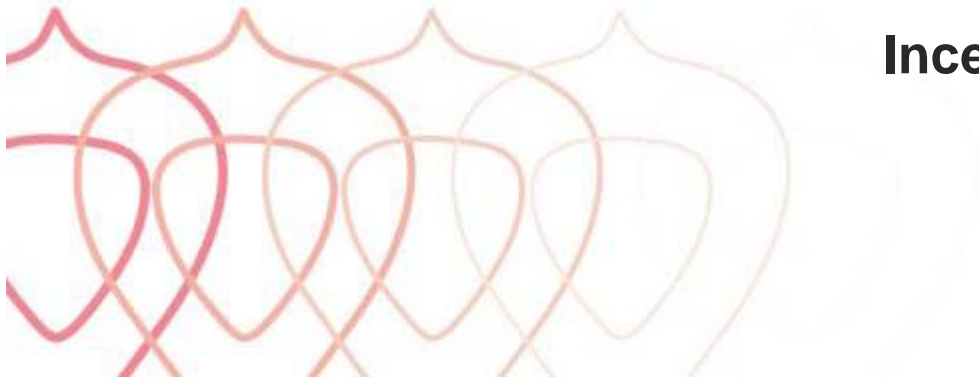




Sistemas de Protección Contra Incendios en TÚNELES



Visión general

- Un túnel es un espacio confinado
- Efecto horno
- Efecto cañón (explosiones)
- Baja visibilidad por humos
- Movimiento del humo sin control puede resultar muy peligroso
- Vías de evacuación lejanas y poco visibles
- Desorientación
- Aglomeración de coches, parados, marcha atrás, etc.
- Situaciones de pánico



Visión general

Fuegos tipo, potencia, generación de humo y temperaturas

Cause of Fire	Equivalent Size of Gasoline Pool		Fire HRR	Approx Energy Content	Smoke-Generation Rate		Maximum Temperature	
	ft ²	m ²	MW	MJ	ft ³ /min	m ³ /sec	°F	°C
Passenger Car	22	2	5	6000	42-63	20-30	750	400
Bus	86	8	20	41000	127-168	60-80	1290	700
Heavy Goods Truck	86	8	20-30	88000	127-168	60-80	1830	1000
Tanker	323-1076	30-100	100	1500000	212-630	100-300	2250-2625	1200-1400

Fuegos históricos en túneles

- Great Belt Tunnel (Dinamarca, 1994)
- Channel Tunnel (UK-Francia, 1996)
- **Mont Blanc (Italia-Francia, 1999)**
- Tauern (Austria, 1999)
- Kaprun (Austria, 2000)
- Gotthard (Italia-Suiza, 2001)



38 víctimas mortales civiles
27 en sus automóviles
11 fuera de ellos (2 en zonas de protección)
1 Bombero

900m de túnel destruido

Prácticas habituales en P.C.I.

- Extintores
- Bocas de Incendio Equipadas
- Hidrantes
- Cable detector
- Ventilación. Control de Humos



Ámbito normativo específico

- RD 635/2006, 26 mayo, “Requisitos mínimos de Seguridad en los túneles de carreteras del Estado”
- Directiva 2004/54/CE, 24 abril, “Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras”
- NFPA 502, “Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways” (2008)
- Circular interministerial francesa 2000-63

Directiva 2004/54/CE

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

Se tendrán en cuenta los parámetros siguientes:

- ✓ longitud del túnel
- ✓ número de tubos
- ✓ número de carriles
- ✓ geometría de la sección transversal
- ✓ alineamiento vertical y horizontal
- ✓ tipo de construcción
- ✓ tráfico unidireccional o bidireccional
- ✓ volumen de tráfico por tubo (incluida su distribución en el tiempo)
- ✓ riesgo de congestión (diaria o de temporada)
- ✓ tiempo de acceso de los servicios de emergencia
- ✓ presencia y porcentaje de camiones
- ✓ presencia, porcentaje y tipo de tráfico de mercancías peligrosas
- ✓ características de las vías de acceso
- ✓ anchura de carril
- ✓ consideraciones en materia de velocidad
- ✓ medio geográfico y meteorológico

Directiva 2004/54/CE

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

VENTILACIÓN

Túneles de más de 1000m →

VENTILACIÓN MECÁNICA

Túneles de más de 3000m →

Además
Reguladores de aire y humo
Control constante de velocidad del humo

En casi todos los casos, ventilación transversal o semitransversal

Directiva 2004/54/CE

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

ABASTECIMIENTO DE AGUA (NO SE CONCRETA MÁS)

TODOS los túneles deberán tener abastecimiento de agua

Bocas cerca de la entrada y en el interior, a intervalos máximos de 250m

No hay definición clara de tipo, características, etc.

