiento de la señal: transmisores, receptores, multiacopladores, combinadores y amplificadores.

El sistema multiacoplador multibanda proporcionará una única salida de la vía transmisión y una única salida de la vía de recepción de las señales, procedentes y destinadas al túnel, mediante la combinación de las señales que se encuentran en bandas de frecuencias diferentes.

Los equipos de este sistema deberán instalarse en las proximidades de una de las bocas del túnel o en su interior.

6.3.4.2.3 Sistema de retransmisión de señales en el interior del túnel

El sistema de retransmisión de señales en el interior túnel se encargará de realizar la cobertura radioeléctrica en el interior del túnel. Este sistema está compuesto por los siguientes subsistemas:

- Sistema radiante
- Sistema de equipos amplificadores de túnel

Sistema radiante

En el supuesto que se empleen antenas directivas se deberá realizar un estudio que analice: la banda de frecuencias, la separación entre canales, el trazado del túnel, el revestimiento y la sección del túnel. En dicho informe se deberá ofrecer una solución que garantice la calidad de la señal a lo largo de todo el túnel.

La solución de cable radiante permite simultanear tantos canales como se deseen, siempre y cuando se disponga de las unidades multiacopladores necesarias para su conexión al cable radiante. También permiten incorporar sistemas de radiotelefonía así como la emisión de señales procedentes de emisoras de FM o AM comerciales. El cable radiante se ubicará, preferentemente, en la clave del túnel.

El cable radiante deberá poder retransmitir la señal al interior del túnel y galerías, con mínimas pérdidas de acoplamiento del 5% y propagación de la señal en el rango de entre los 30-980 MHz. Las etapas amplificadoras estarán equipadas de tal manera que deberán poder transmitir cualquier canal Tetra y deberá transmitir un mínimo de dos portadoras Tetra. Sea el servicio que sea, se deberá garantizar una sensibilidad de 6 dB por encima de la sensibilidad del receptor.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.3.5 Supervisión del sistema de Radiocomunicaciones

Debe ser supervisado y controlado por la aplicación de gestión integral del túnel. Para túneles de nueva construcción o remodelación del sistema de radiocomunicaciones, éste deberá generar alarmas y mostrarlas en la aplicación de gestión integral del túnel cuando alguno de sus sistemas falle, las alarmas a recibir serán:

- Alarma por fallo en las comunicaciones: en caso que se produzca un fallo en alimentación del sistema o fallo en la comunicación con el sistema, la aplicación de gestión integral del túnel deberá emitir una alarma asociada al mismo.
- Alarma por baja calidad de la señal: en caso que la señal recibida por los módulos receptores, baje de los límites tolerados para su comprensión se deberá emitir una alarma en la aplicación de gestión integral del túnel, identificando que la señal recibida es de baja calidad.
- Fallo de alguno de los módulos de E/S: ya sea en el receptor, emisor o mezclador. Indicará el módulo de fallo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 SISTEMA DE CONTROL CENTRALIZADO

7.1 Introducción

El control centralizado es un sistema que permite al personal de operación del centro de control supervisar, monitorizar y actuar sobre los equipos e instalaciones del túnel que forman los sistemas de seguridad y vigilancia (Alumbrado, Ventilación, Gestión de Tráfico, CCTV y DAI, Sistemas Contra Incendios, Sistemas de Comunicaciones, etc.). Al mismo tiempo, el sistema realiza un control de las distintas instalaciones o sistemas que dispongan de alarmas técnicas para tal fin. Todos los túneles de Tipo I y II según se indica en el Decreto Foral de Seguridad en Túneles, deben disponer de control centralizado al presentar sistemas de seguridad y vigilancia.

El control centralizado tiene por objetivo principal la rápida detección de las emergencias y su inmediato tratamiento con actuación sobre los distintos sistemas. Además del objetivo primordial de la seguridad, el sistema de control centralizado, como encargado de controlar, gestionar y coordinar las instalaciones de vigilancia, control y seguridad de los túneles, tiene como objetivo conseguir las siguientes condiciones:

- Una máxima seguridad y comodidad en las condiciones de conducción para el personal en tránsito por el túnel, así como para el personal de operación que realiza la explotación y mantenimiento del mismo.
- Un óptimo rendimiento de los dispositivos: seguridad de los equipos, alargamiento de su vida útil, minimización de recursos de energía.
- Funcionamiento regular, estable y coordinado de todos los sistemas.

El sistema de control centralizado adquiere los datos e información de los elementos instalados en campo, procesa la información generando las órdenes adecuadas según los algoritmos de control implementados y las transmite a los elementos de campo.

Los datos e información obtenidos de los equipos de campo son transmitidos a un centro de control en el que se muestra el estado actual del túnel y de sus instalaciones y se realizan actuaciones sobre los distintos sistemas. Estas actuaciones se transmiten a los equipos situados en campo. De esta forma, el sistema de control centralizado de túneles realiza las siguientes tareas:

- La adquisición de la información y datos generados por los equipos instalados en campo. Entre estos datos se encuentran tanto las medidas realizadas por los sensores como las alarmas técnicas del estado de funcionamiento de los equipos y sistemas de campo.
- La transmisión de todas las medidas y alarmas técnicas desde cada uno de los equipos de campo hasta el Centro de Control.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Procesado de toda la información proveniente de los diferentes sensores, mostrando la información del estado del túnel en tiempo real y permitiendo el acceso a toda la información proporcionada por los sistemas de seguridad y vigilancia.
- Detección de incidentes a partir de las medidas y alarmas generadas por los sensores. Ejecución de acciones en función de estos incidentes.
- Transmisión de órdenes a los equipos y sensores instalados en los túneles y sus accesos, bien manualmente o a partir de estrategias de actuación programadas.
- Registro de históricos y su posterior consulta.

El sistema de control centralizado deberá interactuar con el resto de sistemas de seguridad y vigilancia del túnel, gestionándolos de forma conjunta para controlar el túnel como una sola unidad, de forma que los datos suministrados por un sistema permitan actuar de forma automática sobre cualquier otro sistema implicado.

El sistema de control centralizado debe permitir, al personal de operación del centro de control:

- Obtener y mostrar el estado de funcionamiento en tiempo real de todos los dispositivos de campo de los distintos sistemas.
- Actuar de forma automática, semiautomática (con confirmación del personal de operación del centro de control) y/o manual sobre los dispositivos instalados a tal fin.
- Realizar una gestión de incidentes cuya definición se realiza en la Instrucción Técnica VII de Explotación.

Todos los sistemas deben ser supervisados y controlados desde un centro, que puede ser exclusivo de un túnel o común para varios túneles. Todos los túneles que pertenezcan a una misma Explotación se controlarán desde un Centro de Control único. Para ello se instalará un sistema de comunicaciones que permita esta centralización en una única sala.

Si el túnel se controla desde el Centro de Control de la Diputación, los sistemas deben integrarse en el software de control unificado. Si el túnel dispone de Centro de Control de túneles propio, deberán disponer de equipos y medios para exportar todos los datos, información e imágenes adquiridas y que estos estén disponibles en tiempo real desde el centro de la Diputación, e integrar todos los sistemas en el software de control de la Diputación. Para ello se deberán interconexionarse los centros de control, de forma tal que se permita una gestión remota del túnel desde un centro remoto.

Es por ello que se debe incluirse en proyecto partidas para la interconexión y las labores necesarias para la integración en el software de control de la Diputación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La arquitectura del control se basa en un *Sistema de Lógica Distribuida con Control Centralizado.* La lógica de control (algoritmos de control) de los sistemas se encuentra integrada en equipos ERUT (Estación Remota Universal de Túneles), basada en la norma UNE 135411, que se encuentran distribuidos por el túnel y disponen de capacidad para controlar de forma local a los distintos equipos de campo. También se considerarán aceptados sistemas de control basados en PLC, o la combinación de ambos, un sistema mixto PLC y ERUT. Los elementos que forman la Arquitectura de control serían:

Unidades de Periferia Distribuidas (UPD), PLC de seguridad para automatismos locales y la ERUT. Las UPD se instalarían cuando la distancia entre la ubicación de las señales de entrada y salida y el autómata programable sea considerable. De esta manera, estos equipos realizarán la labor de concentradores de señales para la recogida y transmisión de las órdenes desde el Centro de Control, hasta los equipos en campo a través de los Controladores de la Red. Tanto la ERUT como el PLC realizarán un control de los sistemas relacionados con la Protección Contra Incendios: el sistema de control de la ventilación, iluminación, señalización, agua nebulizada, etc…

El PLC deberá tener la suficiente capacidad como para tratar y recibir las señales procedentes de los sistemas asociados a ella. Se deberá dejar una reserva de un 25% de señales para futuros sistemas a instalar, y que disponga de la capacidad de ser modular y ampliable, para que en un futuro no sea necesaria la sustitución completa del elemento.

El control es centralizado ya que los algoritmos de control de los sistemas de seguridad y vigilancia, son modificables desde el centro de control. Los algoritmos que sean posibles residirán en los equipos inteligentes de campo (PLC/ERUT) y en la aplicación de gestión integral del túnel, se encontrarán aquellas rutinas que por su tipología (por ejemplo porque interactúan con el servidor central de vídeo, de megafonía…) sólo pueden estar en el nivel Centro de Control: parámetros de configuración de los distintos algoritmos, definición de umbrales de alarmas, etc…

Los principales elementos de los que consta el sistema control centralizado son:

- Red de control en campo. Es la encargada de la adquisición de la información y datos generados por los equipos instalados en el túnel o en sus accesos, y de transmitir las órdenes desde el centro de control hasta los equipos instalados en campo. Está constituida por:
    - Equipos de campo. Equipos instalados en el túnel o en sus accesos que se pretenden controlar de un modo centralizado.
    - UPD. Dispositivos capaces de adquirir y transmitir señales analógicas y digitales y/o comunicarse con equipos instalados en campo, a través de enlaces tipo serie. Sirven de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

interfaces entre las ERUT/PLC y los equipos de campo de las instalaciones del túnel. Se emplean en la arquitectura de adquisición de datos con concentradores.

- PLC (Controlador Lógico Programable). Deberá disponer de bus de comunicaciones altamente probado del estilo de: Modbus TCP, RTU, Profinet, Profibus, DNP3, EtherCat o cualquier otro de características técnicas similares, conector RS-485, conector Ethernet o fibra óptica para comunicarse con el centro de control. Deberá ser programable para las necesidades de los equipos que controle y configurable como maestro o esclavo. Dispondrá de memoria suficiente para la programación del equipamiento que controle, y disponer de una reserva para futuros equipos, o que sea modular para su posterior ampliación en caso de necesidad. Las características de las prestaciones se ajustarán a la cantidad de dispositivos que controlen, pero deberán ser redundantes a nivel de hardware y estar configurados en alta disponibilidad, y tiempos de conmutación del PLC primario al secundario, inferiores a los 5 segundos. En túneles de nueva construcción y/o remodelación del sistema de control, los dos nodos PLC deberán estar en ubicaciones físicas diferentes.

- ERUT (Estaciones Remotas Universales de Túnel Redundantes). Deberá cumplir con la norma UNE 135411, destacando la parte 3-2:2004 “Equipamiento para la señalización vial. Estaciones remotas. Parte 3-2: Características funcionales. Estaciones remotas de túnel”. Su labor es concentrar los datos e información generada por los equipos de campo instalados en el túnel, realizar un control lógico distribuido de las distintas instalaciones o sistemas a supervisar y controlar, transmitir al centro de control los datos e información de los equipos de campo y de forma inversa enviar las órdenes generadas desde el centro de control a cada uno de los sistemas o instalaciones del túnel.

  Tanto los PLC como las ERUT poseen capacidad de proceso, disponiendo de forma integrada de la lógica de control de las instalaciones y realizan un control a escala local de los sistemas asociados a ella.

  Son elementos de adquisición y transmisión de datos, realizando la conexión y comunicación de los diferentes equipos con el centro de control. Las remotas deben realizar tanto funciones básicas de control como de comunicaciones (procesan mensajes, emiten órdenes de control y comunicación y gestionan las comunicaciones entre los elementos que despenden de ellas y el centro de control). Las características

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de las prestaciones se ajustarán a la cantidad de dispositivos que controlen, pero deberán ser redundantes a nivel de hardware y estar configurados en alta disponibilidad. Los tiempos de conmutación del nodo primario al secundario deberán ser inferiores a los 5 segundos. En túneles de nueva construcción y/o remodelación del sistema de control, los dos nodos deberán estar en ubicaciones físicas diferentes.

- Red de área local de campo. Incluye la red de comunicaciones LAN (Local Area Network) y el equipamiento para conectar a las ERUT y PLC a la misma. Con esta red se comunican entre sí las distintas ERUT y PLC del mismo túnel o incluso las de túneles próximos. Se establece como base la utilización redes Ethernet, empleando como medio típico de transmisión F.O. Sobre estas redes se establecen protocolos TCP/IP.

- Red Troncal de Transporte. Red troncal de transporte que permite la comunicación entre el centro de control y las ERUT/PLC instaladas en los túneles. La conexión de las ERUT/PLC a la red troncal se realiza mediante Nodos de Comunicaciones.
- Centro de Control. Lugar donde se centraliza la información procedente del túnel o conjunto de túneles, desde donde se envían las órdenes para actuar sobre los equipos de campo a partir de estrategias de actuación programadas en el centro.

  Toda la información, capturada por los PLC o las ERUT, será transmitida al Centro de Control donde es procesada, almacenada y mostrada al personal de operación para que éste tenga una visión global y en tiempo real del estado del túnel. Desde los puestos de operación del Centro de Control el personal de operación supervisará y controlará todas las instalaciones de seguridad y vigilancia que poseen los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.2 Red de control en campo

La red de control de campo es el medio de comunicaciones entre las ERUT/PLC y los equipos de campo. Además de realizar todo el control lógico de los sistemas de campo realizado desde las ERUT o PLC.

La red de control de campo tiene la siguiente funcionalidad:

- Adquisición de los datos e información generada por los equipos de campo; medida de los sensores y alarmas técnicas de los distintos sistemas a controlar.
- Control lógico de los sistemas a controlar y supervisar, transmitiendo las órdenes de control a los equipos de campo.
- Transmisión al centro de control de todos los datos e información adquiridos de los equipos de campo que forman todos los sistemas de seguridad y vigilancia del túnel.
- Recepción de las órdenes generadas desde el centro de control y la transmisión de estas actuaciones a los equipos de campo.

7.2.1 Equipos de campo

Son los equipos instalados en el túnel que integran los distintos sistemas de seguridad y vigilancia. Estos equipos de campo son gestionados por el sistema de control centralizado que de forma general realiza dos tipos de actuaciones en ellos:

- Adquisición de datos: recepción de la información procedente de cámaras, sensores y detectores instalados en los distintos túneles; la información puede ser medidas o alarmas.
- Actuación: órdenes para actuar sobre la ventilación, iluminación, señalización, actuadores y otros equipos de campo.

A continuación se detalla las medidas, alarmas y ordenes mínimas que el sistema de control centralizado deberá recibir o generar de los distintos sistemas de seguridad y vigilancia. La obligación vendrá dada por la instalación de los distintos equipos de campo necesarios para la adquisición de datos y actuación que viene detallada en cada uno de los capítulos correspondientes a cada uno de los sistemas de seguridad y vigilancia.

En cada uno de los diferentes apartados de las IT de alumbrado, ventilación, protección contra incendios y seguridad, vigilancia y control, se encuentran las diferentes señales y alarmas que el centro de control debe recibir e integrar en la aplicación de gestión integral de túneles. Como resumen de parte de las señales que se deben integrar de la IT VI de Seguridad, Vigilancia y Control se mencionan:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- PMV
  - Pictogramas y mensaje mostrado
  - Comunicación
  - Puerta abierta.
  - Exceso de temperatura.
  - Batería baja, en caso de disponer.
- Gestión de Tráfico
  - Activación de la señalización dinámica (semáforos, aspa-flecha, clv...)
  - Comunicación con los elementos de señalización dinámica y barreras.
  - Estado o aspecto mostrado de la señalización.
  - Estado de la barrera y señalización asociada.
  - Fallo de bajada de barrera por vehículo en la trayectoria de bajada.
  - Medidas de aforo y clasificación del tráfico.
  - Medida de las condiciones medioambientales en los accesos al túnel.
  - Alarmas de detección de vehículo con exceso de gálibo.
  - Estado de la señal oculta de gálibo.
  - Comunicación con la señal oculta de gálibo.
  - Comunicación con el sensor detector de exceso de gálibo.
  - Alarmas de detección de vehículo detenido en apartadero (si dispusiera).
  - Alarmas inmediatas generadas por los sistemas de detección de tráfico: retenciones/congestión y vehículo circulando en sentido contrario.
- CCTV y DAI
  - Alarmas generadas por los sistemas de detección automáticos basados en vídeo: vehículo parado (calzada, arcén, apartadero), tráfico lento, vehículo lento, peatones, obstáculo caído, vehículo circulando en sentido contrario, vehículo circulando con exceso de velocidad, congestión y humo o niebla.
  - Alarmas técnicas del sistema: cámara movida de posición de referencia, pérdida de señal de una cámara, calidad pobre en la señal de video, fallo en algún elemento del sistema, problema de comunicaciones…
  - Estado del sistema de control motorizado y zoom de las cámaras que dispongan de estas características.
  - Alarmas del sistema de grabación de imágenes.
  - Estado del sistema de almacenamiento de imágenes.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Recepción de la señal de las cámaras.
- Fallo de comunicaciones.

- Sistemas de Comunicación de voz
  - Postes SOS:
    - Alarma de solicitud de llamada en poste SOS
    - Apertura de fonía en poste SOS
    - Volumen del poste SOS
    - Puerta abierta del SOS
    - Extintor extraído del poste SOS (si dispone)
    - Estado de batería baja del poste SOS (si dispone)
  - Alarmas y estados de los amplificadores y etapas del sistema de megafonía:
    - Estado de las etapas amplificadoras
    - Mensaje emitiéndose
    - Estado de altavoces, si dispusiera de esta funcionalidad
    - Estado del gestor local
    - Fallo de comunicación
    - Fallo del gestor local
    - Fallo del servidor de megafonía
    - Fallo de micrófonos o pupitre microfónico del centro de control
    - Fallo de algún circuito de altavoces, circuito abierto o cortocircuito
    - Fallo de amplificadores
  - Alarmas y estado del sistema de radiocomunicaciones
    - Fallo en alimentación
    - Fallo de comunicaciones
    - Baja calidad de la señal
    - Fallo de los módulos de E/S, indicando el módulo de fallo
    - Emisión de mensajes de emergencia por sistema de radio convencional (si dispone)
- Alarmas técnicas del hardware del centro de control y locales técnicos:
  - Alarmas y estado de los nodos de comunicaciones
  - Alarmas técnicas sobre los sistemas de alimentación eléctrica y comunicaciones
  - Medidas y alarmas técnicas específicas que generen cada uno de los equipos (estado del equipo, detección de averías) y sistemas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Alarmas y estado de los servidores del sistema de control central (nodo activo: maestro o esclavo).
- Estado de la capacidad de los sistemas de almacenamiento: cabina de discos, videograbadores, etc.
- Estado de los servidores de la aplicación de gestión integrada del túnel
- Puertos de comunicaciones caídos
- Alarma de temperatura y humedad del CPD
- Alarma de incendio de la sala de del CPD
- Estado de los equipos de comunicación y servidores: funcionamiento, fallo, pérdida de comunicaciones, alarmas activas, etc.

7.2.2 UPD

Las entradas y salidas de los equipos de campo, tanto analógicas como digitales así como la información del mismo transmitida, se integran al sistema por medio de Módulos de E/S remotos asociados a su respectiva ERUT/PLC, por medio de un bus de campo estándar, abierto y de amplia difusión. Estos módulos deben basarse en la tecnología denominada "*Field Independent Terminal Block"*. Cada bloque de módulos se compone de una cabecera que realiza la labor de comunicaciones con el bus de campo, y tarjetas modulares de E/S que son los que tienen la función de adquisición y transmisión de señales con los equipos de campo.

Los módulos de E/S, con su cabecera interfaz al bus de campo, se distribuyen por el túnel instalándose en los armarios de los postes SOS situados en los hastiales del túnel. Con esta distribución los módulos se acercan a los sensores a medir y a los elementos sobre los que actuar, facilitando la instalación.

Con los módulos de E/S se obtiene una estructura de adquisición de datos con concentradores, la cual tiene unas ciertas ventajas:

- Arquitectura más flexible. Se puede integrar fácilmente módulos de E/S en el bus de campo, pudiéndose ampliar el bus.
- Se produce un ahorro significativo de cable y, por tanto, una menor probabilidad de fallos y se disminuye costos.
- Instalación modular, lo que redunda en su robustez y sencillez.

La actuación sobre los elementos del túnel lo realizan de forma directa las estaciones remotas mediante los módulos de E/S. Estos módulos se adecuan para cada caso a los tipos de señales de los sensores y actuadores del túnel. Las señales deben tener las siguientes características:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Entradas Analógicas
- Salidas Analógicas
- Entradas Digitales
- Salidas Digitales
- Enlaces serie: RS-232C (V.24), RS-422 / RS-485 (X.27)

7.2.2.1 Características técnicas de las UPD

Las UPD estarán formada por:

- fuente de alimentación,
- módulo interfaz,
- diferentes módulos de entradas y salidas analógicas/digitales según la necesidad de las señales que concentre.
- para concentrar todas las señales en cada UPD se instalará un bornero donde se realizará el conexionado de todas esas señales con bornas seccionables, diferenciando entre entradas analógicas (que deberá disponer de módulos de protección contra sobretensiones), salidas analógicas, entradas digitales y salidas digitales. El protocolo de comunicación será un bus de campo estándar, preferentemente sobre Ethernet, como Modbus/TCP, Profinet, EtherNet/IP, Profibus, etc…
- el medio de transmisión será: fibra óptica, cable Ethernet, cable cuadrete o aquel que sea requerido
- Velocidad mínima de transmisión de información 100Mbs
- Deberá tener un mínimo de dos puertos de red de al menos 100Mbs para disponer de redundancia.
- Deberá disponer de una CPU que permita su programación.
- Nivel mínimo de protección IP20
- Modularidad granular. Configurable con tarjetas modulares de entrada/salida.
- Inmunidad a los ruidos.

Las UPD se instalarán de forma distribuida pudiéndolo hacer en los armarios de los nichos de los postes SOS del interior de los túneles, como en los armarios exteriores y de ERUT/PLC. Todo el conexionado se realizará con cables de pares, cable de red o fibra óptica. El cableado deberá cumplir con los requisitos técnicos siguientes:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Ser libre de halógenos (UNE-EN 50267-1, 2-2 y 2-3, IEC 60754.2)
- No propagador de llama (UNE-EN 50265-1 y 2-2, IEC 60332.2)
- No propagador de incendios (UNE-EN 50266, IEC 61034-1)
- Baja opacidad de humos emitidos (UNE-EN 50268-1, IEC 61034-1)
- Baja acidez y corrosividad de gases emitidos (UNE-EN 50267-2- y 2-3, IEC-60754.2)

7.2.3 PLC

Este tipo de tecnología se realiza con sistemas de periferia descentralizada (E/S remotas: ventilación, sensores, equipamiento distribuido…). Debe disponer de una estructura modular que permite escalar y ampliar los sistemas de forma sencilla en caso de necesidad. Estos módulos escalables deberán disponer de diferentes funcionalidades, como entradas/salidas digitales/analógicas, módulos inteligentes con funcionalidades de CPU, funciones de seguridad, sistemas arrancadores, módulos tecnológicos, funciones de comunicación vía red mediante RJ45 o fibra óptica, sistemas de control maestro-esclavo, sistemas de diagnóstico, ampliación de memoria programable, etc.

La arquitectura basada en PLC dispondrá de Unidades de Periferia Distribuida (UPD) que actuarán como centradores de señales para la recogida y envío de señales y transmisión de órdenes desde el centro de control hasta los equipos de campo y viceversa, a través de los controladores de red.

El PLC deberá ir sobre perfil y debe estar formado por un módulo interfaz que comunica con los controladores que se comunican con él. Podrá haber un máximo de 64 módulos que sean controlados por un único módulo interfaz. Un túnel dispondrá al menos de un controlador PLC con dos CPU, una actuando de maestra y otra de esclava separados en distintos emplazamientos, con un sistema de comunicaciones que será a través del que se comunique con el centro de control. El controlador PLC deberá disponer de dos CPU del mismo tipo para que en caso de fallo en una estación maestra, se conmute a la estación de reserva de manera automática e inmediata. Los tiempos de conmutación de una CPU a la otra deberán ser inferiores a 5 segundos.

Los controladores de red deberán formar un sistema redundante de alta disponibilidad y para ello deberán disponer de:

- Doble CPU en modo redundante
- Doble fuente de alimentación
- Doble conexión de fibra entre las CPU redundantes (sincronización entre CPU redundante con doble CPU)
- Doble conexión Ethernet hacia el centro de control, vía sistema procesador dedicado Ethernet/modbus TCP o similar en el controlador.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Estos equipos deberán estar situados en los locales técnicos y para túneles de nueva construcción y/o remodelación de los ya existentes, cada elemento redundante deberá estar en un emplazamiento diferente. Tendrán conexión directa con los servidores del software de gestión del túnel mediante los equipos de comunicaciones troncales.

7.2.4 Estaciones remotas universales de túneles (ERUT)

El sistema de control centralizado está basado en la estructura de un Control Distribuido, que permite gestionar directamente los distintos equipos de campo objeto de supervisión y control, tratándolos como sistemas. Las ERUT son los equipos que gobiernan de forma autónoma estos sistemas, realizando un control inteligente de forma local aunque en perfecta coordinación con el Centro de Control.

Su labor es concentrar los datos e información obtenida por los equipos de campo instalados en el túnel, realizar un control lógico distribuido de las distintas instalaciones o sistemas a supervisar y controlar, transmitir al centro de control los datos e información de los equipos de campo y de forma inversa enviar las órdenes generadas desde el centro de control a cada uno de los sistemas o instalaciones del túnel.

Poseen capacidad de proceso, disponiendo de forma integrada de la lógica de control de las instalaciones y realizan un control a escala local de los sistemas asociados a ella. La totalidad de los sistemas de control del túnel están relacionados entre sí e integrados en un Sistema de Lógica Distribuida con Control Centralizado.

Son elementos de concentración, gestión y transmisión de datos, realizando la conexión y comunicación de los diferentes equipos con el centro de control. Las ERUT deben realizar tanto funciones básicas de control, como de comunicaciones (procesan mensajes, emiten órdenes de control y comunicación y gestionan las comunicaciones entre los elementos que dependen de ellas y el centro de control).

En modo degradado, sin comunicación con Centro de Control, deben poder ejecutar en modo local algoritmos y realizar operaciones programadas.

Arquitectura del sistema

En la arquitectura del sistema, las ERUT se encuentran instaladas en el entorno de los túneles, distribuidas a lo largo de estos siguiendo la filosofía de control distribuido de asociar en el entorno más próximo los equipos de campo. Dentro de cada túnel, las ERUT se instalarán en el interior de los locales técnicos de los túneles o en locales habilitados únicamente para este fin.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Las ERUT presentes en cada túnel se conectan a la Red de Comunicaciones de Área Local, teniendo acceso al nivel superior (red troncal o de transporte). Se establece como base la utilización redes Ethernet, empleando como medio típico de transmisión fibra óptica. Para conectar las ERUT a la red Ethernet se emplean switch. Las ERUT deberán estar ubicadas en los locales técnicos y para túneles de nueva construcción y/o remodelación de los ya existentes, se ubicará cada nodo en un emplazamiento diferente. La arquitectura de comunicación será de anillo para facilitar las redundancias físicas y será aconsejable la creación de redes virtuales para separar tipos de tráfico.

El nodo de comunicaciones enlaza la red local Ethernet con la red troncal o de transporte, que se encarga de transmitir información al servidor del sistema, trabajando como un interfaz.

Para asegurar el control distribuido y las comunicaciones entre los diferentes equipos y el centro de control, se ha previsto la instalación de ERUT de reserva siendo idénticas a las ERUT, que sustituirían de modo automático a las principales en caso de fallo de éstas. Cada ERUT y ERUT de reserva controlan de forma individual zonas del túnel, es decir, por medio de Módulos de E/S unidos por un bus de campo.

La alimentación de una ERUT se realiza a través de un sistema de alimentación ininterrumpida (SAI), protegiendo a la ERUT de caídas transitorias de la tensión de red.

Características técnicas.

La plataforma hardware de la ERUT está basada en un hardware industrial alojado en un armario rack de 19". Debe cumplir con lo establecido en la Normas UNE 135411 "Equipamiento para la señalización vial. Estaciones remotas" y con las ampliaciones de la misma.

El concepto de Estación Remota Universal Túnel amplia los requerimientos de Estación Remota Universal en el tratamiento de Entrada/Salidas Analógicas y Digitales y el tratamiento local de la información para adecuarla a los sistemas y equipos instalados, modelos de datos existentes, arquitectura cliente/servidor, etc.

La Estación Remota Universal de Túneles ha de estar dotada con tantas tarjetas de entrada/salida analógicas y digitales, puertos series estándar y tarjetas de conexión de bus de campo estándar que permita conectar las ERUT con todos los Módulos de E/S. Para el caso de una posible ampliación en el equipamiento de los túneles y sus accesos, la ERUT debe ser totalmente ampliable, escalable y redundante. Siendo los tiempos de conmutación de un nodo a otro, inferiores a 5 segundos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.3 Red de comunicaciones

Las redes de comunicaciones interconectan las redes locales del centro de control, las redes troncales del túnel y las redes locales al túnel, cada una de ellas dispone de unas características y necesidades diferentes, aunque hay requisitos que serán genéricos para todas ellas.

Características de la instalación del cableado:

- Deberá estar estructurado TIA-942
- Con etiquetado duradero y robusto, indicando origen y destino TIA-606
- Deberá estar organizado (peinado)

Características generales del cableado de Fibra Óptica:

- Interior del cableado con fibras de vidrio reforzadas bloqueantes de agua
- Resistente a aplastamiento mínimo 2000 N
- La armadura debe ser de fleje de acero corrugado
- Radio de curvatura mínimo debe ser de 20 veces el diámetro exterior
- El rango de temperaturas de funcionamiento será de -30ºC a 70ºC
- Debe ser resistente a la humedad, estanca y libre de halógenos.
- Debe cumplir con la norma UNE-EN 60794

Características generales del cableado de Cobre:

- El conductor será cobre electrolítico recocido flexible clase 5 según UNE-EN 60228
- La temperatura máxima en el conductor será de 90ºC en servicio y 250ºC en cortocircuito.
- Debe cumplir con la norma constructiva IEC 60502-1
- No debe propagar la llama según norma UNE-EN 60332

Características generales de transporte:

- La red debe ser redundante físicamente y siempre que sea posible por caminos y tubos distintos.
- Se deberá disponer de diferentes VLAN para el tipo de tráfico existente: VoIP, vídeo, gestión, datos, megafonía…
- Se deberá disponer de subredes para cada uno de los túneles que se gestionen en cada centro de control, que permita acotar un incidente en la red.
- Los protocolos soportados serán los estándar TPC/IP, con soporte para QoS, VoIP y VideoIP. Siempre y cuando sea posible se deberá favorecer el uso de tecnología basada en MPLS/TP o MPLS/IP.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- En caso de incidente en algún dispositivo de red, el tiempo de restauración de las comunicaciones deberá ser inferior a los 30 segundos.
- La capacidad de la red será del doble del ancho de banda del máximo calculado en proyecto para la interconexión del equipamiento del túnel con el centro de control, recomendándose que las troncales tengan al menos 10Gb y el resto de redes de 1Gb.

Características generales de las comunicaciones:

- Red de banda ancha, alta velocidad, con capacidad de crecimiento y versatilidad.
- Flexibilidad en la topología de la red: lineal, anillo, malla.
- Ampliación de la red progresiva con la necesidad añadida de hacerlo sin interrupción del servicio de lo existente (redundancias).
- La red troncal debe permitir el transporte multimedia de datos, audio y vídeo desde los nodos de comunicaciones hasta el centro de control y viceversa.
- Como medio típico de transmisión se emplea fibra óptica, pudiendo realizarse enlaces con cualquier otro medio de características similares: 4G, WiMAX (microondas), Wifi…
- Redundancia en la transmisión por fibra. Esto se consigue con una arquitectura redundante (en anillo o malla) o mediante caminos alternativos. Esta característica solamente es efectiva cuando la canalización de la fibra va por caminos físicos diferentes.
- Todos los dispositivos de comunicaciones de la red deben poder ser gestionados, monitorizados y configurados remotamente.

Características generales de seguridad:

La red deberá ser segura frente a intentos de intrusión y acceso, para ello se realizará un filtrado mediante ACL y firewall en la conexión al exterior. De esta manera será posible limitar el acceso a los diferentes subredes/túneles.

7.3.1 Red Troncal de comunicaciones

Cuando una Explotación realice la gestión de distintos túneles distribuidos por la geografía de Bizkaia desde un mismo centro de control, necesita un sistema de comunicaciones entre el centro de control y las distintas ERUT/PLC y cabeceras de los túneles. Este sistema de comunicaciones se encuentra formado por una red de banda ancha, llamada red troncal de comunicaciones y una serie de nodos de comunicaciones que permiten la conexión de las diferentes redes de comunicación de área local de campo a la red troncal.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El sistema de comunicaciones debe dar respuesta adecuada a cualquiera de las funciones básicas de los sistemas de seguridad y vigilancia instalados en los túneles. Para ello se debe contar con una red de transporte que ofrezca las máximas garantías de robustez y seguridad ante fallos, así como la posibilidad de gestión de la misma y de sus elementos integrantes (nodos de comunicaciones) de forma sencilla.

Características de los Switches/Routers:

- Deberán ser apropiados para un entorno industrial y de nivel 3
- Deberán ser gestionables
- Deberán disponer de un 25% de bocas libres para futuras instalaciones, ser escalares y modulares.
- Temperatura de funcionamiento entre 0ºC y 60ºC
- Protocolos IEEE 802.3 y deberá disponer de QoS (IEEE 802.1D/p), VLAN (IEEE 802.1Q), DSCP, SNTP y ACL que sean como mínimo de nivel 3
- Redundancia mediante RSTP (IEEE 802.1D/w)
- El ancho de banda promedio usado en el instante de una nueva implantación deberá ser como máximo del 50%

Características del cableado de Fibra Óptica

- Bajo coeficiente de fricción con algún tipo de resistencia a roedores
- Resistente a aplastamiento mínimo 3000 N

7.3.2 Red de Área Local de campo

Las ERUT/PLC, UPD y cabeceras presentes en cada túnel se enlazan entre sí por medio de una Red de Comunicaciones de Área Local (LAN). Se establece como base la utilización de redes Ethernet, empleando como medio típico de transmisión la fibra óptica. Sobre estas redes se establecen protocolos TCP/IP.

La tipología a utilizar en estas redes es una topología en anillo posibilitando así redundancias a nivel físico y lógico. Las redes de comunicaciones se conectan a la red troncal o de transporte por medio de los Nodos de Comunicaciones, trabajando como un interfaz entre la Red LAN y la red troncal o de transporte.

Los equipos de la arquitectura de control se conectan a la Red LAN de cada túnel a través de un router o switch Ethernet especialmente diseñado para usos industriales, de características modulares y que cumpla el estándar IEEE 802.3 de transmisión tanto en cobre como óptico. En túneles de nueva

cve: BOB-2025a082-(I-327)

construcción o adecuación de los ya existentes, estos routers deberán ser gestionables y disponer de un 25% de bocas libres para futuras instalaciones.

Además de las características generales deberá cumplir con:

Características de los Switch/routers:

- Deberán ser apropiados para un entorno industrial y de nivel 2
- Deberán ser gestionables
- Deberán disponer de un 25% de bocas libres para futuras instalaciones
- Protocolos IEEE 802.3 y deberá disponer de QoS (IEEE 802.1D/p), VLAN (IEEE 802.1Q), SNTP y ACL que sean como mínimo de nivel 2
- Redundancia mediante RSTP (IEEE 802.1D/w)
- Deberá disponer de puertos de cobre y fibra

Características del cableado de Fibra Óptica:

- Cubierta interior termoplástica libre de halógenos, baja emisión de humos y no propagador de la llama (LSZH).
- Debe cumplir con la norma UNE-EN 60794 y ensayos de fuego: UNE-EN 60754, UNE-EN 60332 UNE-EN 61034-1/2.

Características generales del cableado de Cobre:

- El aislamiento será tipo polietileno reticulado tipo DIX3
- La cubierta será especial cero halógenos tipo Afumex SI 1
- Será libre de halógenos UNE-EN 60754
- No debe propagar la llama ni incendio UNE-EN 60332
- Debe cumplir con normas UNE-EN 60754, UNE-EN 60332
- Baja emisión de gases tóxicos: NES 713, con It ≤ 1,5

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.4 Centro de Control

Todos los túneles tipo I y II deben tener un centro de control asociado desde el cual poder gestionar el equipamiento de los mismos.

El Centro de Control se compone de una sala de control que contiene los sistemas y equipos donde se recogerá y tratará toda la información proveniente de las diversas instalaciones de los túneles. Desde el centro de control se realiza una gestión integral de los túneles, de forma que el personal de operación (una o más personas) pueda manejar todos los sistemas y acceder a la información proporcionada por los mismos.

Toda la información recibida de los equipos de campo es transmitida al Centro de Control donde es procesada, almacenada y mostrada al personal de operación para que tengan una visión global y en tiempo real del funcionamiento del sistema, realizando la supervisión y control de los túneles.

Desde las Estaciones de Trabajo del Centro de Control el personal de operación supervisará y controlará todas las instalaciones de seguridad y vigilancia que poseen los túneles, accediendo a toda la información proporcionada por los mismos y actuando sobre ellos.

El centro de control realiza una gestión centralizada del túnel, por gestión centralizada se entiende que desde cada estación de trabajo se tiene acceso a toda la información de los distintos equipos de campo y sistemas de seguridad y vigilancia, el software de control propondrá incidentes de forma automática a partir de las medidas y alarmas recibidas; una vez validados se realizarán actuaciones de forma automática o semiautomáticas que requieran la validación del personal de operación.

7.4.1 Funcionalidad del Centro de Control

Todos los sistemas que operan en un túnel podrían funcionar de modo independiente, pero resulta mucho más eficiente tratarlos de una forma global, es decir, realizar una gestión centralizada del sistema completo. Por gestión centralizada se entiende aquella que cumpla la funcionalidad siguiente:

- Desde cada estación de trabajo se tiene acceso a toda la información de los distintos equipos de campo y sistemas de seguridad y vigilancia.
- Desde cada estación de trabajo se puede actuar manualmente en los equipos de campo.
- El software de control propondrá incidentes de forma automática a partir de las medidas y alarmas recibidas.
- Una vez validados los incidentes se realizarán actuaciones de forma automática o semiautomática que requiere la validación del personal de operaciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La centralización conduce a mejoras en seguridad y eficacia, gracias a que la información proporcionada por un sistema puede ser empleada para optimizar el funcionamiento del resto. El ahorro energético, así como la mayor rapidez de respuesta en casos de emergencia son claras muestras de la conveniencia de tratar el sistema de forma centralizada.

La funcionalidad que se exige al centro de control está orientada a la seguridad.

- Recibir en el Centro de Control todas las señales, datos e información adquirida por los sensores o generada por los propios equipos de campo.
- Mostrar, en tiempo real, al personal de operaciones el estado de funcionamiento de todos los equipos de campo de los distintos sistemas y las medidas que estos equipos realizan. Desde cada puesto es posible acceder a toda la información proporcionada por los sistemas de seguridad y vigilancia de cada túnel de la Explotación.
- Posibilitar el envío de órdenes para actuar sobre los equipos de campo que integran las instalaciones de seguridad y vigilancia desde las consolas del personal de operaciones, bien manualmente o a partir de estrategias de actuación programadas como respuesta a incidentes.
- El sistema debe poseer capacidad de detección y configuración de alarmas y eventos. Cuando se detecta una alarma se avisa al personal de operaciones a través de avisos acústicos y/o presentando en la pantalla un aviso de alarma.
- Procesar las señales e información recibida por los elementos de los sistemas; donde a partir de las medidas y alarmas de los equipos de campo, el software de control propondrá incidentes al personal de operaciones para que se confirme la existencia del incidente.
- Realizar actuaciones como respuesta a los incidentes, algunas de forma automática por el sistema de control (ventilación, alumbrado...), y otras ejecutadas por el personal de operaciones (avisar a servicios de extinción de incendios, servicios sanitarios...). Deben estar programadas las actuaciones que defina el Plan de Autoprotección como respuesta a cada incidente.
- Configurar el sistema de gestión centralizado. Que abarca:
    - Establecer los umbrales (consignas) para que las medidas de los equipos de campo generen alarmas
    - Modificar los algoritmos de propuesta de incidentes.
    - Modificar las actuaciones a realizar en caso de incidente. así como su registro y tratamiento de las mismas.
- Registrar los datos históricos. Información recibida (imágenes y datos) para su posterior tratamiento estadístico.
    - Datos de tráfico (IMD, tipo de tráfico, velocidad media...).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Datos medioambientales.
- Histórico de alarmas que se produzcan.
- Histórico de incidentes y acciones realizadas como consecuencia de ellos.
- Registro de todas las actuaciones realizadas por el personal de operación.
- Imágenes grabadas de los incidentes o aquellas que el personal de operación considere oportunas.

- Exportar datos. Aquellos centros de control de túneles que no estén explotados por la Diputación, deberán disponer de una función de exportación de datos que permita hacer disponibles en tiempo real en el centro de la Diputación todos los datos e imágenes adquiridas.
- Realizar una gestión de incidentes adecuada, definida en la Intrucción Técnica VII de Explotación.

En definitiva desde el Centro de Control se realiza el control y se ejecuta el telemando de las diferentes instalaciones que se implanten en el conjunto de túneles de la Explotación.

7.4.2 Arquitectura del Centro de Control

El Centro de Control del túnel se basa en una arquitectura Cliente/Servidor formada por un equipo principal que será redundante y que realiza el control y supervisión de todos los sistemas y de, al menos, un equipo que opere como Estación de Trabajo del personal de operaciones (cliente). En consecuencia, existen unas Estaciones de Trabajo desde la que el personal de operaciones supervisa y actúa sobre el túnel y un Servidor que recoge toda la información, que es donde reside la base de datos centralizada del sistema. Además deberá existir un Centro de Control de respaldo que será el encargado de tomar el control del mismo ante una pérdida de comunicaciones o incidente en el Centro de Control principal.

Por razones de seguridad, el Servidor es redundante, es decir existirán dos servidores, uno principal y otro de reserva en cada uno de los centros (principal y respaldo), ambos adquieren la información del sistema y garantizan la coherencia de dicha información, en el caso de fallo del Servidor Principal. De esta forma, si uno de ellos falla, las Estaciones de Trabajo pueden seguir operando normalmente. El servidor donde se ejecute el control y supervisión de los sistemas puede ser físico o virtual, con un dispositivo de almacenamiento centralizado y un elemento de generación de copias de seguridad de la información que dispondrá de un gestor propio de copias de seguridad. Se deberá de acceder a los equipos del centro de control, tanto servidores como consolas del personal de operaciones, mediante elementos de seguridad físicos, ya sean biométricos, claves de acceso, físicos o mixtos. En las consolas del personal de operaciones, se realizará un control de acceso mediante acreditación de usuario y

cve: BOB-2025a082-(I-327)

contraseña y se aceptarán mejoras como control biométrico, tarjetas o cualquier otro elemento tecnológico de seguridad. Además, los equipos deberán disponer de sistemas de prevención de virus/malware y estar actualizados.