Directiva 2004/54/CE

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras

SISTEMAS DE VIGILANCIA

Túneles dotados de centro de control

Sistema de vigilancia por vídeo

Sistema de detección automática de incidentes y/o incendios

Túneles no dotados de centro de control

Sistemas de detección automática de incendios

Cuando el funcionamiento de la ventilación mecánica para control de humo sea diferente del automático de control de contaminantes

RD 635/2006, Seguridad en túneles de carreteras del Estado

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red de carreteras del Estado

VENTILACIÓN

Túneles urbanos de más de 200m → VENTILACIÓN MECÁNICA

Túneles de más de 1000m → Además
Reguladores de aire y humo
Control constante de velocidad del humo

En casi todos los casos, ventilación transversal o semitransversal

Es algo más restrictiva que la Directiva Europea

RD 635/2006, Seguridad en túneles de carreteras del Estado

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red de carreteras del Estado

RED DE HIDRANTES

TODOS los túneles unidireccionales de más de 200m deberán tener hidrantes

Bocas cerca de la entrada y en el interior, a intervalos máximos de 250m

El caudal y presión de la instalación deberá cumplir lo recogido en NBE-CPI/96 o las que la sustituyan:

2 horas, 1000 l/min, 10m.c.a.

RD 635/2006, Seguridad en túneles de carreteras del Estado

Sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red de carreteras del Estado

SISTEMAS DE VIGILANCIA

Túneles dotados de centro de control

Sistema de vigilancia por vídeo

Sistema de detección automática de incidentes y/o incendios

Túneles no dotados de centro de control

Sistemas de detección automática de incendios

NFPA 502

Standard for Road Tunnels, Bridges, and other limited access highways

VENTILACIÓN

Túneles de más de 240m → VENTILACIÓN MECÁNICA

**No obliga a un tipo de ventilación (transversal o longitudinal)
Indica que especialmente en túneles bidireccionales hay que
minimizar la velocidad longitudinal y que preferiblemente se
considere la evacuación del humo por la parte superior del túnel
(rejillas) o por fosos de extracción**

Hace mención a tiempos mínimos de operación (1h a 250°C)

NFPA 502

Standard for Road Tunnels, Bridges, and other limited access highways

RED DE HIDRANTES

TODOS los túneles de más de 240m deberán tener hidrantes, según NFPA-14

1 hora de autonomía

Conexiones de manguera 65mm cerca de la entrada y en el interior, a intervalos máximos de 85m

Toma para bomberos de 100m, al menos 2 en situación opuesta

El caudal y presión de la instalación deberá cumplir lo recogido en NFPA-14:

1 hora, 3 hidrantes, 946 l/min cada uno, 6,9bar en boca de salida

NFPA 502

Standard for Road Tunnels, Bridges, and other limited access highways

SISTEMAS DE VIGILANCIA

Túneles dotados de centro de control

Sistema de vigilancia por vídeo

Sistema de detección automática de incidentes y/o incendios

Túneles no dotados de centro de control

Sistemas de detección automática de incendios

Pulsadores de alarma cada 90m, y en todos las galerías y vías de evacuación

La detección debe ser capaz de identificar un incendio en 15m

Medios manuales

BOCAS DE INCENDIO EQUIPADAS

BIE de 25mm con toma adicional de 45mm



Medios manuales

HIDRANTES

DN-100, con 2 salidas de 70mm – Montaje en Armario



Medios manuales

HIDRANTES

DN-100, con 2 salidas de 70mm – Montaje en Arqueta



Medios manuales

MONTAJE DE CONJUNTO BIE + HIDRANTE



Abastecimiento de agua



1 BOMBA ELÉCTRICA

1 BOMBA DIESEL

1 DEPÓSITO DE ABASTECIMIENTO



Abastecimiento de agua

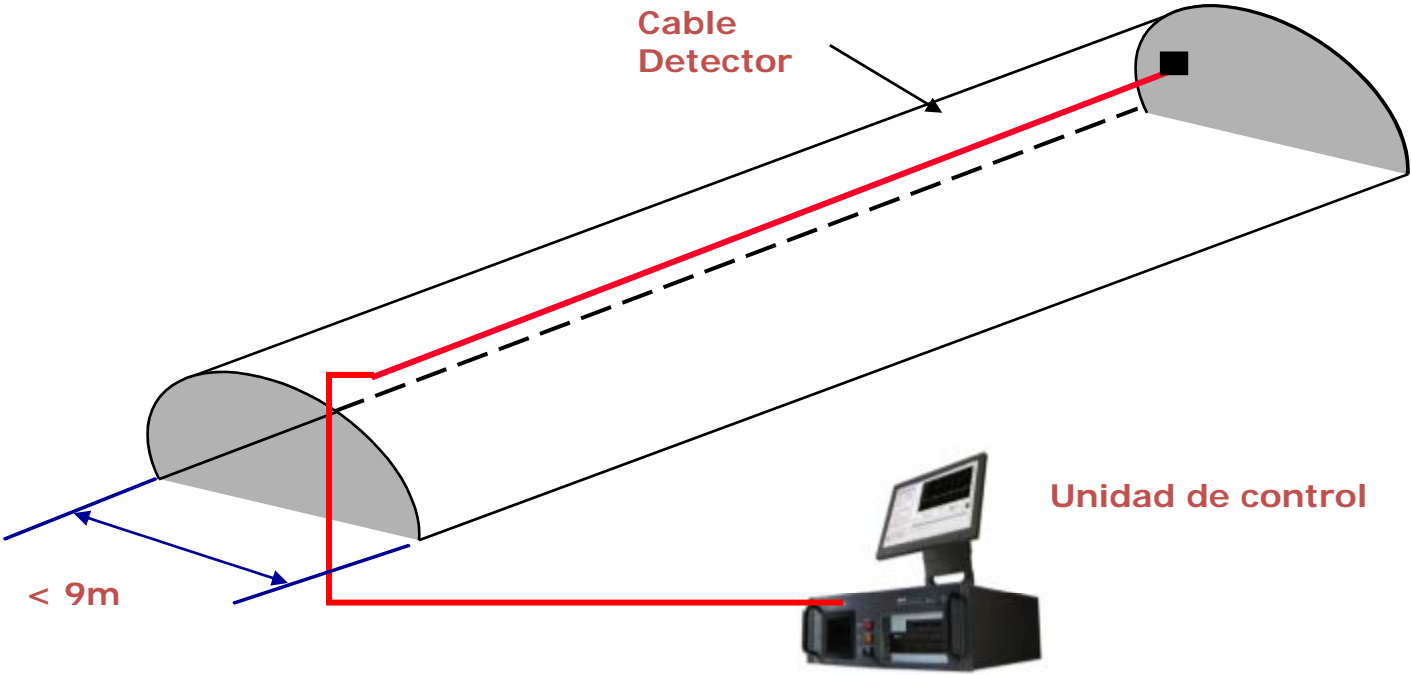


Detección de incendios

- Habitualmente, DETECCIÓN POR CABLE TÉRMICO
- Montaje CENITAL
- Localización del punto de incendio de gran precisión
- Comunicación con sistema de gestión
- Detección puntual en salas de control, galerías, etc.



Detección por cable térmico



Detección de incendios

Tecnologías habituales

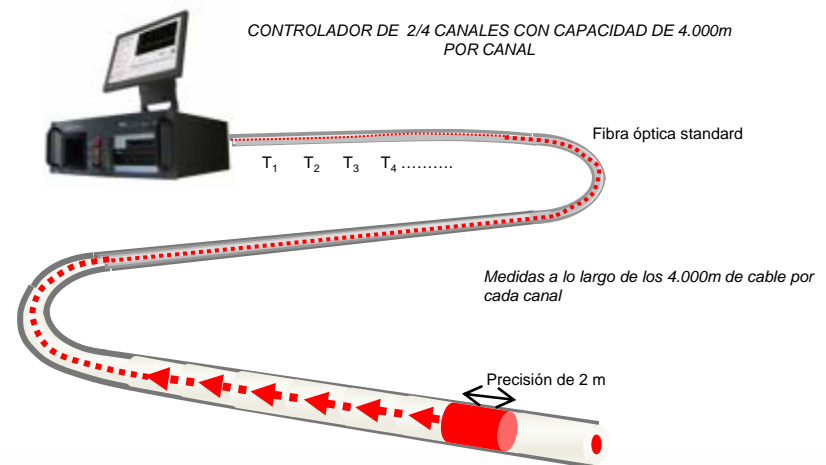
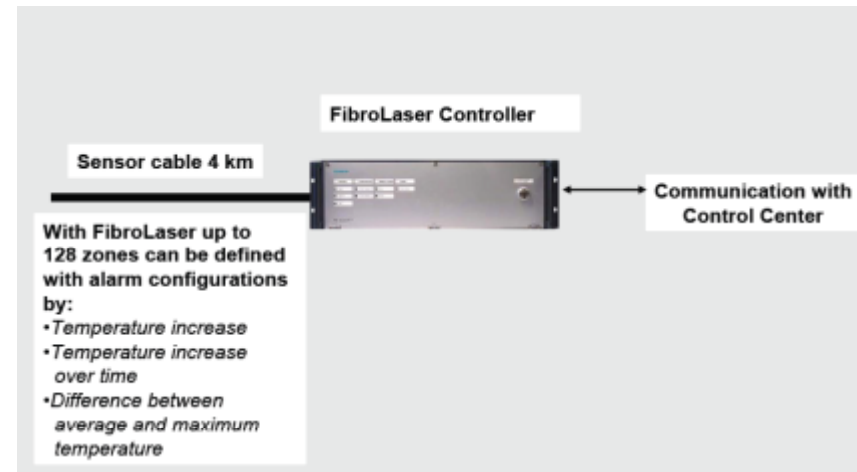
Fibrolaser →