La red de comunicaciones que enlaza los citados ordenadores será Ethernet, sobre protocolo TCP/IP, que garantiza todo el tránsito de información entre las Estaciones de Trabajo (clientes) y los Servidores. Esta red está basada en cableado estructurado UTP Categoría 6 o superior. Para la conexión entre servidores se puede emplear como medio de transmisión el cable de fibra óptica. Por su parte esta red local del centro de control se conecta a la red troncal de comunicaciones a través de un nodo de comunicaciones.

La Estación de Trabajo sirve de interfaz gráfica entre el personal de operaciones y las instalaciones, en ella se puede observar el estado del túnel así como actuar sobre él. Por su parte, el Servidor se encarga de recoger y almacenar toda la información proveniente de todos los sistemas bajo su control.

Los sistemas de seguridad y vigilancia son gobernados directamente por los algoritmos de control, embebidos en las ERUT y gestionados desde el Servidor. Existen ciertos sistemas que típicamente poseen equipos propios para su control (Postes SOS, CCTV y DAI, megafonía). En este último caso, el sistema de control realiza la integración de estos sistemas comunicando con sus controladores específicos, bien mediante la propia red local o bien mediante enlaces tipo serie (RS-232C, RS-485, etc.).

7.4.3 Requerimientos de sistema de Centro de Control

Los centros de control son un elemento crítico del túnel, desde ellos se realizan las labores de supervisión y control de los túneles en condición normal y se gestionan las acciones necesarias en situaciones de emergencia.

El centro de control deberá tener plena disponibilidad los 365 días del año para garantizar la continuidad de la operación.

Los requerimientos que se exige al sistema del centro de control están orientados hacia una integración de todos los túneles empleando una arquitectura estándar y no propietaria. Así los requerimientos mínimos exigidos son:

- Estructurar el sistema de centro de control en equipos y software abierto.
- Disponer de una arquitectura Hardware/Software ampliable, facilitando crecimientos no traumáticos (ampliación de sistemas controlados, de funcionalidades, de equipamiento e integración de sistemas externos).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Facilitar el control simultáneo de varios sistemas (interface hombre-máquina).
  - Utilizar medios sencillos de selección de sistema.
  - Permitir presentación simultánea de varios sistemas.
  - Permitir utilización de varias pantallas, altas resoluciones, etc.
  - Facilitar la gestión de alarmas activas.
- Desde las consolas de operador se debe poder supervisar y controlar las instalaciones de cualquiera de los túneles.
- El sistema de control centralizado debe ser suficientemente tolerante a fallos, al menos de primer nivel, en el equipamiento de centro de control. Para ello, se prevé la instalación de servidores de procesamiento con funcionamiento en modo stand-by y replicación de datos, de forma a que ante un fallo hardware en el servidor principal, el servidor secundario pase a asumir la funcionalidad total necesaria, evitando dejar sin servicio el control de los túneles.
- Debe disponer un Gestor de Incidentes informatizado cuya definición se realiza en la Instrucción Técnica VII de Explotación adaptada al Plan de Autoprotección.
- El sistema de control deberá responder rápidamente a las órdenes del operador y éstas deberán ejecutarse en un tiempo inferior a los 5 segundos desde que se manda la orden desde consola, hasta que se inicia la actuación en campo.
- La integración de información procedente de sistemas que posean un sistema de control propio es un requerimiento fundamental para la seguridad vial en el túnel, ya que numerosas alarmas que puedan producirse en la instalación vienen suministradas por dichos sistemas.

7.4.4 Equipos del centro de control

El centro de control necesita los siguientes equipos para el control de los túneles de Bizkaia.

- Servidores principales y de reserva, con las aplicaciones del sistema de control y el gestor de base de datos en tiempo real, así como un servidor de tiempo (NTP) para unificar el tiempo de la grabación de las cámaras y todos los sistemas.
- Estaciones de Trabajo con ordenadores funcionando a modo de clientes, desde donde se vigilarán y controlarán los diferentes sistemas.
- Impresoras para obtener partes periódicos del estado de las instalaciones y para imprimir las incidencias que vaya registrando el sistema.
- Elementos de visualización (monitores, videowall) en el que podrán visualizar las imágenes de cámaras, sinópticos de los túneles...

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Switch Ethernet de puertos RJ-45, fibra óptica o wifi, para la configuración de la red local del centro de control, que comunique los distintos servidores, equipos de sala, sistemas de copias, impresoras, equipos de back-up y demás dispositivos de red.
- Nodo de comunicaciones para comunicar la red local del centro de control con la red troncal o de transporte.

7.4.5 Integración de un túnel nuevo en un centro de control existente

En la redacción del proyecto se analizarán la integración de todos los sistemas e instalaciones, que están previstos instalar en el nuevo túnel, con los sistemas del resto de los túneles existentes en el Centro de Control. El proyecto de las instalaciones de un nuevo túnel debe incluir le previsión de:

- Servidores y clientes, siendo estos de última tecnología, y con suficiente capacidad para la integración de posteriores túneles
- Red de comunicaciones, switchs/routers, cableado
- Monitores para la visualización de las cámaras de TV
- Ampliación de la cabina de almacenamiento
- Videograbadores
- Integración de túnel en el SCADA y GI existente
- Dimensionamiento de aquellos equipos y recursos necesarios para el correcto funcionamiento del túnel

7.4.6 Características específicas

El Centro de Control estará situado en un edificio que deberá disponer de una sala diáfana del tamaño necesario para ubicar los monitores, videowall y estaciones de trabajo para todos los túneles que gestione la Explotación. Además de la sala de control, el centro de control debe estar dotado con una sala para servidores (donde se instalarán los equipos de los distintos sistemas), despacho para director/a del centro de control y sala de reunión para situaciones de crisis. La sala de servidores deberá estar acondicionada con sensores de temperatura y humedad, sistemas de refrigeración y sistemas de extinción. Estos sistemas deberán estar supervisados y deberán generar alarmas cuando se salga de los parámetros que se hayan definido para la explotación, de tal manera que se garantice el correcto funcionamiento de los sistemas. Además, deberá estar cerrada, monitorizada y controlar que el personal que accede a la misma sea autorizado. Se recomienda que la sala de crisis disponga de visibilidad total de los monitores o videowall para poder hacer un seguimiento continuo de la emergencia en caso de necesidad. Cada uno de ellos dispondrá de los siguientes elementos y características:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

SALA DE CONTROL

- Suelo técnico practicable en toda la sala con entradas y salidas para conexión a los equipos
- Aire acondicionado para el correcto funcionamiento de los equipos.
- Cableado de energía y comunicaciones necesario.
- Cuadro de protecciones eléctricas de donde se derivarán los cables de alimentación de los equipos.
- Estructura modular para soportar los monitores de CCTV y videowall.
- Puestos de operador necesarios para atender correctamente los túneles asociados al Centro de Control.
- Distancia de los puestos de operador que garanticen una visualización correcta del videowall.
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) que asegure la operatividad de los sistemas con corte en la distribución eléctrica

CPD

- Sensores de temperatura y humedad en las salas de servidores y salas con sistemas críticos (SAI, generador si lo hubiera, etc.).
- Ambiente de funcionamiento que asegure que los equipos trabajan a pleno rendimiento según especificaciones, lo que puede significar equipos de aire acondicionado específicos o sistema de acondicionamiento del edificio, capaz de hacer frente a la carga del centro de control.
- Sistema contra incendios basado en detectores con sensores multicriterio o de aspiración y ópticos para hacer frente a los riesgos de fuego de una sala de equipos eléctricos.
- Suelo técnico practicable en toda la sala con entradas y salidas para conexión a los equipos.
- Cableado de energía y comunicaciones necesario.
- Cuadro de protecciones eléctricas de donde se derivarán los cables de alimentación de los equipos.
- Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) que asegure la operatividad de los sistemas tras un corte en la distribución eléctrica.
- Separación entre armarios para poder abrir las puertas y operar en su interior.
- Adaptados a una futura ampliación o inclusión de nuevos sistemas.
- La sala de los armarios deberá prever espacio suficiente para una posible ampliación de los sistemas. Asimismo, los armarios deberán disponer de un índice de protección mínimo IP45.

SALA DE CRISIS

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Visualización directa a la sala de operación.
- Sistema de comunicación interno y externo.

Además de todo lo anterior, el centro de control debe cumplir con la reglamentación existente en materia de edificación, energía eléctrica, protección contra incendio, y otras que le sean de aplicación. Además, al tener un centro de procesamiento de datos (CPD) para garantizar la disponibilidad y continuidad de los servicios, es fundamental regirse por normas y estándares reconocidos internacionalmente. Entre estos, la norma ANSI/TIA/EIA-942 destaca por proporcionar un marco claro para la clasificación de la infraestructura de los CPD en diferentes niveles de disponibilidad, conocidos como Tiers.

Se establece como objetivo que todos los centros de control de túneles se rijan por los requisitos de Tier 2.

El Tier 2, según la norma ANSI/TIA/EIA-942, debe tener componentes redundantes y una infraestructura que minimice las interrupciones de servicio debido a fallos en equipos individuales. Los beneficios de cumplir con los requisitos de Tier 2 incluyen mejoras en la disponibilidad y en la seguridad operacional. Por un lado, una infraestructura redundante reduce significativamente el riesgo de interrupciones, mejorando la disponibilidad del servicio. Por otro lado, la capacidad de realizar mantenimientos sin interrumpir las operaciones asegura que el CPD pueda mantenerse de manera activa sin minimizar el servicio que realiza.

Para cumplir con la clasificación de Tier 2, un CPD debe satisfacer varios requisitos técnicos específicos establecidos en las normas vigentes que involucran a todos las áreas del CPD como son:

- Gestión y explotación
- Infraestructura de red y cableado estructurado
- Infraestructura de servidores y almacenamiento
- Copias de seguridad y recuperación
- Energía
- Protección contra incendios
- Climatización y controles ambientales
- Seguridad y controles de acceso
- Gestión del cambio y respuesta a incidentes
- Evaluación y mitigación de riesgos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Documentación y gestión de activos
- Pruebas y monitorización
- Registros de incidentes
- Gestión de proveedores

La norma ANSI/TIA/EIA-942 proporciona directrices detalladas para el diseño y la explotación de infraestructuras que dependan del CPD en cada uno de los puntos mencionados. Esta norma establece criterios claros para el cumplimiento de los Tiers. Un Tier 2 implica que el diseño del CPD debe ser capaz de soportar fallos individuales en la infraestructura sin afectar la operación continua del centro de datos, como máximo el CPD estará inoperativo 22 horas y 41 minutos al año.

Se deberán tener en cuenta las normativas vigentes:

- ANSI/TIA/EIA-942: Definición, detalle y requisitos de cada Tier.
- ANSI/TIA/EIA-568B: Telecomunicaciones y cableado estructurado.
- EIA/TIA-569A: Telecomunicaciones y cableado en edificios.
- TIA/EIA-606A: Etiquetado de cableado y planos.
- ANSI/TIA/EIA-758: Distribución de la red de comunicaciones.
- ANSI/BICSI 002: Optimas prácticas de diseño e implementación del centro de datos.
- UNE-EN 50600-1: Infraestructuras e instalaciones de centros de datos.

7.4.7 Alimentación del Centro de Control

Los requerimientos necesarios para suministrar energía a los diferentes sistemas del centro de control se basarán en lo establecido en la Instrucción Técnica II de Energía Eléctrica.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

8 INTEGRACIÓN Y SISTEMA DE CONTROL

Todas las siguientes señales deberán ser recibidas y tratadas en el Sistema de control del Centro de Control.

8.1 PMV

El panel de mensaje variable deberá disponer de los medios necesarios para detectar al menos las siguientes alarmas o condiciones de funcionamiento:

- Estado, mensaje y pictogramas activos.
- Puerta abierta.
- Exceso de temperatura.
- Batería baja, en caso de disponer.
- Fallo de tensión o de comunicaciones

8.2 Señales Aspa-Flecha y Limitación de Velocidad Variable

La señalización variable deberá disponer de los medios necesarios para detectar al menos las siguientes alarmas o condiciones de funcionamiento:

- Estado activo.
- Puerta abierta.
- Batería baja, en caso de disponer.
- Fallo de tensión o de comunicaciones

8.3 Semáforos de exterior

Los semáforos deberán disponer de los medios necesarios para detectar al menos las siguientes alarmas o condiciones de funcionamiento:

- Estado de la señalización
- Fallo de tensión
- Fallo de comunicaciones

8.4 Barreras de cierre

La señalización variable deberá disponer de los medios necesarios para detectar al menos las siguientes alarmas o condiciones de funcionamiento:

- Estado de la barrera y elementos
- Activación de semáforos y sirena

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Vehículo en la trayectoria de bajada de la barrera
- Información de funcionamiento en local o remoto
- Fallo de tensión o de comunicaciones

8.5 Control de gálibo

El sistema de control de gálibo debe detectar al menos la alarma de vehículo con exceso de gálibo y deberá detectar al menos las siguientes alarmas:

- Fallo de tensión
- Fallo de comunicaciones
- Vehículo con exceso de gálibo
- Fallo en la activación de la señal oculta

8.6 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos

El sistema de control de detección, clasificación y contaje de vehículos debe detectar de manera inmediata las alarmas de vehículo circulando en sentido contrario y congestión, además de poder ofrecer datos de tráfico y las siguientes alarmas:

- Fallo de tensión
- Fallo de comunicaciones
- Vehículo circulando en sentido contrario
- Congestión
- Datos de tráfico

8.7 Control ambiental

El sistema de control de medioambiental debe detectar al menos las siguientes alarmas:

- Fallo de tensión
- Fallo de comunicaciones
- Valores de alarma procedente de los diferentes sensores instalados en la SeVAC:
    - Temperatura por debajo de un umbral establecido para detectar heladas.
    - Velocidad del viento superior a cierto umbral.
    - Estado de la calzada: helada, mojada.
    - Visibilidad inferior a un parámetro establecido.
- Cualquier otra alarma que se considere necesaria.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

8.8 Sistema de Vídeo en Circuito Cerrado y Detección Automática de Incidentes

El sistema de cámaras y control DAI debe detectar al menos las siguientes alarmas:

- Para el sistema DAI
    - Fallo de tensión
    - Fallo de comunicaciones
    - Valores de alarma DAI:
        - Vehículo parado en calzada, arcén y apartadero.
        - Tráfico lento, comienzo y final del grupo de vehículos afectados.
        - Vehículo lento en calzada y arcén.
        - Viandantes en calzada, arcén, apartaderos y aceras.
        - Obstáculo en calzada.
        - Vehículo circulando en sentido contrario.
        - Vehículo circulando a velocidad excesiva.
        - Congestión de vehículos.
        - Humo o niebla.
- Para el DAI térmico (si dispone):
    - Fallo de tensión
    - Fallo de comunicaciones
    - Valores de alarma DAI térmico:
        - Objeto caliente caído de un vehículo
        - Riesgo térmico: elemento a temperatura elevada.
- Para las cámaras:
    - Cámara movida de su posición de referencia.
    - Pérdida de señal de una cámara.
    - Calidad pobre en la señal de vídeo.
    - Fallo en uno de los equipos del sistema.
    - Fallo de comunicaciones.
    - Fallo de tensión.
    - Fallo en el telemando (para aquellas cámaras con movilidad).
- Para el sistema de grabación:
    - Fallo en la grabación
    - Problema en las comunicaciones
    - Fallo de tensión

cve: BOB-2025a082-(I-327)

8.9 Postes SOS

Para cada elemento del sistema de Postes SOS, se debe emitir al menos las siguientes señales:

- Fallo de alimentación
- Fallo en las comunicaciones
- Estado de la batería
- Llamada en curso
- Llamada activa
- Alarma de puerta abierta

8.10 Megafonía y radiocomunicaciones

Para cada elemento del sistema de megafonía y radiocomunicaciones, se debe emitir al menos las siguientes señales:

- Fallo del micrófono, incluyendo la cápsula electrodinámica, el preamplificador y el cableado esencial al resto del sistema.
- Fallo de los caminos de señal críticos a través de la cadena de la cadena de amplificación, con amplificadores individuales identificados por separado.
- Fallo de gestores locales de megafonía.
- Ausencia de amplificadores o módulos críticos.
- Fallo de cualquier amplificador auxiliar.
- Fallo de cualquier circuito de altavoces, fallos de circuito abierto y cortocircuito.
- Fallo de micrófonos o pupitres microfónicos en el Centro de Control.
- Fallo del servidor de megafonía.
- Alarma por fallo en las radiocomunicaciones.
- Alarma por baja calidad de señal de radiocomunicaciones.
- Fallo de alguno de los módulos de E/S de radiocomunicaciones, indicando el módulo de fallo.

8.11 Sistema de Control Centralizado

Para cada elemento del Sistema de Control Centralizado y redes, se debe emitir al menos las siguientes señales:

- Funcionamiento de las ERUT en modo maestro o esclavo
- Funcionamiento de los PLC en modo maestro o esclavo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Estado de las UPD: comunicaciones, energía
- Estado de la red de comunicaciones troncal y local identificando las rutas
- Fallo de energía en los elementos principales y redundantes de comunicaciones y control
- Alarma por fallo en las comunicaciones
- Fallo de alguno de los módulos comunicaciones, indicando el módulo de fallo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

9 PUESTA EN MARCHA

El contratista responsable de la instalación de los Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control en un túnel de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, según el presente Decreto Foral, deberá presentar a la Dirección de Obra un plan de pruebas de los equipos. El plan de pruebas de los equipos estará formado por Programas de Puntos de Inspección (PPIs), y las pruebas estarán repartidas en el tiempo y con los alcances mínimos que se indican a continuación.

El plan de pruebas debe contemplar como mínimo las pruebas establecidas en las ITs.

9.1 Pruebas

La Dirección de Obra revisará el plan de pruebas presentado y podrá solicitar al contratista la inclusión de las pruebas adicionales que considere oportunas bien por iniciativa propia o por sugerencia del OITB, para dar su aprobación al plan de pruebas de los equipos. El OITB auditará la conformidad de la ejecución de ese plan de pruebas.

9.1.1 PMV

Las pruebas consistirán en analizar el funcionamiento del PMV y la recepción de las alarmas en el Centro de Control. Para la prueba se encenderá el PMV con diferentes mensajes, comprobándose las áreas gráficas y los caracteres, así como la alternancia de mensajes y el encendido de las luces ámbar en los vértices del mismo. Se analizarán los tiempos de respuesta desde la selección del mensaje a mostrar hasta su activación en campo. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento sin energía haciendo uso de SAI o baterías internas; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.2 Señales Aspa-Flecha y Limitación de Velocidad Variable

Las pruebas consistirán en analizar el funcionamiento de las señales y la recepción de las alarmas en el Centro de Control. Para la prueba se encenderán las señales ASF y CLV con diferentes aspectos y dígitos. Se analizarán los tiempos de respuesta desde la selección del aspecto a mostrar hasta su activación en campo. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento sin energía haciendo uso de SAI o baterías internas; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.3 Semáforos de exterior

Las pruebas consistirán en analizar el funcionamiento de los semáforos y la recepción de las alarmas en el Centro de Control. Para la prueba se encenderán los semáforos con diferentes aspectos. Se

cve: BOB-2025a082-(I-327)

analizarán los tiempos de respuesta desde la selección del aspecto a mostrar hasta su activación en campo. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento sin energía haciendo uso de SAI o baterías internas; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.4 Barreras de cierre

Las pruebas consistirán en analizar el funcionamiento de los semáforos, sirena, detector de obstáculos y barrera, así como la recepción de las alarmas en el Centro de Control. Para la prueba se encenderán los semáforos y se procederá a realizar la bajada de la barrera. Se procederá a realizar la misma prueba con un vehículo en la trayectoria de la bajada de la barrera para determinar si se realiza el movimiento de bajada o al detectar el vehículo ésta emite una alarma. Se analizarán los tiempos de respuesta desde la selección del aspecto a mostrar hasta su activación en campo. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento sin energía haciendo uso de SAI o baterías internas; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.5 Control de gálibo

Las pruebas consistirán en analizar el funcionamiento de la activación de la señal oculta mediante un vehículo que simule el exceso de gálibo o si no es posible mediante la activación manual de la misma, verificando la recepción de las alarmas en el Centro de Control. Se analizarán los tiempos de respuesta desde la detección hasta la activación de la señal oculta y la aparición de la alarma en la aplicación del Centro de Control. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento sin energía haciendo uso de SAI; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.6 Sistema de detección, clasificación y contaje de vehículos

Las pruebas consistirán en analizar la recepción de los valores de aforamiento con integraciones de datos no superiores a 5 minutos y que contengan como mínimo los siguientes parámetros:

- Flujo de vehículos
- Ocupación
- Velocidad
- Distancia entre vehículos (GAP)
- Clasificación (dos clases)
- Porcentaje de vehículos pesados

Estos valores se darán por clase de vehículo, distinguiéndose como mínimo dos clases. Además, de manera independiente y sin integrar, la recepción de las alarmas por retención, congestión o atascos y

cve: BOB-2025a082-(I-327)

vehículo circulando en sentido contrario. Se analizarán los tiempos de respuesta desde la detección hasta la aparición de la alarma en la aplicación del Centro de Control. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.7 Control ambiental

Las pruebas consistirán en analizar la recepción de los valores de la SeVAC que contengan como mínimo los siguientes parámetros:

- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Estado de la calzada: seca, húmeda, mojada, húmeda o mojada con aditivos, helada.
- Datos de la calzada: temperatura, punto de congelación, altura de la película de agua, presencia de hielo, escarcha o nieve.
- Alarma de riesgo de formación de hielo en calzada
- Visibilidad
- Humedad relativa
- Temperatura ambiente

Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.8 Sistema de Vídeo en Circuito Cerrado y Detección Automática de Incidentes

Las pruebas consistirán en analizar la recepción de las imágenes y alarmas asociadas a ellas. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad. Para el sistema DAI se revisarán los siguientes incidentes:

- Valores de alarma DAI:
    - Vehículo parado en calzada, arcén y apartadero si dispone.
    - Tráfico lento, comienzo y final del grupo de vehículos afectados.
    - Vehículo lento en calzada y arcén.
    - Viandantes en calzada, arcén, apartaderos y aceras.
    - Obstáculo en calzada.
    - Vehículo circulando en sentido contrario.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Vehículo circulando a velocidad excesiva.
- Congestión de vehículos.
- Humo o niebla.

Además se deberá realizar una labor anual de revisión de los índices de detección, disponiendo de un informe con el número de detecciones realizadas y el número de falsas alarmas para poder analizar el funcionamiento del sistema y que éste no supere los valores especificados.

9.1.9 Postes SOS

Las pruebas consistirán en analizar la recepción de las comunicaciones y alarmas asociadas a ellas. Se simulará fallos para verificar la recepción de las alarmas en el centro de control y su correcto funcionamiento; de la misma manera se revisarán los índices de fiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad.

9.1.10 Megafonía y radiocomunicaciones

Las pruebas consistirán en analizar la recepción de los mensajes incluidos en todas las emisoras FM registradas en las etapas. Para cada señal TETRA, se verificará la recepción de la señal con al menos una calidad C1 superior a 15, en el punto más crítico y un RSSI máximo de -85 dBm.

Para el sistema de megafonía, se emitirán mensajes por cada una de las zonas para su recepción, y se emitirá el mensaje con el ruido STI para la medición con un sonómetro del índice de inteligibilidad.

Para ambos sistemas, se simularán fallos de comunicaciones y problemas en los módulos y/o etapas.

9.1.11 Sistema de Control Centralizado

Las pruebas de la red troncal consistirán en analizar el ancho de banda de la red empleado, los tiempos de respuesta ante una pérdida de los dispositivos troncales, tiempos de respuesta ante pérdida de los dispositivos locales, revisión del tráfico por VLAN y subredes, revisión de los ACL, configuración del firewall y registro de los dispositivos de seguridad.

Para los dispositivos de control se analizarán los tiempos de paso del sistema maestro al esclavo y la conmutación entre ambos.

9.2 Documentación final de obra

El contratista deberá entregar al gestor del túnel los siguientes documentos:

- Resultados de las pruebas debidamente completadas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Manuales de Operaciones/instrucciones y Mantenimiento que contendrá los procedimientos para la operación y mantenimiento del equipo.
- En caso de disponer de algún tipo de software asociado al equipo, éste deberá adjuntarse junto con las licencias correspondientes.
- Proyecto “as built” que incluirán los elementos con la relación de las unidades y equipos empleados. Así como los planos “as built”.
- Certificados, declaraciones de conformidad y fichas técnicas de la instalación.”

cve: BOB-2025a082-(I-327)

10 MANTENIMIENTO

El objetivo del mantenimiento es conservar las instalaciones de los túneles en perfectas condiciones de servicio, disminuyendo el número e impacto de las posibles averías o desperfectos, permitiendo el normal desarrollo de las operaciones, e intentando que la calidad del servicio sea óptima.

Dentro de las actividades de mantenimiento se engloban dos tipos atendiendo a la motivación que provoca la intervención, éstos son el mantenimiento correctivo y el mantenimiento preventivo.

Las características y prestaciones de los equipos y sistemas de seguridad, vigilancia y control se modifican y degradan en el transcurso del tiempo. Una correcta explotación y mantenimiento permiten conservar la calidad de los elementos asegurando las prestaciones exigidas a los equipos sistemas durante el tiempo de vida de los mismos y conservando el índice de seguridad del túnel. El mantenimiento preventivo corresponde a las actuaciones rutinarias que se realizan con el objetivo de conservar las prestaciones de los equipos y sistemas.

El mantenimiento correctivo consiste en la reparación de los desperfectos y averías inesperadas cuyo origen pueden ser actos de vandalismo, accidentes de tráfico, acciones de la corrosión, efectos de fenómenos meteorológicos severos, etc.

El gestor del túnel será responsable del mantenimiento tanto correctivo como preventivo de las instalaciones implantadas. No obstante, el Manual de Explotación deberá hacer mención expresa a este punto, debiendo ser debidamente desarrollado, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante, la experiencia adquirida, la normativa aplicable. Se deberá hacer una mención especial a la calibración de las cámaras termográficas según la frecuencia establecida por el fabricante.

10.1 Mantenimiento Preventivo

El mantenimiento preventivo corresponde a las actuaciones rutinarias que contribuyen a que los equipos y sistemas mantengan las prestaciones exigidas durante el tiempo de vida de los mismos, minimizando la posibilidad de fallo, asegurando su disponibilidad y alargando su vida útil. Estas actuaciones son planificadas y sirven de base para la elaboración de un Programa de Actuaciones de Mantenimiento.

Las actuaciones de mantenimiento preventivo pueden ser inspecciones visuales, limpiezas, verificaciones funcionales y revisiones periódicas (que pueden incluir sustitución de elementos desgastados).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

La inspección consiste en la observación del estado de conservación del elemento. La limpieza añade a la inspección el trabajo rutinario de mantenimiento. Si el elemento debe funcionar, como es el caso de muchos equipos electrónicos, la verificación funcional comprueba la correcta respuesta de sus estados posibles. La revisión periódica, por último, es el tipo más completo de revisión de mantenimiento preventivo, y comprende la inspección, la limpieza, la comprobación funcional si es el caso, y cualquier otro tipo de mantenimiento rutinario como, por ejemplo, el engrase, la comprobación de intensidades de vibración, la medida de dimensiones que deban ser objeto de seguimiento, etcétera.

Las actuaciones de mantenimiento preventivo y su frecuencia pueden verse modificadas en base a la experiencia del explotador, cuando fallos reiterados en los equipos o sistemas pongan en riesgo o afecten directamente a la calidad del servicio. Por otra parte la programación de los trabajos de mantenimiento preventivo se establecerá teniendo en cuenta las especificaciones y actuaciones previstas por los distintos fabricantes para el correcto mantenimiento de los equipos que han suministrado a la explotación.

Se deben realizar planes específicos de mantenimiento para cada túnel, como se especifica en la Instrucción Técnica VII de Explotación, que quedarán reflejados dentro del Plan de Mantenimiento del Manual de Explotación y deberá cumplirse esa frecuencia y plan de mantenimiento, un incumplimiento de dicha frecuencia podría conllevar una no conformidad.

10.2 Mantenimiento Correctivo

El mantenimiento correctivo es el que se realiza con carácter de urgencia debido a la detección de una anomalía o disfunción en los equipos o instalaciones que puede afectar en mayor o menor medida a la seguridad vial de los usuarios de la calzada.

Será la mayor o menor afección a la seguridad vial de los usuarios lo que determinará los plazos preestablecidos para llevar a cabo las acciones de mantenimiento correctivo sobre el equipo que presente el problema.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO VII

EXPLOTACIÓN

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES EN CARRETERAS

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(VII)

EXPLOTACIÓN

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1. OBJETO 6
2. ALCANCE 7
3. CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS 8
4. INTRODUCCIÓN 10
5. RECURSOS HUMANOS 11
5.1. Personal de la explotación 11
5.1.1. Director/a de Explotación 11
5.1.2. Jefe/a de Operaciones 11
5.1.3. Jefe/as de Mantenimiento 12
5.1.4. Operadore/as de consola 13
5.1.5. Jefe/a de turno 13
5.1.6. Agentes de campo 13
5.1.7. Personal de mantenimiento 14
5.2. Recursos externos de emergencias 14
5.2.1. Grupos de Acción 16
5.3. Dimensionamiento de los Recursos humanos 17
6. RECURSOS MATERIALES 20
6.1. Centro de Control 20
6.2. Bases de Primera Intervención 20

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6.3. Base de Mantenimiento y Conservación 21
6.4. Oficinas Administrativas 21
7. PROCEDIMIENTOS DE EXPLOTACIÓN 22
7.1. Control de la Circulación 22
7.2. Gestión de Incidentes 23
7.3. Mantenimiento de Estructuras e Instalaciones 25
7.3.1. Gestión del Mantenimiento 25
7.4. Implantación y seguimiento de la explotación 27
7.4.1. Implantación de Explotación 27
7.4.2. Seguimiento de la Explotación 29
7.4.3. Formación continua 33
7.4.4. Ejercicios periódicos y simulacros 35
7.4.5. Revisión del Manual de Explotación y Plan de Autoprotección 39
7.4.6. Implantación de mejoras 40
7.4.7. Prevención ante nuevos sistemas de propulsión: 40
7.5. Auditorías de túneles en servicio 40
Anexo A. Guía para la elaboración del Manual de Explotación 41
A.1 Marco General de Explotación. 42
A.1.1 Legislación y normativa aplicable y de referencia. 42
A.1.2 Medio físico, infraestructura y superestructura de los túneles. 42

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A.1.3 Objetivos de explotación. ... 43
A.1.4 Actividades de explotación. ... 44
A.1.5 Recursos de la Explotación ... 44
A.1.5.1 Recursos Humanos. Organigrama de la explotación. ... 44
A.1.5.2 Recursos Materiales ... 45
A.2 Plan de Operación. ... 45
A.2.1 Plan de Operaciones normales. ... 46
A.2.2 Plan de Autoprotección. ... 46
A.3 Plan de Mantenimiento. ... 51
A.4 Plan de Implantación y Seguimiento. ... 52
A.4.1 Implantación del Manual de Explotación. ... 53
A.4.1.1 Formación del personal de explotación. ... 53
A.4.1.2 Ejercicios y simulacros. ... 53
A.4.1.3 Gestión del Manual de Explotación. ... 53
A.4.2 Seguimiento de la explotación. ... 54
A.5 Normas de circulación. ... 54
A.6 Libro de competencias. ... 54
A.7 Anexos ... 55
A.7.1 Documentación de proyecto ... 55
A.7.2 Análisis de Riesgos ... 55

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A.7.3 Dictamen de Seguridad 55

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1. OBJETO

Esta Instrucción tiene por objeto definir las disposiciones y especificaciones de carácter técnico referentes a la explotación, para los túneles del Territorio Histórico de Bizkaia, aplicables en las fases de servicio, puesta en servicio, construcción y proyecto de los mismos.

Este documento persigue los siguientes objetivos establecidos por la Diputación Foral de Bizkaia, a saber:

- Disponer de una guía que sirva de ayuda al planificador, proyectista, constructor o explotador de túneles de carretera para que, cada uno en las etapas de su incumbencia, tenga unas instrucciones técnicas claras de diseño, construcción y explotación sobre los requerimientos de seguridad que le permita desarrollar sus cometidos.

- Concretar técnicamente las exigencias de la Administración Pública, de forma que sirvan de marco legal exigible.

- Mantener un elevado nivel de servicio en la explotación de túneles viarios, incrementando la seguridad y bienestar de las personas en su interior, así como contribuir a la mejora de la eficiencia en la gestión de los recursos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2. ALCANCE

La presente Instrucción técnica se aplicará a los túneles en las fases de proyecto, construcción, y puesta en servicio, integración y explotación, de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia según Norma Foral 2/2011, del 24 de marzo de Carreteras de Bizkaia y según la definición de túnel establecida en el artículo del Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras (DFST).

La Instrucción técnica define los requisitos de seguridad relacionados con la Explotación que serán de obligado cumplimiento.

El gestor del Túnel, directamente o a través del contratista o empresa explotadora (gestores delegados), deberá poner los recursos materiales y humanos necesarios para garantizar el cumplimiento del DFST y particularmente en la ejecución de las inspecciones del Organismo de Inspección, pruebas, ensayos, tareas de inspección, supervisión y evaluación, así como la realización de simulacros o simulaciones de protocolos de actuación, y para garantizar las condiciones de seguridad en los trabajos (ej. Cortes de carril, señalización).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3. CÓDIGOS, NORMAS Y REGLAMENTOS

A continuación, se citan Normas y Reglamentos de referencia aplicables en este documento:

- Decreto Foral sobre seguridad de túneles en carreteras de Bizkaia.
- Directiva 2004/54/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 29 de abril de 2004 sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras, con corrección de errores de 7 de junio de 2004.
- Real Decreto 635/2006, de 26 de mayo, sobre requisitos mínimos de seguridades los túneles de carreteras del Estado, con corrección de errores de 31 de Julio de 2006.
- Real Decreto 393/2007, de 23 de marzo, por el que se aprueba la Norma Básica de Autoprotección de los centros, establecimientos, y dependencias dedicados a actividades que puedan dar origen a situaciones de emergencia.
- Decreto 277/2010, de 2 de noviembre, por el que se regulan las obligaciones de autoprotección exigibles a determinadas actividades, centros o establecimientos para hacer frente a situaciones de emergencia (Norma Vasca de Autoprotección), y posteriores modificaciones, la primera modificación aprobada mediante Ley 10/2015 de 23 de diciembre, de Espectáculos Públicos y Actividades Recreativas, y segunda modificación aprobada mediante Decreto 21/2019, de 12 de febrero.
- Ley 17/2015, de 9 de julio, del Sistema Nacional de Protección Civil
- Orden de 3 de agosto de 2012, del Consejero de Interior, por la que se regula la acreditación del personal técnico competente para la elaboración de planes de autoprotección.
- Decreto Legislativo 1/2017, de 27 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Gestión de Emergencias.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Decreto 153/1997, de 24 de junio por el que se aprueba el Plan de Protección Civil de Euskadi, “Larrialdiei aurregiteko bidea-LABI” y se regulan los mecanismos de integración del sistema vasco de atención de emergencias, y su posterior revisión extraordinaria aprobada mediante Decreto 1/2015 de 13 de enero.

- Decreto Foral de la Diputación Foral de Bizkaia 130/2010, de 23 de noviembre, regulador del Plan Foral de Emergencias del Territorio Histórico de Bizkaia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4. INTRODUCCIÓN

La explotación de túneles comprende la organización de medios y recursos dedicados a las actividades de supervisión y control del tráfico, atención de incidentes y mantenimiento de las infraestructuras e instalaciones de uno o varios túneles; así como los trabajos de dirección y administración de dichos medios y recursos y de su coordinación con recursos externos.

Cada una de las explotaciones con túneles tipo I y II contará con un centro de control desde donde se realizarán las actividades de supervisión, control y operación de los túneles pertenecientes a dicha explotación.

Existirá un Manual de Explotación por cada Explotación, que podrá contener tantos Planes de Operación como sea necesario para recoger las especificidades de cada uno de los túneles que la forman. En el anexo A de esta Instrucción Técnica se muestra la guía para la elaboración del Manual de Explotación, con los contenidos mínimos con que debe contar.

El Manual de Explotación y sus revisiones deben ser aprobados por el Gestor del Túnel.

En los capítulos siguientes se especifican los requisitos mínimos sobre los recursos y procedimientos de explotación de los túneles, de aplicación a todos los túneles del Territorio Histórico de Bizkaia. Estos requerimientos guardarán el principio de proporcionalidad, es decir, los costes deben ser proporcionales a los beneficios esperados en términos de seguridad y servicio a los usuarios.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5. RECURSOS HUMANOS

El Manual de Explotación deberá incluir el dimensionamiento de la explotación, con el organigrama, funciones y responsabilidades del personal, y los recursos materiales disponibles.

5.1. Personal de la explotación

5.1.1. Director/a de Explotación

Es el responsable último del conjunto de la explotación frente a la Autoridad Administrativa.

Su misión es velar por la consecución del conjunto de los objetivos de explotación, administrando todos los recursos humanos y materiales a su cargo.

El Director/a de Explotación deberá asegurar la buena coordinación de las actividades de operación y mantenimiento, siendo el garante del buen funcionamiento y estado de conservación de todas las instalaciones, edificios y locales afectos a la explotación. Asistido por sus colaboradores, deberá organizar los turnos y el servicio del personal a su cargo. Será asimismo responsable del envío al gestor del Túnel de los informes de seguridad y auditoría interna realizados por la Explotadora, así como del estado de las instalaciones y servicios afectados.

5.1.2. Jefe/a de Operaciones

Es el responsable, ante el Director/a de Explotación, de la correcta ejecución de todas las actividades de operación.

Será responsabilidad del Jefe/a de Operaciones:

- La coordinación de todas las operaciones, sean normales o en respuesta a emergencia, y la coordinación de sus recursos si el personal exterior de emergencia toma el mando en un eventual suceso grave.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- La atención al estado y funcionamiento de las instalaciones.
- La coordinación de las tareas de supervisión y vigilancia.
- El archivo y proceso informático de los datos de seguimiento.
- La evaluación de los índices de accidentalidad y elaboración periódica de informes específicos.
- Además, el Jefe/a de Operaciones deberá velar por la correcta formación del personal a su cargo.

5.1.3. Jefe/as de Mantenimiento

Serán los responsables, ante el Director/a de Explotación, de la correcta ejecución de todas las actividades de mantenimiento. Como cometidos específicos, se encargarán de:

- El establecimiento de la programación operativa (mensual o quincenal) y de las Órdenes de Trabajo diarias.
- Las instrucciones para la formulación de partes de trabajo y la revisión diaria de dichos partes.
- La supervisión de los trabajos ejecutados.
- La gestión del servicio (turnos y tareas) de los equipos de mantenimiento.
- La gestión de los stocks de elementos fungibles y repuestos.
- La gestión del inventario de equipos en campo y de la agenda de funcionamiento y estado de los túneles a su cargo.
- Asegurar la correcta formación del personal de mantenimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.1.4. Operadore/as de consola

Los centros de control estarán atendidos permanentemente por operadores de consola, 24 horas al día, todos los días del año. Éstos realizan operaciones de gestión del tráfico del túnel, atención de incidentes y emergencias, y de supervisión del correcto funcionamiento de las instalaciones de los túneles, a través de los sistemas de control centralizados.

Las diferentes operaciones se llevarán a cabo de acuerdo con los planes, procedimientos y protocolos contenidos en el Manual de Explotación.

5.1.5. Jefe/a de turno

Los túneles dispondrán en todo momento de una única persona al mando de las actuaciones del centro de control y responsable de la operación en el túnel. El Jefe/a de Turno, será un operador de consola experto, que en ausencia del Jefe/a de Operaciones, asumirá la responsabilidad y el mando del centro de control. En los Centros de Control con un único operador de consola por turno, éste ejercerá de Jefe/a de Turno.

5.1.6. Agentes de campo

Los túneles contarán de manera permanente con equipos de Agentes de Campo que complementarán las tareas realizadas por los operadores de consola, con quienes están en contacto permanente para recibir instrucciones. Sus cometidos serán los siguientes:

- Personal de la Explotación. Constituirán la fuerza de primera intervención para actuar en campo en caso de emergencia, asistiendo a los heridos y minimizando riesgos, colaborando con los servicios de emergencia exterior cuando estén presentes. Para ello, deberán estar adecuadamente formados en el manejo de los sistemas de autoprotección (BIES, extintores), así como en primeros auxilios.

- Realizarán las primeras actuaciones de control de la circulación, en presencia de incidentes que puedan ocasionar riesgos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Realizarán funciones de escolta a vehículos especiales y de transporte de mercancías peligrosas, para los túneles en los que su paso esté regulado con este tipo de medidas.
- En ausencia de incidentes, realizarán labores de vigilancia y podrán asistir al personal de mantenimiento en sus tareas.

5.1.7. Personal de mantenimiento

Las explotaciones deberán contar con personal de mantenimiento cuya misión es mantener el túnel, infraestructura y superestructura en las condiciones óptimas de funcionamiento. Por su capacitación se dividen en:

- Patrullas de conservación, encargados del mantenimiento de la obra civil y vialidad invernal.
- Técnicos especialistas de las instalaciones de los túneles.

El personal de mantenimiento deberá estar formado como agente de campo y podrá desempeñar sus funciones en situaciones de emergencia.

5.2. Recursos externos de emergencias

El Departamento de Administración Pública y Relaciones Institucionales es el Departamento en el que residen las competencias en materia de Seguridad y Protección Civil de la Diputación Foral de Bizkaia.

Así mismo, la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología de Euskadi, perteneciente al Departamento de Interior del Gobierno Vasco, es la encargada de dar respuesta integral a todo tipo de emergencia que se pueda presentar dentro del ámbito de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

Este Sistema Coordinado e Integral de Atención a la Emergencia se estructura en cuatro servicios complementarios e interrelacionados:

- Servicio de Planificación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Servicio de Intervención.
- Servicio de Coordinación (SOS DEIAK). Centro de Coordinación de Emergencias del Gobierno Vasco, ubicado en el Territorio Histórico de Bizkaia.
- Servicio de Formación y Difusión.

En conjunto, cubren y atienden todos los extremos relacionados con las situaciones de emergencia: previsión de riesgos, planificación, tácticas, medios y recursos, divulgación de pautas de actuación, formación de la población en general y de colectivos concretos, recepción de llamadas, coordinación de recursos, y resolución de incidentes "in situ". Todo ello, contando con las más sofisticadas tecnologías y con un equipo humano altamente cualificado.

Servicio de Planificación:

El Servicio de Planificación de la Dirección de Atención de Emergencias de Euskadi es el encargado de la gestión de la elaboración de planes de emergencia, marcando las pautas de previsión, prevención y actuación ante las diversas situaciones accidentales, y entre ellas de los túneles del Territorio Histórico de Bizkaia.

Servicio de Intervención:

Su función es ofrecer una **atención continuada durante 24 horas todos los días del año** ante situaciones de emergencia del ámbito de protección civil, búsquedas y rescates en montaña y medio acuático, accidentes de materias peligrosas, incendios forestales y urbanos y todas aquellas situaciones de grave riesgo, catastróficas o accidentales, como inundaciones, derrumbamientos, deslizamientos, etc. El Servicio de Intervención tiene competencias de actuación directa para los incidentes y siniestros en los túneles de Bizkaia.

Servicio de Coordinación (SOS DEIAK):

Su función es ofrecer al ciudadano un servicio integral y coordinado de atención a la emergencia a través del teléfono único de llamada gratuita 112.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A través de este teléfono los explotadores de los túneles obtienen respuesta a las emergencias, con la movilización de los recursos pertinentes: servicios de atención sanitaria, bomberos y policía.

Servicio de formación y difusión:

Se encarga de preparar programas de formación para diferentes grupos sociales, confecciona material didáctico, elabora todo tipo de publicaciones, organiza cursos y simulacros y prepara programas de difusión en general.

5.2.1. Grupos de Acción

Los recursos externos para la atención de emergencias son los servicios públicos de socorro, compuestos, según establece el Plan Foral de Emergencias del Territorio Histórico de Bizkaia (PFETHB) y el Plan de Protección Civil de Euskadi (LABI), por los siguientes Grupos de Acción:

- Grupo de Intervención. Servicios de Extinción de Incendios y Salvamento del Territorio Histórico de Bizkaia y de regiones limítrofes. Bomberos Municipales.
- Grupo Sanitario. Servicios de Asistencia Sanitaria de Bizkaia: servicios de emergencias de Osakidetza (coordinación de servicios de urgencias extrahospitalarias de Bizkaia), Cruz Roja y DYA.
- Grupo de Seguridad. Ertzaintza y Policías Locales.
- Grupo Logístico. Personal, medios e instalaciones de la Diputación Foral de Bizkaia y Municipales, y empresas de servicios y particulares que puedan aportar medios y recursos necesarios. Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología.
- Grupo de Apoyo Técnico. Profesionales y facultativos de la Diputación Foral de Bizkaia. Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología.

Los servicios de los diferentes grupos de acción desplazarán a las intervenciones en los túneles y sus accesos los recursos humanos, vehículos y equipos que para el tipo de siniestro

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de que se trate tengan establecido en sus Tácticas Operativas y según lo dispuesto en los Planes de Autoprotección de los túneles y los planes de ámbito superior.

5.3. Dimensionamiento de los Recursos humanos

Los explotadores estarán dotados con una capacidad de intervención suficiente para afrontar las situaciones de Emergencia que puedan ocurrir en los túneles a su cargo.

El tiempo de acceso de los servicios de emergencia en caso de incidente dentro de un túnel será lo más breve posible y se medirá en ejercicios periódicos. Podrá, además, medirse durante los incidentes. La siguiente tabla muestra unos tiempos objetivo de intervención (en minutos) por tipo de servicio, según la clasificación realizada en el Decreto Foral de Seguridad en túneles, y que se recomienda no superar:

Tipo de Túnel	**Tipo de Servicio**		
	Mantenimiento y Conservación	**Agente Campo**	**Extinción y Salvamento (*)**
I	20’	15’	20’
II	20’	-	-
III	20’	-	-
(*) El umbral de tiempo de 20 minutos recomendado para los servicios de extinción y salvamento, es un valor de referencia internacional fruto del análisis de incidentes con resultado de incendio, ocurridos en túneles importantes a lo largo de la historia, como en el túnel de Frejus y Mont Blanc (Francia/Italia), St. Gotthard (Suiza), Tauern (Austria), Cross Harbour (Hong Kong), etc., y documentado en un informe del Instituto sueco de investigación técnica SP Report 2010:10 “*Effective firefighting operations in road tunnels*”.			

Tabla 1 Tiempo de intervención (minutos) de los distintos Servicios según el tipo de túnel. Se mide desde el momento del aviso hasta la llegada al foco del incidente, independientemente de a qué colectivo pertenezca el personal (Explotadora, agentes externos, etc.).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Los Agentes de Campo deben estar permanentemente dispuestos para una atención rápida en caso de incidentes, recomendándose llegar a cualquier túnel de tipo I de la explotación en un tiempo inferior a 15 minutos. Estos Agentes proporcionarán un servicio 24h/365 días.

En los túneles de tipo I se deberán evaluar los tiempos de respuesta (análisis en el Plan de Autoprotección, simulacros e incidentes reales) de los recursos de extinción de incendios y salvamento externos, así como de los recursos policiales y agentes de campo de la empresa explotadora.

Las labores de extinción y salvamento deberán ser desempeñadas siempre por los cuerpos de extinción y salvamento, para lo cual deberán haber recibido previamente la formación adecuada sobre la infraestructura, el equipamiento de seguridad con que cuenta el túnel y su operación local.

En todos los casos, el número mínimo de agentes de campo por Explotación será de 1. Se recomiendan 2 en periodos diurnos o periodos de alta intensidad de tráfico (superior a 400veh/hora/sentido).

- Cada agente deberá tener su propio vehículo de intervención y el segundo agente puede pertenecer al personal de mantenimiento.
- El personal de mantenimiento y conservación deberá estar formado para cumplir con las funciones de los agentes de campo, de forma que puedan servir de refuerzo en caso de emergencia. Será importante planificar los roles de actuación de todo el personal en función de su disponibilidad.

Los centros de mantenimiento y conservación deben cubrir mediante áreas de influencia, todos los túneles de la explotación para asegurar el tiempo de respuesta recomendado. Debe existir personal disponible las 24h durante todos los días del año para realizar las tareas de mantenimiento y conservación.

Los centros de control tendrán un servicio 24h. En Explotaciones que gestionen cuatro o más túneles de tipo I, será necesario disponer de dos Operadores de Consola como mínimo (en caso de incidente grave se recomienda añadir otro de refuerzo inmediato). Será en todo caso

cve: BOB-2025a082-(I-327)

obligatoria la presencia 24 h de un Jefe/a de Turno, pudiendo desempeñar esta función uno de los operadores de consola.

El Explotador deberá mantener actualizado el Catálogo de Recursos de Explotación para la Atención de Emergencias con que dicha explotación esté dotada, comunicándolo a la Dirección de Atención de Emergencias y Meteorología del Gobierno Vasco según se establezca en la normativa vigente sobre emergencias.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

6. RECURSOS MATERIALES

La explotación debe disponer de todos los recursos materiales para realizar sus tareas con eficacia.

Todos los edificios y dependencias de las explotaciones, contando como tales los centros de control, bases de primera intervención y de conservación, y oficinas administrativas, contarán con los vestuarios, servicios, comedores y zonas de descanso y demás estancias que determine la legislación vigente.

6.1. Centro de Control

Todos los túneles de tipo I y II serán supervisados y controlados desde un centro de control con un servicio 24h durante todos los días del año. Las características de la sala de control se detallan en la Instrucción Técnica de Seguridad y Explotación en Túneles VI "Sistemas de Seguridad, Vigilancia y Control", en su apartado 7.: Sistema de Control Centralizado.

Los túneles explotados en régimen de concesión podrán ser controlados y operados desde centros de control propios de la empresa concesionaria. Para cada túnel, habrá en todo momento un solo centro de control desde el que se gestione plenamente el túnel, siendo recomendable que exista un centro de respaldo para el caso de fallo del principal.

Todos los centros de control de túneles estarán coordinados entre sí para la correcta actuación ante incidentes que puedan afectar a varias zonas gestionadas desde centros diferentes, recomendando su interconexión mediante redes de comunicaciones para posibilitar el intercambio de información de tráfico, imágenes, etc.

6.2. Bases de Primera Intervención

Se dispondrá de bases de primera intervención que permitan dar una cobertura adecuada de los servicios de intervención, según se especifica en el apartado 5.3 de estas Instrucciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Estas bases estarán dotadas con espacio suficiente para albergar los equipos empleados por los agentes de campo:

- Equipos de señalización.
- Equipos salvamento y extinción.
- Útiles y herramientas.
- Material de primeros auxilios.
- Vehículos de intervención.

6.3. Base de Mantenimiento y Conservación

El centro de conservación es la base principal de operaciones de los equipos de mantenimiento y conservación de los túneles, el viario y sus instalaciones.

Las bases de mantenimiento y conservación deben disponer de espacio para albergar los equipos empleados por el personal dedicado a estas funciones:

- Equipos y herramientas de mantenimiento y conservación.
- Stock de repuestos, elementos fungibles y consumibles.
- Vehículos de mantenimiento y conservación.
- Almacenamiento de fungibles.

6.4. Oficinas Administrativas

Las tareas administrativas tanto internas como externas deben ser realizadas en unas oficinas acondicionadas para dichas tareas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7. PROCEDIMIENTOS DE EXPLOTACIÓN

El Manual de Explotación deberá incluir todos los procedimientos a realizar en la Explotación, sus actuaciones, agentes y responsabilidades.

7.1. Control de la Circulación

El explotador del túnel debe realizar un control de la circulación que transita por el túnel. El conocimiento de la intensidad y características del tráfico supone una información imprescindible para la toma de decisiones relacionadas con la explotación y con la seguridad en los túneles. En el Decreto Foral de Seguridad en Túneles (artículos 8 a 11) se fijan las restricciones especiales que se aplican a los túneles de Bizkaia.

Dentro de las tareas de control de circulación se engloban:

- Vigilancia del tráfico y sus características. En particular, las distancias entre vehículos y la velocidad de los vehículos en los túneles estarán sometidas a un control más riguroso, a fin de lograr un flujo regular del tráfico y una mayor seguridad en el interior de los túneles.

- En el caso de que vehículos que transportan mercancías peligrosas fuesen detectados en accesos a túneles donde esté prohibido su tránsito, se procurará informar al conductor para evitar que entre en el túnel.

- En el caso de que se produjeran retenciones en el interior del túnel donde éstas estuviesen prohibidas, según se indica en el artículo 9 del Decreto Foral de Seguridad en Túneles, se detendrá a los vehículos en los accesos de entrada al túnel hasta que el tráfico se pueda reanudar sin el peligro de que se detengan en el interior.

- Si el cierre del túnel es de larga duración se desviará el tráfico por rutas alternativas con la señalización adecuada para informar al usuario del incidente y la ruta aconsejada.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Ante infracciones genéricas del código de circulación o específicas del Decreto Foral de Seguridad en túneles se informará al infractor siempre que sea posible; y se comunicará el suceso a las autoridades competentes (Ertzaintza y Policías Locales) para que tomen las medidas sancionadoras oportunas.

7.2. Gestión de Incidentes

El explotador tendrá competencias en la gestión de incidentes que se produzcan en todos los túneles según la clasificación realizada en el Decreto Foral de Seguridad en Túneles.

Los túneles de Tipo I y II dispondrán de Planes de Autoprotección que tendrán tipificados los escenarios de riesgo (incidentes) y emergencias extraídos de los análisis de riesgos realizados, como parte de la documentación del Manual de Explotación. Los incidentes se clasificarán en cuatro niveles de actuación, que son los siguientes:

Preemergencia:

Estado en respuesta a un incidente detectado que, sin haber producido daño sobre las personas, materiales o medio ambiente, supone un incremento del riesgo por encima de los niveles asumidos como aceptables, pudiendo ser controlado por los medios propios de la explotación, previsiblemente sin ser necesaria la intervención externa.

Emergencia de nivel 0:

Estado en respuesta a un incidente detectado que, sin haber producido daño sobre las personas, materiales o medio ambiente, supone un incremento del riesgo por encima de los niveles asumidos como aceptables, requiriéndose para su control el aviso o alerta al Centro de Coordinación de Emergencias (SOS-Deiak), además de los medios propios de la explotación.

Emergencia de nivel 1:

Incidentes no catastróficos en los que, para su resolución, previsiblemente solo será necesaria la movilización de los servicios ordinarios de intervención en emergencias exteriores a la explotación. Son supuestos accidentes sin daños o con daños limitados

cve: BOB-2025a082-(I-327)

que requieren de la movilización de recursos de primera intervención y, en su caso, coordinación suplementaria y apoyo técnico superior.

Emergencia de nivel 2

Situación de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, de cuya ocurrencia se deriva un daño importante para las personas o las instalaciones, o en los que sin haberse materializado el daño suponen un nivel de riesgo muy elevado.

En los Planes de Autoprotección de los Túneles de Tipo I y II, se definirán los protocolos de actuación para la intervención de incidentes, según la clasificación citada anteriormente. En los Protocolos de Actuación se definirán las alarmas de detección, movilización de recursos de la explotadora, actuaciones sobre el equipamiento de seguridad y avisos de recursos externos para minimizar riesgos y garantizar la seguridad de los usuarios involucrados en los incidentes.

Los protocolos de actuación definidos en los Planes de Autoprotección de los Túneles de Tipo I y II, se integrarán en una aplicación de gestión automática de incidentes (referenciada también en la Instrucción Técnica VI de Seguridad, Vigilancia y Control). Como mínimo, se integrarán en la aplicación de Gestión automática de Incidentes aquellos protocolos de actuación que conlleven actuaciones para la señalización de afecciones al tráfico (estrechamiento de calzada, cierre de carril y tubo) e incidentes graves (cierre de túnel, evacuación).

En el caso de incidentes graves con necesidad de evacuación, el Jefe/a de Turno cerrará inmediatamente el túnel (todos los tubos). Esto se realizará activando simultáneamente tanto la señalización interior como la de los accesos del túnel, de forma que todo el tráfico pueda detenerse lo antes posible fuera y dentro del túnel, permitiendo que los vehículos no afectados puedan abandonar rápidamente el túnel. En el caso de que se produzca un accidente en un túnel de dos tubos, el tubo libre puede emplearse como vía de evacuación y de rescate.

Los incidentes correspondientes a los niveles 1 y 2 implicarán un aviso a los Servicios Públicos de Protección Civil, activándose si procede el Plan de Emergencia Exterior.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.3. Mantenimiento de Estructuras e Instalaciones

a) Fase de construcción y previa a la puesta en servicio:

Los contratistas de Infraestructura y Superestructura serán responsables de la conservación y mantenimiento integral (preventivos y correctivos) de todos los sistemas e instalaciones en obras de nueva construcción, y exclusivamente de los sistemas y equipamiento renovado o añadido en obras de adecuación de túneles existentes.

b) Fase de explotación hasta el fin de las garantías:

La Empresa Explotadora será responsable del mantenimiento integral de los equipos con las siguientes salvedades:

- El contratista asumirá la reparación o sustitución de equipos defectuosos o dañados bajo uso normal mediante la entrega de equipos reparados/nuevos en almacén de la empresa explotadora
- El contratista asumirá las tareas de diagnóstico (in situ si fuese preciso) de aquellas anomalías que lo requieran y no hayan podido ser solventadas por la empresa explotadora.

c) Fase de explotación a partir del fin de las garantías:

Será en los propios contratos de explotación a través de sus pliegos, donde deba abordarse y garantizar la gestión del mantenimiento de los túneles para cumplimiento de la normativa vigente.

7.3.1. Gestión del Mantenimiento

Las explotaciones dispondrán de un Sistema Informatizado de Gestión del Mantenimiento que contemplará las siguientes funciones.

- Inventario de Sistemas y Equipos. Contendrá toda la información que caracterice cada elemento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Agenda de funcionamiento y estado de las obras. Registro del estado de todo el equipamiento de los túneles, en el que se recogerán todas las informaciones de los partes de vigilancia y estado, y a partir de los cuales se alimenten los programas de mantenimiento.

- Catálogo de operaciones de mantenimiento. Listado de Operaciones de mantenimiento con la periodicidad de los trabajos y estimación de tiempo necesario para realizar las tareas.

- Gestión de Stocks de repuestos, elementos fungibles y consumibles.

Se deberá guardar registro de todas las actuaciones de mantenimiento realizadas, para poder ser revisadas por el Encargado de Seguridad y el Organismo de Inspección.

El Gestor del túnel es el último responsable de que todas las medidas de seguridad del túnel se encuentren disponibles (infraestructura, superestructura, recursos materiales).

El gestor del túnel en fase de explotación será responsable del mantenimiento preventivo de las instalaciones implantadas a partir de la recepción del sistema. La responsabilidad del mantenimiento correctivo será del Contratista mientras dure la garantía de los equipos. Hasta su recepción, será el Contratista el único responsable de garantizar los mantenimientos preventivos y correctivos necesarios, según su propio Plan de Mantenimiento y el de los fabricantes de los equipos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.4. Implantación y seguimiento de la explotación

Las condiciones de los túneles evolucionan con el tiempo. La explotación debe realizar labores de seguimiento de las condiciones del túnel (tráfico, incidentes, daños ocasionados...) y la bondad de los procedimientos en aplicación. A partir de este seguimiento se propondrán mejoras para aumentar los niveles de calidad y seguridad en el túnel.

7.4.1. Implantación de Explotación

De manera previa al comienzo de la fase de Explotación, el gestor en fase de obra debe entregar por lo menos la siguiente documentación:

1. Proyecto “as built” de Infraestructura y Superestructura, que se compondrá de:
   - Memoria.
   - Pliego de Prescripciones Técnicas.
   - Planos (incluyendo planos de arquitectura y ubicación y planos de detalle de conexionado de elementos).
2. Inventario de Equipos: mostrará el listado completo del equipamiento instalado, indicando, al menos:
   - Código
   - Descripción del elemento
   - Familia
   - Ubicación
   - Marca
   - Modelo
   - Número de Serie (si aplica)
   - Fecha puesta en marcha
   - Fecha límite de garantía
   - Vida útil
3. Fichas de Especificaciones Técnicas de los materiales y equipos (esta documentación puede ser en sustitución del Pliego de Prescripciones Técnicas)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4. Tablas de parámetros de configuración de equipos: parametrización de protecciones eléctricas, umbrales de prealarma, alarma y disparo, umbrales de regulación de alumbrado, etc. Como parte de este conjunto se deberán incluir los parámetros de configuración de los equipos de red:

   - Direccionamiento IP de todos los equipos
   - Definición de VLANs
   - Reglas de rutado
   - Políticas de seguridad de red

5. Algoritmos de ventilación.
6. Los planos de las instalaciones eléctricas y de seguridad, vigilancia y control deberán ser multifilares con indicación de las posiciones en borneros, repartidores, bocas de switches, etc.
7. Licencias de uso y originales del software instalado; en el caso de que el software haya sido desarrollado “ad hoc”, se entregará el código fuente.
8. Proyectos eléctricos y actas de reconocimiento certificado de industria de las instalaciones de baja tensión.
9. Manuales de Usuario de equipos y sistemas.
10. Manuales de Mantenimiento de equipos y sistemas.
11. Material didáctico preparado por el contratista de la obra y sus subcontratistas para los cursos técnicos de formación del personal de la explotación.
12. Resultado de las pruebas realizadas a equipos y sistemas.
13. Relación con los periodos de garantía, fechas de puesta en servicio de cada sistema y fechas fin de garantía, indicando las garantías adicionales dadas por cada contratista en la licitación.

Toda la documentación de fin de obra será entregada al menos en soporte informático (editable y pdf) con un formato homogéneo.

Con carácter excepcional los apartados 2 (Inventario de equipos), 4 (tablas de parámetros de configuración) y 6 (planos de instalaciones) podrán entregarse con posterioridad a la puesta en servicio con el límite máximo de seis meses a contar desde la puesta en servicio.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El OITB verificará que la documentación esté completa en la auditoría de seguimiento de los 6 meses tras la puesta en servicio del túnel.

7.4.2. Seguimiento de la Explotación

Se debe implantar una metodología de seguimiento de la explotación, definida en el Manual de Explotación, donde al menos se realicen las siguientes tareas:

- Registro de los incidentes y accidentes como base para investigaciones posteriores y como herramienta para optimizar las actuaciones de atención de emergencias.
- Evaluación del nivel de seguridad del túnel. Implantación de un Modelo de Análisis del Riesgo que permita el cálculo de índices de seguridad asociados a la circulación por el túnel y sus recorridos alternativos.
- Evaluación de los niveles de calidad conseguidos, en términos de servicio al usuario y de los costes de las operaciones necesarias para conseguir los niveles citados.
- Medición y valoración de los trabajos de explotación y el conocimiento de la distribución del gasto en los distintos tipos de trabajos, optimizando los recursos empleados para cada una de las áreas de actividad de la explotación. A partir de este estudio se perfecciona la programación de trabajos.
- Supervisión del cumplimiento de las obligaciones contractuales entre el gestor y el gestor delegado, y de las prescripciones establecidas para la realización de los trabajos.
- Informes de explotación. El Encargado de Seguridad del túnel elaborará, al menos, los siguientes informes:
    - Informes detallados de todos los incidentes graves o significativos que sucedan en el túnel de tipo I y II. En estos informes se detallarán las causas, actuaciones y consecuencias de los incidentes. Se remitirán al Gestor del Túnel, así como a los servicios de emergencia, en el plazo máximo de un mes. El Gestor del Túnel lo enviará a su vez a la Autoridad Administrativa.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se considera **incidente grave o significativo** a todo aquel que haya tenido como consecuencia:

- Al menos una víctima (mortal y/o herido)
- Un incendio de cualquier tipo en el interior del túnel o zonas de influencia

Además de los incidentes significativos, el Gestor del túnel registrará, y el Encargado de Seguridad lo incorporará a sus informes de seguimiento, al menos todos los incidentes que hayan tenido como consecuencia:

- Un corte o cierre no programado del túnel o al menos uno de sus tubos en el que:
  - Se haya cortado al menos un carril del túnel durante un periodo superior a dos horas
  - Haya habido que cerrar el túnel o al menos uno de sus tubos, cualquiera que sea la duración
- Cualquier accidente con implicación de un vehículo de mercancías peligrosas
- Un fallo generalizado de la estructura, o en alguna de los sistemas de seguridad, tales como:
  - Fallo completo del suministro eléctrico (suministro de red y de emergencia)
  - Fallo generalizado de comunicaciones

- Informe periódico de seguimiento, a partir del registro de incidentes e históricos del Sistema de Control y del Sistema de Gestión de Mantenimiento. Estos informes se realizarán de forma trimestral y se remitirán al Gestor del Túnel. El informe debe incluir al menos la siguiente información:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Riesgos y accidentes
  - Informe de la accidentabilidad a lo largo del tiempo en cada túnel. Frecuencia de aparición de los incidentes, según su categoría.
  - Se adjuntarán los informes de los incidentes graves o significativos ocurridos durante el periodo en cada uno de los túneles.
- Nivel de servicio del túnel.
  - Niveles de servicio del tráfico.
  - Horas totales de cortes de tráfico, discriminando las planificadas de las imprevistas, (por incidentes) y los cortes de servicio totales de los cortes de carril.
  - Otras condiciones de servicio (niveles de contaminación, iluminación, etc.).

▪ Informe anual, donde se debe sintetizar la información de los distintos informes de seguimiento, obteniendo una perspectiva de la evolución de los distintos índices de calidad del servicio, particularmente de la seguridad, a lo largo de los doce meses anteriores. Estos informes serán remitidos al Gestor del Túnel. El informe debe abarcar al menos los siguientes contenidos:

- Enumeración de las tareas desarrolladas por el Encargado de Seguridad.
- Análisis de cómo se desarrollan las funciones definidas en el artículo 4 del DFST para los Encargados de Seguridad.
- Resumen del estado de los túneles:
  - Equipamiento e instalaciones de seguridad disponibles (incluir una tabla resumen en el informe)
  - Estado de las mismas (operativo o no)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Carencias respectos a los requisitos mínimos del DFST (destacar los más significativos e incluir el resto en anejos)

– Actuaciones y mejoras significativas de los túneles realizadas durante el año:

- Obras de adecuación ejecutadas y/o en ejecución
- Actuaciones en el marco del contrato de conservación
- Otras obras y actuaciones de mejora de la seguridad
- Propuestas de actuación del Encargado de Seguridad

– Riesgos y accidentes:

- Estudio de la accidentabilidad a lo largo del tiempo en cada túnel. Frecuencia de aparición de los incidentes, según su categoría.
- Estudio de las medidas preventivas y correctoras adoptadas por la explotación.
- Se adjuntarán los informes de los incidentes graves ocurridos durante el año en cada uno de los túneles.
- Índice de Seguridad en el momento de elaboración del informe.

– Nivel de Servicio:

- Niveles de servicio del tráfico.
- Horas totales de cortes de tráfico, discriminando las planificadas de las imprevistas, (por incidentes) y los cortes de servicio totales de los cortes de carril.
- Otras condiciones de servicio (niveles de contaminación, iluminación, etc.

– Mantenimiento:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Actuaciones de mantenimiento preventivo de las instalaciones y obra civil, incluyendo consumo de repuestos y necesidades de personal. Análisis de posibles mejoras.
- Operaciones de mantenimiento correctivo. Análisis de averías más frecuentes y propuesta de mejoras.
- Disponibilidad de las instalaciones.

– Conclusiones

- Juicio sobre la seguridad y nivel de servicio ofrecido. Cumplimiento de los objetivos propuestos el año anterior.
- Objetivos para el año siguiente

Todos estos informes pueden ser requeridos por el Organismo de Inspección según el procedimiento detallado en el Decreto Foral de Seguridad en Túneles.

7.4.3. Formación continua

Todo el personal de la explotación debe recibir la formación adecuada a las labores que va a desarrollar. El Encargado de Seguridad debe supervisar la formación del personal para que ésta sea la adecuada. Los cursos se organizarán de forma modular, orientándose hacia las necesidades de formación de cada colectivo dentro de la organización de la explotación. Deberá existir un Plan de Formación anual realizado por la Explotadora y supervisado por el Encargado de Seguridad donde se mencionen los cursos a impartir entre el personal, que debe abarcar al menos las siguientes materias:

- Estructura organizativa y operativa de la explotación: organigrama, mandos, funciones y responsabilidades, organización de turnos de trabajo.
- La seguridad en los túneles de carretera:

– Riesgos: fuego, mercancías peligrosas, accidentes de tráfico.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Elementos de seguridad: instalaciones, infraestructuras, medios de explotación (materiales y humanos) y procedimientos de explotación.
- El Plan de Autoprotección del túnel, gestión de emergencias, tácticas operativas y mecanismos de coordinación con los recursos externos de emergencia (SOS DEIAK, Bomberos, Servicios Sanitario, Ertzaintza, etc.).
- Procedimientos y técnicas de intervención en emergencias en túneles:
  - Técnicas de extinción y salvamento.
  - Técnicas sanitarias básicas.
  - Utilización del sistema de control y de los diferentes equipos de vigilancia y operación del centro de control.
  - Utilización de los materiales y equipos de intervención en campo.
- Seguridad e higiene en el trabajo de explotación de túneles, según el Plan de Seguridad e Higiene.

▪ Operaciones normales de la explotación:

- Programación de tareas de explotación.
- Vigilancia de los túneles desde el centro de control.
- Condiciones normales de explotación.
- Inspecciones rutinarias de funcionamiento de equipos.
- Tareas de apoyo al mantenimiento desde el centro de control.
- Registros de explotación.

▪ Mantenimiento.

- Cursos técnicos dirigidos fundamentalmente al personal de mantenimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Deberán impartirse, cursos de formación en las siguientes circunstancias:

- Incorporación a la explotación de nuevo personal.
- Realización de cambios significativos en la explotación (modificación de la estructura de alguno de los túneles, sus instalaciones de seguridad, las funciones del sistema de control, etc.)
- Incorporación de nuevos túneles a la misma explotación.
- Siempre que sean identificadas carencias en la instrucción del personal de explotación.
- Al menos una vez al año, deberán preverse cursos de revisión de los conocimientos formativos.

La Explotadora y el Encargado de Seguridad deberán mantener un registro actualizado de los cursos recibidos por el personal de explotación.

7.4.4. Ejercicios periódicos y simulacros

Los incidentes más graves son los de menor frecuencia de aparición; cuando tienen lugar, se hace uso de recursos de emergencia habitualmente no utilizados (detección de incendios, extracción de humos, ...) y se espera del personal de explotación la ejecución de actuaciones extraordinarias.

Se deberán realizar periódicamente simulacros de incidentes como contribución a la garantía de la seguridad de los túneles.

Los objetivos que se persiguen con la realización de simulacros son:

- Consolidar la formación del personal de explotación mediante la puesta en práctica de los conocimientos y habilidades adquiridas.
- Evaluación de la capacitación del personal de explotación.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Evaluación de la eficacia de las infraestructuras y sistemas de seguridad, verificando que están en servicio, que cumplen con los requerimientos funcionales y que lo hacen con la eficacia y con las prestaciones adecuadas.

- Evaluación de la eficacia de los procedimientos de explotación, especialmente los que se refieren a operaciones de emergencia, verificando que son operativos y se ajustan a las situaciones de riesgo y de emergencia reales de la explotación, dentro de la estrategia de seguridad de la explotación.

- Evaluación de la coordinación de los colectivos implicados en emergencias para garantizar los tiempos de respuesta cortos y cumplimiento de las competencias y funciones a cada uno asignadas.

Con el fin de mantener correctamente adiestrado al personal de explotación y verificar la adecuación de procedimientos y grado de disponibilidad de medios de emergencia, se realizarán **simulacros de incidentes a escala real** en todo túnel de tipo I:

- En Explotaciones con agrupaciones de túneles, se hará en cada Agrupación, un simulacro cada 4 años (alternando el túnel tipo I seleccionado) y se programará de forma que cada 2 años esa Explotación haga algún simulacro.

- En Explotaciones con un único túnel de tipo I o con una sola agrupación de túneles, se hará un simulacro a escala real cada cuatro años.

Se efectuarán ejercicios parciales y/o de simulación todos los años intermedios, consistentes ejercicios teóricos / de mesa, de puesto de control o parciales en campo.

Ejercicios teóricos / Ejercicios de mesa

Los ejercicios teóricos o de mesa sirven para simular de forma sencilla un incidente y poner en práctica los protocolos de respuesta al mismo. Este tipo de ejercicio se realiza en una sala, con todos los agentes convocados presentes en la misma.

El objetivo de esta práctica es divulgar a los participantes la organización y procedimientos de respuesta ante un incidente, identificando los posibles problemas y sus soluciones con el fin

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de mejorar la coordinación entre los diferentes servicios sin necesidad de realizar un simulacro a escala real.

Ejercicios de Puesto de Control

En este tipo de ejercicios, los Jefe/as de equipo y personal de comunicación de los agentes involucrados en la resolución de emergencias se sitúan en los puestos de control y puestos de mando con objeto de chequear las comunicaciones y el flujo de información entre ellos.

Ejercicios de Campo Parciales

Los ejercicios en campo parciales son ejercicios en los que se comprueban aspectos concretos en la resolución de una emergencia, como el procedimiento de evacuación, pero con un alcance inferior al de un simulacro a escala real.

Estos simulacros y ejercicios se ejecutarán de acuerdo con un Plan de Simulacros que deberá ser diseñado por el Encargado de Seguridad de la Explotación. En este Plan de Simulacros se describirá uno o más incidentes tipificados en el Plan de Emergencia (incluyendo el caso más grave: incendio) que se van a ensayar en los simulacros. Deberán intervenir los colectivos externos de emergencia durante los simulacros, facilitando su participación en la estrategia de seguridad de los túneles. El Plan de Simulacros se debe detallar en un documento que incluya al menos los siguientes contenidos:

Consideraciones generales del plan de simulacros.

- Evaluación previa de disponibilidad de recursos de explotación.
- Desvío de tráfico.
- Asistentes a los simulacros.
- Avisos y consideraciones.
- Condiciones de seguridad para la ejecución de las pruebas (particulares, colectivas).
- Programa y calendario de pruebas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Consideraciones particulares de cada prueba.

- Incidente.
- Objetivos específicos de la prueba.
- Escenario de la prueba.
- Recursos implicados.
- Guion de la Prueba.
- Protocolos de la prueba. Actuaciones.
- Procedimiento de seguimiento y evaluación de la prueba (definición de parámetros de evaluación y niveles de aceptación).
- Criterios de evaluación de la prueba.
- Resultados esperados.

A continuación, se indica a modo de ejemplo un listado de posibles incidentes a prever en el Plan de Simulacros:

- Incendio (obligatoria su previsión)
- Vehículo detenido obstaculizando parte de la calzada
- Avería crítica de un sistema (eléctrico, iluminación, etc.)
- Derrame de un líquido tóxico sobre la calzada
- Pérdida de visibilidad por presencia de humo
- Accidente de vehículo
- Etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Con posterioridad a su realización, el Encargado de Seguridad, con la colaboración de los colectivos externos de emergencia, analizará los resultados de las pruebas y extraerá de manera consensuada las conclusiones oportunas.

El Encargado de Seguridad elaborará un informe de conclusiones recogiendo, al menos los siguientes contenidos:

- Tiempo de acceso de los servicios de emergencia.
- Deficiencias de coordinación entre colectivos.
- Disfunciones detectadas en las comunicaciones o en otras instalaciones necesarias.
- Tiempos de reacción (alarmas automáticas, respuesta de los colectivos participantes, etc.).
- Necesidades de medidas y medios de autoprotección adicionales.
- Necesidad de revisión del Plan de Autoprotección.
- Propuestas de mejora de explotación, con medidas correctoras concretas.

7.4.5. Revisión del Manual de Explotación y Plan de Autoprotección

El Encargado de Seguridad deberá revisar los Manuales de Explotación y Planes de Autoprotección de todos los túneles de tipo I y II al menos una vez cada (3) tres años sin perjuicio de que, como consecuencia de cambios en las condiciones de explotación, ya sea por factores externos del entorno, de las condiciones de tráfico o internos de la entidad explotadora, se tenga que revisar antes de este periodo.

Se deberá realizar un control de versiones y trazabilidad de las revisiones realizadas al Manual de Explotación y Planes de Autoprotección de los Túneles de Tipo I y II desde su primera versión.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7.4.6. Implantación de mejoras

Una vez detectados los problemas y las posibles mejoras que se pueden realizar se procederá a su implementación en el plazo más breve posible.

7.4.7. Prevención ante nuevos sistemas de propulsión

Ante el avance de los nuevos sistemas de propulsión de los vehículos se vislumbran nuevos riesgos que debe afrontar la Explotación.

Según la evolución de las tecnologías el gestor del túnel analizará los nuevos riesgos que se presentan y planteará acciones de prevención y actuación frente a incidentes en los que se vean implicados este tipo de vehículos con el objetivo de minorizar riesgos.

7.5. Auditorías de túneles en servicio

Al objeto de contrastar los procedimientos de explotación descritos, el Organismo de Inspección realizará auditorías de seguridad, infraestructura, superestructura y explotación en los túneles tipo I y II al menos cada tres años, pudiendo el OITB reducir este periodo, bien por solicitud del gestor o si las circunstancias así lo aconsejasen para preservar las condiciones de seguridad del túnel.

Para los túneles cortos, tipo III, el OITB acordará con el gestor de explotación los intervalos entre auditorías en función de las circunstancias de seguridad.

A continuación, se describen las circunstancias que pueden afectar a las condiciones de seguridad del túnel: accidentalidad, evolución del tráfico, averías, proyectos de adecuación, renovación de equipos, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Anexo A. Guía para la elaboración del Manual de Explotación

La explotación de túneles comprende la organización de medios y recursos dedicados a las actividades de supervisión y control del tráfico, atención de incidentes y mantenimiento de las infraestructuras e instalaciones de uno o varios túneles; así como los trabajos de dirección y administración de dichos medios y recursos.

Cada una de las explotaciones contará con un centro de control desde donde se realizarán las actividades de supervisión, control y operación de los túneles pertenecientes a dicha explotación.

Todos los túneles de Tipo I y II estarán integrados en una explotación de túneles.

Los objetivos de la Explotación son:

(1) Garantizar un nivel de **seguridad vial** en el interior de los túneles similar al de los tramos a cielo abierto, a través de un uso adecuado del túnel y de sus instalaciones.

(2) Por tratarse de un paso estratégico, **mantenimiento** del tráfico viario en un **nivel de servicio** adecuado.

(3) Mantenimiento en el viario interior de los túneles de condiciones óptimas de **confort** para el conductor, que proporcione un nivel de servicio elevado.

(4) Optimización de los **costes de explotación**, compatible con la observación de altas cotas de confort y seguridad vial.

(5) **Optimizar la vida útil** de la estructura y las instalaciones de los túneles, conservándolas en perfectas condiciones de servicio, con un mantenimiento adecuado.

El funcionamiento de estos túneles estará definido en el Manual de Explotación de la explotación a la que pertenezca, es decir, existirá un Manual de Explotación por cada centro, aunque dentro de determinados apartados, que se detallan más adelante, debe haber especificaciones para cada uno de los túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A continuación, se detallan los contenidos mínimos que debe abarcar un Manual de Explotación:

A.1 Marco General de Explotación.

A.2 Plan de Operación.

A.2.1 Plan de Operaciones normales

A.2.2 Plan de Autoprotección.

A.3 Plan de Mantenimiento.

A.4 Plan de Implantación y Seguimiento.

A.5 Normas de Circulación.

A.6 Libro de Competencias.

A.1 Marco General de Explotación.

A.1.1 Legislación y normativa aplicable y de referencia.

Relación y análisis de la normativa aplicable a la explotación de los túneles, así como de las implicaciones que tiene su cumplimiento.

A.1.2 Medio físico, infraestructura y superestructura de los túneles.

En este capítulo del manual de explotación debe existir un apartado para cada uno de los túneles de tipo I y II (según clasificación del Decreto Foral de Seguridad en Túneles) donde se estudie el túnel individualmente y se especifique al menos lo siguiente:

Medio Físico

- Problemática a la cual responde la construcción del túnel, destacando el marco geográfico, social, medioambiental, económico de la vía y del túnel, y el impacto que éste representa.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Datos de tráfico (IMD real o esperada para túneles de nueva construcción, reparto del tráfico, etc.).

- Si existen condicionantes de explotación socioeconómicos o de otra naturaleza deben ser explicitados, especialmente en lo que se refiere a convenios de colaboración entre instituciones u otros que pudieran significar movilización de recursos externos o detracción de recursos propios para otras funciones.

Infraestructuras

- Características más significativas del proyecto de obra civil (longitud, sección, trazado, perfil longitudinal, ancho y composición de la calzada, etc.).

- Características de la infraestructura de seguridad del túnel (anchurones, galerías de emergencia, refugios, etc.), formulando, como en las anteriores, los criterios de diseño que han determinado su proyecto.

Instalaciones

- Características de la superestructura de seguridad del túnel (suministro de energía, alumbrado, ventilación, control de tráfico, CCTV y DAI, sistemas contraincendios, sistemas de comunicación de voz, control centralizado), formulando, como en las anteriores, los criterios de diseño que han determinado su proyecto

Además, debe existir un apartado común donde se describa el centro de control y las instalaciones que posee.

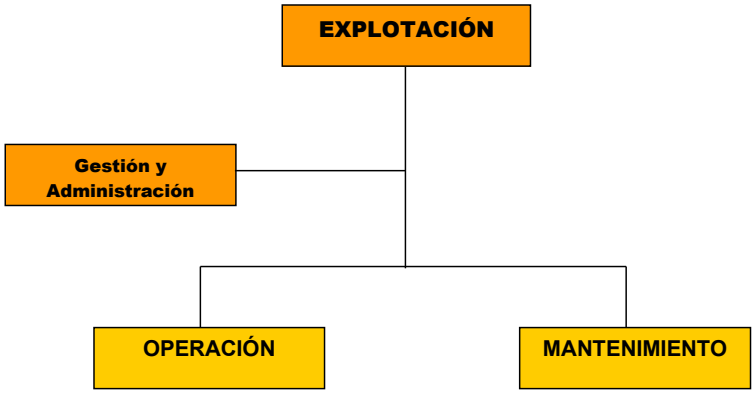
A.1.3 Objetivos de explotación.

Deberán definirse los objetivos que se pretende conseguir a través de una eficiente explotación de los túneles, con referencia a la seguridad vial, nivel de confort de los usuarios, a la optimización de la vida útil de la estructura y las instalaciones del túnel, conservándolas en perfectas condiciones de servicio, y otros aspectos que deben ser bien formulados para poder ser atendidos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

A.1.4 Actividades de explotación.

Los recursos tanto materiales como humanos relacionados con la explotación del túnel, estarán asociados a alguna de las siguientes actividades:



A.1.5 Recursos de la Explotación

Una vez formuladas las actividades de explotación y dimensionada la carga de trabajo que estas inducen, pueden repartirse esas funciones entre los recursos humanos y materiales disponibles, calculando la dimensión de tales efectivos.

La Explotación está dotada de medios internos, de los que es completamente responsable la Gestor del Túnel, así como de recursos externos, que toma a su cargo la protección ciudadana. La seguridad vendrá determinada por la suma de tales recursos de prevención y respuesta a riesgos y se deben tener en cuenta ambos a la hora de calcular y dimensionar los recursos.

A.1.5.1 Recursos Humanos. Organigrama de la explotación.

Se realizarán cálculos que justifiquen los recursos humanos y que son suficientes para afrontar la explotación cumpliendo con los requerimientos de las Instrucciones de Explotación y con ello reducir el riesgo a niveles aceptables.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se establecerá el organigrama, formación, responsabilidades y función de los integrantes de la explotación. El organigrama de la Explotación debe incluir al menos las figuras definidas en las Instrucciones de Explotación:

- Director/a de Explotación
- Jefe/a de Operaciones
- Jefe/as de Mantenimiento
- Operadores de consola
- Jefe/a de turno
- Agentes de campo
- Personal de mantenimiento

A.1.5.2 Recursos Materiales

Se deberán justificar los recursos materiales, detallando todos los recursos materiales de la explotación, vehículos, consumibles...

A.2 Plan de Operación.

El Plan de Operación tratará de forma separada las operaciones normales, es decir, aquellas que se desarrollan en ausencia de incidentes; y las operaciones de atención de incidentes y emergencias, desarrolladas en el marco del Plan de Autoprotección.

Para los túneles de tipo I y II será preceptivo un Plan de Autoprotección propio, en el que se realizará un análisis de riesgos individualizado y se definirán las actuaciones de respuesta específicas, tanto del personal del centro de control como del personal de campo y la coordinación con medios externos. Se recomienda como norma general la creación de un único Plan de Autoprotección para un conjunto de túneles cuya gestión sea mejor realizarla de forma integrada, bien porque están ubicados en el mismo tronco de carretera y muy próximos entre sí, o bien porque existen ramales soterrados de entradas y salidas, considerados como

cve: BOB-2025a082-(I-327)

agrupación de túneles, garantizando siempre la especificidad de cada uno de ellos en el documento integrado. Todas estas actuaciones se recogerán en procedimientos, de acuerdo con la legislación vigente, conformando los **Planes de Autoprotección**.

El Plan de Operación de una Explotación contendrá todos los Planes de Autoprotección de los túneles para los que proceda (tipo I y II).

A.2.1 Plan de Operaciones normales.

Las operaciones normales serán analizadas de forma conjunta para toda la Explotación. En particular, se considera dentro de este tipo de actividades:

- Descripción de las condiciones normales de explotación del túnel
- Servicios de control del túnel
- Cumplimentación de partes de servicio
- Servicios de vigilancia y prevención de accidentes e incidentes, tales como la supervisión del tráfico.

A.2.2 Plan de Autoprotección.

Los Planes de Autoprotección se redactarán de acuerdo con la legislación vigente. Se desarrollarán, al menos, los contenidos que ésta determina:

CAPÍTULO 0: INTRODUCCIÓN.

- Objetivos del Plan de Autoprotección.
- Marco Legal.

CAPITULO 1: IDENTIFICACIÓN DE LOS TITULARES Y DEL EMPLAZAMIENTO DE LA ACTIVIDAD.

- Dirección postal del emplazamiento de la actividad. Denominación de la actividad, nombre o marca. Teléfono y fax.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Identificación de los titulares de la actividad. Nombre o Razón social, dirección postal, teléfono y fax.
- Nombre del Responsable del Plan de Autoprotección y del director o directora del plan de actuación en emergencia, caso de ser distintos. Dirección postal, teléfono y fax.

CAPITULO 2: DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA ACTIVIDAD Y DEL MEDIO FÍSICO EN EL QUE SE DESARROLLA.

- Descripción de cada una de las actividades desarrolladas objeto del Plan.
- Descripción del centro o establecimiento, dependencias e instalaciones donde se desarrollen las actividades objeto del plan.
- Clasificación y descripción de usuarios.
- Descripción del entorno urbano, industrial o natural en el que figuren los edificios, instalaciones y áreas donde se desarrolla la actividad.
- Descripción de los accesos. Condiciones de accesibilidad para la ayuda externa.

Este Capítulo se desarrollará mediante documentación escrita y se acompañará al menos la documentación gráfica siguiente:

- Plano de situación, comprendiendo el entorno próximo urbano, industrial o natural en el que figuren los accesos, comunicaciones, etc.
- Planos descriptivos de todas las plantas de los edificios, de las instalaciones y de las áreas donde se realiza la actividad.

CAPITULO 3: INVENTARIO, ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

- Descripción y localización de los elementos, instalaciones, procesos de producción, etc. que puedan dar origen a una situación de emergencia o incidir de manera desfavorable en el desarrollo de la misma.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Identificación, análisis y evaluación de los riesgos propios de la actividad y de los riesgos externos que pudieran afectarle (riesgos contemplados en los planes de Protección Civil y actividades de riesgo próximas).
- Identificación, cuantificación y tipología de las personas tanto afectas a la actividad como ajenas a la misma que tengan acceso a los edificios, instalaciones y áreas donde se desarrolla la actividad.

Este Capítulo se desarrollará mediante documentación escrita y se acompañará al menos la documentación gráfica siguiente:

- Planos de ubicación por plantas de todos los elementos o instalaciones de riesgo, tanto los propios como los del entorno.

CAPITULO 4: INVENTARIO Y DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS Y MEDIOS DE AUTOPROTECCIÓN

- Inventario y descripción de las medidas y medios, humanos y materiales, que dispone la entidad para controlar los riesgos detectados, enfrentar las situaciones de emergencia y facilitar la intervención de los Servicios Externos de Emergencias.
- Las medidas y los medios, humanos y materiales, disponibles en aplicación de disposiciones específicas en materia de seguridad.

Este Capítulo se desarrollará mediante documentación escrita y se acompañará al menos la documentación gráfica siguiente:

- Planos de ubicación de los medios de autoprotección, conforme a normativa UNE.
- Planos de recorridos de evacuación y áreas de confinamiento, reflejando el número de personas a evacuar o confinar por áreas según los criterios fijados en la normativa vigente.
- Planos de compartimentación de áreas o sectores de riesgo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

CAPITULO 5: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO DE INSTALACIONES

- Descripción del mantenimiento preventivo de las instalaciones de riesgo, que garantiza el control de las mismas.
- Descripción del mantenimiento preventivo de las instalaciones de protección, que garantiza la operatividad de las mismas.
- Realización de las inspecciones de seguridad de acuerdo con la normativa vigente.

CAPITULO 6: PLAN DE ACTUACIÓN ANTE EMERGENCIAS

- Identificación y clasificación de las emergencias.
  - En función del tipo de riesgo
  - En función de la gravedad
  - En función de la ocupación y medios humanos
- Procedimientos de actuación ante emergencias
  - Detección y alerta.
  - Mecanismos de alarma.
  - Identificación de la persona que dará los avisos.
  - Identificación y métodos de comunicación con el Centro de Coordinación Operativa SOS Deiak.
  - Mecanismos de respuesta frente a la emergencia.
  - Evacuación o confinamiento.
  - Prestación de las primeras ayudas.
  - Modos de recepción de las ayudas externas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Identificación y funciones de las personas y equipos que llevarán a cabo los procedimientos de actuación en emergencias.
- Identificación del Responsable de la puesta en marcha del Plan de Actuación ante Emergencias.

CAPITULO 7: INTEGRACIÓN DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN EN OTROS DE ÁMBITO SUPERIOR

- Los protocolos de notificación de la emergencia.
- La coordinación entre la dirección del Plan de Autoprotección y la dirección del Plan de Protección Civil donde se integre el Plan de Autoprotección.
- Las formas de colaboración de la Organización de Autoprotección con los planes y las actuaciones del sistema público de Protección Civil.

CAPITULO 8: IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

- Identificación del responsable de la implantación del Plan.
- Programa de formación y capacitación para el personal con participación activa en el Plan de Autoprotección.
- Programa de formación e información a todo el personal sobre el Plan de Autoprotección.
- Programa de información general para los usuarios.
- Señalización y normas para la actuación de visitantes.
- Programa de dotación y adecuación de medios materiales y recursos.

CAPITULO 9: MANTENIMIENTO DE LA EFICACIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE AUTOPROTECCIÓN

- Programa de reciclaje de formación e información.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Programa de sustitución de medios y recursos.
- Programa de ejercicios y simulacros.
- Programa de revisión y actualización de toda la documentación que forma parte del Plan de Autoprotección.
- Programa de auditorías e inspecciones.

Apéndice I. Directorio de Comunicación.

- Teléfonos del Personal de emergencias.
- Teléfonos de ayuda exterior.
- Otras formas de comunicación.

Apéndice II. Formularios para la Gestión de Emergencias.

Apéndice III. Planos.

Apéndice IV. Glosario de Términos.

Apéndice V. Catálogo de Señales de Emergencia en Túnel

Apéndice VI. Protocolos de Comunicación.

Apéndice VII. Prestación de primeros auxilios en caso de emergencia

Apéndice VIII. Certificado de implantación del Plan de Autoprotección

A.3 Plan de Mantenimiento.

Este capítulo del Manual de Explotación constituye un documento independiente. En él se deben contemplar todas las labores, actuaciones y planificación orientada a mantener la infraestructura y superestructura en condiciones óptimas. El Plan de Mantenimiento tiene que recoger al menos los siguientes contenidos:

CAPITULO 1: OBJETIVOS.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Deberán definirse los ratios a conseguir en términos de disponibilidad y fiabilidad de las instalaciones (calidad del servicio).

CAPITULO 2: RECURSOS Y ORGANIZACIÓN.

Los recursos humanos dedicados a actividades de mantenimiento se organizan alrededor del Jefe/a de Mantenimiento y el equipo correspondiente, con especialistas en obra civil y en instalaciones. Los recursos materiales comienzan por la base de operaciones, en la que se sitúa el stock de repuestos, consumibles y vehículos y maquinaria necesarios para cubrir la función correspondiente.

CAPITULO 3: PROCEDIMIENTOS.

Este capítulo consta de tres documentos:

- Manual de Mantenimiento. En este documento se describen las acciones de mantenimiento específicas de cada equipo o subsistema, considerando tanto las acciones de mantenimiento preventivo como correctivo. Para cada una de ellas deberán especificarse los medios materiales y humanos necesarios y el tiempo previsto en la intervención. Esta información debe ser suministrada por los proveedores de los equipos y el constructor.

- Programa de actuaciones. A partir de las acciones descritas en el punto anterior, se elabora un calendario o programa de actuaciones periódicas de mantenimiento que permite dimensionar los recursos y sistematizar las secuencias de trabajo.

- Libro de mantenimiento. Es un documento que sirve de base para el registro y posterior análisis de acciones de mantenimiento. Permite realizar un seguimiento de las tareas realizadas y averías o problemas producidos y efectuar un análisis histórico de las intervenciones.

A.4 Plan de Implantación y Seguimiento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El Plan de Implantación y Seguimiento define las actuaciones que se deben emprender para la puesta en servicio de la explotación, así como las actuaciones y procedimientos de seguimiento, dentro del proceso de mejora continua de la explotación.

A.4.1 Implantación del Manual de Explotación.

La implantación del Manual de Explotación supone, entre otros, los siguientes aspectos.

A.4.1.1 Formación del personal de explotación.

En este apartado se deben establecer los requerimientos mínimos necesarios sobre la formación del personal de explotación, de forma que se garantice que la explotación se realiza con las condiciones óptimas de seguridad, con una correcta capacitación de los distintos colectivos en las actividades de explotación del túnel. A partir de estos requerimientos de formación se definen los cursos con sus contenidos y los colectivos a los que deben ser impartidos.

A.4.1.2 Ejercicios y simulacros.

En este apartado se establece la obligación, por parte del explotador, de elaborar un Plan de Simulacros. Además, se describirán las pruebas y simulacros que se deberán realizar con la implantación del Manual de explotación y de forma periódica durante la explotación del túnel. También se definirán las colaboraciones externas y la participación en los simulacros de los servicios y organismos externos a la explotación del túnel.

A.4.1.3 Gestión del Manual de Explotación.

En este apartado se elaborarán los procedimientos de gestión del Manual de Explotación, que tratarán, al menos la revisión, aprobación y distribución del Manual de Explotación.

El Manual de Explotación será revisado periódicamente con la inclusión de las nuevas circunstancias que hayan modificado el riesgo, tales como una mayor IMD, modificaciones constructivas relevantes o aspectos relacionados con la explotación (mayores recursos, cambios organizativos u otros). Además de las revisiones periódicas, el Manual de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Explotación deberá ser revisado al momento en el caso de modificaciones importantes en alguno de los aspectos mencionados.

Se mantendrá operativo un registro del Manual, con la revisión del conjunto del documento y de todas sus partes, incluyendo la distribución realizada a las instituciones implicadas y la revisión de cada una de las copias distribuidas.

A.4.2 Seguimiento de la explotación.

Se definirá la metodología de seguimiento de la explotación, describiendo con detalle los procesos de captación de datos, generación y análisis de la información de seguimiento, y propuesta de mejoras. Además, se definirán los mecanismos de información al Gestor del Túnel y a la Autoridad Administrativa, y de auditoría por parte de éstos a la Explotación.

El seguimiento se referirá a todas las actividades de la explotación, para lo cual, se implantarán modelos de evaluación de los niveles de seguridad, disponibilidad de instalaciones y servicio al usuario. A través de estos sistemas se permitirá la evaluación del cumplimiento de los objetivos de explotación y la mejora continua de la explotación. Se implantarán los siguientes sistemas de evaluación:

- Evaluación del nivel de seguridad mediante un modelo de índice del nivel de Seguridad.
- Evaluación del nivel de servicio mediante un modelo de índices del nivel de Servicio.

A.5 Normas de circulación.

En este capítulo se deberán relacionar las normas de circulación, tanto generales como particulares, que aplican a los distintos túneles. Las normas se distribuirán entre los municipios cercanos, publicándose donde convenga.

A.6 Libro de competencias.

Se ha de incluir en el Manual un Libro de Competencias, que determine responsabilidades de las instituciones que tienen competencia en la circulación de vehículos a través de los túneles,

cve: BOB-2025a082-(I-327)

son gestores o responsables de la explotación, o ésta afecta a sus intereses directa o indirectamente. De forma orientativa:

- Departamento competente en materia de Obras Públicas de la Diputación Foral de Bizkaia.
- Departamento competente en materia de Seguridad y Protección Civil de la Diputación Foral de Bizkaia.
- Departamento competente en la Atención de Emergencias del Gobierno Vasco.
- Autoridad de Tráfico.
- Autoridades locales de la zona.
- Otros.

A.7 Anexos

A.7.1 Documentación de proyecto

El Manual de Explotación contendrá una relación exhaustiva de la documentación de final de obra, “as built”, que deberá estar disponible para la explotación del túnel, ya que es necesaria para el correcto desempeño de las actividades de mantenimiento, formación del personal y para soportar determinadas tareas de la operación. Esta documentación deberá ser de calidad, incluir todas las modificaciones de proyecto y las llevadas a cabo durante la construcción, debiendo estar actualizada y controlada de forma continua. Incorporará asimismo el inventario completo de las infraestructuras e instalaciones.

A.7.2 Análisis de Riesgos

En caso de que por alguna característica del túnel/es o de las condiciones de explotación se realice un Análisis de Riesgos, éste se incorporará como un Anexo del Manual de Explotación Correspondiente.

A.7.3 Dictamen de Seguridad

cve: BOB-2025a082-(I-327)

El Encargado de Seguridad, una vez comprobado que el Manual de Explotación y el Plan de Autoprotección son acordes con la presente Instrucción Técnica y todos los procedimientos y recursos definidos son adecuados para garantizar una correcta operación y mantenimiento, emitirá un Dictamen de Seguridad en el cual se recogerá la idoneidad de los citados documentos.

Este Dictamen se incorporará como un Anexo del propio Manual de Explotación y deberá emitirse tras cada actualización del mismo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ANEXO VIII

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO EN TÚNELES DE LA RED DE CARRETERAS DE BIZKAIA

DECRETO FORAL DE SEGURIDAD DE TÚNELES

EN CARRETERA

INSTRUCCIONES TÉCNICAS DE SEGURIDAD Y EXPLOTACIÓN

(VIII)

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO EN TÚNELES DE LA RED DE CARRETERAS DE BIZKAIA

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ÍNDICE

1 MARCO NORMATIVO 6
1.1 Antecedentes Normativos 6
1.2 Ámbito de Aplicación 6
1.3 Estudios Específicos y Análisis de Riesgo 7
1.3.1 Estudio Específico de Riesgo 7
1.3.2 Análisis de Riesgo 8
2 DEFINICIÓN Y TIPOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO 11
2.1 Definición 11
2.2 Tipología 11
2.3 Métodos Considerados 12
2.4 Objetivos 13
2.5 Datos de Partida 13
3 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO A APLICAR 16
4 MÉTODO GENERAL 17
4.1 Modelo de Riesgo del Túnel 19
4.1.1 Análisis de los Escenarios 20
4.1.1.1 Consideraciones previas 20
4.1.1.2 Descripción de los escenarios 22
4.1.1.3 Posicionamiento del incendio en el túnel 26
4.1.2 Determinación del Índice de Riesgo del Túnel 29

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.2.1 Coeficiente de Riesgo del túnel virtual 29
4.1.2.2 Coeficiente de Riesgo del túnel real 35
4.1.2.3 Factor corrector del coeficiente de riesgo 36
4.1.2.4 Índice de riesgo del túnel 56
4.2 Modelos de Ventilación 57
4.2.1 Modelo Tabulado de Ventilación 57
4.2.1.1 Producción de humos 57
4.2.1.2 Comportamiento de los humos 58
4.2.2 Modelo Unidimensional de Ventilación 63
4.2.2.1 Comportamiento de los humos 64
4.2.2.2 Protocolos de ventilación 67
4.3 Modelo de Comportamiento de los Usuarios 68
4.3.1 Determinación Del Número De Usuarios Afectados 68
4.3.2 Proceso de Evacuación de Los Usuarios 71
4.3.3 Determinación del Número Inicial de Usuarios Afectados 78
4.3.3.1 Cuando se emplea el modelo tabulado de ventilación 80
4.3.3.2 Cuando se emplea el modelo unidimensional de ventilación 81
4.3.4 Determinación del Número Total de Usuarios Afectados 82
4.4 Criterios de Aceptación 82
4.5 Cuadros De Parámetros, Factores y Ecuaciones 83
4.5.1 Ecuaciones para el Cálculo del Índice de Riesgo 83

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.2 Parámetros para el Cálculo De Los Coeficientes De Riesgo 85

4.5.3 Parámetros para la Modelización del Movimiento del Humo 91

4.5.4 Ecuaciones para el Cálculo de las Trayectorias De Auto- Evacuación de los Usuarios 92

4.5.5 Recuento de Usuarios Atrapados en el Interior del Túnel 93

5 MÉTODO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS 95

5.1 Introducción 95

5.2 Modelo DG QRAM 96

5.2.1 Proceso de Aplicación del Modelo 96

5.2.2 Descripción del Modelo 96

5.2.2.1 Análisis de los escenarios 97

5.2.2.2 Descripción de los escenarios 99

5.2.2.3 Frecuencia de accidentes en carretera 104

5.2.2.4 Transporte de mercancías peligrosas por carretera 105

5.2.2.5 Evaluación de consecuencias 107

5.2.3 Datos de Salida del Modelo 110

5.2.3.1 Curvas F/N 110

5.2.3.2 Niveles de aceptación 111

5.3 Paso de Mercancías Peligrosas por El Túnel 116

5.3.1 Túneles No Pertenecientes a la RIMP 116

5.3.2 Túnel Perteneciente a la RIMP 116

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.3.3 Documentación Complementaria a Aportar 117

5.3.3.1 Túneles con paso permitido de mercancías peligrosas 117

5.3.3.2 Túneles con paso prohibido de mercancías peligrosas 119

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 MARCO NORMATIVO

1.1 Antecedentes Normativos

La Directiva Europea 2004/54/CE es a día de hoy el texto legislativo principal para los países de la UE, estableciendo requisitos básicos para túneles en la Red Transeuropea de Carreteras (TERN). Dicha Directiva fue transpuesta a la legislación nacional mediante el RD 635/2006 para los túneles de la red de carreteras del Estado (RCE), y a la legislación foral de Bizkaia mediante Decreto Foral de Seguridad de Túneles (DFST) para los túneles de la red de carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia (THB) junto con sus Instrucciones Técnicas (ITs) vigentes aprobadas mediante Decreto.

En las citadas reglamentaciones, se hace alusión al análisis del riesgo como medio para evaluar determinados aspectos de la seguridad de un túnel, de acuerdo con una metodología bien detallada y definida.

Existen varias metodologías aprobadas por diferentes Estados Miembros. Para los túneles de la RCE, la Secretaría de Estado de Infraestructuras, Transporte y Vivienda del Ministerio de Fomento aprobó mediante Resolución de 30 mayo de 2012 la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras del Estado (MARTE), diseñada en base a los requerimientos del RD 635/2006.

Con objeto del aprovechamiento y aplicación en los túneles de Bizkaia de la citada metodología, es necesario adaptarla a los requerimientos específicos del DFST e Instrucciones Técnicas vigentes.

El objeto del presente documento es la definición de una Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles del THB, tomando como referencia la Metodología definida para la RCE, con las modificaciones necesarias para su aplicación a los requerimientos propios de la normativa foral de seguridad en túneles de Bizkaia.

1.2 Ámbito de Aplicación

La elaboración del estudio específico de riesgo, así como el análisis de riesgo enfocados al estudio de las especiales características del túnel en lo referido a parámetros de diseño o condiciones de explotación, se enmarca dentro de lo establecido al respecto en el DFST e Instrucciones Técnicas vigentes, por lo que será aplicable a todos los Túneles Tipo I y II, integrados en un Centro de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Control, de la Red de Carreteras del Territorio Histórico de Bizkaia, tanto si se encuentran en servicio como si se encuentran en fase de construcción o de proyecto.

1.3 Estudios Específicos y Análisis de Riesgo

De acuerdo con lo establecido en el DFST, el gestor del túnel debe mantener actualizado el manual de explotación y, por lo tanto, será el encargado de elaborar y actualizar el estudio de análisis de riesgo incluido en dicho documento.

1.3.1 Estudio Específico de Riesgo

En el manual de explotación de un túnel debe incluirse siempre un estudio específico de riesgo, en el que se describan los accidentes que afectan a los usuarios, la naturaleza y magnitud de sus consecuencias y se justifiquen las medidas de reducción de la probabilidad de su ocurrencia.

De lo expuesto anteriormente se deduce que dicho documento debe elaborarse e incluirse siempre en el manual de explotación, desde la fase de proyecto, aunque el túnel objeto de estudio no presente especiales características en cuanto a sus parámetros de diseño o a sus condiciones de explotación.

El estudio específico de riesgo se desarrollará siempre y deberá analizar, de la forma que el autor considere justificada, los puntos anteriormente expuestos:

- Descripción de los accidentes que puedan ocurrir durante la fase de explotación del túnel y que afecten directamente a los usuarios.
- Naturaleza y magnitud de sus posibles consecuencias.
- Medidas adoptadas en su equipamiento para reducir la probabilidad de los accidentes y sus consecuencias.

En el caso de que el túnel estudiado cumpliera con todo lo establecido en la reglamentación vigente en lo que se refiere a sus condicionantes geométricos y de trazado, así como en lo relativo a su equipamiento, según se establece en las ITs, sería suficiente una descripción cualitativa y un análisis de los puntos reflejados anteriormente.

Si se presentaran características de diseño o condiciones de explotación especiales, se debe realizar un análisis de riesgo de acuerdo con la normativa desarrollada en los siguientes puntos del presente documento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1.3.2 Análisis de Riesgo

Un análisis de riesgo se elaborará cuando el túnel presente características especiales en cuanto a sus parámetros de diseño o equipamiento o circunstancias especiales en su explotación.
Los casos contemplados son:

1 Incumplimiento de requisitos estructurales

En los casos en que determinados requisitos estructurales de los establecidos en la IT-I del DFST, sólo puedan satisfacerse recurriendo a soluciones técnicas de imposible ejecución en la práctica o que tengan un coste desproporcionado, la autoridad administrativa podrá aceptar que se apliquen otras medidas de reducción del riesgo, siempre y cuando estas medidas den lugar a una protección equivalente o mayor.

2 Excepcionalidad por técnicas innovadoras

Tal y como se establece en el DFST, “A fin de permitir que se instalen equipamientos de seguridad innovadores o que se utilicen procedimientos de seguridad innovadores que proporcionen una mejor protección que las tecnologías actualmente prescritas en las Instrucciones Técnicas de Seguridad en Túneles, la Autoridad Administrativa podrá excepcionar el cumplimiento de los requisitos técnicos de dichas instrucciones, a partir de una petición debidamente documentada por parte del Gestor del Túnel”.

La Autoridad Administrativa decidirá sobre la petición de excepción en base a un informe favorable del Organismo de Inspección. La resolución de la petición de excepción será comunicada por la Autoridad Administrativa al Organismo de Inspección y al Gestor del Túnel.

3 Características especiales en relación con los parámetros de seguridad

Cuando un túnel tenga especiales características en relación con los parámetros de seguridad, deberá llevarse a cabo un análisis de riesgo para garantizar el adecuado nivel de seguridad. Los parámetros a contemplar son:

- Longitud del túnel, número de tubos y de carriles por tubo
- Geometría de la sección transversal
- Planta y alzado (especialmente la pendiente)
- Tipo de construcción
- Tráfico unidireccional o bidireccional

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Volumen de tráfico por tubo
- Riesgo de congestión
- Tiempo de acceso de los servicios de emergencia
- Presencia y porcentaje de vehículos pesados
- Presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas
- Características de las vías de acceso
- Velocidad máxima autorizada
- Medio geográfico y climatología

4 Desviación respecto a los requisitos mínimos de equipamiento

En este supuesto, en caso de existir excepciones sobre los requisitos contemplados en la reglamentación foral vigente, el tratamiento será análogo al reflejado para el caso de excepcionalidad por técnicas innovadoras, debiendo documentarse mediante el correspondiente análisis de riesgo.

5 Inclinaciones de rasante superiores al 3%

Se realizará un Análisis de Riesgo específicamente siempre cuando:

- La inclinación de rasante sea superior al 3% en túneles bidireccionales y en túneles unidireccionales con rampa ascendente.
- La inclinación de rasante sea superior al 5% en túneles unidireccionales con pendiente descendente.

En caso de túneles de la red de carreteras del THB, y a la vez pertenecientes a la red TERN, se aplicará el umbral del 3% también para túneles unidireccionales con pendiente descendente.
Para túneles con cambios de rasante en un mismo tubo, se calculará la inclinación media ponderada para discernir si es necesario realizar el análisis de riesgo.

6 Anchura de carril derecho inferior a 3,5 metros.

Se realizará un Análisis de Riesgo específicamente siempre cuando la anchura del carril para vehículos lentos sea inferior a 3,5 metros, o inferior a 3,25 metros en túneles urbanos, y se permita la circulación de vehículos pesados. Se adoptarán medidas adicionales o reforzadas, o ambas, para incrementar la seguridad, basándose en dicho análisis de riesgo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

7 Ventilación y demás medidas de seguridad insuficientes

Se realizará un Análisis de Riesgo específicamente siempre cuando se disponga de túneles bidireccionales o unidireccionales congestionados, salvo que se cuente con medidas específicas tales como una apropiada gestión del tráfico, una distancia entre salidas de emergencia adecuada y la colocación de extractores de humo a intervalos adecuados.

8 Evaluación de viabilidad de apartaderos para túneles sin carril de emergencia y sin anchura de arcén suficiente para la detención de vehículos

En los túneles bidireccionales de longitud superior a 1.500 m, con una IMD por carril superior a 2.000 vehículos en el caso de que los arcenes no permitan el estacionamiento de un vehículo, así como en los túneles unidireccionales de longitud superior a 1.000 metros y con arcén menor de 2,5 metros de anchura, se evaluará la viabilidad y eficacia de dotarlos o no de apartaderos mediante el pertinente análisis de riesgo.

9 Viabilidad o no del transporte de mercancías peligrosas por el túnel

Para evaluar y decidir la posibilidad de paso de vehículos que transporten mercancías peligrosas, deberá realizarse un estudio de seguridad que deberá incluir un Análisis de Riesgo Comparativo entre el transporte de mercancías peligrosas por el interior del túnel y por la ruta o rutas alternativas existentes.

10 Evaluación de la necesidad de situar servicios de emergencia en las proximidades del túnel

En túneles bidireccionales importantes, con gran volumen de tráfico, se determinará, mediante un análisis de riesgo si deben situarse servicios de emergencia en las inmediaciones del túnel para lograr el objetivo de una intervención rápida.

11 Adelantamientos en los túneles

Se realizará un análisis de riesgo para decidir si es posible autorizar que los vehículos pesados efectúen adelantamientos en los túneles con más de un carril por sentido.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2 DEFINICIÓN Y TIPOLOGÍA DE ANÁLISIS DE RIESGO

2.1 Definición

Un análisis de riesgo es un proceso en el que se realiza un estudio pormenorizado de los riesgos asociados a la explotación de un determinado túnel y se concluye con una evaluación o determinación cuantitativa o cualitativa de los mismos, que debe permitir decidir al gestor bajo qué condiciones se desarrollará la explotación del túnel en función de la comparación de su nivel de riesgo con unos patrones de referencia determinados.

El análisis de riesgo es, por tanto, una herramienta que debe permitir evaluar qué puede ocurrir en determinadas situaciones y qué consecuencias se pueden esperar de esas situaciones ante la dotación de unos sistemas de seguridad determinados.

Un análisis de riesgo no debe ser por tanto un documento que describa exclusivamente los procedimientos de actuación del equipo de explotación y de los usuarios ante situaciones de emergencia, ni puede pretender tampoco un estudio exhaustivo de todos los posibles incidentes que se puedan producir en el túnel. Estos protocolos de actuación deben estar recogidos en el manual de explotación y constituirán los planes de emergencia interior y exterior del citado túnel. Asimismo, estas situaciones se habrán descrito en el correspondiente estudio específico de riegos a incluir también en el manual de explotación del túnel.

Los análisis de riesgo de un túnel deberán ser aprobados por la Autoridad Administrativa, de forma conjunta o independiente del manual de explotación del túnel.

2.2 Tipología

Los análisis de riesgo pueden ser encuadrados en dos principales tipos en función del procedimiento empleado y de los resultados obtenidos como consecuencia de su aplicación. Estos son:

- Análisis de riesgo cualitativo
- Análisis de riesgo cuantitativo

Salvo razones excepcionales debidamente justificadas que aconsejen la utilización de métodos cualitativos, el análisis de riesgo a elaborar para los túneles de carreteras del THB se llevará a cabo mediante métodos cuantitativos como los expuestos en la presente metodología. En los

cve: BOB-2025a082-(I-327)

casos en que se considere necesario realizar un análisis de riesgo de tipo cualitativo, corresponderá a la autoridad administrativa autorizar el empleo de este método de análisis de riesgo y la posterior aprobación del análisis de riesgo así realizado.

2.3 Métodos Considerados

En este documento se presentan dos métodos de análisis complementarios.

El primero de ellos es un **Método General**, basado en la comparación del túnel objeto de estudio con un túnel virtual de referencia.

Su objetivo es el de definir una herramienta que permita realizar un análisis de riesgo con carácter general. Este método será aplicable a todos los túneles del THB.

El análisis de riesgo está enfocado a analizar el nivel de riesgo de un túnel ante una serie de escenarios de incendio predeterminados por considerarse que son estas situaciones las que entrañan un mayor riesgo para los usuarios

Para ello se habrán de realizar cálculos paralelos comparando los efectos que se producirían sobre los usuarios en el túnel real, que es el túnel objeto de estudio, con los efectos que se obtendrían en los mismos escenarios para un túnel virtual o modelo de referencia, dotado con todo el equipamiento de seguridad que prescriba para dicha categoría las Instrucciones técnicas vigentes. El túnel virtual o modelo presentará unas características de diseño geométrico, que se consideran adecuadas o de referencia, definidas de acuerdo con lo dispuesto en la reglamentación aplicable al respecto.

El segundo método de análisis de riesgo que se propone tiene por objeto estudiar y evaluar el posible paso de mercancías peligrosas por el interior del túnel, razón por la que se denominará **Método de Mercancías Peligrosas**.

Está basado en el empleo del modelo DG QRAM ("*Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model*" – Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo de Mercancías Peligrosas), desarrollado por la OECD/OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y la PIARC/AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera), para cuya aplicación se utilizarán parámetros obtenidos de estudios estadísticos de accidentalidad realizados para los túneles de la RCE.

Los resultados que se obtengan se evaluarán de acuerdo con los criterios específicamente establecidos en el presente documento.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

2.4 Objetivos

MÉTODO GENERAL

Los objetivos principales a determinar por este método son:

1. Determinación del riesgo base del túnel.
2. Determinación del riesgo comparado entre distintos niveles de equipamiento o prestaciones del túnel en los siguientes aspectos:
   - Diseño de la infraestructura y de sus parámetros característicos
   - Análisis de alternativas entre distintas instalaciones a disponer

Al final del proceso, tras la comparación con los niveles de aceptación marcados en la metodología, se permite determinar si el equipamiento alternativo o complementario propuesto para un túnel confiere al mismo un nivel de seguridad adecuado para su explotación.

MÉTODO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

El principal objetivo de la aplicación de este método para el análisis de riesgo del paso de mercancías peligrosas a través de un túnel se basa en la evaluación del riesgo social que provoca el paso de dichos transportes por el túnel y la comparación con los niveles de riesgo aceptados como asumibles.

El método permite asimismo establecer la comparación entre distintos equipamientos del túnel objeto de análisis, así como de distintos diseños del mismo.

Otra particularidad del método es la de poder evaluar el riesgo comparado entre el paso por el interior del túnel de los vehículos de mercancías peligrosas y el correspondiente al paso por el itinerario alternativo que se considere.

2.5 Datos de Partida

De acuerdo con lo establecido en el artículo 11 del Real Decreto 635/2006, el análisis de riesgo de un túnel deberá tener en cuenta todos los factores que afectan a la seguridad, en particular, la geometría del túnel, el entorno, el equipamiento del túnel, las características del pavimento, el tráfico y su composición, teniendo presente la posible existencia de vehículos de mercancías peligrosas y, el tiempo de llegada de los servicios de emergencia.

Los principales datos que deben tenerse presentes son los correspondientes a los siguientes puntos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Definición geométrica y funcional de la infraestructura (túnel existente o en proceso de diseño).
- Estudio de tráfico completo y pormenorizado, incluyendo una prognosis del mismo. Es muy recomendable disponer de los datos correspondientes a las intensidades de tráfico en determinados tramos horarios, por si fuese necesario restringir el paso de ciertos transportes en determinadas franjas horarias del día.
- El estudio de tráfico de partida deberá incluir la determinación de la composición del tráfico, estableciendo el porcentaje de vehículos pesados, de autocares, de vehículos de mercancías peligrosas y si fuese posible de los distintos tipos de dichas mercancías que transitarán por el túnel.
- En caso de no disponer de los datos mencionados anteriormente, el autor del análisis del riesgo debe establecer al menos los valores de referencia con los que se realiza el estudio, con objeto de poder contrastarlo con los que se puedan aportar en fases posteriores de puesta en servicio o de explotación de la infraestructura.
- Tasa de accidentalidad asociada al tipo de vía en la que se ubica el túnel.
- La metodología propuesta permite aplicar un índice de accidentalidad global de las carreteras del Estado según la clasificación que se aporta en los apartados siguientes, si bien la información disponible hace posible particularizar el índice o tasa de accidentalidad en función de estadísticas asociadas al tipo de vía o carretera de la que el túnel forma parte.
- Características del posible itinerario alternativo, incluyendo:
  - Población afectada

    Se entiende como tal el conjunto de habitantes que vive en las edificaciones próximas al trazado por el que discurre la vía en superficie y que podría verse afectada en caso de producirse un siniestro en el tránsito a través de la citada carretera.
  - Cruces e intersecciones

    Se trata de identificar posibles cruces con otras vías, glorietas o intersecciones teniendo presente el grado de peligrosidad de las mismas.
  - Singularidades del trazado de la vía

    Se trata de identificar circunstancias particulares que puedan afectar a su trazado tales como curvas cerradas o con parámetros insuficientes, falta de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

visibilidad o despejes laterales que puedan influir en la distancia de frenado, etc.

- Meteorología

  En este caso se deben evaluar las condiciones atmosféricas adversas tales como frecuencia de nevadas, lluvias, viento o nieblas que incidan sobre una conducción segura.

- Tráfico

  Se debe tomar en consideración el nivel de servicio o grado de congestión de la vía existente como itinerario alternativo al del túnel, así como la presencia de posibles particularidades, que puedan afectar al tránsito, debidas a dicho tráfico tales como limitaciones de cargas, gálibos de posibles estructuras, etc.

Finalmente, se debe tener presente que **cualquier otro parámetro necesario para realizar el análisis de riesgo deberá ser seleccionado de forma justificada por el autor** del análisis de riesgo a partir de los datos del túnel objeto de estudio.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 DETERMINACIÓN DEL MÉTODO A APLICAR

El análisis de riesgo a efectuar en el túnel, en general, vendrá determinado por alguna de las causas enumeradas en el apartado 1.3.2.

Todas ellas pueden englobarse en dos grandes grupos que van a determinar el método de análisis de riesgo a aplicar para su estudio:

1. Análisis de riesgo por causas debidas al incumplimiento de alguno de los parámetros de diseño geométrico del túnel o por la diferencia de dotación o equipamiento del túnel respecto a lo considerado en la reglamentación en vigor.

   En este caso se aplicará el **Método General** de análisis de riesgo en túneles.
2. Análisis de riesgo con objeto de evaluar el paso de mercancías peligrosas a través del túnel. El estudio vendrá motivado por las posibles circunstancias:
   - Paso de los vehículos de mercancías peligrosas a través del túnel o por una ruta alternativa exterior al mismo.
   - Circulación de mercancías peligrosas en túneles que no presenten drenaje separativo y cuya longitud supere los 500 metros.
   - Posible introducción de limitaciones horarias o formación de convoyes para regular el paso de transportes de mercancías peligrosas por túneles que por presentar una elevada IMD en determinadas franjas horarias del día provoquen un incremento de riesgo elevado en su explotación.

En este caso se aplicará el **Método de Mercancías Peligrosas** de análisis de riesgo en túneles.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4 MÉTODO GENERAL

El principal objetivo en este caso es establecer un método que permita la comparación del riesgo del túnel objeto de estudio con el correspondiente a un túnel calificado como "túnel virtual" que, tomado como referencia, marcará el nivel de riesgo aceptable para su diseño y posterior explotación.

Una vez realizado el análisis de riesgo se establecerá la necesidad o no de adoptar medidas de compensación de manera obligatoria, en caso de encontrarse el túnel en un nivel de riesgo muy superior al obtenido para el túnel virtual, o si, por el contrario, al ser el nivel de riesgo muy similar se considerará seguro para su explotación el túnel en estudio.

El Método General de análisis de riesgo en túneles se basa, a su vez, en la integración de tres modelos, cada uno de los cuales trata de reproducir un determinado aspecto del riesgo del túnel, para llegar finalmente a cuantificar el riesgo del túnel analizado. Estos modelos son:

- **Modelo de riesgo del túnel**

  Este modelo trata de reproducir el riesgo de accidente que da lugar a un escenario de incendio en el túnel analizado en función de sus características de diseño, equipamientos y explotación. Para ello, se contemplan una serie de escenarios de accidente, todos ellos desencadenantes de incendios en el interior del tubo, y se parametrizan mediante una serie de factores todas las características del túnel.

- **Modelo de ventilación**

  El objetivo de este modelo es simular el comportamiento de la ventilación del túnel ante un incendio, para cada uno de los escenarios que se contemplan.

  Con objeto de simplificar el estudio a realizar se han establecido dos categorías de túneles en función de su ventilación, aplicándole a cada grupo un modelo de ventilación distinto:

  a) Túneles sin ventilación forzada exigida por el DFST:

  Se emplea el **Modelo tabulado** de ventilación. En este caso se modeliza la ventilación con la ayuda o soporte de unas tablas numéricas en las que se aportan los datos correspondientes al comportamiento de los humos para cada tipo de incendio.

  Será de aplicación en aquellos túneles en los que el DFST no exija la instalación de un sistema de ventilación forzada, es decir, dispongan de una ventilación natural. Estos serán

cve: BOB-2025a082-(I-327)

los túneles tipo II.

b) Túneles con ventilación forzada exigida por el DFST:

Se emplea el **Modelo unidimensional** de ventilación. En este caso la modelización se realiza con el empleo de un programa auxiliar de modelización unidimensional de humos para simular y evaluar su comportamiento. Siempre que el autor del análisis de riesgo lo estime conveniente, se podrá complementar el análisis realizado con un modelo unidimensional mediante el empleo de modelos de ventilación más complejos, como pueden ser los modelos tridimensionales.

Se deberá aplicar este modelo en todos aquellos túneles en los que el DFST exija la instalación de un sistema de ventilación forzada, tanto si disponen de él como si no. Estos serán los **túneles tipo I**.

Este modelo también puede aplicarse, si el autor del análisis de riesgo lo considera conveniente, en túneles que carezcan de este sistema de ventilación, es decir, túneles sin ventilación forzada.

En cualquier caso, **el modelo de ventilación empleado para analizar el comportamiento del humo en el túnel deberá ser el mismo tanto para el túnel real como para el túnel virtual**, tal y como se define posteriormente.

Cuando el analista lo estime necesario, podrá completarse el análisis de riesgo realizado con el modelo de ventilación propuesta para cada caso, mediante el empleo de modelos de ventilación más completos y complejos.

- **Modelo de comportamiento de los usuarios**

Este modelo permite determinar el número de vehículos afectos en cada escenario y reproduce el comportamiento de los usuarios para evacuar el túnel, una vez que se ha producido un accidente que da lugar a un incendio.

Siempre que el autor del análisis de riesgo lo considere necesario, se podrá complementar el análisis realizado con el modelo de comportamiento de los usuarios propuesto para cada caso, mediante el empleo de modelos de evacuación o de comportamiento de usuarios más completos y complejos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1 Modelo de Riesgo del Túnel

Este modelo trata de reproducir el riesgo del túnel a través de una serie de escenarios de incendio representativos de diferentes accidentes que impliquen el incendio de vehículos en el interior de un túnel. Para cada escenario se determinará la posición del incendio en el túnel a analizar, pudiéndose estudiar cualesquiera otras posiciones de incendio que el autor del análisis estime oportunas pero analizando en todo caso la posición obtenida siguiendo el procedimiento establecido en el apartado 4.1.1.3, de manera que se pongan de manifiesto las diferentes medidas de seguridad con las que está dotado un túnel para poder favorecer la huida de los usuarios y mitigar los efectos del incendio sobre ellos. Este modelo, combinado con los otros dos modelos que conforman el Método General, permite determinar el riesgo asociado al túnel analizado.

Para poder determinar el nivel de riesgo del túnel, conforme a los escenarios estudiados en la elaboración del análisis de riesgo, se deberán seguir los pasos que se describen de forma resumida a continuación:

1. Determinación del Coeficiente de Riesgo del túnel virtual (CR_{TV})

El túnel virtual se define como un "túnel modelo de referencia", de la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación de tráfico (unidireccional o bidireccional) que el túnel objeto de análisis (túnel real), equipado con todas las instalaciones y equipamiento que establece el Real Decreto 635/2006 para su categoría. En posteriores apartados se completará esta definición para cada una de las características a considerar.

2. Determinación del Coeficiente de Riesgo del túnel real objeto de análisis (CRTR)

Siguiendo la misma sistemática que para el túnel virtual se obtendrá el Coeficiente de Riesgo del túnel real, es decir, considerando la geometría, equipamiento y condiciones de explotación reales del túnel analizado.

3. Determinación del Índice de Riesgo del túnel (IR)

Se define como índice de riesgo asociado al túnel el cociente entre las magnitudes anteriores, es decir, el resultado de la comparación directa entre el Coeficiente de Riesgo del túnel real y el Coeficiente de Riesgo del túnel virtual:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$IR = \frac{CR_{IR}}{CR_{IV}}$$

El cociente anterior, en general dará como resultados cifras próximas a la unidad, obteniéndose valores superiores cuando el túnel real no disponga de todo el equipamiento que se requiere para su categoría, según lo establecido en las Instrucciones técnicas vigentes, existan deficiencias en los parámetros geométricos de diseño, etc.

En caso contrario, el índice de riesgo será igual a la unidad o presentará valores ligeramente inferiores a la misma si, por ejemplo, se hubiera dotado al túnel objeto de estudio de un equipamiento extraordinario o presentará unas características geométricas de diseño más favorables que las consideradas como referencia para el túnel virtual.

4. Comparación con los criterios de aceptación del riesgo

Una vez obtenido este valor final, se debe realizar la comparación del resultado obtenido con los criterios de aceptación de riesgo propuestos en la metodología y, en su caso, determinar la necesidad o no de adoptar medidas compensatorias durante la explotación del túnel.

4.1.1 Análisis de los Escenarios

4.1.1.1 Consideraciones previas

Cada escenario está compuesto de una sucesión de acontecimientos. Comienza por un acontecimiento desencadenante y continúa con la sucesión temporal de sucesos ordenada cronológicamente hasta que los usuarios se encuentran a salvo o, hasta la llegada de los servicios de emergencia, si es que esto ocurre posteriormente.

El estudio de los escenarios entre otras cosas permite:

- Mostrar de un modo concreto qué papel desempeña cada elemento (o equipamiento) o procedimiento en la mitigación de las consecuencias del incendio sobre los usuarios del túnel.
- Señalar las interacciones entre estos diferentes elementos o procedimientos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Identificar los posibles puntos débiles de cada elemento, así como del funcionamiento conjunto.
- Determinar la existencia de zonas más o menos peligrosas, tanto en el túnel como en el entorno (opacidad, gases tóxicos, temperatura,…) y evaluar el número de personas presentes y expuestas.

Los elementos a considerar para el estudio de los escenarios son los siguientes:

- Las características físicas del incendio, es decir, la cantidad de calor, humo y gases tóxicos emitidos por el incendio en función del tiempo, según el tipo de vehículo cuyo incendio desencadena el fuego en el túnel.
- Los criterios de supervivencia en atmósferas con humos, tóxicos o de radiación para los usuarios de los túneles, es decir, cuáles son las cantidades admisibles y durante cuánto tiempo han de darse para considerar que una persona ha sido afectada.
- El comportamiento de los usuarios, tanto en la formación de la congestión de los vehículos detenidos en el interior del túnel, como cuando los abandonan para huir a pie hacia las salidas de emergencia.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.1.2 Descripción de los escenarios

Escenario 1 (E1):

Corresponde a la hipótesis de incendio de uno o dos vehículos ligeros. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario **8 MW**.

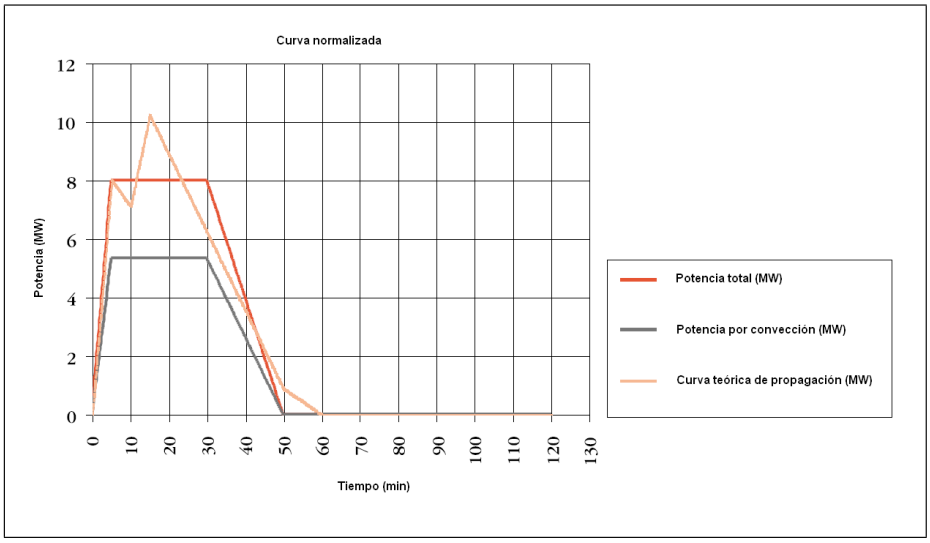


Ilustración 1 Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 1

Abarca los supuestos siguientes:

- Vehículo ligero aislado:

Vehículo ligero pequeño: con un potencial calorífico de 6.000 MJ.
Vehículo ligero grande: 12.000 MJ.

- Vehículos turismos con propagación: potencia calorífica de 18.000 MJ.

Vehículo ligero pequeño con propagación a otros dos vehículos ligeros pequeños.
Vehículo ligero grande con propagación a otro pequeño.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario 2 (E2):

Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo pesado y otro vehículo ligero. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario **30 MW**.

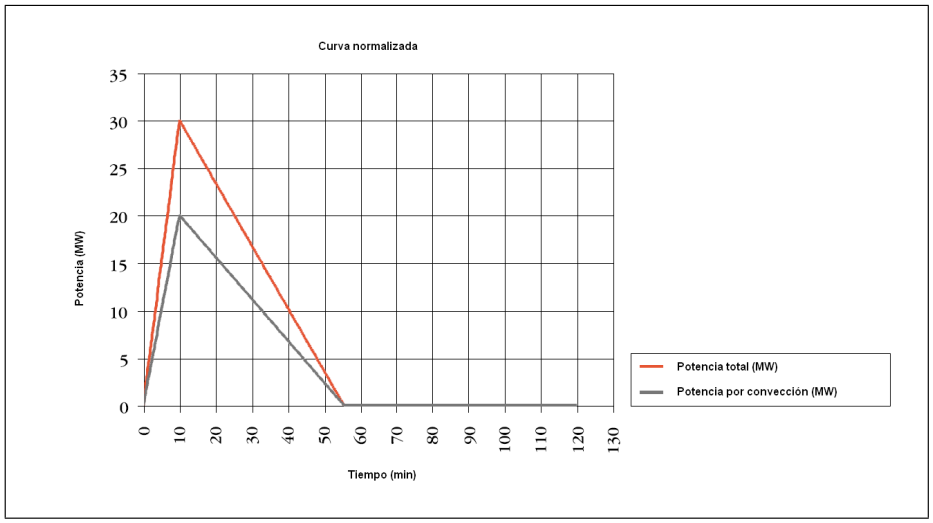


Ilustración 2 Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 2

Englobaría los dos siguientes supuestos:

- Incendio de un vehículo pesado pequeño o de un vehículo pesado sin cargamento: 30 MW en pico. El incendio dura un poco menos de una hora con un pico muy corto de 30 MW. El potencial calorífico es de 50.000 MJ.
- Incendio de un vehículo pesado cargado con frutas, verduras, embalaje o similar, valor estandarizado 30 MW. En este caso el incendio es progresivo., con un potencial calorífico de 125.000 MJ.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario 3 (E3):

Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo ligero y un autocar. En este caso se considera como potencia máxima de fuego del incendio **15 MW**.

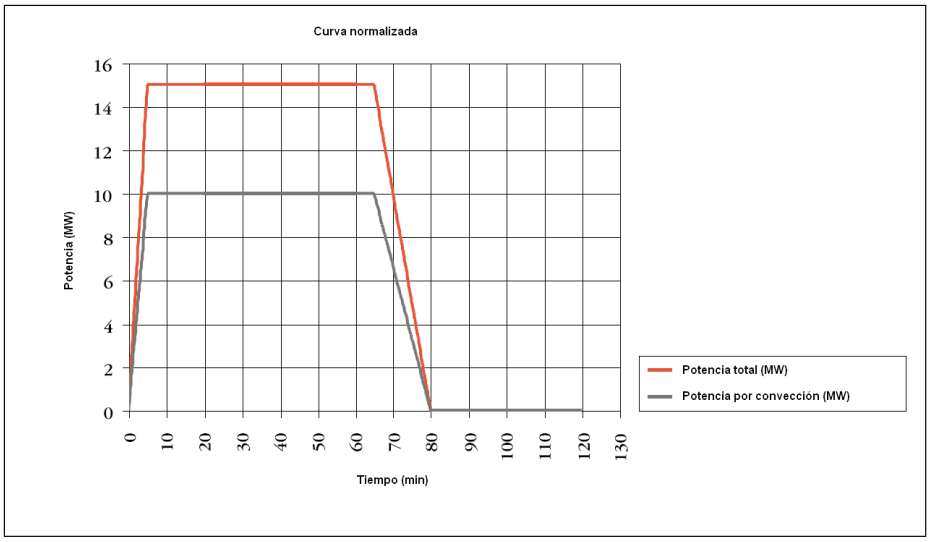


Ilustración 3 Curva normalizada de potencia de incendio para escenario 3.

Engloba dos posibles hipótesis:

- Incendio de un vehículo ligero con propagación a un autocar.
- De un vehículo ligero grande que se propaga a un autocar. Por vehículo ligero grande se entiende el caso de furgones cargados con 1.200 kg de carga y una superficie de 6 m^2.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario 4 (E4):

Corresponde a la hipótesis de incendio de un vehículo pesado y un autocar. Se considera como potencia máxima de fuego representativa de este escenario **30 MW**.

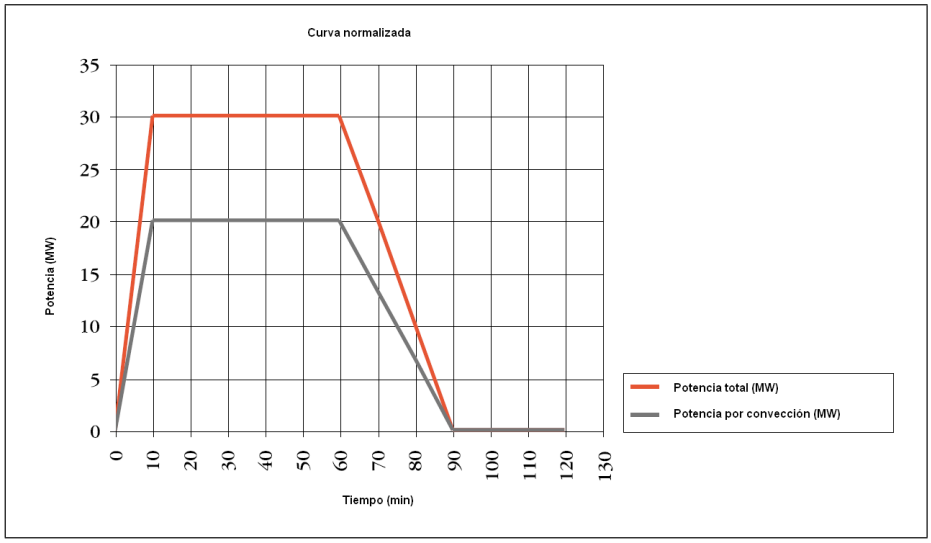


Ilustración 4. Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 4

Este escenario es análogo en potencia de incendio de referencia al escenario 2 si bien se implica en el accidente un autocar con objeto de analizar la repercusión que tiene la presencia de este tipo de vehículos, con una mayor duración de la evacuación de los ocupantes.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario 5 (E5):

Incendio de un vehículo capaz de provocar un incendio de gran magnitud y otro vehículo, con una potencia de incendio de referencia de hasta **100 MW**.

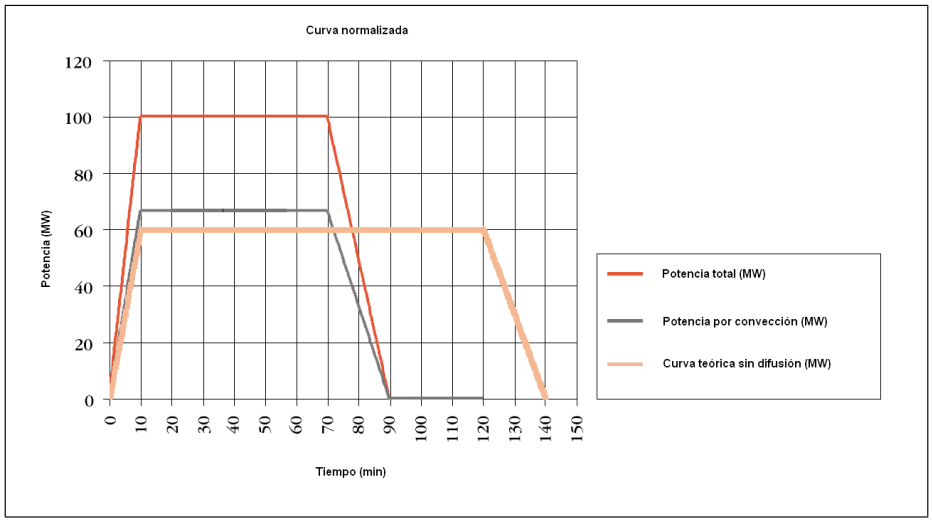


Ilustración 5. Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 5

Se considera representativo este escenario de los posibles accidentes en que se vean involucrados transportes de mercancías especiales capaces de provocar incendios de elevada potencia.

El resto de los vehículos en el interior del túnel en el momento que se producen los accidentes con incendio que definen estos cinco escenarios se consideran todos vehículos ligeros (automóviles), de cara a la determinación del número de personas atrapadas en el túnel para cada uno de los escenarios.

4.1.1.3 Posicionamiento del incendio en el túnel

Con objeto de determinar la posición o posiciones representativas de la localización del accidente en el interior del túnel, se establecen a continuación los criterios a tener en cuenta

cve: BOB-2025a082-(I-327)

en función de las características que presente el túnel objeto de estudio. Esta posición o posiciones del incendio en el túnel deberán ser siempre estudiadas, pudiendo además analizar otras posiciones cuando el analista lo estime necesario. **Se deberá tener siempre presente que, para cada análisis, el criterio de posicionamiento del incendio debe ser el mismo en el túnel real y en el virtual.**

Se pueden distinguir los siguientes casos:

- **Túneles unidireccionales**

  Sin salidas de emergencia ni en el túnel real ni en el virtual

  La posición del incendio pésima sería cuando el accidente tuviera lugar en las inmediaciones de la boca de salida y, por ausencia de tiro natural o por condicionantes atmosféricos adversos se produjera el reflujo del humo hacia aguas arriba del incendio. En este caso la cola de vehículos que se forma estaría siendo invadida por el fluir de los humos y aumentarían notablemente las posibilidades de producción de víctimas.

  Se considerará que el incendio se localiza en las proximidades de la boca de salida, a una distancia del 80% de la longitud medida desde la boca de entrada, tanto para túnel real como para el túnel virtual.

  Sin salida/s de emergencia en el túnel real pero sí en el virtual

  Se considerará lo siguiente:

  - Túnel real. Se analiza el túnel con su longitud exacta, contando como únicas salidas de emergencia las propias bocas del tubo. El incendio se posicionaría en la proximidad de la boca de salida, a una distancia del 80% de su longitud medida desde la boca de entrada.
  - Túnel virtual. Será de la misma longitud que el túnel real, pero en el análisis sólo se estudiará el mayor tramo de túnel comprendido entre salidas consecutivas (considerando como salidas tanto las bocas como las salidas de emergencia). El incendio se posicionará siguiendo el mismo criterio, a una distancia del 80% de su longitud medida desde la boca de entrada.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual

El incendio se posicionará coincidiendo con una salida de emergencia, tanto para el caso del túnel real como para el caso del túnel virtual, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio). Así pues, el tramo de estudio quedará definido por las salidas inmediatamente anterior y posterior a aquella que ha quedado inhabilitada por el incendio.

- **Túneles bidireccionales**

Sin salidas de emergencia ni en el túnel real ni en el virtual

Se deberán analizar dos posiciones del incendio:

- La definida para los túneles unidireccionales: al 80% de la longitud del túnel medida desde la boca de entrada
- El incendio ubicado en el centro del túnel, considerando en este caso el humo dividido en dos frentes que avanzan uno hacia cada boca del túnel como se establece más adelante en la presente metodología.

Sin salida/s de emergencia en el túnel real pero sí en el virtual

Se deberán analizar las mismas dos posiciones que en el caso anterior, pero teniendo en cuenta que:

- Túnel real. Se analiza el túnel con su longitud total.
- Túnel virtual. Será de la misma longitud que el túnel real, pero en el análisis sólo se estudiará el mayor tramo de túnel comprendido entre salidas consecutivas (considerando como salidas tanto las bocas como las salidas de emergencia).

Con salida/s de emergencia en el túnel real y en el virtual

Se seguirá el mismo criterio que para túneles unidireccionales, tanto para el túnel real como para el virtual. El incendio se posicionará en una salida de emergencia, realizándose el análisis del mayor tramo de túnel entre dos salidas que tengan una tercera entre ellas (en la que se produce el incendio).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.1.2 Determinación del Índice de Riesgo del Túnel

4.1.2.1 Coeficiente de Riesgo del túnel virtual

Dentro de la metodología de MARTE se ha definido anteriormente el túnel virtual, como aquel túnel de referencia que, con la misma longitud, número de carriles y tipo de circulación (unidireccional o bidireccional) que el túnel real estudiado disponga de todo el equipamiento que para su categoría establece el DFST e Instrucciones Técnicas vigentes.

Para determinar el **Coeficiente de Riesgo del túnel virtual (CR_{TV})** se realizará un análisis de riesgo en el que se estudien los siguientes escenarios de manera obligatoria:

- E1: Incendio de uno o dos vehículos ligeros con potencia de fuego inferior a 8 MW.
- E2: Incendio de un vehículo pesado y un vehículo ligero con potencia de fuego de hasta 30 MW.

  Esta potencia de incendio se establece en 30 MW si bien para su estudio y modelización dentro del presente método se ha considerado que, debido a la naturaleza de los vehículos implicados correspondería con una ley desarrollo del fuego en forma triangular, con la potencia de pico citada (30 MW). Este hecho se ha tenido en cuenta en el establecimiento de las velocidades de los humos y en el establecimiento de los tiempos de desestratificación ya tabulados en el modelo.
- E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. Potencia de incendio 15 MW.
- E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. Potencia de incendio 30 MW.

  En este caso, al estar implicado en el suceso un autocar y un vehículo pesado, se considera que el incendio alcanzará esta potencia de referencia, si bien la ley de evolución de la potencia que puede asociarse al mismo sería poligonal con la existencia de una meseta correspondiente al mantenimiento de dicha potencia durante un periodo de tiempo representativo.
- E5: Incendio de un vehículo pesado que transporte mercancías capaces de provocar un incendio de gran magnitud y otro vehículo. Potencia de incendio de hasta 100 MW.

  La metodología a seguir para el estudio de cada uno de los escenarios establecidos anteriormente será la siguiente:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1 Determinación de la probabilidad porcentual de ocurrencia de cada uno de los cinco escenarios anteriores

En función del análisis de las características del tráfico donde se encuentra ubicada la vía y de la composición del mismo, se determinarán las probabilidades unitarias de producirse cada uno de los escenarios anteriores. La determinación de la probabilidad asociada a cada escenario se hará mediante un estudio estadístico de la composición del tráfico que circula por el túnel y obteniendo la probabilidad de alcance entre vehículos de distinto tipo o, en su defecto, empleando los coeficientes así determinados para la composición media del tráfico en la RCE.

Estas probabilidades de ocurrencia de cada escenario se aplicarán con los mismos valores tanto para el cálculo del coeficiente de riesgo del túnel real, como para el del túnel virtual.

% vehículos Pesados	**5%**	**10 %**	**15 %**	**20 %**	**30 %**	**40 %**
Escenario	**Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)**					
E1	0.85	0.76	0.67	0.58	0.45	0.36
E2	0.11	0.18	0.25	0.31	0.42	0.48
E3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
E4	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
E5	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10

Tabla 1: Probabilidades porcentuales de ocurrencia de os escenarios de Incendio

Las probabilidades de cada escenario así obtenidas deberán mantenerse durante todo el análisis, tanto para el túnel virtual como para el túnel real. Con objeto de ajustar el peso de cada escenario en función de la cifra exacta del porcentaje de vehículos pesados, se puede proceder a una interpolación lineal entre los valores reflejados en la Tabla 1. En los casos en que el porcentaje de pesados sea inferior al 5%, se aplicarán los valores de probabilidad de incendio asociados a este 5% según dispone la metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la RCE. Por otro lado, es bien conocido que un incremento en la intensidad de tráfico de una carretera lleva aparejado un incremento del número de accidentes, siendo la relación entre ambas variables no lineal. Para tener en cuenta este fenómeno se ha tenido

cve: BOB-2025a082-(I-327)

en cuenta la siguiente relación entre ambas variables1:

$$ACV = b \times IMD^{a}$$

Donde ACV es el número de accidentes con víctimas, y a y b son constantes. A partir de los datos de accidentes con víctimas en los túneles de la RCE desde el año 2003, se ha obtenido un valor medio de la constante "a" para carreteras convencionales y otro para carreteras de calzadas separadas:

- Carreteras convencionales: a = 0'7277 & b = 0'0005 → ACV = 0'0005´ $IMD^{0'7277}$
- Autopistas y Autovías: a = 0'9291 & b = 0'00005 → ACV = 0'00005´ $IMD^{0'9291}$

Aceptando como intensidad media diaria por carril (IMDc) de referencia 2.000 veh/día y carril, se considerará la influencia de la intensidad de tráfico del túnel multiplicando la probabilidad porcentual de cada escenario (obtenida a partir del % de pesados) por el factor corrector FIMD. En túneles con más de un tubo se considerará cada tubo por separado:

$$F_{IMD} = \frac{ACV_{TUBO}}{ACV_{IMDc=2.000}} = \frac{b \times (N^{\circ}\,carriles \times IMDc)^{a}}{b \times (N^{\circ}\,carriles \times 2.000)^{a}} = \left(\frac{IMDc}{2.000}\right)^{a}$$

Siendo el número de carriles el de toda la carretera y el parámetro a el correspondiente al tipo de carretera en el que se encuentra el túnel.

2 Determinación del número de personas atrapadas y potenciales víctimas (muertos o heridos) para cada uno de los escenarios analizados

Para cada uno de los cinco escenarios analizados se obtendrá, como índice o valor representativo, el número de personas atrapadas sin posibilidad de acceder a una de las bocas del túnel o a las salidas de emergencia existentes de la forma que se indica en el apartado 4.3.

[1] Propuesta por Rune Elvik et al. en "The handbook of road safety mesures" basándose en los diversos estudios realizados

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3 Determinación del factor corrector del coeficiente de riesgo del túnel

Para considerar en el análisis elementos de la geometría, el equipamiento y la explotación del túnel, que no se tienen en cuenta en el estudio realizado para cada uno de los escenarios, se introduce este factor corrector producto de una serie de factores de ponderación que tienen en cuenta estos elementos:

$$F_{TV} = Fg \times Feq \times Fex$$

Siendo:

- Fg el factor de ponderación por criterios de diseño geométricos del túnel
- Feq el factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel
- Fex el factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

En el apartado 4.1.2.3 se desarrolla en detalle la determinación de cada uno de estos factores.

4 Obtención del Coeficiente de Riesgo del túnel virtual

La integración de las consecuencias de los diferentes escenarios en un único resultado se realizará con el sumatorio correspondiente al producto del número de personas afectadas por la probabilidad relativa de producirse cada uno de los escenarios anteriores. Ese valor será el denominado Coeficiente de Riesgo del túnel virtual (CR_{TV}).

$$CR_{TV} = F_{TV} \times \sum(N^{\circ}\, afectados \times prob.\, porcentual\, del\, escenario\, Ei)$$

En el análisis de riesgo se debe considerar que **el túnel virtual está dotado de todo el equipamiento que le corresponda según su clasificación estipulada en el DFST e Instrucciones Técnicas vigentes, sin contemplar ninguna excepcionalidad en el mismo**. No obstante, se matizan a continuación algunos aspectos respecto al equipamiento del túnel virtual a tener en cuenta al realizar el análisis de riesgo:

- **Anchura de carriles**

  La IT-I del DFST establece en el punto 4.5 Sección transversal los criterios a cumplir en cuanto a la anchura de carriles, correspondiéndose con lo indicado en la Norma de trazado 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se considera pues que la anchura de referencia para los carriles de circulación es, tal como establece en el apartado 4.5.2.2 Anchura de carriles de la IT-I, de 3,50 metros en todas las carreteras salvo en túneles urbanos que se admitirán reducción a 3,25 metros.

- **Anchura de arcén derecho**

Según se establece en la IT-I del DFST, al igual que lo indicado en la Norma de trazado 3.1-IC, el diseño de la sección transversal de los túneles prevé la disposición, en las secciones proyectadas, de un arcén derecho de al menos 2'5 metros de anchura.

El arcén definido en el párrafo anterior se podrá justificar la reducción a una anchura de 1,0 metros en caso de túneles con velocidad limitada o controlada con señalización variable, con tráfico poco intenso, o en terrenos geológicamente desfavorables.

También se permite el arcén de 1 m por una posible ampliación del número de carriles de circulación, calzadas de 3 carriles de circulación o carreteras de calzadas única.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente se tomará dicha dimensión (1,0 metros) como anchura de referencia para el arcén derecho del túnel virtual.

- **Pendiente longitudinal**

Se establece una pendiente longitudinal de referencia de un 3%, que será la asignada al túnel virtual, con objeto de ponderar la variación en la peligrosidad del túnel en función de la inclinación de su rasante.

Este factor se introduce con el único objetivo de poner de manifiesto la mayor accidentalidad de los túneles con pendientes superiores a la señalada y no para analizar el comportamiento de los humos. Para la simulación del comportamiento de los humos se deberá considerar la pendiente real del túnel, tanto para el túnel real como para el virtual, aunque sea superior al 3%, con objeto de comparar los túneles en las mismas condiciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- **Aceras**

  En la IT-I del DFST establece que, en los túneles nuevos, deben habilitarse aceras elevadas, para que los usuarios del túnel las empleen en caso de avería o accidente.

  Dicha acera tendrá una anchura mínima de 0,75 m que terminarán con un bordillo remontable que permita a los vehículos en caso necesario invadir dicha acera. Debiendo además respetarse en su diseño la no presencia de obstáculos en las mismas

  Por tanto, se considera que el túnel virtual dispone de una acera que cumple con estas características.

- **Salidas de emergencia**

  Se considerará que el túnel virtual dispone de las correspondientes salidas de emergencia ubicadas a las interdistancias máximas que para ellas se reflejan en el DFST. Galerías de peatones cada 375 m y en el caso de túneles de longitud superior a 1.300 m, se debe permitir con distancia máxima de 1.050 m aproximadamente el paso de vehículos de emergencia de un tubo al otro.

  Al analizar el túnel se estudiará el tramo entre salidas consecutivas (de emergencia o bocas) cuya longitud sea mayor de acuerdo a lo indicado en el Decreto Foral de Seguridad de Túneles.

- **Ventilación**

  Se considera que el túnel virtual tendrá ventilación artificial siempre que así lo exija la normativa, debiendo aplicar siempre el mismo modelo de ventilación para estudiar tanto el túnel virtual como el real.

  Para estudiar el tipo de ventilación (unidireccional, semitransversal o transversal) a disponer en un túnel se deben llevar a cabo estudios de mayor profundidad que el propuesto por la presente metodología que tengan en cuenta, además de las variables físicas del fenómeno, otros factores relevantes como los económicos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- **Intensidad de tráfico**

  Respecto a la intensidad del tráfico de referencia en el túnel virtual se tendrán presentes las siguientes consideraciones:

  En el caso de un nuevo túnel, se realizará el análisis de riesgo para un nivel de tráfico de referencia correspondiente al año horizonte de diseño (20 años después de la entrada en servicio).

  Si se tratase de la evaluación de un túnel existente en explotación se tomará como referencia el tráfico real existente o la prognosis del mismo durante el horizonte analizado.

  En caso de que las intensidades de tráfico previstas o existentes supongan un "nivel de servicio de referencia" del túnel superior al nivel C, se adoptará la intensidad de tráfico correspondiente al nivel de servicio C para el cálculo del Coeficiente de Riesgo del túnel virtual.

  Se trata así de establecer un valor de referencia correspondiente a unas condiciones de circulación límites a largo plazo, a partir de las cuales se considera que el riesgo en el túnel se eleva considerablemente y puede alcanzar valores no asumibles

- **Tiempo de respuesta de los servicios de emergencia**

  Se consideran 15 minutos el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia ante un incidente, esto implica que llegarán al túnel unos 15 minutos después de haberse producido el incidente.

  En la determinación de Coeficiente de Riesgo del túnel virtual se deberá tener en cuenta el procedimiento para determinar el factor corrector, así como la forma de considerar otros parámetros del equipamiento del túnel.

4.1.2.2 Coeficiente de Riesgo del túnel real

El estudio se realizará de forma análoga a lo establecido para el túnel virtual, pero teniendo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

en cuenta las características del túnel en cuanto a sus parámetros geométricos, equipamiento y equipos de explotación existentes.

El coeficiente así obtenido se denominará CRTR: Coeficiente de Riesgo del túnel real:

$$CR_{TR} = F_{TR} \times \sum(N^{\circ}\, afectados \times prob.\, porcentual\ del\ escenario\ Ei)$$

Es necesario poner de manifiesto que el Coeficiente de Riesgo del túnel real no se corresponde con una cifra exacta que marque un valor absoluto sobre el nivel de riesgo asociado al túnel. Se trata de un índice relativo, variable en función de las hipótesis de cálculo adoptadas para cada escenario analizado, pero que, asociado a esas condiciones geométricas, de equipamientos y de explotación consideradas, permite comparar su valor con el obtenido para el mismo túnel dotado de otros equipamientos o condiciones de explotación.

En la determinación de Coeficiente de Riesgo del túnel real considerar lo establecido en el apartado correspondiente respecto a la determinación del coeficiente corrector y respecto a la consideración de otros parámetros del equipamiento del túnel.

4.1.2.3 Factor corrector del coeficiente de riesgo

Se expone a continuación el procedimiento para obtener el **Factor corrector del coeficiente de riesgo (FTV o FTR** según se obtenga para el túnel virtual o para el real) necesario para obtener los coeficientes de riesgo de los túneles virtual y real.

Este factor pretende considerar cómo influyen en la disminución o aumento de la tasa de accidentalidad correspondiente al tramo de túnel objeto del análisis, la modificación de factores de diseño no considerados en su totalidad en el análisis realizado para cada uno de los escenarios definidos. Se pretende así evaluar de una forma cuantitativa cómo de seguro es el túnel durante su fase de explotación, en función de su geometría, equipamiento y condiciones de explotación, por medio de unos valores de ponderación representados a través de una serie de factores modificadores del coeficiente de riesgo.

El factor corrector del coeficiente de riesgo para el túnel real se determina mediante la siguiente fórmula:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$F_{TR} = Fg \times Feq \times Fex$$

Siendo:

- Fg el factor de ponderación por criterios de diseño geométricos del túnel
- Feq el factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel
- Fex el factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

A continuación, se analizan cada uno de estos factores:

FACTOR DE PONDERACIÓN POR CRITERIOS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DEL TÚNEL (Fg)

Este factor de ponderación depende a su vez de una serie de factores geométricos del túnel de acuerdo con la siguiente expresión:

$$F_g = F_{g_{CAR}} \cdot F_{g_{ARC}} \cdot F_{g_{APA}} \cdot F_{g_{ACE}} \cdot F_{g_{PAV}} \cdot F_{g_{PTE}} \cdot F_{g_{RIG}}$$

Siendo:

Fg: Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

Fg_{CAR}: Factor de anchura de carriles

Fg_{ARC}: Factor de anchura del arcén derecho

Fg_{APA}: Factor de apartaderos

Fg_{ACE}: Factor de aceras

Fg_{PAV}: Factor de tipo de pavimento

Fg_{PTE}: Factor de pendiente longitudinal

Fg_{RIG}: Factor de existencia de un revestimiento rígido (estructural) y barreras

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Se procede a analizar cada uno de estos factores geométricos:

- **Factor de anchura de carriles (Fg_{CAR})**

  La IT-I del DFST establece en el punto 4.5 Sección transversal los criterios a cumplir en cuanto a la anchura de carriles, correspondiéndose con lo indicado en la Norma de trazado 3.1-IC de la Instrucción de Carreteras.

  Se considera pues que la anchura de referencia para los carriles de circulación es, tal como establece en el apartado 4.5.2.2 Anchura de carriles de, de 3,50 metros en todas las carreteras salvo en túneles urbanos que se admitirán reducción a 3,25 metros.

  En general, la existencia de carriles con anchura inferior a 3'5 metros será un factor negativo pues en raras ocasiones se puede ampliar la anchura de los carriles de circulación sin verse afectados otros elementos de la plataforma. Las elevadas intensidades de circulación existentes en determinadas vías hacen necesario habilitar más carriles de circulación dentro de una determinada plataforma, a costa de reducir o incluso eliminar ciertos elementos como los arcenes y/o aceras existentes. La inclusión de nuevos carriles de circulación puede ocasionar la reducción de las dimensiones. Se ha introducido este factor (Fg_{CAR}) con objeto de evaluar la influencia de este hecho.

  Por otra parte, el habilitar nuevos carriles no conlleva únicamente un factor negativo sobre la seguridad, sino que influirá muy positivamente en el nivel de servicio de la vía, del túnel en este caso, lo que se contempla en el método de análisis de riesgo a través de la intensidad de circulación por carril considerada en el estudio.

  Según los estudios realizados hasta la fecha, la anchura de carriles influye de manera notable en los índices de accidentalidad cuando se rebasan ciertos límites en su estrechamiento. Cuando la anchura de los carriles se reduce hasta los 3'0 metros, los índices de accidentalidad sufren un incremento muy notable que puede llegar a cifras del orden del 15% ó 20%.

  Anchuras superiores a los 3'5 metros no influyen significativamente sobre la tasa de accidentes hasta determinados límites que en general no suelen rebasarse. Los carriles con una anchura sobredimensionada provocan también un efecto negativo sobre la seguridad, aumentando la oscilación de las trayectorias de los vehículos y apodando una falsa

cve: BOB-2025a082-(I-327)

sensación de mayor seguridad. Este hecho también debe considerarse de forma negativa.

Se establece la siguiente tabla con objeto de definir la influencia del factor anchura de carril.

Anchura de carril (m)	**Factor de ponderación Fg_{CAR}**
>3,60	1,03
3,40 - 3,60	1,00
3,20	1,03
3,00	1,08
< 3,00	1,15

Tabla 2. Factor anchura de carril

Sin perjuicio de los intervalos expuestos se debe realizar una interpolación lineal dentro de cada intervalo en función de las dimensiones reales de los carriles de circulación existentes.

En caso de túneles urbanos a los que se les admite excepcionalmente la reducción del carril a 3,25. Se aplicarán factores de ponderación por anchura de carril, análogos a los de la tabla anterior, pero siendo el factor de ponderación 1 para el rango 3,25-3,60, y el resto con el mismo criterio en consonancia.

- **Factor de anchura del arcén derecho (Fg_{ARC})**

Según se establece la IT-I del DFST al igual que lo indicado en la Norma de trazado 3.1-IC, el diseño de la sección transversal de los túneles prevé la disposición, en las secciones proyectadas, de un arcén derecho de al menos 2'5 metros de anchura.

El arcén definido en el párrafo anterior puede se podrá justificar la reducción a una anchura de 1,0 metros en caso de túneles con velocidad limitada o controlada con señalización variable, con tráfico poco intenso, o en terrenos geológicamente desfavorables.

También se permite el arcén de 1 m por una posible ampliación del número de carriles de circulación, calzadas de 3 carriles de circulación o carreteras de calzadas única.

A este respecto se establece la necesidad de incluir en los túneles un arcén con anchura suficiente para permitir la detención de un vehículo en caso de avería o situación de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

emergencia. Dicho arcén constituye además una vía de acceso de los servicios de emergencia y evacuación muy necesaria en caso de accidente. Su existencia es especialmente beneficiosa en el caso de túneles bidireccionales con elevada intensidad de tráfico.

Además de su influencia positiva sobre el mantenimiento del servicio del túnel en caso de producirse incidentes de menor importancia, presenta una función preventiva muy acusada al evitar que situaciones inicialmente con un factor de riesgo bajo desencadenen posteriores accidentes de mayor gravedad.

Tal y como se ha expuesto anteriormente, se toma como valor de referencia (adoptado por tanto por el túnel virtual) la existencia de un arcén de dimensión mínima 1,0 metros al que se le asigna un valor de ponderación unitario.

La ponderación del factor arcén se evalúa con el siguiente criterio:

Anchura de arcén derecho (m)	**Factor de ponderación Fg_{ARC}**
≥2,5	0,9
1	1
<1	1,05

Tabla 3. Factor anchura del arcén derecho

Para valores intermedios (arcenes entre 1 y 2'5 metros) se emplearán los valores obtenidos por interpolación lineal entre los valores anteriores

- **Factor de existencia de apartaderos en el túnel (Fg_{APA})**

  La existencia de apartaderos está asociada en general a la inexistencia de un arcén suficiente para permitir la detención de un vehículo sin interferir al resto del tráfico que circula.

  A este respecto la IT-I del DFST establece en el apartado 6.3 Apartaderos de la Instrucción de Infraestructura siguiente evaluación sobre el efecto de la existencia de apartaderos:

  "En los túneles bidireccionales de longitud superiora 1.500 m, con una IMD por carril superior a 2.000 vehículos deberá habilitarse apartaderos con distancias entre sí no

cve: BOB-2025a082-(I-327)

superiores a 1.000 m, en el caso de que los arcenes no permitan el estacionamiento de un vehículo”

En función de lo anterior, el efecto de un apartadero se puede considerar asimilable en cierta medida a la existencia de un carril auxiliar, si bien su efecto es puntual frente a la existencia de dicho carril que permite apartarse a los vehículos de forma permanente en todo el tramo.

“En túneles unidireccionales con longitud superior a 1.000 metros y con arcén menor de 2,5 metros, se estudiará la conveniencia de instalación de apartaderos cada 900 metros, en función del número de carriles por sentido”

Teniendo en cuenta lo anterior se estable como factor de ponderación de apartaderos el expresado en la siguiente tabla:

Existencia de apartaderos cumpliendo el DFST (en los túneles que sea necesario)	Factor de apartaderos Fg_{APA}
SI	1,00
NO	1,05

Tabla 4. Factor existencia de apartaderos

- **Factor de existencia de aceras (Fg_{ACE})**

La obligación de dotar de aceras el interior de un túnel está reflejada en la IT-I del DFST, que establece en el punto 4.5.6 de la Instrucción de Infraestructura la necesidad de la existencia de aceras en los túneles nuevos, siempre y cuando las características de construcción del túnel lo permitan o su implantación no suponga costes desproporcionados.

Por su parte la Norma 3.1 I.C. Trazado, en su punto 7.4.1 recomienda disponer siempre, a ambos lados de la sección de la calzada, aceras elevadas de 0'75 m de ancho.

Las aceras deberán disponer de los necesarios rebajes para acceso a las salidas de emergencia y no tener obstáculos en su recorrido que impidan circular por ellas.

Se considera su influencia de acuerdo con el siguiente criterio:

Anchura de aceras (m)	Factor de aceras Fg_{ACE}
≥ 0'75 m	1,00

cve: BOB-2025a082-(I-327)

< 0'75	1,05
Sin aceras	1,10

Tabla 5. Factor de anchura de aceras

- **Factor de tipo de pavimento (Fg_{PAV})**

  El tipo de pavimento según se establece en la IT-I del DFST no debe ser firme drenante.

  La principal ventaja del empleo de este tipo de pavimentos es que, en caso de vertido accidental de productos inflamables, el firme drenante puede constituir una reserva de carburante que alimente el incendio durante un tiempo prolongado.

  Se considera su influencia de acuerdo con el siguiente criterio:

Tipo de pavimento	Factor de pavimento Fg_{PAV}
No drenante	1,00
Drenante	1,05

Tabla 6. Factor de pavimento

- **Factor de pendiente longitudinal del túnel (Fg_{PTE})**

  El incremento de la tasa de accidentalidad en relación con la pendiente longitudinal del túnel está directamente relacionado con la diferencia de velocidades inducidas por la existencia de la propia rampa o pendiente del túnel en las distintas categorías de vehículos.

  Se provoca por dicha causa un aumento en la probabilidad de producirse alcances, así como accidentes en las maniobras de cambios de carriles para el adelantamiento. El incremento de estas será notable, pues cuando la pendiente es más acusada existe una mayor diferencia de velocidades entre las distintas categorías de vehículos. Asimismo, variarán de forma importante las distancias de frenado.

  Se evalúa la influencia de la pendiente de la rasante de acuerdo con la siguiente expresión. En aquellos túneles cuya rasante se desarrolle en rampa se puede estudiar la posibilidad de no considerar este factor o de tenerlo en cuenta en torno al valor del 5% en lugar del 3%.

Pendiente del túnel	Factor de pendiente longitudinal Fg_{PTE}
0%	0,955
< 3%	0,955 + (0,015 * pendiente (%))

cve: BOB-2025a082-(I-327)

3%	1,00
> 3%	1,00+ (0,02 * exceso de pendiente sobre el 3%)

Tabla 7. Factor pendiente del túnel

Se observa que un túnel con una pendiente de un 3% tendrá un factor igual a la unidad, que es el que le correspondería al túnel virtual.

Para el valor de la pendiente se tomará la pendiente máxima, siempre y cuando esta se produzca en un tramo de longitud igual o mayor que la distancia máxima entre salidas de emergencia. En el caso de no cumplirse lo anterior, se tomará la pendiente media ponderada del túnel definida de la siguiente forma:

$$\overline{p_{túnel}} = \frac{\left(\sum p_i \bullet d_i\right)}{L} \bullet 100$$

Donde:

$p_{túnel}$: Pendiente media ponderada del túnel (%)

p_i : Pendiente media en el tramo "i" definido por la distancia di (%)

d_i : Distancia correspondiente al tramo de túnel “i”. La suma de la longitud de todos los tramos en que se ha dividido el túnel será la longitud del mismo (L).

L: Longitud total del túnel

i : Subíndice que indica uno de los tramos en que se ha dividido el túnel, que tiene una longitud di y una pendiente media pi.

En el caso de túneles cortos (L ≤ 200 m) si la pendiente máxima no se produce en más del 50 % de su longitud, se tomará la pendiente longitudinal media del túnel.

- **Factor de existencia de un revestimiento rígido del túnel (estructural) y barreras de hormigón (Fg_{RIG})**

El dotar al túnel de este tipo de revestimiento o no, influye también como factor de riesgo a la hora de provocar un posible incidente o accidente que pueda complicarse y ocasionar daños mayores a los que inicialmente supone. La caída sobre el pavimento o sobre los vehículos en circulación de bloques de roca, fragmentos de hormigón proyectado o el desprendimiento de láminas de impermeabilización, puede dar lugar a situaciones de riesgo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

que deben ser ponderadas. Estos acontecimientos pueden tener lugar durante las condiciones de explotación normales o como consecuencia de un accidente y el posible incendio originado, complicando más la situación existente.

Además, en el caso de no disponer de un revestimiento rígido, se considera positivo instalar secciones de auscultación permanentes en algunas zonas del túnel para tomas las medidas que en cada caso indique el manual de explotación.

En la IT-I del DFST se evalúa este punto de la siguiente forma:

"Todos los túneles perforados en los que se instale ventilación mecánica contarán con un revestimiento formado por un anillo de hormigón encofrado que se colocará sobre el sostenimiento constituido habitualmente por hormigón proyectado, cerchas y bulones, una vez estabilizados los movimientos de la excavación."

Además, según la IT-I del DFST se deben instalar barreras tipo New Jersey en toda la longitud del túnel junto a los hastiales.

Se considerará que el túnel virtual dispone de revestimiento y barreras de hormigón en hastiales, por lo que la no existencia de los mismos se introducirá en el modelo con este factor de ponderación, según el criterio siguiente:

Tipo de revestimiento rígido del túnel y barreras	Factor estructural Fg_{RIG}
Túnel sin revestimiento rígido, sin instrumentación y sin barreras	1,06
Túnel sin revestimiento rígido, instrumentado y sin barreras	1,04
Túnel sin revestimiento rígido, instrumentado y con barreras	1,02
Túnel revestido y con barreras	1,00

Tabla 8. Factor existencia de revestimiento estructural del túnel

FACTOR DE PONDERACIÓN POR CRITERIOS DE EQUIPAMIENTO DEL TÚNEL (Feq)

En general la ponderación de estos factores estará ya reflejada en la determinación del coeficiente de riesgo básico del túnel real, pues la existencia de mejoras en el equipamiento habrá redundado en una disminución de las posibles víctimas o usuarios afectados para cada uno de los distintos escenarios analizados.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

No obstante, existen una serie de equipamientos de seguridad que desempeñan una labor preventiva en la producción de accidentes, cuya ponderación no queda reflejada en el análisis de eventos que se realice una vez desencadenado el accidente en cada uno de los escenarios analizados.

Este es el caso de posibles desprendimientos de elementos correspondientes a la decoración o adecuación funcional del túnel, tales como paneles de revestimiento u otros elementos, así como el caso de producirse la presencia de animales en el interior del túnel, desprendimientos de cargas de vehículos, etc. Estos incidentes sólo pueden ser detectados si existe una vigilancia permanente de la infraestructura y, la actuación precoz sobre los mismos puede evitar el que se ocasionen accidentes de mayor gravedad.

Este factor de ponderación de equipamiento del túnel dependerá de tres factores, según la siguiente expresión:

$$Feq = Feq_{SSEE} \times Feq_{CC} \times Feq_{OTR}$$

Siendo:

Feq: Factor de ponderación por criterios de equipamiento del túnel
Feq_{SSEE}: Factor de proximidad de los servicios de emergencia
Feq_{CC}: Factor de existencia de centro de control
Feq_{OTR}: Factor que engloba otras mejoras en la dotación sobre la exigida en el DFST

A continuación, se analizan estos factores:

- **Factor de proximidad de los servicios de emergencia (Feq_{SSEE})**

  La presencia de los servicios de emergencia (Servicios de Extinción y Salvamento y/o equipos de primera intervención, equipados y formados) en los primeros minutos tras producirse un accidente y/o incendio en un túnel, puede ser determinante en la reducción de las consecuencias del mismo, al socorrer a posibles usuarios atrapados en el interior del túnel, o sofocar incendios en una fase temprana.

  El Método General de análisis de riesgo en túneles se basa, tal como se verá en el modelo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

de comportamiento de los usuarios, en la auto-evacuación de los usuarios. No obstante, se debe tener en cuenta que los servicios de emergencia, en caso de llegar a tiempo, pueden rescatar a usuarios atrapados y/o sofocar incendios en fases tempranas, reduciendo las víctimas.

De forma simplificada, esto se tiene en cuenta modificando el riesgo del túnel con el siguiente factor en función del tiempo de respuesta de los servicios de emergencia ante un aviso, medido desde el inicio de la incidencia. Este tiempo es conveniente que sea determinado a partir de tiempos de respuesta a situaciones reales o ante simulacros de emergencia.

Para el cálculo de tiempo de llegada de los servicios de emergencia en el túnel real se deben sumar 4 minutos al tiempo estimado de llegada debido a la detección, aviso y reacción de los servicios de emergencia.

En el túnel virtual por ser el de condiciones ideales y se mantiene como se indica en el apartado correspondiente que el tiempo de llegada desde el incidente sea de 15 minutos.

El factor se pondera de acuerdo a los valores de la Tabla 9:

Tiempo de llegada de los servicios de emergencia tras un incidente	**Factor de servicios de emergencia Feq_{SSEE}**
$T_{SSEE} \leq 5$ minutos	0,85
$5 < T_{SSEE} \leq 10$ minutos	1,00
$10 < T_{SSEE} \leq 15$ minutos	1,15
$T_{SSEE} > 15$ minutos	1,25

Tabla 9: Factor de proximidad de los servicios de emergencia

- **Factor de existencia de centro de control permanente y vigilado con posibilidad de control de accesos (Feq_{CC})**

  El factor de ponderación de este elemento de control se considera con una disminución del coeficiente básico de peligrosidad de la siguiente forma:

Existencia de centro de control permanente y vigilado con control de accesos	**Factor de centro de control Feq_{CC}**
SI (24h / 7dias)	0,90

cve: BOB-2025a082-(I-327)

SI	0,95
NO	1,02

Tabla 10: Factor de existencia de Centro de Control

- **Factor de otras mejoras sobre dotaciones de seguridad mínimas exigidas en el DFST (Feq_{OTR})**

  Las mejoras introducidas en el equipamiento y dotaciones de seguridad previsto para el túnel objeto de análisis deben ser evaluadas por el autor del análisis de riesgo del túnel.

  Asimismo, debe ser evaluada la existencia o no de ciertos equipamientos adicionales que influyen en el proceso de evacuación o rescate y que se detallan a continuación:

  - Conexiones transversales para acceso de los servicios de emergencia
  - Cruce de la mediana fuera de cada boca
  - Doble suministro eléctrico (además de lo considerado respecto al mantenimiento de la iluminación en las siguientes páginas)
  - Existencia de mediana en el túnel (caso de túneles bidireccionales)
  - Red de hidrantes y BIEs
  - Semáforos interiores en caso necesario
  - Sistemas de radiocomunicación para servicios de emergencia

  La influencia de estas medidas se justificará de acuerdo a la metodología o documentación adicional aportada en el estudio de riesgos y en ningún caso se ponderará con un factor (Feq_{OTR}) inferior a 0’9 en su conjunto.

FACTOR DE PONDERACIÓN POR CRITERIOS DE EXPLOTACIÓN DEL TÚNEL (Fex)

Dentro de este apartado se incluyen y ponderan aquellas medidas adicionales que incluidas en los protocolos de explotación del túnel pueden reducir los factores de peligrosidad notablemente, paliando ciertas deficiencias de diseño, sobre todo en el caso de túneles en explotación.

Este factor de ponderación de la explotación del túnel es función a su vez de tres factores según la siguiente expresión

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$F_{ex} = F_{ex\,AVP} \cdot F_{ex\,RAD} \cdot F_{ex\,VLIM}$$

Fex: el factor de ponderación por criterios de explotación del túnel

Siendo:

Fex $_{AVP}$: el factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido

Fex $_{RAD}$: el factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares)

Fex$_{VLIM}$: es el factor de velocidad

A continuación, se analizan estos factores:

- **Factor de permisividad o no de adelantamientos de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido (Fex$_{AVP}$)**

  El factor de peligrosidad de adelantamiento de vehículos pesados (VP) en túneles unidireccionales con más de un carril por sentido está evaluado en función del porcentaje de vehículos pesados que circulen por el carril derecho dentro del tubo y del nivel de restricción de adelantamiento que se prescriba. Cuanto mayor sea dicho porcentaje y exista una mayor libertad de adelantamiento, el riesgo por colisión dentro del túnel será mayor, independientemente de otros factores que afectarían a la accidentalidad del túnel en cuestión como el porcentaje de pendiente o rampa que pueda haber dentro del mismo (factor que ya se ha tenido en cuenta en puntos anteriores).

  Como se observa en los resultados de la tabla, cuando la prohibición de adelantar es total y mayor es el porcentaje de vehículos pesados a los que se les restringe el adelantamiento, menor riesgo hay de accidente, es decir, menor es el factor modificador del Coeficiente de Riesgo básico del túnel real:

Restricción de adelantamiento a VP	% VP	Factor de adelantamiento de VP Fex$_{AVP}$
Sin restricción	Cualquier %	1,00
Con restricción	5%	0,97
Con restricción	10%	0,93
Con restricción	15%	0,90

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Con restricción	20% o más	0,87

Tabla 11: Factor de restricción de adelantamiento a vehículos pesados

Para valores del %VP intermedios en relación con los marcados en el cuadro, puede aplicarse una interpolación lineal.

- **Factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares), anunciados y con posibilidad de sanción, en los accesos o en el interior del túnel (Fex_{RAD})**

  Las situaciones en las que las limitaciones de velocidad no van acompañadas de sistemas de control de las mismas, pueden dar lugar a que la imprudencia de ciertos conductores sea mayor, debido a que no hay posibilidad de registrar la infracción. Por el contrario, si se anuncia la existencia de un radar, la temeridad de esos usuarios se reduce, bajando incluso la velocidad media específica del tramo, ya que, al haber un registro de la infracción y su correspondiente penalización, se logra una mayor concienciación del conductor.

  Por todo esto, puede establecerse un factor de ponderación de la existencia de radar (Fex_{RAD}) que tenga en cuenta la reducción de la peligrosidad por la presencia de estos sistemas. Los valores que se adoptan para el mismo son los siguientes:

Existencia de radar en los accesos o el interior del túnel	Factor de radar Fex_{RAD}
NO	1,00
SI	0,92

Tabla 12: Factor de existencia de radar

- **Factor de velocidad en los accesos o en el interior del túnel (Fe_{xVLIM})**

  Este factor evalúa el efecto que tiene una reducción de la velocidad sobre la tasa de accidentabilidad y por ende en la seguridad del túnel, respecto a la velocidad de diseño de la vía en la que se encuentra el túnel o con respecto al exigido por normativa.

  Para la obtención del valor que toma este factor de limitación de velocidad, se recurre a diversas fuentes que analizan este asunto y que relacionan las variables involucradas. Una forma de calcular la influencia de este factor es:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- En primer lugar, se considera la influencia que tiene la reducción o aumento de la velocidad de circulación en la accidentabilidad, suponiendo que una reducción en el límite de velocidad ocasionará una disminución de la velocidad en los vehículos, y viceversa. Existen diferentes modelos matemáticos para cuantificar la influencia que tiene la velocidad en el riesgo de accidentes. De acuerdo con el método potencial validado se obtiene como conclusión que un aumento/reducción de la velocidad en un 1% supone un aumento/reducción de la accidentalidad de hasta unen un 2%. De forma conservadora se adopta un aumento/reducción de la accidentalidad en un 1%
- En segundo lugar, se obtiene la proporción de incendios causados por accidentes en un túnel. Debido a que no todos los incendios que ocurren en el interior de un túnel están causados por accidentes, para la obtención de este dato se han consultado diversas fuentes, entre las que cabe citar la publicada conjuntamente por la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC) y la Organización Económica para la Cooperación y el Desarrollo (OECD), «Safety in Tunnels. Transport of dangerous goods through road tunnels». De ellas se obtiene que los accidentes de tráfico en el interior de un túnel son los responsables de algo menos del 50% de los grandes incendios en túneles, por lo que se ha considerado un valor conservador del 40%.

Por tanto, se obtiene el valor de este factor de limitación de velocidad mediante la expresión siguiente:

$$F_{ex_{VLIM}} = 1 - 0.4\,\frac{V_{DISEÑO} - V_{LIMITE}}{V_{DISEÑO}}$$

Con un valor límite inferior de 0,9.

Siendo:

$V_{DISEÑO}$ = El menor de los valores entre el límite de velocidad que indica el DFST para el tipo de túnel y la Velocidad de diseño del túnel

V_{LIMITE} = Límite de velocidad en el túnel

cve: BOB-2025a082-(I-327)

CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES

En este apartado se incluyen aquellos criterios modificadores por equipamiento tanto de infraestructura como de instalaciones, que, si bien no tienen asignado un factor de ponderación determinado, si presentan una serie de aspectos a tener en cuenta a la hora de modificar el CR_{TR}

- **Drenaje de líquidos tóxicos**

  La disposición de caces con ranuras, u otros dispositivos que permitan el drenaje de líquidos tóxicos e inflamables es obligada para aquellos túneles Tipo I o si se permite el paso de mercancías peligrosas.

  Este es un equipamiento que tiene especial importancia ante el paso de vehículos de transporte de mercancías peligrosas, por lo que se debe tener siempre en cuenta cuando se realice el correspondiente análisis de riesgo para el paso de este tipo de mercancías mediante el Método de Mercancías Peligrosas.

  No obstante, al analizar el riesgo del túnel con el Método General, la presencia de elementos de drenaje de líquidos tóxicos en el túnel puede suponer la disminución de los efectos de los incendios de mayor potencia considerados en los escenarios.

  Se establece por tanto que, para el caso de existir este dispositivo de drenaje, en los escenarios E2, E4 y E5 del modelo se aplicará una reducción del 5% sobre el número de personas afectadas.

- **Salidas de emergencia**

  Su existencia o no y su ubicación respecto a la posición considerada del foco del incendio será determinante para la obtención de unos coeficientes de peligrosidad homogéneos, tal como se detallan en el epígrafe “Posicionamiento del incendio en el túnel”, del apartado 4.1.1.3.

- **Iluminación de emergencia y de evacuación**

  La existencia de iluminación de emergencia por interrupción del servicio eléctrico y la de evacuación en caso de incendio, facilita la evacuación de los usuarios tras un accidente, especialmente cuando se produce la desestratificación de los humos. Para tener en cuenta esto, se considera en el modelo de comportamiento de los usuarios que la velocidad de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

auto-evacuación o de escape de los usuarios con el humo desestratificado es de 0’5 m/s hasta que salgan del túnel o sean considerados victimas (por haber transcurrido el tiempo adicional de evacuación tras la desestratificación). En caso contrario, la velocidad de auto-evacuación será de 0,3 m/s tras la desestratificación del humo, tal como se define en el apartado 4.3.

No obstante, para que esta iluminación funcione adecuadamente durante un incendio se debe garantizar que está alimentada en todo momento para permitir su funcionamiento ininterrumpido, para lo que el túnel debe disponer de SAI y suministro alternativo de electricidad.

- **Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)**

  La exigencia de disponer SAI está unida, en el modelo, a la instalación obligatoria de la iluminación de seguridad y emergencia, así como de un suministro alternativo de electricidad, tal como se ha señalado en el punto anterior. Por este motivo se considera una dotación complementaria de la iluminación que se tiene en cuenta conjuntamente, considerando que se mantiene la velocidad de evacuación según los valores expuestos en el párrafo anterior.

- **Suministro alternativo de electricidad**

  Lo mismo ocurre con el suministro alternativo de electricidad. Este se considera en el modelo conjuntamente con la iluminación y el SAI.

  Se entiende aquí este suministro en un sentido amplio, considerando como tal tanto a la doble fuente de suministro de energía como al grupo electrógeno, siempre y cuando estos permitan el funcionamiento de la iluminación de emergencia y de evacuación y de la ventilación en modo degradado, en todo momento.

- **Puestos de emergencia**

  Estos puestos están dotados en su equipamiento más básico de extintores y postes SOS para la comunicación de incidencias al centro de control (en caso de existir) o a la central de comunicaciones de los organismos competentes según la vía.

  La presencia de los extintores proporcionará a los usuarios la posibilidad de actuar sobre

cve: BOB-2025a082-(I-327)

fuegos de pequeña potencia en el momento de inicio del incendio. Con objeto de poder evaluar esta mejora en la seguridad, se considerará que cuando un túnel disponga de extintores se reducen las personas afectadas de la forma siguiente:

E1: Incendio de 8 MW. Se considera que la presencia de extintores permitirá sofocar un 10% de los conatos de incendio en su origen. Se reducirá en consecuencia en este porcentaje el número de personas atrapadas en este escenario.

E3: Incendio de 15 MW. Se considera que la presencia de extintores permitirá sofocar un 5% de los conatos de incendio en su origen. Se reducirá en este porcentaje en número de personas atrapadas.

E2, E4 y E5: No influye. Se considera que incendios de potencia elevada no pueden ser sofocados por los usuarios con el empleo de los extintores.

- **Megafonía**

Los sistemas de megafonía en un túnel, siempre que exista un centro de control equipado con circuito cerrado de televisión (CCTV) y sistema de detección automática de incidentes (DAI), permiten informar a los usuarios de la necesidad de evacuar el túnel ante un determinado incidente.

Esto se considera en el modelo de comportamiento de los usuarios reduciendo un máximo de 5 segundos el tiempo de reacción de todos los usuarios del túnel tras el/los vehículo/s implicado/s en el accidente, para cada uno de los escenarios analizados y siempre que en el túnel además de disponer de megafonía disponga también de centro de control con CCTV y DAI.

Los segundos a reducir el tiempo de reacción de los usuarios (de 0 a 5 segundos) se determinarán justificadamente por el autor del análisis, debiendo considerar que entre un 20 y un 40% (1 a 2 segundos) se asignarán por la existencia de megafonía en las salidas de emergencia y vías de evacuación, y el resto por la existencia de megafonía en el interior del tubo.

- **Señalización dinámica: Paneles de señalización variable, Aspa-flecha, CLV**

El DFST establece que se ha de instalar señalización dinámica para informar a los usuarios del estado de la vía y de situaciones de emergencia que puedan producirse, así como dar

cve: BOB-2025a082-(I-327)

instrucciones sobre las acciones que deben llevar a cabo para evitar que se ocasionen daños, en todos los túneles Tipo I y Tipo II.

Estos sistemas tienen una alta efectividad al estar los usuarios de la carretera habituados a ellos. Para tenerlos en consideración en la modelización se va a considerar una reducción del tiempo de reacción de los usuarios tras el/los accidentado/s de hasta 8 segundos para túneles con paneles en su interior y de hasta 4 segundos para túneles con paneles próximos a sus bocas, siempre que el túnel disponga también de centro de control con CCTV y DAI.

- **Señalización de salidas y equipamientos de emergencia**

  La existencia de la cartelería adecuada a la normativa contribuirá a facilitar la evacuación de los usuarios del túnel, al permitirles la localización más rápida de salidas, postes de comunicación y extintores.

  Puesto que la auto-evacuación de los usuarios es especialmente complicada tras la desestratificación de los humos del incendio, se considera que el disponer de este equipamiento permite incrementar en 0’1 m/s la velocidad de auto-evacuación en estas circunstancias.

- **Equipos para cierre del túnel**

  Los equipos para cierre del túnel están compuestos principalmente por semáforos, barreras y aspa-flechas exteriores. El DFST establece que deberán disponer de equipos de cierre de túnel con barreras y semáforos todos los túneles Tipo I y Tipo II.

  La existencia de estos equipos, junto a la existencia de un centro de control, se considera en el tiempo de cierre del túnel (en función del equipamiento concreto), que se verá reducido, impidiendo la entrada de más usuarios al túnel tras el incendio. En los casos en que no exista centro de control, se considerará que no son operativos en tiempos cortos para realizar un cierre efectivo del túnel, salvo que se proyecte su operación asociada a determinados niveles de detección.

  Si existe un centro de control asociado se considerará que el operador puede efectuar un cierre efectivo del túnel en un tiempo adecuado.

  En defecto de los datos más precisos que pueda disponer el autor del análisis, se establecen los siguientes criterios para determinar su efectividad:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

SEMÁFOROS	BARRERAS	ASPA-FLECHAS	C.CONTROL	DAI	CIERRE DEL TÚNEL
✓	✓	✓			NO OPERATIVO (salvo programación)
✓	✓	✓	✓		4 minutos
✓	✓	✓	✓	✓	3 minutos

Tabla 13: Criterios de efectividad

En caso de que se considere que los semáforos se operan de forma automática, asociando su funcionamiento al alcance de determinados valores de los equipos de detección de opacidad o detección de incendio, el autor del análisis de riesgo determinará los tiempos en que considera que se establece el cierre del túnel y en consecuencia el cese de entrada de vehículos en su interior.

- **Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios**

  Este equipamiento, permite interceptar canales de radio comerciales e inyectar en los mismos mensajes para los usuarios. El DFST establece que deberán disponer de equipos específicos de mensajería para emergencia y evacuación todos los túneles Tipo I y Tipo II. Se considera que un alto porcentaje de los usuarios que reciban el mensaje seguirán sus indicaciones, pero este mensaje no les llegará a muchos usuarios.

  En la modelización se tendrá en cuenta este equipamiento reduciendo el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s en un máximo de 5 segundos, siempre que exista también un centro de control con CCTV y DAI.

- **Telefonía móvil**

  Todos los túneles, en su interior deberán facilitar la instalación de telefonía móvil en su interior o disponer de cobertura de telefonía móvil.

- **Mejora de la Gestión de la Explotación**

  - Simulacros

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Para túneles Tipo I en fase de servicio, en caso de que en el túnel no se haya realizado ningún simulacro a escala natural, se aumentará los tiempos de llegada de servicios de emergencia en 2 minutos al tiempo estimado en el apartado de factor de proximidad de servicios de emergencia.

- Número de operadores y protocolos automatizados en centro de control

Para túneles en fase de servicio, disponer de varios operadores en centro de control supone una mejora en la eficacia de detección y actuación antes incidentes, particularmente en los primeros instantes de la emergencia. Por tanto, se considerará que, en túneles gestionados desde centros de control con dos o más operadores de sala, se reducirá en 30 segundos el tiempo de cierre de túnel calculado en el apartado anterior de Equipos para cierre de túnel.

Igualmente disponer de protocolos automatizados de incidentes permite mejorar la eficacia de gestión de emergencias. Se considerará que en túneles con protocolos automatizados para las emergencias más graves incluido el caso de incendio se reducirá en 30 segundos el tiempo de cierre de túnel calculado en el apartado anterior de Equipos para cierre de túnel.

4.1.2.4 Índice de riesgo del túnel

Se define como índice de riesgo asociado al túnel analizado (IR) el cociente entre el Coeficiente de Riesgo del túnel real y el Coeficiente de Riesgo del túnel virtual, tal como se refleja en la fórmula siguiente:

$$IR = \frac{CR_{TR}}{CR_{TV}}$$

Un valor próximo o inferior a la unidad será indicativo de que el túnel reúne unas condiciones similares a las del túnel virtual y, por tanto aceptables. Por el contrario, un valor elevado del índice de riesgo (superior a la unidad) determinará un Coeficiente de Riesgo superior para el túnel objeto de estudio que, para el túnel virtual, que será consecuencia de unas condiciones del túnel analizado alejadas de las establecidas como seguras en la normativa aplicable.

Los valores de aceptación o rechazo del diseño para las condiciones de explotación del túnel se especifican en apartados posteriores.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2 Modelos de Ventilación

Para modelizar el comportamiento de los humos producidos por un incendio en el interior de un túnel se definen en la presente metodología dos modelos de ventilación:

- Modelo tabulado de ventilación
- Modelo unidimensional de ventilación

En los análisis de riesgo encaminados a determinar el tipo de ventilación a disponer en un túnel (unidireccional, semi-transversal o transversal) será conveniente el empleo de modelos de ventilación más complejos que permitan una mejor comparación de los distintos sistemas de ventilación, teniendo en cuenta otros factores relevantes como los económicos, medioambientales, etc.

Además, en cualquier otro tipo de análisis de riesgo y siempre que el autor del análisis lo considere necesario, se podrán complementar los resultados obtenidos empleando estos modelos con los obtenidos utilizando modelos de ventilación más complejos.

Se pasa a continuación a desarrollar estos modelos, así como a recordar, pues ya se estableció en el apartado 4. Método General, cuando es aplicable cada uno de ellos.

4.2.1 Modelo Tabulado de Ventilación

Este modelo, tal y como se ha establecido en el apartado 4 y clarificado en la tabla 2, **será aplicable a los túneles en los que el según el DFST no exija la instalación de un sistema de ventilación forzada en el túnel**, es decir, túneles interurbanos de longitud menor o igual a 500 m y túneles urbanos de longitud menor o igual a 200 m.

Su utilización permite desarrollar de manera simplificada la modelización de los incendios tipo que están asociados a cada uno de los cinco escenarios cuyo estudio debe desarrollarse. No obstante, siempre que lo estime necesario el autor del análisis o que lo solicite la Autoridad Administrativa será necesario comprobar los resultados obtenidos realizando un estudio mediante el modelo unidimensional de ventilación.

4.2.1.1 Producción de humos

Con objeto de evaluar de manera simplificada la producción de humo de cada uno de los

cve: BOB-2025a082-(I-327)

escenarios objeto de estudio, pueden adoptarse las cifras propuestas por la PIARC de acuerdo con los distintos tipos de vehículos implicados en el accidente.

Los valores se resumen en la tabla que se inserta a continuación:

Escenario / vehículos implicados	Caudal de humo producido
E1: Incendio de vehículo ligero de hasta 8 MW de potencia	20 -30 m^3/s
E2: Incendio de un vehículo pesado de 30 MW	60-90 m^3/s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar de 15 MW	50 m^3/s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar de 30 MW	90 m^3/s
E5: Incendio de un vehículo pesado de hasta 100 MW	100-150 m^3/s

Tabla 14. Caudal de humo producido

4.2.1.2 Comportamiento de los humos

La modelización del movimiento de los humos es fundamental durante el estudio del escenario de incendio. Para la identificación de las zonas de riesgo en el túnel es necesario determinar cuál va a ser la evolución de la temperatura en el interior del túnel y, sobre todo del movimiento de los humos en su interior en el transcurso de los 15 ó 20 minutos subsiguientes al incendio.

Cabe destacar que los datos numéricos que se presentan en este apartado incluyen en sus valores determinadas características asociadas a los ensayos de los que proceden, entre las que se encuentran las condiciones atmosféricas específicas de cada test realizado. Por ello en el modelo tabulado no se han definido parámetros referidos a condiciones de contorno de tipo atmosférico y/o topográfico.

Desplazamiento del humo

En condiciones ideales de no existencia de corriente longitudinal en el túnel y de pendiente nula de la bóveda o el techo, el humo se distribuirá y avanzará por igual en ambas direcciones desde el foco del incendio. No obstante, lo más habitual es que las condiciones de corriente longitudinal y de pendiente definan una dirección predominante en la que se desplace el humo. Para estudiar el

cve: BOB-2025a082-(I-327)

problema será necesario determinar o estimar una velocidad media de avance de la columna de humo.

En los primeros momentos el humo permanecerá y se desplazará por la parte superior de la sección del túnel. Al cabo de cierto tiempo, por efecto del enfriamiento en contacto con la superficie de la bóveda o techo del túnel, el humo acabará descendiendo ocupando todo el espacio de la sección del túnel y reduciendo su velocidad de avance. La longitud recorrida antes de ocupar toda la sección, es decir, antes de producirse la desestratificación, depende de diversos factores entre los que cabe destacar la potencia de fuego.

Para estimar la velocidad inicial de desplazamiento del humo puede estimarse de forma aproximada aplicando las ecuaciones de la dinámica de fluidos.

Con objeto de realizar una estimación que permita obtener dicha velocidad de forma sencilla para la aplicación del presente modelo, puede considerarse que el humo avanza desde el comienzo del incendio hasta el momento en que se inicia su desestratificación a una velocidad determinada mediante la siguiente expresión:

$$Vh = \frac{Qh}{St}$$

Siendo:

$Vh \equiv$ Velocidad de desplazamiento del humo

$Qh \equiv$ Caudal de humos producido por cada tipo de incendio y recogido en la tabla anterior

$St \equiv$ Sección transversal efectiva ocupada por el humo en su desplazamiento

En el caso de que el humo se desplace en régimen laminar, es decir, estratificado y pegado al techo de la sección del túnel, puede considerarse que la sección efectiva ocupada por dicha masa oscilará entre el 20 y el 50% de la sección transversal del túnel. Los valores anteriores son variables y están relacionados de forma directa con el caudal de humos producido a causa de la propia potencia del incendio considerado. El autor de análisis deberá definir el criterio adoptado y mantenerlo en todos los túneles comparados.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En los escenarios analizados se aplicarán por tanto las velocidades de referencia calculadas de acuerdo con el criterio anterior, justificándose la elección entre los extremos de la horquilla de posibles valores, en función de otros parámetros considerados por el autor del análisis que tengan en cuenta las condiciones reales del túnel, tales como su pendiente o el tiro existente por condiciones naturales.

A modo de referencia se adjuntan la tabla correspondiente a la velocidad de desplazamiento del humo para un túnel de 70 m^2 de sección, suponiendo que toda la columna de humo fluye en un único sentido por condiciones geométricas y/o de tiro natural del túnel, al ser el caso más desfavorable:

Escenario: vehículos implicados y potencia	**Caudal de humo producido (distribución 100%)**	**Velocidad desplazamiento. del frente Sección: 70 m^2**
E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia	20 -30 m^3 /s	0’76 – 1’71 m/s
E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW	60-90 m^3/s	1’79 – 3’06 m/s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW	50 m3 /s	1’90 – 2’86 m/s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW	90 m^3/s	2’68 – 3’06 m/s
E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW	100-150 m^3 /s	2’86 – 4’5 m/s

Tabla 15. Factor de velocidad de desplazamiento del frente de humos

En túneles bidireccionales se estudiará también el caso de dos frentes de similares características (distribución 50%-50%), avanzando cada uno en un sentido. En este caso la velocidad de desplazamiento del humo será algo inferior, tal como indica la siguiente tabla:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario: vehículos implicados y potencia	Caudal de humo producido (distribución 100%)	Velocidad desplazamiento. del frente Sección: 70 m^2
E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia	20 -30 m3 /s	0'48-1'07 m/s
E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW	60-90 m3/s	1'07-1'84 m/s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW	50 m3 /s	1'19-1'79 m/s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW	90 m3 /s	1'61-1'84 m/s
E5: Incendio de un vehículo pesado. 100 MW	100-150 m3 /s	1'43-2'14 m/s

Tabla 16. Factor de velocidad de desplazamiento del frente de humos

Para obtener velocidades de desplazamiento del humo para otras secciones, tomando como sección de referencia la de 70 m^2 basta con considerar que el caudal y el porcentaje de sección ocupada de humo son los mismos en ambos casos.

Por ejemplo, el cálculo de velocidades para una sección de 90 m^2 sería:

Q_h ≡caudal de humo

V_{h1}≡velocidad de humo para sección efectiva de túnel S_{t1}

S_{t1}=sección efectiva correspondiente a 70 m^2 = α·70

V_{h2} ≡ velocidad de humo para sección efectiva del túnel S_{t2}

S_{t2}≡sección efectiva correspondiente a 90 m^2 = α·90

α ≡ factor de sección efectiva. Sus valores varían entre 0'2 y 0`5

El caudal de humo se mantiene para cada escenario de incendio con su valor correspondiente

$Q_h = V_{h1}·S_{t1}$

$Q_h = V_{h2}·S_{t2}$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$l = \frac{V_{h1} \cdot S_{t1}}{V_{h2} \cdot S_{t2}} \rightarrow V_{h2} = \frac{V_{h1} \cdot S_{t1}}{S_{t2}} \rightarrow V_{h2} = V_{h1} \cdot \frac{S_{t1}}{S_{t2}}$$

$$\rightarrow \qquad V_{h2} = V_{h1} \cdot \frac{\alpha \cdot 70}{\alpha \cdot 90}$$

Por tanto, resulta que el valor de la velocidad de humo para una sección de túnel de 90 m² es:

$$V_{h2} = V_{h1} \cdot \frac{70}{90} \rightarrow V_{h2} = V_{h1} \cdot \frac{7}{9}$$

Proceso de desestratificación

Una vez que se produzca la desestratificación de los humos, hecho que acontecerá de modo aproximado según la tabla de tiempos incluida a continuación, debe considerarse que el humo avanza dentro del túnel a una velocidad más reducida, al ocupar el conjunto de la sección disponible. En este momento se aplicarán valores de la velocidad de desplazamiento de la masa de humos del orden del 50% de los valores reflejados en los cuadros anteriores.

Tal y como se ha expuesto, la desestratificación comienza a producirse en el entorno de escasos minutos después del comienzo del incendio. A partir de este momento el humo empieza a ocupar toda la sección del túnel. Desde el momento de inicio de la desestratificación del humo y hasta que la desestratificación es completa, se considera que los usuarios disponen de un tiempo de evacuación limitado en estas condiciones (denominado tiempo adicional), que variará principalmente en función de la potencia del incendio.

Según estudios realizados hasta la fecha en función de la potencia del incendio en túneles de características de diseño dentro de parámetros habituales, se obtienen los siguientes tiempos de referencia desde el comienzo del incendio hasta que el humo comienza a ocupar toda la sección del túnel (tiempo de desestratificación). Asimismo, y en función de la potencia de incendio se han determinado los tiempos que transcurren desde el inicio de la desestratificación hasta que ésta es completa (tiempo adicional), que marca el límite hasta el que los usuarios evacuan el túnel en condiciones de ambiente degradadas, limitando por tanto su velocidad de escape. Más allá de este tiempo adicional, los usuarios aún presentes en el túnel se considerarán víctimas.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario: vehículos implicados y potencia	Tiempo de desestratificación (t_{DES})	Tiempo adicional (t_{AD})
E1: Incendio de un vehículo ligero. 8 MW de potencia	300 s	60 s
E2: Incendio de un vehículo pesado. 30 MW	247 s	60 s
E3: Incendio de un vehículo ligero y un autocar. 15 MW	260 s	60 s
E4: Incendio de un vehículo pesado y un autocar. 30 MW	247 s	60 s
E5: Incendio de un vehículo de pesado. 100 MW	77 s	45 s

Tabla 17. Tiempo de inicio de desestratificación del humo y tiempo adicional de evacuación

4.2.2 Modelo Unidimensional de Ventilación

En el caso de que las Instrucciones Técnicas vigentes exijan la disposición de un sistema de ventilación forzada y de los correspondientes protocolos de funcionamiento de dicha ventilación en el túnel analizado, la modelización de la ventilación mediante el modelo tabulado de ventilación, que emplea tablas de velocidad de desplazamiento del humo por el túnel y de valoración de tiempos de mantenimiento de su estratificación, no resulta aplicable. Se debe de recurrir entonces a emplear un modelo unidimensional de ventilación, que refleje la evolución de la masa de humo y de los parámetros que la definen a lo largo del túnel, en función del tiempo.

Se debe remarcar que el modelo unidimensional de ventilación también es posible aplicarlo a túneles sin ventilación forzada, si el autor del análisis de riesgo lo considera necesario, tal como se indicó en el apartado correspondiente.

En general, los modelos unidimensionales de cálculo permiten delimitar las zonas de riesgo para los usuarios a lo largo del túnel, en función del tiempo transcurrido desde el comienzo del incendio hasta la resolución de la situación de cada escenario.

No obstante, siempre que el autor del análisis de riesgo lo estime conveniente, se podrá complementar el análisis realizado con un modelo unidimensional de ventilación mediante el empleo de modelos de ventilación más complejos, como pueden ser los modelos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

tridimensionales. Con respecto a estos últimos cabe destacar que requieren importantes conocimientos de mecánica de fluidos, termodinámica, transferencia de calor, radiación y combustión, motivo por el cual será especialmente necesaria una alta experiencia en su manejo para emplear este tipo de modelos.

4.2.2.1 Comportamiento de los humos

Los modelos de una dimensión o unidimensionales resuelven las ecuaciones de la mecánica de fluidos en el supuesto de que los parámetros físicos (velocidad, temperatura, presión, concentración,…) sean constantes en la sección transversal. Estos modelos pueden presentar diferentes niveles de modelización.

La ventaja de los modelos unidimensionales respecto a los tridimensionales proviene de su sencillez de empleo, lo que permite estudiar numerosos escenarios y multiplicar las variantes, estudiándolos con un coste reducido.

Además, siempre proporcionan información valiosa para la comprensión del mecanismo del movimiento de aire y, asimismo son útiles para los túneles ventilados transversalmente. Permiten igualmente una buena evaluación de los efectos de la ventilación y su influencia en el desarrollo del incendio, estando especialmente bien adaptados al estudio de la ventilación longitudinal.

El principal objetivo es delimitar las zonas de riesgo para los usuarios en función de la concentración de contaminantes y la desestratificación del humo a lo largo del túnel.

Con respecto a las zonas de riesgo para los usuarios en el interior del túnel, una vez ocurrido el incendio, éstas dependerán del estado de estratificación de los humos, del grado de opacidad, de la toxicidad, de la temperatura a la que están expuestos los usuarios y de la radiación de calor recibida por los mismos.

El valor fundamental a reflejar por el modelo se corresponderá con la evolución de la opacidad del aire, en función del coeficiente de extinción (k), a lo largo del túnel y en función del tiempo. Se considera que k = 0’4 m^{-1} es un valor crítico de coeficiente de extinción para el humo en un túnel de carretera.

Por otro lado, dentro de los varios parámetros que sirven para definir el modelo unidimensional de ventilación se pueden tomar como referencia los valores siguientes referidos al coeficiente de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

fricción, al coeficiente de convección (máximo y mínimo), a la emisividad de la pared del túnel y al producto de la sección transversal media de un vehículo por su correspondiente coeficiente de arrastre, a falta de unos datos más específicos:

- Coeficiente de fricción: un valor corriente de este coeficiente es 0’020
- Coeficiente de convección mínimo y máximo: como valores aproximados se podrán tomar 5 W/(m2·K) y 50 W/(m2·K) respectivamente.
- Emisividad de la pared: se podrá tomar de forma general el valor de 0’7
- Σ·Cx: Σ es la sección transversal media y Cx es el coeficiente medio de arrastre para un tipo de vehículo determinado. Para vehículos ligeros se podrá tomar generalmente un valor de 0’9 m2 y para vehículos pesados 4’55 m^2

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Gráfico obtenido de la evolución del humo

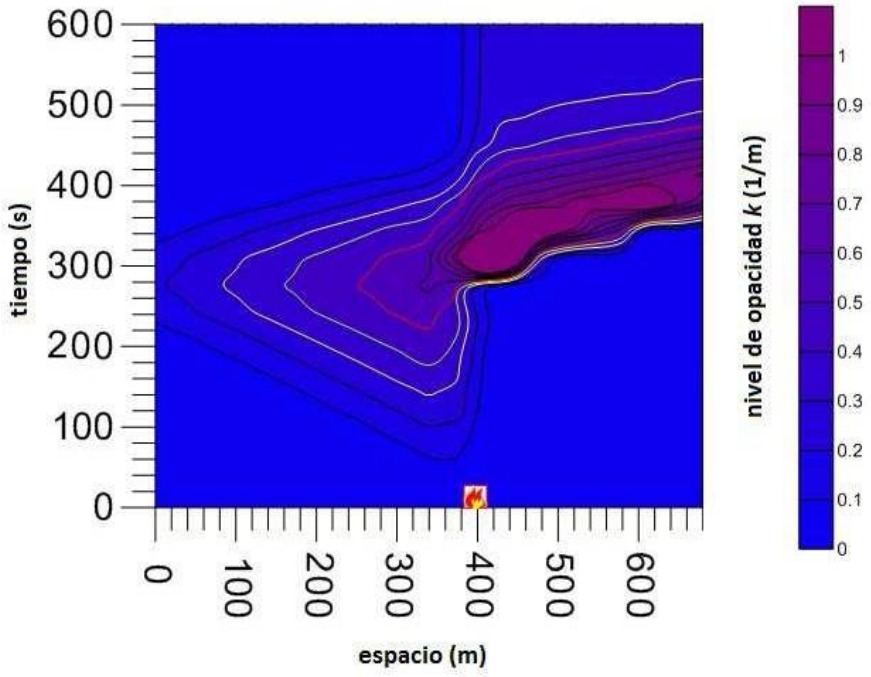


Ilustración 6. Gráfico de la evolución del humo

Línea de opacidad de k = 0'3 m^{-1}

Línea de opacidad de k = 0'4 m^{-1}

Línea de opacidad de k = 0'5 m^{-1}

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.2.2.2 Protocolos de ventilación

Según el tipo de túnel, la utilización de la ventilación para mantener las condiciones de visibilidad y supervivencia se realiza según diferentes estrategias:

- Túneles unidireccionales con ventilación longitudinal y sin congestión: el protocolo a seguir consiste en empujar el humo en el sentido de la circulación. De este modo los usuarios bloqueados por detrás del incendio pueden dirigirse a pie a las salidas de emergencia y, los usuarios situados en la zona desde la que se empujan los humos pueden escapar libremente en sus vehículos antes de que la parte del túnel en la que se encuentran sea invadida por los humos.
- Resto de casos: la estrategia es en principio, limitar la velocidad del flujo de aire de modo que se mantenga la estratificación de los humos. De este modo se permite a los usuarios bloqueados por el incendio escapar por las salidas de emergencia, bajo una capa de humos situados en la bóveda.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3 Modelo de Comportamiento de los Usuarios

Bien es sabido que la modelización de la conducta humana ante situaciones extremas, como es un incendio en el interior de un túnel, es un aspecto muy complejo de evaluar. En la actualidad, existen aplicaciones informáticas muy sofisticadas capaces de predecir la pauta que seguirán las personas ante un suceso como el mencionado anteriormente que tienen en cuenta multitud de variables.

En la presente Metodología, en un intento de simplificar la labor del cálculo del Índice de Riesgo por parte del analista, se propone un modelo matemático más simplificado. No obstante, **el autor del análisis de riesgo, siempre que lo estime conveniente, podrá emplear modelos más complejos que el mostrado, como complemento al análisis realizado siguiendo la presente metodología**.

Una vez determinados los usuarios afectados por el accidente y definida su trayectoria de auto-evacuación, el conteo de los usuarios que quedan atrapados, siendo considerados víctimas del escenario estudiado, se realizará siguiendo un procedimiento distinto según se haya usado el modelo tabulado o el unidimensional de ventilación en el análisis, tal y como se establece posteriormente.

4.3.1 Determinación Del Número De Usuarios Afectados

Para la determinación del promedio de personas que se ven afectadas por el accidente que se produce en el túnel, se propone la utilización de la formulación[3] establecida en el presente apartado. El número de personas afectadas será la suma de las que se encuentran en el túnel en el momento de producirse el accidente más las que acceden al mismo una vez se ha producido este, por desconocer lo ocurrido.

Para determinar el número de vehículos afectados será necesario en primer lugar obtener el número de vehículos presentes en el túnel, para lo que se contemplan dos fases:

---

[3] Las fórmulas propuestas en este apartado han sido definidas por el CETU en el fascículo 4 “Les éstudes specifiques des dangers (ESD)” (Los estudios específicos de riesgo) de la publicación “Guides des dossiers de sécurité des tunnels routiers” (Guías de los archivos de seguridad de los túneles de carretera)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

1. Régimen de circulación libre

Cuando el régimen circulatorio es en tráfico fluido, permanente y homogéneo, la distancia entre vehículos es:

$$d = \frac{V}{I}$$

Donde:

$d \equiv$ Distancia media entre los parachoques delanteros de dos vehículos consecutivos en movimiento (m).

$V \equiv$ Velocidad de circulación (m/s).

$I \equiv$ Intensidad de circulación por carril (veh/s).

Si se denomina L a la longitud del túnel, entonces el número de vehículos presentes en el túnel (N) será:

$$N = \frac{L}{d}$$

Y sustituyendo la distancia (d) por el cociente entre velocidad (V) y la intensidad de circulación (I):

$$N = \frac{L \times I}{V}$$

Donde:

$N \equiv$ Número de vehículos presentes en túnel por carril (veh/carril).

$L \equiv$ Longitud del túnel (m).

$I \equiv$ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

$V \equiv$ Velocidad de circulación (m/s).

2. Congestión

Cuando se produce un incendio, se supone que la circulación de los vehículos se detiene completamente desde el instante t=0, en el punto donde se ha producido el incendio, formándose una cola de vehículos parados. La velocidad con la que crece hacia aguas arriba del incendio la cola de los vehículos parados a partir de este punto, denominada velocidad de crecimiento de la cola de vehículos (VC), responde a la siguiente expresión:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$V_c = \frac{I}{\frac{1}{d_o} - \frac{I}{V}}$$

Donde:

$V_C \equiv$ Velocidad de crecimiento o remonte de la cola de vehículos parados (m/s).

$d_0 \equiv$ Interdistancia entre vehículos detenidos (m). Se adoptará, a falta de datos más precisos, la longitud del vehículo promedio (8 metros) más dos metros.

$I \equiv$ Intensidad por carril de la circulación (veh/s/carril).

$V \equiv$ Velocidad de circulación (m/s).

La congestión irá remontando hasta la entrada del túnel en un tiempo (t), que se comparará con el tiempo necesario para cerrar el túnel de acuerdo con los criterios definidos posteriormente.

$$t = \frac{L^*}{V_c}$$

Donde:

$t \equiv$ Tiempo de remonte de la cola de vehículos hasta la boca de entrada (s).

$L^* \equiv$ Longitud de cola de vehículos parados que se ha formado desde el foco del incendio hacia la entrada del túnel hasta el momento en que dejan de entrar vehículos en el túnel (m).

Tasa de ocupación de los vehículos

A partir de la formulación anterior, una vez determinado el número de vehículos atrapados en el túnel por carril (N), para obtener el número de personas en el túnel se deberá tener en cuenta la tasa de ocupación de cada tipo de vehículo y la proporción de vehículos de este tipo en la composición del tráfico que circula por el túnel. El reparto de los vehículos afectados entre ligeros y pesados se podrá realizar teniendo en cuenta el reparto en el tráfico que circula por la carretera o, ante falta de datos o un porcentaje de pesados no muy elevado, considerando todos los vehículos atrapados como ligeros, salvo los que provocan el accidente en cada escenario. Como regla general y a falta de datos más precisos del túnel analizado, no se consideran más autobuses atrapados en el túnel que el definido en el escenario 3.

Para calcular el número de personas presentes en el túnel por carril se adoptarán las siguientes

cve: BOB-2025a082-(I-327)

tasas de ocupación:

TIPO DE VEHÍCULO	TASA DE OCUPACIÓN (personas/vehículo)
Vehículo ligero	1'5
Vehículo pesado	1
Autocar/autobús	30

Tabla 18. Tasa de ocupación de vehículos

Criterio de cierre del acceso de vehículos al interior del túnel

Por lo general, aunque se haya producido un accidente en el interior del túnel, los usuarios seguirán entrando en él ante la ausencia de señales ópticas de prohibición (existencia de semáforos en rojo) o de impedimentos físicos a su desplazamiento (existencia de barreras).

De acuerdo con lo anterior, con objeto de establecer un modelo de comportamiento del conjunto de los usuarios de la vía se establece que los vehículos siguen entrando en el túnel hasta que sucede uno de los siguientes hechos:

- El túnel está saturado de vehículos y la cola rebase la boca de entrada, siendo por lo tanto imposible franquearla,
- El humo del incendio producido en su interior comience a salir por la boca de entrada,
- Existan semáforos o barreras que limiten el paso al interior del túnel.

4.3.2 Proceso de Evacuación de Los Usuarios

Para la modelización del desplazamiento de los usuarios que abandonan sus vehículos y se dirigen a pie a las salidas de emergencia o las bocas del túnel, se realizan las siguientes hipótesis:

- Tiempo de reacción de los usuarios del vehículo accidentado o averiado, en el que se produce el incendio, hasta empezar a evacuar: 90 s para los usuarios de vehículos ligeros y pesados. En caso de autobuses, 90s para el primer ocupante que logra evacuarlo y 300 s para el último ocupante que lo evacúa (el resto de usuarios se interpolan entre ambos valores).
- Tiempo de reacción de los usuarios de los restantes vehículos: 15 s.
- Velocidad de auto-evacuación de cada usuario:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Con visibilidad clara Ve1 (humo estratificado) en función de la pendiente:

  1,0 m/s para pendiente entre 0 y 3%.

  0,90 m/s para pendiente entre 3 y 5%.

  0,80 m/s para pendiente superior al 5% (en rampa). Este valor podrá incrementarse a 0,9 o 1 m/s según el equipamiento disponible

- Con visibilidad reducida Ve2 (humo desestratificado): entre 0,3 y 0,6 m/s según equipamiento disponible. En este caso no afecta la pendiente puesto que tiene mucha más influencia en la velocidad el hecho de que el humo ya está desestratificado y por tanto se reduce de forma importante la visibilidad.

En el modelo de comportamiento de los usuarios se considera en primer lugar que, como se ha comentado, los usuarios de los vehículos implicados en el accidente tardan 90 segundos en reaccionar y empezar a evacuar el túnel. A continuación, los siguientes vehículos entran en el túnel se detendrán cuando lleguen a la cola de vehículos detenidos o cuando se crucen con un usuario del vehículo precedente evacuando el túnel, lo que ocurra primero. Cada vehículo se detendrá a distancia del precedente (usuario o vehículo) del largo medio de un vehículo (8 m) más 2 metros de separación, 10 metros en total. Finalmente, los usuarios del vehículo tardarán un máximo de 15 segundos en iniciar la evacuación del túnel.

Los túneles que dispongan de un sistema de ventilación forzada, se entiende que éste permite mantener la estratificación del humo durante la evacuación de los usuarios o bien puede empujar el humo en el sentido en que no hay usuarios afectados (en túneles unidireccionales). Por ello, con carácter general y siempre que se pueda garantizar el adecuado funcionamiento de la ventilación forzada, se considerará en estos casos que se mantiene la velocidad de auto-evacuación de los usuarios en el valor correspondiente a humo estratificado.

En túneles unidireccionales, será más peligroso cuando tengan pendiente descendente en sentido del tráfico y/o condiciones atmosféricas que favorezcan el flujo del humo en sentido contrario al de circulación. Puesto que, en este caso, el humo avanzará hacia donde los vehículos están retenidos y los usuarios evacuarán el túnel hacia la boca de entrada, al igual que el humo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Este será el caso más habitual a estudiar en túneles unidireccionales con más de un tubo, puesto que el tubo a estudiar será el que presente estas características (pendiente descendente y corriente longitudinal ascendente por tiro natural). En túneles bidireccionales, al haber vehículos parados a ambos lados del incendio, será peligroso tanto si el humo avanza en un sentido como si avanza en el contrario, debiendo analizar además el caso de dividirse el humo en dos frentes avanzando cada uno en un sentido.

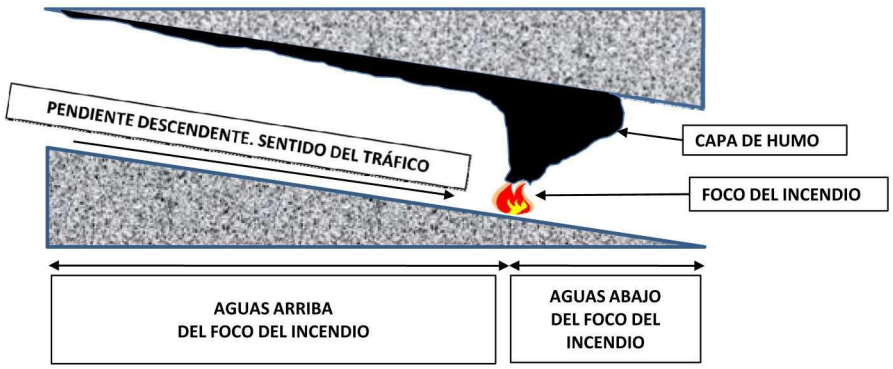


Ilustración 7. Representación esquemática del foco del incendio.

Trayectorias de evacuación de los usuarios

La representación de las trayectorias de evacuación de los usuarios se realiza en un plano espacio-tiempo. Cada trayectoria de evacuación se representa por un máximo de tres tramos rectos, definidos por tanto por cuatro puntos de coordenadas espacio- tiempo. Los tres tramos rectos se corresponden con:

Tramo 1: Punto 1 a 2. Tiempo de reacción del usuario
Tramo 2: Punto 2 a 3. Evacuación del túnel con humo estratificado
Tramo 3: Punto 3 a 4. Evacuación del túnel con humo desestratificado

Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Punto	Tiempo (s)	Espacio (m)
1	$T_0^1 = 0$	$S_0^1 = L_i$
2	$T_0^2 = t_{0r}$	$S_0^2 = L_i$
3	$T_0^3 = Minimo\left(t_d : T_0^2 + \frac{S_0^2}{V_{e1}}\right)$	$S_0^3 = S_0^2 - V_{e1} \times (T_0^3 - T_0^2)$
4	$T_0^4 = T_0^3 + \frac{S_0^3}{V_{e2}}$	$S_0^4 = 0$

Tabla 19. Ecuaciones de la trayectoria de auto-evacuación de usuarios implicados en el accidente

Siendo:

$T_n^i \equiv$ Tiempo del punto i del usuario n (s)

$S_n^i \equiv$ Espacio del punto i del usuario n (s)

Con: $i \equiv$ Número de punto de la trayectoria de evacuación ($1 \leq i \leq 4$)

$n \equiv$ número de vehículo ($n=0 \rightarrow$ vehículos implicados en el accidente)

$L_i \equiv$ Distancia desde la salida (de emergencia o boca) tomada por los usuarios hasta el foco del incendio (m)

$t_{0r} \equiv$ Tiempo de reacción del usuario 0 (s). Es el tiempo que transcurre desde que el usuario tiene conocimiento de que se ha producido el accidente hasta que el usuario comienza la auto-evacuación del túnel.

$t_d \equiv$ Tiempo de inicio de la desestratificación del humo (s)

$V_{e1} \equiv$ Velocidad de auto-evacuación de los usuarios con visibilidad clara, es decir, humo estratificado (m/s)

$V_{e2} \equiv$ Velocidad de auto-evacuación de los usuarios con visibilidad reducida, es decir, humo desestratificado (m/s)

- Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente ($n \geq 1$) Se analizan a continuación las ecuaciones punto a punto:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Punto 1

Los vehículos que van llegando al túnel para una intensidad I_s (en vehículos/segundo) tienen un retraso en tiempo, igual a n/I_s.

Si restamos además el tiempo empleado en recorrer la longitud de n vehículos a la velocidad de circulación por la carretera (V en m/s), y llamamos D_{max} a la densidad máxima (en vehículos/metro) que a su vez es la inversa del doble de la longitud media de un vehículo, se obtiene:

$$T_n^l = \frac{n}{I_S} - \frac{n}{D_{max} \times V}$$

Por otro lado, si se divide la longitud total de la cola de vehículos (n/D_{max}) entre este tiempo se obtiene la velocidad de formación de cola (V_c):

$$V_c = \frac{\frac{n}{D_{max}}}{\frac{n}{I_s} - \frac{n}{D_{max} \times V}} = \frac{I_s}{D_{max} - \frac{I_s}{V}}$$

Para la determinación de la coordenada espacio del vehículo n-ésimo, se debe tener en cuenta que el vehículo se detendrá a $1/D_{max}$ del vehículo precedente, si llega a la cola de vehículos, o a esa misma distancia del primer usuario que vea evacuando el túnel. Surgen así tres posibles ecuaciones para definir las coordenadas del punto 1 según la relación del tiempo de llegada del vehículo n-ésimo (T_n^1) con el tiempo de inicio de la auto-evacuación de usuario (n-1)-ésimo (T_{n-1}^2) y con el tiempo de desestratificación del humo (t_d):

Si $T_n^1 \leq T_{n-1}^2 \rightarrow$ El vehículo llega a la cola antes de que los usuarios del vehículo precedente comiencen la auto-evacuación:

$$S_n^1 = S_{n-1}^1 - \frac{1}{D_{max}}$$

Si $T_{n-1}^2 < T_n^1 \leq t_d \rightarrow$El vehículo no llega a la cola, pues antes se encuentra con los usuarios del vehículo precedente evacuando con el humo aún estratificado:

$$S_n^1 = S_{n-1}^1 - V_{e1} \times (T_n^1 - T_{n-1}^2) - \frac{1}{D_{max}}$$

Si $T_n^1 > t_d \rightarrow$El vehículo no llega a la cola, pues antes se encuentra con los usuarios del vehículo precedente evacuando con el humo desestratificado:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$S_n^1 = S_{n-1}^1 - V_{e1} \times máximo\ \left[0;\ \left(t_d - T_{n-1}^2\right)\right] - V_{e2} \times \left(T_n^1 - t_d\right) - \frac{1}{D_{max}}$$

La condición de máximo asegura que este sumando se anule en caso de que $t_d < T_{n-1}^2$

Punto 2

El tramo entre los puntos 1 y 2 es el tiempo que los usuarios tardan en salir de vehículo y comenzar la auto-evacuación del túnel, por lo que el punto 2 tiene coordenada espacio igual que el punto 1 y un retraso en el tiempo respecto al anterior igual al tiempo de reacción (t_r) hasta iniciar la evacuación del túnel:

$$S_n^2 = S_n^1$$

$$T_n^2 = T_n^1 + t_r$$

Punto 3

Este punto marca el corte de la trayectoria de los usuarios con el tiempo en que se produce la desestratificación de los humos, por lo que caben dos posibilidades:

Si $T_n^1 < t_d \rightarrow$ Se inicia la auto-evacuación hasta de desestratificarse el humo:

$$S_n^3 = S_N^2 - V_{e1} \times \left(t_d - T_n^2\right)$$

$$T_n^3 = t_d$$

En caso contrario:

$$S_n^3 = S_n^2$$

$$T_n^3 = T_n^2$$

Punto 4

Este punto define el corte de la trayectoria de auto-evacuación con la salida de emergencia, se ha considerado que los usuarios salen por la boca de entrada, por lo que la coordenada espacio es nula:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

$$S_n^4 = 0$$

$$T_n^4 = T_n^3 + \frac{S_n^3}{V_{e2}}$$

A partir de esta formulación definida se obtendría el gráfico con las trayectorias de auto-evacuación que, en el caso particular de un túnel unidireccional de 500 m de longitud, quedaría de la siguiente forma:

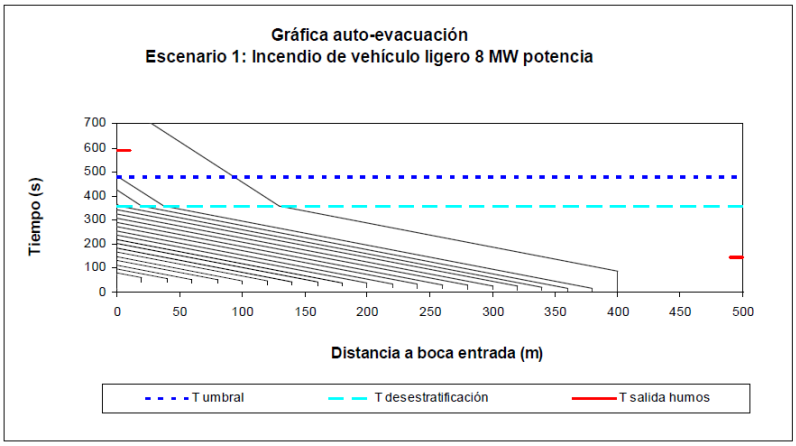


Ilustración 8. Gráfico de auto-evacuación de un túnel unidireccional

En el caso de un túnel bidireccional quedarían usuarios atrapados a ambos lados del foco del incendio, evacuando unos hacia aguas arriba del incendio y otros hacia aguas abajo del mismo, como se muestra en el siguiente gráfico.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

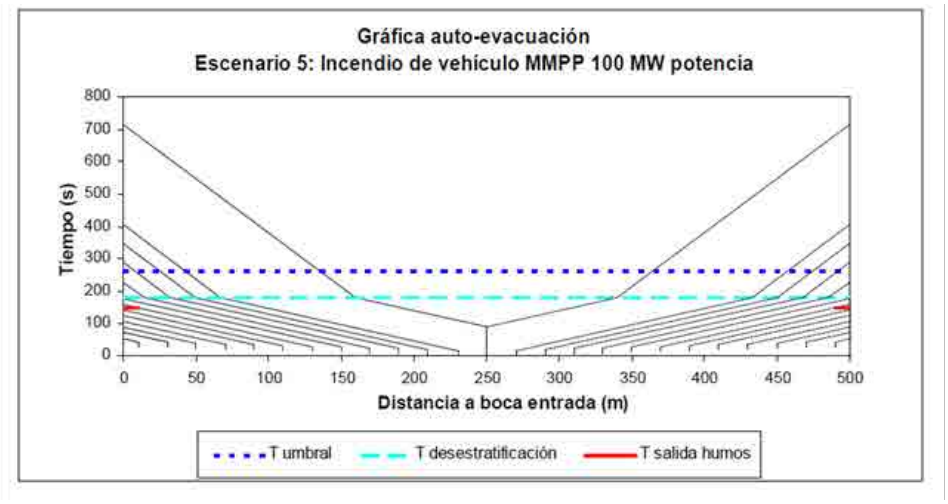


Ilustración 9. Gráfico de auto-evacuación de un túnel bidireccional

En ambos gráficos, cada una de las trayectorias de auto-evacuación representa a la primera persona que evacua un vehículo.

4.3.3 Determinación del Número Inicial de Usuarios Afectados

Para determinar el número de vehículos afectados, que posteriormente se utilizará junto con las tasas de ocupación de los vehículos para obtener el número de usuarios afectados, se pueden dar dos situaciones:

1. En el túnel se da un régimen de circulación libre hasta que se produce el incidente que ocasiona el incendio, momento a partir del cual se inicia la formación de una cola de vehículos, que dará lugar a una congestión que irá creciendo hacia la entrada del túnel. En este caso el criterio por el cual los vehículos van entrando en el túnel se basa en cuatro hechos:

    - La formación de la cola de vehículos hacia la entrada del túnel, de forma que dejarán de entrar más vehículos en su interior a partir del momento en que esta cola rebase la boca de entrada.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- El desplazamiento del humo por el interior del túnel, de forma que dejarán de entrar más vehículos a partir del momento en que el humo comience a salir por la boca de entrada.
- La existencia de semáforos y/o barreras en el acceso al túnel. Obviamente estos equipamientos pueden limitar o impedir la entrada de vehículos al túnel.
- La llegada de un usuario hasta la boca de entrada, de forma que dejarán de entrar más vehículos al interior del túnel a partir del momento en que un usuario alcance en su huida hacia el exterior la boca de entrada.

2. En aquellos túneles urbanos donde se produzcan congestiones recurrentes (y aquellos interurbanos donde también se dé el caso), se puede plantear una situación en la que el incendio se produce en un flujo congestionado. Es decir, en el momento de producirse el incendio (no debido a un accidente, sino a una avería propia de un vehículo, por ejemplo), el túnel se encuentra congestionado, con todos los vehículos parados, en toda la longitud desde su punto de ocurrencia hasta la boca de entrada.

   De esta forma, se produce la evacuación de las personas del primer vehículo no implicado en el incendio y más próximo a él, buscando la salida de emergencia o boca del túnel más próxima, según los recorridos de evacuación debidamente señalizados.

   La salida de los usuarios de sus vehículos y el comienzo de su proceso de evacuación puede deberse a uno de estos dos posibles motivos:

   - La llegada hasta el vehículo de los usuarios de vehículos precedentes, en su huida hacia la boca de entrada
   - El alcance, por parte del humo, del vehículo

   Según el DFST «se considerará que el túnel está congestionado cuando la media de las velocidades instantáneas de los vehículos sea inferior a 30 km/h». En base a esta normativa, una variante de esta situación es considerar que se produce congestión cuando se detecta una velocidad de la circulación en el interior del túnel inferior a un determinado umbral bajo. Con esta consideración, se puede realizar el cálculo del número de vehículos atrapados de la

cve: BOB-2025a082-(I-327)

misma forma que se hace en la situación 1, en régimen de circulación libre con esta velocidad umbral, y la posterior formación de la cola de vehículos.

Evidentemente, esta situación 2 es más desfavorable a la situación 1, desde el punto de vista del número de vehículos atrapados.

4.3.3.1 Cuando se emplea el modelo tabulado de ventilación

En este caso se considera que una persona queda atrapada en el túnel, siendo por tanto víctima del incendio correspondiente, cuando su trayectoria de huida rebasa el tiempo adicional de evacuación, tras haberse iniciado la desestratificación de los humos, que aparece en las gráficas anteriores como tiempo umbral.

El recuento de personas se hará teniendo en cuenta los datos de composición del tráfico y de ocupación de vehículos considerados anteriormente, mediante la siguiente expresión:

$$P = veh_{total} \times \left(1 - \frac{\%VP}{100}\right) \times Tasa_{VL} + veh_{total} \times \frac{\%VP}{100} \times Tasa_{VP}$$

Siendo:

$P \equiv$ Número de personas atrapadas por carril en el túnel.

$veh_{TOTAL} \equiv$ Número total de vehículos atrapados por carril en el túnel.

$\%VP \equiv$ Porcentaje de vehículos pesados.

$Tasa_{VL} \equiv$ Tasa de ocupación de vehículos ligeros.

$Tasa_{VP} \equiv$ Tasa de ocupación de vehículos pesados.

Al número de víctimas determinado con esta fórmula, habrá que añadir en su caso las víctimas de los vehículos implicados en el accidente según el escenario considerado.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.3.3.2 Cuando se emplea el modelo unidimensional de ventilación

El criterio que determina el número de usuarios que no pueden completar su evacuación en condiciones de seguridad, al emplear el modelo unidimensional de ventilación, se basa fundamentalmente en el establecimiento de un nivel de opacidad o coeficiente de extinción (k) crítico para el humo de un incendio en un túnel, que una vez alcanzado da lugar a que el usuario se vea atrapado por falta de visibilidad.

Se considera que, todo usuario que en su huida se encuentre en un ambiente con un nivel de opacidad de humo dado por un coeficiente de extinción k > 0'4 m^{-1}, no podrá continuar la evacuación y quedará atrapado en el túnel. Esto es debido a que, para un valor de k = 0'4 m^{-1} se obtienen unas distancias de visibilidad entre 5 y 15 m, valor que se considera crítico para poder orientarse en el interior de un túnel cuyas distancias entre hastiales son de este orden.

Este valor se basa en la siguiente argumentación (Fujimura):

La opacidad de los humos en un túnel de carreteras puede establecerse a través de la siguiente expresión:

$$k = 83.000 \times \frac{C_{CO_2}}{T_g}$$

Donde:

$k \equiv$ Coeficiente de extinción o nivel de opacidad (m^{-1}).

$Tg \equiv$ Temperatura de la mezcla gaseosa en un punto del túnel (K).

$C_{CO2} \equiv$ Fracción volumétrica de CO_2 en el mismo punto (m^3de CO_2 / m^3de mezcla gaseosa).

Por otra parte, la distancia de visibilidad (D) puede estimarse usando el coeficiente de extinción de la mezcla aire-humo como:

$$D = \frac{C}{k} \text{ (se considera el caso de humos no irritantes)}$$

Donde C es una constante dependiente de qué tipo de objeto es el que hay que ver, que toma por valores 2 si se trata de un objeto reflectante ó 6 para un letrero luminoso.

Por tanto, al gráfico de evolución de los humos, obtenido con el modelo unidimensional de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

ventilación, habrá que añadir las trayectorias de auto-evacuación, determinadas con el modelo de comportamiento de los usuarios, y sumar el número de trayectoria que interceptan la isolínea $k = 0'4$ para cada uno de los escenarios.

Una vez determinado el número de líneas interceptadas, puesto que cada una representa a todos los usuarios de un vehículo, habrá que obtener el número de víctimas empleando la misma expresión del apartado anterior y sumando, en su caso, las víctimas de los vehículos implicados en el accidente.

4.3.4 Determinación del Número Total de Usuarios Afectados

Sumando a los usuarios inicialmente atrapados en cada uno de los escenarios, el número de PMR atrapados obtenido, se obtiene el número total de usuarios afectados en cada uno de los escenarios.

No obstante, se ha comprobado en los cálculos que este valor no tiene un impacto relevante en la determinación de las personas atrapadas.

4.4 Criterios de Aceptación

Una vez aplicado el Método General de análisis de riesgo descrito en los apartados anteriores se obtendrá el **Índice de Riesgo** del túnel analizado que se deberá comprobar con los criterios de aceptación que se definen a continuación.

Se fijan como criterios para calificar el túnel como seguro los siguientes:

- **Túneles seguros**: serán aquellos que presenten un valor del índice de riesgo muy próximo a la unidad. Se considerarán aceptables todos los túneles que presenten **un valor del índice de riesgo inferior a 1'15.**
- **Túneles con posibles restricciones:** serán aquellos que presenten **un valor del índice de riesgo comprendido entre 1'15 y 1'50**.

  Este caso se corresponde con túneles en los que el riesgo es compatible con mantenerlos en servicio durante un cierto periodo de tiempo, a determinar individualmente por la Autoridad Administrativa. Será necesario estudiar las medidas complementarias aplicables para incrementar la seguridad en el túnel o en sus

cve: BOB-2025a082-(I-327)

inmediaciones, que se pueden aplicar a medio plazo. En cada caso, será la Autoridad Administrativa la que deba aprobar las medidas a adoptar.

- **Túneles con peligrosidad elevada**: serán aquellos que presenten un valor del **índice de riesgo superior a 1'50 y no se considerarán seguros.**

Estos túneles requerirán la adopción de medidas complementarias para aumentar su seguridad y poder mantenerse o ponerse en servicio, según su caso. En cada caso, será la Autoridad Administrativa la que deba aprobar las medidas a adoptar.

Una vez realizado el análisis de riesgo mediante el Método General, deberá estudiarse si dicho estudio debe ser complementado con un análisis de riesgo específico para considerar la circulación por el túnel de vehículos de mercancías peligrosas, para lo cual se empleará el Método de Mercancías Peligrosas propuesto en el apartado 5 de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de la Red de Carreteras del Estado.

4.5 Cuadros De Parámetros, Factores y Ecuaciones

4.5.1 Ecuaciones para el Cálculo del Índice de Riesgo

- Coeficiente de Riesgo del túnel virtual (CRTV)

$$CR_{TV} = F_{TV} \cdot \sum (Nº\ fallecidos \cdot prob.porcentual\ del\ escenario\ Ei)$$

- Coeficiente de Riesgo del túnel real (CRTR)

$$CR_{TR} = F_{TR} \cdot \sum (Nº\ fallecidos \cdot prob.porcentual\ del\ escenario\ Ei)$$

Siendo:

$$F_{TV} = F_g \cdot F_{eq} \cdot F_{ex}$$

$$F_{TR} = F_g \cdot F_{eq} \cdot F_{ex}$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Donde:

- F_g ≡ Factor de ponderación por criterios de diseño geométrico del túnel

$$F_g = F_{g_{CAR}} \cdot F_{g_{ARC}} \cdot F_{g_{APA}} \cdot F_{g_{ACE}} \cdot F_{g_{PAV}} \cdot F_{g_{PTE}} \cdot F_{g_{RIG}}$$

Siendo:

Fg_{CAR} ≡ Factor de anchura de carriles

Fg_{ARC} ≡ Factor de anchura del arcén derecho

Fg_{APA} ≡ Factor de apartaderos

Fg_{ACE} ≡ Factor de aceras

Fg_{PAV} ≡ Factor de tipo de pavimento

Fg_{PTE} ≡ Factor de pendiente longitudinal

Fg_{RIG} ≡ Factor de existencia de un revestimiento rígido (estructural) y barreras

- F_{eq} ≡ Factor de ponderación por criterios del equipamiento del túnel

$$F_{eq} = F_{eq_{SSEE}} \cdot F_{eq_{CC}} \cdot F_{eq_{OTR}}$$

Siendo:

Feq_{SSEE} ≡ Factor de proximidad de los servicios de emergencia

Feq_{CC} ≡ Factor de existencia de centro de control

Feq_{OTR} ≡ Factor que engloba otras mejoras en la dotación sobre lo exigido en el DFST

- F_{ex} ≡ Factor de ponderación por criterios de la explotación del túnel

$$F_{ex} = F_{ex_{AVP}} \cdot F_{ex_{RAD}} \cdot F_{ex_{VLIM}}$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Siendo:

Fex_{AVP} ≡ factor de permisividad o no de adelantamiento de vehículos pesados en túneles con más de un carril por sentido

Fex_{RAD} ≡ factor de existencia de sistemas de control de velocidad (radares)

Fex_{VLIM} ≡ factor de velocidad

- Índice de Riesgo del túnel (IR)

$$IR = \frac{CR_{TR}}{CR_{TV}}$$

4.5.2 Parámetros para el Cálculo De Los Coeficientes De Riesgo

- Probabilidades porcentuales de ocurrencia

% vehículos Pesados	5%	10%	15%	20%	30%	40%
Escenario	**Probabilidades de ocurrencia (en tanto por uno)**					
E1	0.85	0.76	0.67	0.58	0.45	0.36
E2	0.11	0.18	0.25	0.31	0.42	0.48
E3	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
E4	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04
E5	0.01	0.03	0.05	0.07	0.08	0.10

Tabla 20. Valores de referencia de las probabilidades porcentuales de ocurrencia.

Factor corrector de la probabilidad porcentual de ocurrencia por la intensidad de tráfico que circula por la carretera:

$$F_{IMD} = \left(\frac{IMD_C}{2.000}\right)^a$$

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Siendo:

– Carreteras convencionales: a = 0´7277
– Autopistas y autovías: a = 0´9291

- Factores de ponderación

FACTORES DE PONDERACIÓN GEOMÉTRICOS	
Anchura de carril (m)	**Factor de ponderación (F_{gCAR})**
> 3,60	1,03
3,40 – 3,60	1,00
3,20	1,03
3,00	1,08
< 3,00	1,15
Anchura de arcén derecho (m)	**Factor de ponderación (F_{gARC})**
≥ 2,50	0,90
1,00	1,00
< 1,00	1,05
Existencia de apartaderos cumpliendo el DFST (en los túneles que sea necesario)	**Factor de apartaderos (F_{gAPA})**
SI	1,00
NO	1,05
Anchura de aceras (m)	**Factor de aceras (F_{gACE})**
≥ 0,75	1,00
< 0,75	1,05
Sin aceras	1,10
Tipo de pavimento	**Factor de pavimento (F_{gPAV})**
No drenante	1,00
Drenante	1,05
Pendiente del túnel	**Factor de pendiente longitudinal (F_{gPTE})**
0%	0,955

cve: BOB-2025a082-(I-327)

FACTORES DE PONDERACIÓN GEOMÉTRICOS	
< 3%	0,955 + (0,015 * pendiente(%))
3%	1,00
> 3%	1,00 + (0,02 * exceso de pendiente sobre el 3%)
Tipo de revestimiento rígido del túnel y barreras	**Factor estructural (F_{gEST})**
Túnel sin revestimiento rígido, sin instrumentación y sin barreras	1,06
Túnel sin revestimiento rígido, instrumentado y sin barreras	1,04
Túnel sin revestimiento rígido, instrumentado y con barreras	1,02
Túnel revestido y con barreras	1

Tabla 21. Factores de ponderación geométricos

FACTORES DE PONDERACIÓN POR EQUIPAMIENTO	
Tiempo de llegada de los servicios de emergencia tras un incidente	**Factor de servicios de emergencia (F_{eqSSEE})**
≤ 5 minutos	0,85
5 < T_{SSEE} ≤ 10 minutos	1,00
10 < T_{SSEE} ≤ 15 minutos	1,15
T_{SSEE} > 15 minutos	1,25
Existencia de centro de control permanente y vigilado con control de accesos	**Factor de centro de control (F_{eqCC})**
SI	0,90
NO	1,00

Tabla 22. Factores de ponderación por equipamiento

cve: BOB-2025a082-(I-327)

FACTORES DE PONDERACIÓN POR EXPLOTACIÓN DEL TÚNEL		
Restricción de adelantamiento a VP	**% VP**	**Factor de adelantamiento de VP (F_{exAVP})**
Sin restricción	Cualquier %	1,00
Con restricción	5 %	0,97
Con restricción	10 %	0,93
Con restricción	15 %	0,90
Con restricción	20 % o más	0,87
Existencia de radar en los accesos del túnel		**Factor de radar (F_{exRAD})**
NO		1,00
SI		0,92
Factor de velocidad (F_{exVLIM})		
$F_{ex_{VLIM}} = 1 - 0.45 \frac{V_{DISEÑO} - V_{LIMITE}}{V_{DISEÑO}}$		

Tabla 23. Factores de ponderación por explotación del túnel

Siendo:

$V_{DISEÑO}$: el menor de los valores entre el límite de velocidad que indica el DFST para el tipo de túnel y la velocidad de diseño del túnel

V_{LIMITE}: límite de velocidad del túnel

- Criterios modificadores adicionales del Coeficiente de Riesgo

	CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES	
Equipamiento	**EXISTE**	**NO EXISTE**
Drenaje de líquidos tóxicos	Se establece una reducción del número de personas atrapadas en los escenarios E2, E4 y E5 del 5%, es decir, se multiplicará por un factor reductor de 0,95.	No se hacen consideraciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES	
Equipamiento	**EXISTE**	**NO EXISTE**
Salidas de emergencia	Ver epígrafe "Posicionamiento del incendio en el túnel" del apartado 4.1.1.3	Ver epígrafe "Posicionamiento del incendio en el túnel" del apartado 4.1.1.3
Iluminación de emergencia y de evacuación	La velocidad de auto-evacuación será de 0,5 m/s en zonas con humo desestratificado (siempre que el túnel disponga además de SAI y suministro alternativo de electricidad).	La velocidad de auto-evacuación se reducirá a 0,3 m/s en zonas con humo desestratificado.
Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)	Se pondera conjuntamente con la iluminación de seguridad y emergencia y con el suministro alternativo de electricidad.	Ídem
Suministro alternativo de electricidad	Se pondera conjuntamente con la iluminación de seguridad y emergencia y con el SAI	Ídem
Puestos de emergencia	Para E1 (incendio de 8MW): reducción de un 10% del número de personas atrapadas, es decir, se multiplicará por un factor reductor de valor 0,9. Para E3 (incendio de 15MW): reducción de un 5% del número de personas atrapadas, es decir, se multiplicará por un factor reductor de valor 0,95. Para E2, E4 y E5 no influye.	No se hacen consideraciones.
Megafonía	Reducción de hasta 5 segundos (20-40% por megafonía en salidas de emergencia y galerías, resto por megafonía en interior de túnel) en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el	No se hacen consideraciones.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	CRITERIOS MODIFICADORES ADICIONALES	
Equipamiento	**EXISTE**	**NO EXISTE**
	túnel tiene además CC con CCTV y DAI.	
Señalización dinámica: PMV, ASF, CLV	Reducción de hasta 8 segundos para túneles con paneles en su interior y hasta 4 segundos para túneles con paneles próximos a sus bocas en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el túnel tiene además CC con CCTV y DAI.	No se hacen consideraciones
Señalización de salidas y equipamientos de emergencia	Incremento en 0,1 m/s la velocidad de auto-evacuación de los usuarios en zonas con humo desestratificado.	No se hacen consideraciones
Equipos para cierre de túnel	– Semáforos + ASF+barreras: No operativo (salvo programación) – Semáforos+ASF+barreras+CC: 4 min – Semáforos+ASF+barreras+CC+ DAI: 3 min	No se hacen consideraciones
Mensajería de emergencia por canales de radio para usuarios	Reducción de 5s en el tiempo de reacción de todos los usuarios tras el/los accidentado/s si el túnel cuenta además con CC con CCTV y DAI.	No se hacen consideraciones
Explotación	Nº de operadores: si se dispone de CC con 2 o más operadores de sala el tiempo de cierre de túnel se reducirá en 30s. Protocolos automatizados: si se dispone de ellos se reducirá en 30s el tiempo de cierre del túnel.	Simulacro: en túneles de tipo I si no se ha realizado, los tiempos de llegada de servicios de emergencia se verán incrementados en 2 min.

Tabla 24. Resumen de criterios modificadores adicionales

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.3 Parámetros para la Modelización del Movimiento del Humo

	ESCENARIOS DE INCENDIO				
PARÁMETROS	**E1: Potencia de incendio 8MW**	**E2: Potencia de incendio 30MW**	**E3: Potencia de incendio 15MW**	**E4: Potencia de incendio 30MW**	**E5: Potencia de incendio 100MW**
	Distribución del caudal: 50%. Sección tipo: 70 m^2				
Caudal de humo producido (m^3/s)	20-30	60-90	50	90	100-150
Velocidad desplazamiento de cada frente (m/s)	0’48-1’07	1’07-1’84	1’19-1’79	1’61-1’84	1’43-2’14
	Distribución del caudal: 100%. Sección tipo: 70 m^2				
Caudal de humo producido (m^3/s)	20-30	60-90	50	90	100-150
Velocidad desplazamiento de cada frente (m/s)	0’76-1’71	1’79-3’06	1’90-2’86	2’68-3’06	2’86-4’5
	Tiempo de desestratificación de humos				
Tiempo de inicio desestratificación	300	247	260	247	77
Tiempo adicional (s)	60	60	60	60	45
Tiempo hasta desestratificación completa (s)	360	307	320	307	122

Tabla 25. Parámetros para la modelización del movimiento del humo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

4.5.4 Ecuaciones para el Cálculo de las Trayectorias De Auto- Evacuación de los Usuarios

Usuarios de los vehículos implicados en el accidente (n=0)

Punto	Tiempo (s)	Espacio (m)
1	$T_0^1 = 0$	$S_0^1 = L_i$
2	$T_0^2 = t_{0r}$	$S_0^2 = L_i$
3	$T_0^3 = Minimo\left(t_d : T_0^2 + \frac{S_0^2}{V_{e1}}\right)$	$S_0^3 = S_0^2 - V_{e1} \times \left(T_0^3 - T_0^2\right)$
4	$T_0^4 = T_0^3 + \frac{S_0^3}{V_{e2}}$	$S_0^4 = 0$

Tabla 26. Ecuaciones de la trayectoria de auto-evacuación de usuarios implicados en el accidente

Siendo:

$T_n^i \equiv Tiempo\ del\ punto\ i\ del\ usuario\ n\ (s)$

$S_n^i \equiv Espacio\ del\ punto\ i\ del\ usuario\ n\ (m)$

Con: $i \equiv$ Número de punto de la trayectoria de evacuación ($1 \leq i \leq 4$)

$n \equiv$ número de vehículo ($n=0 \rightarrow$ vehículos implicados en el accidente)

$L_i \equiv$ Distancia desde la salida (de emergencia o boca) tomada por los usuarios hasta el foco del incendio (m)

$t_{0r} \equiv$ Tiempo de reacción del usuario 0 (s). Es el tiempo que transcurre desde que el usuario tiene conocimiento de que se ha producido el accidente hasta que el usuario comienza la auto-evacuación del túnel.

$t_d \equiv$ Tiempo de inicio de la desestratificación del humo (s)

$V_{e1} \equiv$ Velocidad de auto-evacuación de los usuarios con visibilidad clara, es decir, humo estratificado (m/s)

$V_{e2} \equiv$ Velocidad de auto-evacuación de los usuarios con visibilidad reducida, es

cve: BOB-2025a082-(I-327)

decir, humo desestratificado (m/s)

Usuarios de los vehículos no implicados en el accidente (n≥1)

Punto 1

$$T_n^1 = \frac{n}{I_s} - \frac{n}{D_{max} \times V}$$

$$\text{Si } T_{n}^{1} \le T_{n-1}^{2} \rightarrow S_n^1 = S_{n-1}^1 - \frac{1}{D_{max}}$$

$$\text{Si } T_{n-1}^{2} < T_n^1 \le t_d \rightarrow S_n^1 = S_{n-1}^1 - V_{e1} \times \left(T_n^1 - T_{n-1}^2\right) - \frac{1}{D_{max}}$$

$$\text{Si } T_{n}^{1} > t_d \rightarrow S_n^1 = S_{n-1}^1 - V_{e1} \times máximo\left[0; \left(t_d - T_{n-1}^2\right)\right] - V_{e2} \times \left(T_n^1 - t_d\right) - \frac{1}{D_{max}}$$

Punto 2

$$S_n^2 = S_n^1$$

$$T_n^2 = T_n^1 + t_r$$

Punto 3

$$\text{Si } T_n^2 T_{n}^{1} < t_d \rightarrow S_n^3 = S_n^2 - V_{e1} \times \left(t_d - T_n^2\right) \;\&\; T_n^3 = t_d$$

$$\text{Si } T_n^2 T_{n}^{1} > t_d \rightarrow S_n^3 = S_n^2 \;\&\; T_n^3 = T_n^2$$

Punto 4

$$S_n^4 = 0$$

$$T_n^4 = T_n^3 - \frac{S_n^3}{V_{e2}}$$

4.5.5 Recuento de Usuarios Atrapados en el Interior del Túnel

$$P = veh_{total} \times \left(1 - \frac{\%VP}{100}\right) \times Tasa_{VL} + veh_{total} \times \frac{\%VP}{100} \times Tasa_{VP}$$

Siendo:

$P \equiv$ Número de personas atrapadas por carril en el túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

veh_{TOTAL} ≡ Número total de vehículos atrapados por carril en el túnel.

$\%VP$ ≡ Porcentaje de vehículos pesados.

$Tasa_{VL}$ ≡ Tasa de ocupación de vehículos ligeros.

$Tasa_{VP}$ ≡ Tasa de ocupación de vehículos pesados.

Se deberán añadir a P los usuarios de los vehículos implicados en el accidente según el escenario analizado.

TIPO DE VEHÍCULO	TASA DE OCUPACIÓN (personas/vehículo)
Vehículo ligero	1'5
Vehículo pesado	1
Autocar/autobús	30

Tabla 27. Resumen de tasas de ocupación de vehículos

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5 MÉTODO DE MERCANCÍAS PELIGROSAS

5.1 Introducción

En lo referente al transporte de mercancías peligrosas (TMP) por el interior de un túnel de carretera, el DFST en el artículo 8 establece que la circulación por el interior del túnel de vehículos que transporten mercancías peligrosas puede estar prohibida o restringida en horario y/o forma. El estudio de seguridad deberá incluir un análisis de riesgo comparativo entre el transporte de mercancías peligrosas por el interior del túnel y por la ruta o rutas alternativas existentes.

Es por ello por lo que se expone a continuación el Método de Mercancías Peligrosas, como parte de la Metodología de Análisis de Riesgo en Túneles de Bizkaia, desarrollado con el fin de permitir evaluar el nivel de riesgo de un túnel de carretera, en fase de proyecto o de explotación, provocado principalmente por el paso de vehículos pesados que transportan mercancías peligrosas (MMPP).

El Método de Mercancías Peligrosas para el análisis de riesgo en túneles de carretera se basa en un modelo cuantitativo de evaluación del riesgo, desarrollado por la OECD/OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y la PIARC/AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera), que se denomina DG QRAM ("*Dangerous Goods Quantitative Risk Assessment Model*" – Modelo Cuantitativo de Evaluación del Riesgo de Mercancías Peligrosas), al que se han incorporado una serie de particularizaciones para tener en cuenta las características propias de los túneles de carretera españoles.

El DG QRAM basa su análisis en el cálculo del denominado riesgo social del túnel para cada uno de los escenarios analizados, que se define como el número de individuos afectados por el incidente y/o accidente, expresándose normalmente en términos de frecuencia acumulada (F) de que el número de muertes exceda un determinado número (N) por unidad de longitud de túnel (normalmente por km) a lo largo de un año. De esta forma, el riesgo social se obtiene para cada escenario en función de:

- Probabilidad o frecuencia de ocurrencia del escenario (F)
- Consecuencias del escenario, medida por el número de víctimas (N)

Esto da como resultado una serie de curvas denominadas curvas *F/N* (frecuencia / nº de víctimas posibles), que muestran la relación entre la frecuencia del accidente y la severidad del mismo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.2 Modelo DG QRAM

5.2.1 Proceso de Aplicación del Modelo

Este modelo se basa en la utilización de una serie de datos que, por una parte, son proporcionados por el técnico que realiza el análisis de riesgo y, por otra son facilitados por el propio modelo.

Para analizar el riesgo en un túnel empleando el modelo DG QRAM se deberá en primer lugar introducir los datos de entrada necesarios ("*input data*") para particularizar el estudio. Los datos que se deben introducir se pueden agrupar en aquellos que caracterizan el túnel (geometría, estructura, sistema de ventilación forzada, sistema de drenaje, etc.), los relativos al tráfico (intensidad y composición), datos de accidentalidad y otros datos como medidas de mitigación del riesgo, etc. En esta primera fase se deberán seleccionar los escenarios que se van a analizar tal como se describe más adelante.

Una vez definidos los datos de entrada y los escenarios a considerar, se aplicará el modelo DG QRAM, del que se obtendrán una serie de curvas *F/N* para cada uno de los escenarios contemplados en el análisis de riesgo. Estas curvas *F/N* se compararán con los criterios de aceptación del riesgo establecidos para el Método de Mercancías Peligrosas, comprobando así si es asumible el riesgo que supone el tránsito de MP por el interior del túnel, si son necesarias medidas compensatorias adicionales o si no es asumible el riesgo del TMP, teniendo que prohibirse su circulación por el túnel, lo que implicaría la búsqueda de un itinerario alternativo más adecuado para el paso de las MP o, en su caso, la aplicación de medidas excepcionales como la circulación aislada, en convoyes o en determinadas franjas horarias exclusivas.

5.2.2 Descripción del Modelo

El modelo DG QRAM permite determinar principalmente el riesgo social asociado a una serie de escenarios en los que se ven involucrados los TMP.

El procedimiento empleado para aplicar el modelo consiste fundamentalmente en el análisis de un determinado número de escenarios en los que se implican una serie de MP, estudiando

cve: BOB-2025a082-(I-327)

simultáneamente sus consecuencias y probabilidad de ocurrencia, lo que permitirá evaluar cuantitativamente el citado riesgo social.

5.2.2.1 Análisis de los escenarios

Los escenarios a analizar son aquellos que se consideran más representativos o con mayor probabilidad de ocurrencia en el conjunto de túneles de la Red de Carreteras del Estado.

Se han determinado teniendo presentes las siguientes premisas:

- En el accidente analizado se vea implicado al menos un vehículo de transporte pesado con capacidad de originar un incendio de media o elevada potencia (20 ó 100 MW).
- Se analicen además los escenarios que impliquen la presencia de determinados vehículos de mercancías peligrosas con un tipo de carga representativo del conjunto de los transportes por la RCE.
  A este respecto hay que poner de manifiesto que la clasificación de los distintos tipos de transporte de mercancías peligrosas y la posibilidad de transportes combinados de diferentes cargas y características de las mismas, ocasiona un gran número posible de escenarios teóricos recogidos en las clasificaciones realizadas en el ADR ("*European **A**greement concerning the International Carriage of **D**angerous Goods by **R**oad*" – Acuerdo europeo para el transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera).

Se establecen como obligatorios en todo análisis de riesgo siguiendo este método el estudio de los escenarios 1 a 4 y el escenario 9, definidos a continuación siguiendo la nomenclatura del modelo DG QRAM, pues presentan unos índices de probabilidad de ocurrencia más elevados. El resto de escenarios contemplados por el modelo DG QRAM deberán estudiarse en los casos en que por el túnel analizado discurran vehículos que transporten las mercancías que contempla cada escenario. Será por tanto deber del analista determinar qué escenarios se analizarán teniendo en cuenta el tipo de tráfico de mercancías peligrosas que circula o circulará por el túnel y, considerando en todo caso los escenarios definidos como obligatorios. En cualquier caso, la autoridad administrativa podrá exigir el estudio de escenarios en el análisis de riesgo que no hubieran sido estudiados inicialmente por el analista

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenarios 1 y 2 (E1 y E2)

Accidente de un vehículo pesado (VP) sin intervención de mercancías peligrosas

E1 Accidente de un VP que provoque un fuego de hasta 20 MW de potencia en los que no se vea implicado ningún vehículo de transporte de mercancías peligrosas o inflamables a excepción de la contenida en los propios depósitos de combustible.

E2 Accidente de uno o más vehículos pesados que provoquen un fuego de hasta 100 MW de potencia en los que no se vea implicado ningún vehículo de transporte de mercancías peligrosas o inflamables.

Escenarios 3, 4 y 9 (E3, E4 y E9)

Accidente de VP cuyo transporte incluye mercancías peligrosas

E3 Explosión tipo BLEVE (“Boiling Liquid Expanding Vapour Explosión” – Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición) de GLP (Gases Licuados del Petróleo) transportado en cilindros de 50 kg de capacidad.

E4 Incendio de un charco de carburante derramado de una cisterna de 28 toneladas de capacidad con una brecha de 100 mm que provoca una pérdida del combustible de 20’6 kg/s.

E9 Incendio en antorcha de GLP transportado a granel en cisterna de 18 toneladas con una brecha de 50 mm y una figa de 36 kg/s.

Otros escenarios posibles (E5 a E8 y E10 a E13)

Tal y como se ha comentado, existen otros escenarios posibles para este tipo de transporte, pero con unas frecuencias de ocurrencia, según las estadísticas europeas, bastante menores. No se establece como obligatorio el análisis de estos escenarios de menor frecuencia de ocurrencia si bien, a juicio del autor del análisis de riesgo o a exigencia de la autoridad administrativa, puede ser necesario analizar estos escenarios u otros que, en cada caso, se pueda estimar conveniente:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

E5. Explosión del tipo VCE (“Vapor Cloud Explosion” – Explosión de nube de vapor) de carburante transportado en cisterna de 28 toneladas con una brecha de 100 mm por la que se salen 20’6 kg/s de combustible.

E6 Vertido de cloro transportado en una cisterna de 20 toneladas de capacidad por una brecha de 50 mm y con una pérdida de 20’6 kg/s.

E7 Explosión de tipo BLEVE de una cisterna de transporte a granel de GLP de 18 toneladas.

E8 Explosión del tipo VCE de una cisterna de transporte a granel de GLP con una brecha de 50 mm y una pérdida de combustible de 36 kg/s.

E10 Vertido de amoniaco transportado en una cisterna de 20 toneladas de capacidad con una grieta de 50mm y una pérdida de 36 kg/s.

E11 Vertido de acroleína transportada a granel en un tanque de 25 toneladas de capacidad por una brecha de 100 mm y con una pérdida de 24’8 kg/s.

E12 Vertido de acroleína transportada en una cisterna de 100 litros por una brecha de 4 mm y con una pérdida de 0’02 l/s.

E13 Explosión tipo BLEVE de un gas no inflamable (CO2) transportado en una cisterna de 20 toneladas de capacidad.

5.2.2.2 Descripción de los escenarios

Vehículos pesados sin mercancías peligrosas (E1 y E2)

En estos escenarios, las cuestiones que se plantean inicialmente son las siguientes:

- Potencia que el incendio puede llegar a alcanzar en función de la inflamabilidad de la sustancia que se esté quemando, de su capacidad térmica y de su carga.
- La probabilidad de ocurrencia de cada uno de los incendios tipo que pueden llegar a desarrollarse.

Atendiendo a su poder calorífico, se pueden considerar dos tipos de vehículos:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Vehículos pesados no de mercancías peligrosas parcialmente cargados (o vehículos pesados que contengan mercancías no inflamables) que podrían conducir a **un fuego de aproximadamente 20 MW** (E1).
- Vehículos pesados no de mercancías peligrosas cargados con materiales inflamables **que podrían conducir a un fuego de 100 MW** (E2).

Transporte de GLP en cilindros (50 kg) (E3)

Con respecto a esta clase de mercancías peligrosas y según condiciones, el escenario más probable que conduce a consecuencias importantes es una BLEVE (explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición)

Una explosión tipo BLEVE comprende dos fases en su desarrollo: una expansión física una vez roto el recipiente (efectos de sobrepresión y generación de misiles) y una reacción química si la mercancía peligrosa es inflamable. Ambas consecuencias se deben tener presentes en el modelo de cálculo.

Para evaluar los efectos de la BLEVE hay dos parámetros de gran importancia:

- La masa implicada en el fenómeno.
- La duración de la bola de fuego, que tiene influencia directa en el tiempo de exposición de las personas en las cercanías.

Para fijar el escenario 3, se calculará:

- BLEVE de un único cilindro que contiene 50 kg de propano.
- BLEVEs sucesivos de 3 cilindros. Los efectos en este caso son del mismo orden de magnitud, por ello en una simple aproximación se puede considerar para el escenario 3, el BLEVE de un simple cilindro.

Las consideraciones físicas precedentes permiten establecer algún supuesto sobre esos parámetros:

- La masa del GLP a considerar en el escenario 3 habrá de ser toda la masa de un único cilindro (puesto que BLEVEs simultáneos son muy improbables).
- La duración total de la bola de fuego no puede exceder a la duración de dos o tres bolas de fuego que pudieran ocurrir sucesivamente (una secuencia larga de sucesivos BLEVEs es muy improbable).

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Derrame por brecha en tanque de gasolina (E4)

La probabilidad de incendio para este tipo de mercancía peligrosa es importante. Puede comenzar con un derrame de líquido sobre la calzada, por medio de una brecha en el tanque a consecuencia de un accidente o con el tanque aún intacto. En ese último caso, un incendio fuera del tanque lo debilitaría y, posiblemente abriría una brecha pudiendo el fuego llegar a la carga.

Si se ha agujereado el tanque, el líquido se derramará y producirá un charco, que será parcialmente absorbido por el sistema de drenaje. Con el resto de combustible se plantean dos posibilidades:

- Que se produzca la ignición del charco derramado

Entonces, es probable que se genere un incendio muy importante. En realidad, suponiendo un rango de posibles tamaños de rotura, poderes de radiación relativos comparados con los poderes convectivos del fuego, el poder calorífico total del incendio de un gran derrame de gasolina probablemente no será menor que 100 MW y, en algún caso podría exceder de 1.000 MW (E4).

En un túnel, existe un número limitado de parámetros que pueden tener influencia en la extensión del charco. Esos son, principalmente, gradiente, inclinación y tasa de drenaje del túnel, que deben ser considerados en el modelo, para calcular directamente el poder calorífico del fuego, conociendo las características del túnel.

- Que no haya ignición del combustible derramado

Si no hay una ignición inicial, se vaporizará y se producirá una nube de vapor.

Este segundo supuesto no se contempla como obligatorio en el presente método de análisis de riesgo.

Si la temperatura de ignición de la MP está por debajo de la temperatura ambiente se desarrollará una atmósfera inflamable y ocurriría una ENV tan pronto como una fuente de ignición aparezca en la atmósfera inflamable.

VCE (*"Vapor Cloud Explosion"* – Explosión de nube de vapor) de carburante (E5)

Si se vierte carburante por una brecha en la cisterna que lo transporta, si no se produce la ignición del mismo se producirá una nube de vapor. Se producirá una VCE en cuanto una fuente de ignición entre en contacto con esta atmósfera inflamable.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Vertido de cloro (E6)

Se considera una fuga continua de cloro por una brecha producida en la cisterna que lo transporta.

GLP a granel (E7, E8 y E9)

Con respecto al transporte de GLP (Gases Licuados del Petróleo) a granel, se han considerado tres escenarios por sus graves consecuencias, que se describen a continuación:

- **BLEVE**. Descrito en el Escenario 3 (E7).
- **VCE** ("Vapor Cloud Explosion" – Explosión de nube de vapor) posterior a una fuga continúa a través de una brecha o de un diámetro dado (E8).
- **Incendio en antorcha** posterior a una liberación continua a través de una brecha de un diámetro dado (E9).

Vertido de amoniaco (E10)

El amoníaco es un gas incoloro de olor muy penetrante. Además, es una sustancia corrosiva y los efectos principales de la exposición al amoníaco ocurren en el sitio de contacto directo (por ejemplo, la piel, los ojos, la boca y los sistemas respiratorio y digestivo).

El escenario que se presenta consiste en una fuga continua de amoníaco de un tanque de 20 toneladas a través de una brecha de 50 mm de diámetro. Esto producirá un caudal másico de 36 kg/s durante 9'3 minutos.

Vertido de acroleína (E11 y E12)

La acroleína (IUPAC: 2-propenal) es un líquido incoloro o amarillo de olor desagradable. Se disuelve fácilmente en agua y se evapora rápidamente cuando se calienta. También se inflama fácilmente.

La exposición a la acroleína provoca daños en las vías respiratorias: produce ardor de la nariz y la garganta y, puede dañar los pulmones. El humo de cigarrillo y los gases del tubo de escape de automóviles contienen acroleína.

En lo que respecta al transporte de materiales tóxicos, los sistemas de drenaje aplicados en los túneles no son efectivos sobre las consecuencias de la liberación de un gas tóxico. Por el contrario, si son eficientes en el caso de derrame de líquidos tóxicos.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Vertido de acroleína transportada a granel (E11)
- Vertido de acroleína transportada en cilindros (E12)

Explosión BLEVE de un gas no inflamable CO_2 (E13)

Las sustancias que se consideran como mercancías peligrosas se pueden clasificar en varias categorías:

- Gases inflamables
- Gases tóxicos
- Gases ni inflamables ni tóxicos (oxidantes o no)

Todas esas sustancias pueden conducirnos hasta una BLEVE, pero por diferentes caminos.

En el caso de producirse una BLEVE se generan tanto efectos térmicos (bolas de fuego) como efectos de presión.

En general, cuando se calculan los efectos en las personas, los efectos térmicos son predominantes por lo que en principio podría ser apropiado considerar solamente un escenario de una BLEVE con un producto inflamable. Sin embargo, al considerar los riesgos sobre las estructuras de los túneles, se deben tener presentes los efectos de presión en la estructura del túnel.

Se considera por lo tanto posible tener presente un escenario especial en el que se pueda producir una **BLEVE sin mercancías inflamables** (E13).

Para este caso se ha considerado un producto neutro respecto a la oxidación, toxicidad e inflamabilidad: dióxido de carbono presurizado y refrigerado (CO_2).

Cabe puntualizar finalmente que el CO_2 presenta otros efectos letales ya que al mezclarse con el aire reduce la concentración de oxígeno. Sin embargo, este riesgo se ha considerado despreciable comparado con los efectos destructivos de la presión de la BLEVE y, por lo tanto, no se tendrá presente en la modelización.

Por último, se incluye una tabla resumen con todos los escenarios de accidente descritos anteriormente:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Escenario	Descripción	Capacidad de cisterna	Tamaño de la brecha (mm)	Caudal de la fuga (kg/s)
E1	Fuego de 20 MW con VP	-	-	-
E2	Fuego 100 MW con VP	-	-	-
E3	BLEVE de GLP en cilindros	50 kg	-	-
E4	Incendio de charco de gasolina	28 t	100	20’6
E5	VCE de carburante	28 t	100	20’6
E6	Vertido de cloro	20 t	50	45
E7	BLEVE de GLP a granel	18 t	-	-
E8	VCE de GLP a granel	18 t	50	36
E9	Incendio en antorcha de GLP a granel	18 t	50	36
E10	Vertido de un tanque de transporte de amoniaco	20 t	50	36
E11	Vertido de acroleína transportada a granel	25 t	100	24’8
E12	Vertido de acroleína transportada en cilindros	100 l	4	0,02
E13	BLEVE con tanque de CO_2	20 t		-

Tabla 28. Características de los escenarios críticos de trabajo

BLEVE = Explosión de vapor en expansión de un líquido en ebullición.
VCE = Explosión de nubes de vapor.
GLP = Gases licuados del petróleo.

5.2.2.3 Frecuencia de accidentes en carretera

Un dato muy importante para determinar el riesgo por el paso de mercancías peligrosas por un túnel es la accidentalidad o frecuencia de accidentes en el mismo. Esta accidentalidad se mide a partir del Índice de Peligrosidad (*IP*) que es el número de accidentes con víctimas en un tramo de

cve: BOB-2025a082-(I-327)

carretera (en este caso el túnel) por cada millón de vehículos-kilómetro (también puede expresarse en número de accidentes con víctimas por cada cien millones de vehículos- kilómetro).

Al analizar el riesgo en un túnel lo deseable es poder analizar la tasa de accidentalidad que existe en el mismo pudiendo particularizar según los tipos de vehículos implicados. En los casos en los que no se pueda realizar este estudio por no disponer de suficientes datos, lo que será habitual, se emplearán la accidentalidad determinada para los túneles de la RCE.

Para determinar este Índice de Peligrosidad en los túneles españoles se han analizado los datos de accidentes en los túneles de la red de carreteras del Estado durante los años

2003, 2004, 2005, 2006, 2007 y 2008. Se ha diferenciado entre túneles unidireccionales y bidireccionales, por ser este un parámetro fundamental en la accidentalidad en las carreteras.

Los Índices de Peligrosidad obtenidos son los siguientes:

- Túneles unidireccionales: IP = 0’086 ACV/Mvehxkm
- Túneles bidireccionales: IP = 0’140 ACV/Mvehxkm

5.2.2.4 Transporte de mercancías peligrosas por carretera

El transporte de mercancías peligrosas está regulado por el Acuerdo europeo sobre el transporte internacional de mercancías peligrosas por carreteras (ADR) que clasifica las mercancías peligrosas y establece las condiciones que se deben cumplir en todas las operaciones necesarias para su transporte por carretera.

Según el ADR las mercancías peligrosas se clasifican en:

- Clase 1. Materias y objetos explosivos
- Clase 2. Gases
- Clase 3. Líquidos inflamables
- Clase 4.1. Materias sólidas inflamables, materias autorreactivas y materias explosivas desensibilizadas sólidas
- Clase 4.2. Materias que pueden experimentar inflamación espontánea
- Clase 4.3. Materias que en contacto con el agua desprenden gases inflamables

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Clases 5.1. Materias comburentes
- Clase 5.2. Peróxidos orgánicos
- Clase 6.1. Materias tóxicas
- Clase 6.2. Materias infecciosas
- Clase 7. Materias radioactivas
- Clase 8. Materias corrosivas
- Clase 9. Materias y objetos peligrosos diversos

Para determinar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los posibles escenarios analizados se deben tener en cuenta tanto la proporción de vehículos pesados y de mercancías peligrosas en el tráfico, así como la proporción de cada tipo de mercancías peligrosas que circulan por el túnel. Dado que algunos de estos valores pueden ser complejo de determinar para el túnel analizado por falta de datos se han obtenido los siguientes valores medios.

La proporción media de mercancías peligrosas respecto al tráfico total que circula por la RCE, según datos del mapa de tráfico del Ministerio de Fomento de 2007 a 2010, es de un 0'7%. Por otro lado, la proporción media de cada clase de mercancía peligrosa en las carreteras españolas, obtenidas a partir de las toneladas transportadas por carretera en el estado español entre los años 2007 y 2010, es la siguiente:

Clase de MP	**Porcentaje respecto al total de MP**
Clase 1	0'816%
Clase 2	2'656%
Clase 3	91'805%
Clase 4.1	0'043%
Clase 4.2	0'015%
Clase 4.3	1'302%
Clase 5.1	0'103%

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Clase de MP	Porcentaje respecto al total de MP
Clase 5.2	0’014%
Clase 6.1	0’147%
Clase 6.2	0’020%
Clase 7	0’005%
Clase 8	1’108%
Clase 9	1’968%

Tabla 29. Porcentaje de cada clase de mercancía peligrosa transportada en las carreteras españolas

Para obtener, dentro de una determinada clase, la proporción de la mercancía peligrosa específica que interviene en un escenario (p.e. %GLP dentro de la clase 3) o la proporción de mercancía peligrosa transportada de un determinado modo (p.e. a granel o en cilindros) se pueden extrapolar la proporciones que se dan en otros países (p.e. Francia).

En el caso de no disponer de datos de aforos de MMPP:

- El número total de vehículos de MMPP que circulen por la carretera de estudio se podrá estimar a partir de los volúmenes incluidos en IHOBE.
- Respecto a la distribución de tipologías de MMPP y debido a la no disposición de datos de MMPP de acuerdo a las categorías establecidas en el QRAM se podrán emplear los datos incluidos por defecto en el software (QRAM) con la distribución francesa.

5.2.2.5 Evaluación de consecuencias

A los incendios que se producen en el interior de los túneles se les asocian distintos tipos de peligros, como pueden ser las altas temperaturas, el calor de radiación, la baja concentración de oxígeno, la baja visibilidad y los diferentes tipos de gases letales, tóxicos o corrosivos emitidos desde el foco. Todos esos fenómenos físicos, algunos de los cuales se pueden calcular con exactitud, son peligrosos para las personas, los vehículos, los materiales de construcción y el equipamiento del túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

En los modelos de cálculo existentes, las distancias de los efectos que causan los escenarios (distancias de daños) se calculan directamente mediante la ayuda de los modelos físicos de consecuencias.

Se describen a continuación, de forma resumida, los modelos de evaluación de consecuencias incluidos en esta metodología correspondiente al modelo DG QRAM.

Para determinar los daños que los distintos escenarios puedan causar sobre los usuarios del túnel, se considerarán los siguientes efectos:

- Calor
- Alta concentración de monóxido de carbono
- Alta concentración de dióxido de carbono
- Baja concentración de oxígeno
- Radiación directa de calor de las llamas (para incendio de un derrame)

El tipo de consecuencias que cabe esperar de cada uno de los escenarios accidentales considerados serían las indicadas en siguiente tabla.

	Escenario de accidentes	**Principales peligros**
E1	Incendio de VP de 20 MW (descargado o parcialmente cargado con material	Fuego y humos
E2	Incendio de VP de 100 MW (cargado con material combustible)	Fuego y humos
E3	BLEVE de GLP. Cilindro de 50 kg	Efectos térmicos y de presión
E4	Incendio de charco de combustible. Cisterna de 28 t	Fuego y humos
E5	VCE de combustible. Cisterna de 28 t	Efectos térmicos y de presión
E6	Vertido de cloro. Cisterna de 20 t	Gas tóxico
E7	BLEVE de GLP. Cisterna de 18 t	Efectos térmicos y de presión

cve: BOB-2025a082-(I-327)

	Escenario de accidentes	Principales peligros
E8	VCE de GLP. Cisterna de 18 t	Efectos térmicos y de presión
E9	Incendio en antorcha de GLP. Cisterna de 18 t	Efectos térmicos y de presión
E10	Vertido de amoniaco. Cisterna de 20 t	Gas tóxico
E11	Vertido de acroleína transportada a granel. Cisterna de 25 t	Liquido tóxico
E12	Vertido de acroleína. Cilindros de 100 litros	Liquido tóxico
E13	BLEVE de CO_2 licuado. Cisterna de 20 t	Efectos de presión

Tabla 30. Escenarios de accidentes y sus posibles efectos

En el campo de los efectos producidos por una inhalación tóxica, se puede decir que hay dos parámetros principales a considerar para analizar los efectos sobre los seres vivos: la concentración de la materia que se analiza y la duración de la exposición. Esos parámetros se consideran en el modelo para cada escenario.

Para estimar el margen de tiempo hasta que comiencen a producirse muertes entre los usuarios del túnel como resultado de inhalar una dosis mortal de tóxicos, se tendrá presente el concepto de Dosis Fraccional Efectiva (DFE). DFE considera la contribución de los distintos tóxicos para causar el daño (en este caso la muerte), teniendo en cuenta la concentración y la duración de la exposición. Entonces, las DFE de los distintos tóxicos se pueden sumar durante el tiempo de exposición hasta que se alcance el valor 1’0. Este punto supondrá el límite que los seres humanos pueden tolerar.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.2.3 Datos de Salida del Modelo

5.2.3.1 Curvas F/N

El modelo cuantitativo de análisis de riesgo en túneles descrito permite estimar para cada uno de los escenarios analizados el riesgo social que supone. El riesgo social se mide a través de dos variables:

1. La probabilidad de ocurrencia del escenario
2. Las consecuencias del escenario acaecido

El método más comúnmente utilizado para describir el riesgo social es calcular las curvas *F/N*. Estas curvas ilustran la relación entre la frecuencia de ocurrencia del accidente contemplado en el escenario (*F*) y la gravedad del mismo, medida por el número de víctimas del accidente (*N*). En el eje de abscisas se representa el número de víctimas (personas fallecidas, heridas o ambas), variable *N*, en una escala logarítmica. En el eje de ordenadas se representan las frecuencias anuales de ocurrencia de accidentes con *N* víctimas, función *F(N)*. Para cada situación dada (población, tráfico, tipo de mercancía peligrosa, escenario, etc.) se obtiene una curva *F/N* que representa el riesgo social para cada túnel y para la situación de explotación que le corresponda.

En el Método de Mercancías Peligrosas, al introducir en el modelo DG QRAM valores del índice de peligrosidad, se deberán considerar como consecuencias (eje de abscisas) tanto las víctimas mortales como los heridos.

A continuación, se adjunta el gráfico de las curvas *F/N* obtenidas de un análisis concreto:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

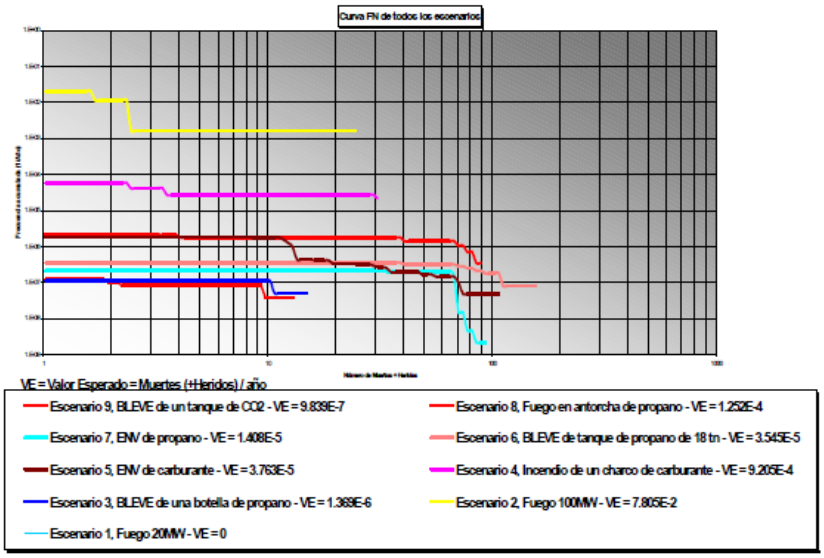


Ilustración 10. Curvas F/N de diferentes escenarios de accidentes de TMP

Del estudio realizado se obtienen los siguientes valores que nos permiten realizar el siguiente análisis:

- Esperanza matemática específica del escenario analizado, correspondiente por lo tanto al tipo de mercancía peligrosa considerado y al tipo de accidente modelizado.
- Esperanza matemática conjunta de todos los escenarios analizados, teniendo presente el paso de todas las mercancías peligrosas contempladas en los escenarios planteados en el método.

5.2.3.2 Niveles de aceptación

Una vez obtenidas las curvas *F/N* representativas del túnel objeto de estudio es necesario comparar los resultados obtenidos con los criterios de aceptabilidad del riesgo establecidos. El objetivo será determinar si es posible asumir la explotación del túnel permitiendo el paso de mercancías peligrosas por el mismo sin medidas adicionales de regulación específica del tráfico o, por el contrario, se hace necesario establecer determinadas restricciones, regulaciones o prohibir completamente el paso de MP por el túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Las condiciones de riesgo de un túnel, expresadas por la curva *F/N* (resultado del sumatorio de las curvas *F/N* del túnel, obtenidas para cada uno de los escenarios analizados), representan el riesgo social existente en la explotación de la citada infraestructura. Este valor corresponde al número de individuos afectados (fallecidos y heridos graves) por los accidentes registrados. Se expresa en términos de frecuencia acumulada de que el número de víctimas exceda un determinado valor (*N*) por túnel a lo largo de un año.

Los límites a estos valores se establecen a través de una serie de rectas que responden a la expresión:

$$F(N) = A \times N^{k}$$

Siendo:

F(N) ≡ Frecuencia anual de ocurrencia de accidentes con N víctimas. Eje de ordenadas

N ≡ Número de víctimas (fallecidos y heridos graves). Eje de abscisas en escala logarítmica

A ≡ Parámetro

k ≡ Parámetro

En función de los valores que se consideren para los coeficientes *A* y *k* se obtendrán unas rectas de pendiente negativa que determinan los siguientes límites:

- Recta límite superior

Es la recta que determina la frontera entre un riesgo social no admisible y unas condiciones de explotación aceptables.

Por encima del límite superior se encuentra la zona de riesgo no admisible, lo que obligaría a una reconsideración total del diseño o equipamiento del túnel, ya que las posibilidades de ocurrencia de una catástrofe superarían los límites de riesgo social admisible.

Por debajo del límite se encuentra la zona de condiciones de explotación aceptables.

- Recta límite inferior

Es la recta que determina la frontera entre unas condiciones de explotación aceptables y un riesgo social admisible.

Por encima se encontraría la zona de explotación aceptable, aunque con condiciones

cve: BOB-2025a082-(I-327)

posiblemente mejorables a un coste razonable.

Por debajo se encuentra la zona de explotación en condiciones de riesgo tolerables sin necesidad de establecer ningún tipo de medidas adicionales para el túnel.

Estas dos rectas determinan tres áreas o zonas, como muestra la siguiente figura:

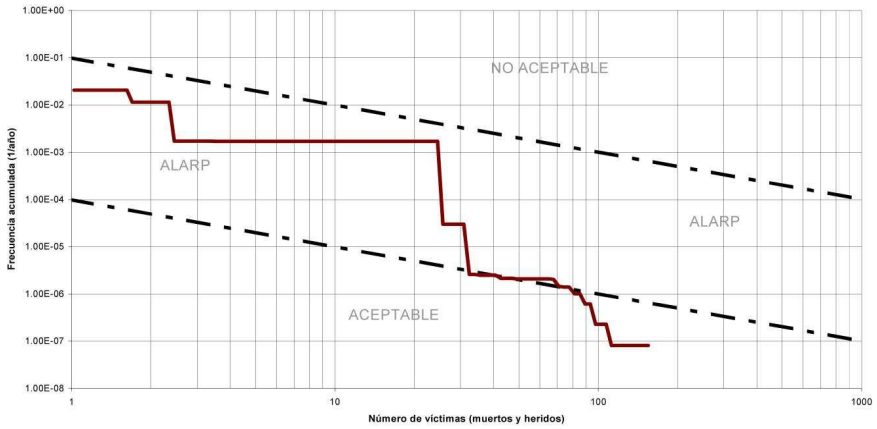


Ilustración 11. Representación del sumatorio de curvas F/N y áreas de aceptabilidad

- Zona de riesgo no aceptable o no asumible socialmente: debe reconsiderarse el diseño del túnel y de su equipamiento.
- Zona intermedia, conocida con el nombre de ALARP ("As Low As Rational Possible" – Tan bajo como razonablemente sea posible): representa la zona en la que es posible la explotación del túnel en condiciones aceptables, si bien se deberían llevar a cabo medidas adicionales de seguridad de manera que se consiga reducir el riesgo tanto como razonablemente sea posible.
- Zona de riesgo aceptable o asumible socialmente: la explotación del túnel no hace necesaria la implantación de medias adicionales de seguridad.

Por tanto, la interpretación de la curva *F/N* de cada túnel será la siguiente:

- Si la curva F/N rebasa la recta límite superior, es decir, invade la zona de riesgo no aceptable, el túnel no se considera apto para su explotación. Es obligatorio la adopción de medidas importantes que reduzcan el nivel de riesgo.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Si la curva F/N supera la recta límite inferior pero no la recta límite superior, se encuentra en la zona ALARP, por lo que el túnel es seguro, si bien podría incrementarse el nivel de seguridad mediante la adopción de medidas adicionales razonables (técnica y económicamente) para reducir los niveles de riesgo.
- Si la curva F/N del túnel está por debajo de la recta límite inferior, es decir, se encuentra en la zona de riesgo aceptable, el túnel es seguro y no es necesario adoptar medidas de seguridad adicionales.

Las rectas límite establecidas para el Método de Mercancías Peligrosas tienen en consideración que las consecuencias (N) son las personas fallecidas y los heridos graves:

Recta límite superior: Nivel de no aceptabilidad

Se establece como recta límite superior la que se obtiene de los siguientes valores:

A = 0'1

k = 1'0

$$F(N) = \frac{0'1}{N}$$

Recta límite inferior: Nivel de aceptabilidad

Se establece como recta límite inferior la que se obtiene de los siguientes valores:

A = 0'001

k = 1'0

$$F(N) = \frac{0'001}{N}$$

Ambas rectas se representan en el gráfico que se incluye a continuación:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

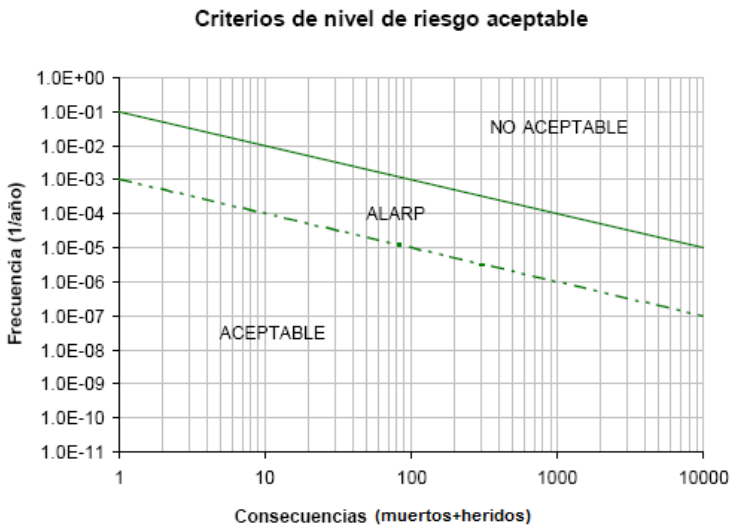


Ilustración 12. Rectas límite de aceptabilidad de riesgo

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.3 Paso de Mercancías Peligrosas por El Túnel

Es necesario remarcar en primer lugar que, un análisis de riesgo constituye una herramienta que, en la medida de lo posible, intenta objetivar un fenómeno con una alta componente subjetiva, para facilitar así la toma de decisiones. Por lo tanto, **será en todo caso la Autoridad Administrativa competente la que, teniendo en cuenta los resultados de los análisis de riesgo y de otros posibles estudios realizados, deberá decidir si por un túnel pueden o no circular vehículos que transporten mercancías peligrosas.**

5.3.1 Túneles No Pertenecientes a la RIMP

Del análisis de riesgo la autoridad administrativa podrá tomar las siguientes decisiones:

1 Permitir el paso de mercancías peligrosas por el túnel.

Se debe determinar, en caso de ser necesaria, la franja horaria del día en que dicho paso se permite o establecer otras limitaciones en la explotación.

- Si se establecen restricciones horarias: se deberá rehacer el análisis de riesgo empleando la IMD representativa del periodo horario en el que se permita el paso de MP.
- Si se establece la formación de convoyes o circulación aislada de los TMP: se deberá repetir el análisis de riesgo teniendo en cuenta las víctimas potenciales de cada escenario a través del valor de IMD que corresponda.
- Si se prohíbe el paso de determinadas MP: se deberá realizar el análisis de riesgo eliminando los escenarios correspondientes a dichas MP.
- Se deberá delimitar en el estudio la obligatoriedad de revisar las restricciones y/o prohibiciones según la evolución de la IMD prevista.

2 No permitir el paso de vehículos de mercancías peligrosas.

5.3.2 Túnel Perteneciente a la RIMP

En el caso de que el túnel pertenezca a la RIMP se debe permitir el paso de mercancías peligrosas por interés nacional, aunque es muy recomendable que se estudie el riesgo que esto supone

cve: BOB-2025a082-(I-327)

mediante el correspondiente análisis de riesgo siguiendo esta metodología. Además, es conveniente:

- Determinar la IMD hasta la que el túnel es o no seguro.
- Establecer a pesar de ello a partir de que IMD es conveniente la formación de convoyes, circulación aislada, restricciones horarias o prohibición de determinado tipo de MP.
- En caso de que el túnel no tuviese un nivel de seguridad adecuado, se deberá definir el equipamiento adicional o las medidas de explotación adecuadas para que el riesgo de paso de vehículos de mercancías peligrosas por el túnel sea asumible.

5.3.3 Documentación Complementaria a Aportar

5.3.3.1 Túneles con paso permitido de mercancías peligrosas

Desde el punto de vista de la seguridad, los túneles por los que se permita el paso de mercancías peligrosas se encontrarán dentro de uno de los siguientes supuestos:

a) Túneles pertenecientes a itinerarios incluidos en la RIMP, por los que por motivos estratégicos sea aconsejable permitir el paso de mercancías peligrosas.

b) Túneles que, aunque se encuentren en itinerarios no pertenecientes a la RIMP, no dispongan de una ruta alternativa entre el punto origen del transporte de mercancías peligrosas y su punto final de destino, una vez que se ha agotado la posibilidad de circular por las vías habilitadas para tal fin (RIMP) dentro del RTB.

c) Túneles que se encuentren en itinerarios en los que, a pesar de existir una ruta alternativa para el tránsito de vehículos de mercancías peligrosas, el tránsito por la citada ruta comporte unos niveles de riesgo mayores a los correspondientes al paso de los vehículos de mercancías peligrosas por el interior del túnel.

Teniendo en cuenta lo anterior se deberá incorporar en el documento de análisis de riesgo realizado la siguiente documentación justificativa:

Caso a:

cve: BOB-2025a082-(I-327)

- Descripción de la vía e itinerario en el que se encuentra el túnel poniendo de manifiesto claramente que se prevé el paso de mercancías peligrosas por el túnel considerado al pertenecer a un itinerario incluido en la RIMP.

Caso b:

- En el caso de que no exista una ruta alternativa a la del túnel entre el punto origen del transporte y el punto final de destino, se documentará este hecho y se reflejará en el documento de análisis de riesgo que el diseño contempla el paso de mercancías peligrosas por el túnel por ser la única ruta posible.

Caso c:

Corresponde al caso de existencia de una ruta alternativa que presente un mayor grado de peligrosidad en su tránsito. En este caso se aportarán los siguientes estudios complementarios al análisis de riesgo del propio túnel.

- Estudio de riesgo de la ruta alternativa a cielo abierto.

Se documentarán al menos los siguientes puntos:

  - Población expuesta en el citado recorrido en comparación con la que resultaría afectada por un accidente en el interior del túnel.
  - Existencia de puntos conflictivos en la ruta a cielo abierto tales como intersecciones, incorporaciones, glorietas u otros condicionantes de trazado que conlleven un incremento en los índices de accidentalidad.
  - Posible influencia de factores meteorológicos adversos que influyan sobre los índices de accidentalidad del citado trayecto alternativo. Se trata de evaluar el tránsito a través de puertos de montaña con climatología adversa u otros accidentes orográficos que modifiquen las condiciones de circulación habituales por la ruta, de manera estacional o periódica.
  - Otros factores puntuales o periódicos que alteren las condiciones de circulación y que sean previsibles y evaluables por parte del autor del análisis de riesgo. Puede tratarse de concentraciones periódicas ante eventos deportivos, actividades culturales, etc. que conlleven un incremento del riesgo sobre el trayecto en túnel.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

5.3.3.2 Túneles con paso prohibido de mercancías peligrosas

En el caso de que a partir de los resultados del análisis de riesgo realizado la Autoridad Administrativa decida prohibir el paso de mercancías peligrosas por el interior del túnel analizado, se complementará el estudio realizado con la siguiente documentación:

- Estudio de riesgo de la ruta alternativa a cielo abierto.

Se documentarán al menos los siguientes puntos:

- Ausencia o número muy reducido de población expuesta en el recorrido a cielo abierto en comparación con la que resultaría afectada en un accidente en el interior del túnel que pudiera presentar intensidades de circulación elevadas.
- Ausencia de puntos conflictivos en la ruta a cielo abierto tales como intersecciones, incorporaciones, glorietas u otros condicionantes de trazado que pudieran conllevar un incremento en los índices de accidentalidad.
- Otros factores puntuales o periódicos que alteren las condiciones de circulación en el interior del túnel y que sean previsibles y evaluables, tales como ausencia de equipamiento básico, deficiente mantenimiento o ausencia del mismo, trazado muy deficiente, falta de gálibo, presencia continua de filtraciones, etc.

cve: BOB-2025a082-(I-327)

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 1 22

Ilustración 2 Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 2....23

Ilustración 3 Curva normalizada de potencia de incendio para escenario 3. 24

Ilustración 4. Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 4 25

Ilustración 5. Curva normalizada de potencia de incendio para el escenario 5 26

Ilustración 6. Gráfico de la evolución del humo....66

Ilustración 7. Representación esquemática del foco del incendio. 73

Ilustración 8. Gráfico de auto-evacuación de un túnel unidireccional....77

Ilustración 9. Gráfico de auto-evacuación de un túnel bidireccional....78

Ilustración 10. Curvas F/N de diferentes escenarios de accidentes de TMP....111

Ilustración 11. Representación del sumatorio de curvas F/N y áreas de aceptabilidad 113

Ilustración 12. Rectas límite de aceptabilidad de riesgo 115

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Probabilidades porcentuales de ocurrencia de os escenarios de Incendio....30

Tabla 2. Factor anchura de carril....39

Tabla 3. Factor anchura del arcén derecho....40

Tabla 4. Factor existencia de apartaderos....41

Tabla 5. Factor de anchura de aceras 42

Tabla 6. Factor de pavimento....42

Tabla 7. Factor pendiente del túnel 43

Tabla 8. Factor existencia de revestimiento estructural del túnel 44

Tabla 9: Factor de proximidad de los servicios de emergencia 46

Tabla 10: Factor de existencia de Centro de Control....47

cve: BOB-2025a082-(I-327)

Tabla 11: Factor de restricción de adelantamiento a vehículos pesados 49

Tabla 12: Factor de existencia de radar 49

Tabla 13: Criterios de efectividad 55

Tabla 14. Caudal de humo producido 58

Tabla 15. Factor de velocidad de desplazamiento del frente de humos 60

Tabla 16. Factor de velocidad de desplazamiento del frente de humos 61

Tabla 17. Tiempo de inicio de desestratificación del humo y tiempo adicional de evacuación ... 63

Tabla 18. Tasa de ocupación de vehículos 71

Tabla 19. Ecuaciones de la trayectoria de auto-evacuación de usuarios implicados en el accidente 74

Tabla 20. Valores de referencia de las probabilidades porcentuales de ocurrencia. 85

Tabla 21. Factores de ponderación geométricos 87

Tabla 22. Factores de ponderación por equipamiento 87

Tabla 23. Factores de ponderación por explotación del túnel 88

Tabla 24. Resumen de criterios modificadores adicionales 90

Tabla 25. Parámetros para la modelización del movimiento del humo 91

Tabla 26. Ecuaciones de la trayectoria de auto-evacuación de usuarios implicados en el accidente 92

Tabla 27. Resumen de tasas de ocupación de vehículos 94

Tabla 28. Características de los escenarios críticos de trabajo 104

Tabla 29. Porcentaje de cada clase de mercancía peligrosa transportada en las carreteras españolas 107

Tabla 30. Escenarios de accidentes y sus posibles efectos 109

cve: BOB-2025a082-(I-327)