DTS →

Notifier →



SENSORTUBE



Detección por cable térmico

Aspectos técnicos (según fabricante)

- La unidad controladora tiene capacidad para controlar de 2 a 4 canales de 4.000m de cable detector por cada canal
- Hasta 16.000m de cable en un solo controlador
- Dispone de 3 tipos distintos de salida
 - Salida Modbus
 - Salida RS232
 - Salidas de relé libre de potencial
- Precisión de 2m
- Cable de alta temperatura hasta 300°C
- Tiempo de respuesta inferior a 15 segundos para precisión de 0,5°C

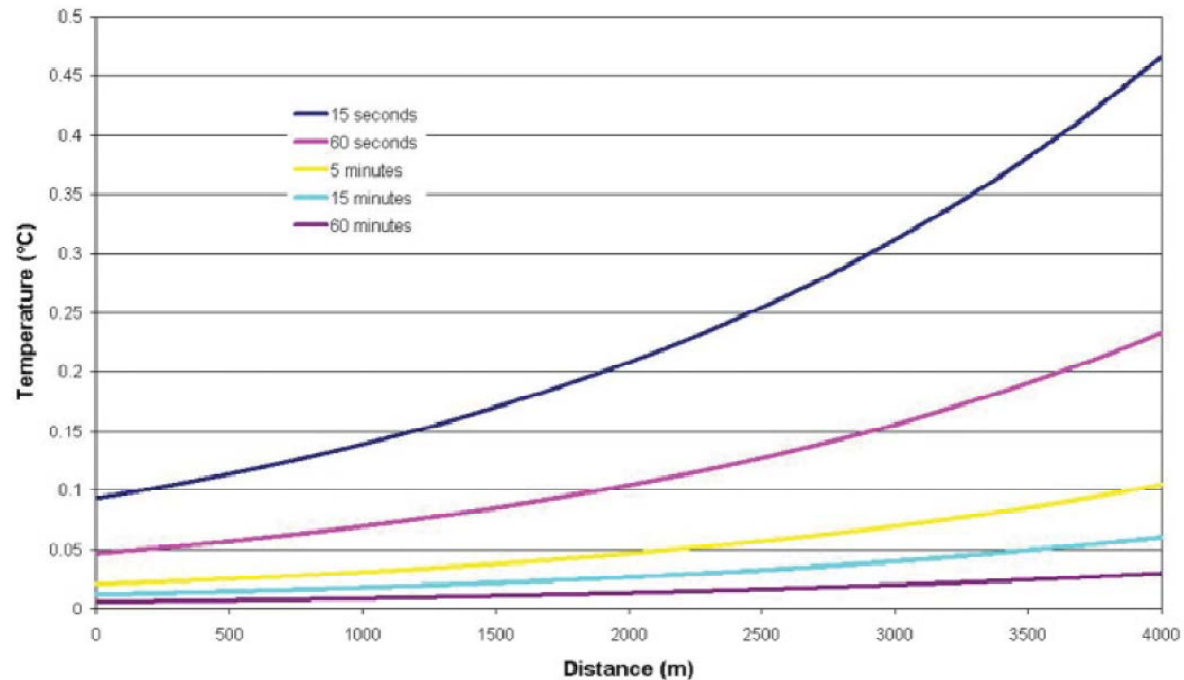
Detección por cable térmico

Aspectos técnicos (según fabricante)

- Criterios de alarma
 - Si la temperatura excede un determinado valor
 - Si la temperatura baja de un determinado valor
 - Por incrementos de temperatura
 - Un punto supera la temperatura media de la zona programada



Detección por cable térmico



Respuesta del sistema en función de:

- Distancia en m
- Resolución en Temperatura

Para 4.000m y precisión 0,5°C el tiempo de respuesta es de 15 segundos

Detección de incendios

Además del cable térmico:

Detectores ópticos de humos en
Centros de Transformación
Cuartos de Baja Tensión y equipos de comunicaciones
Salas de control y cuartos técnicos
Sala de Grupo de Bombeo

Pulsadores de alarma

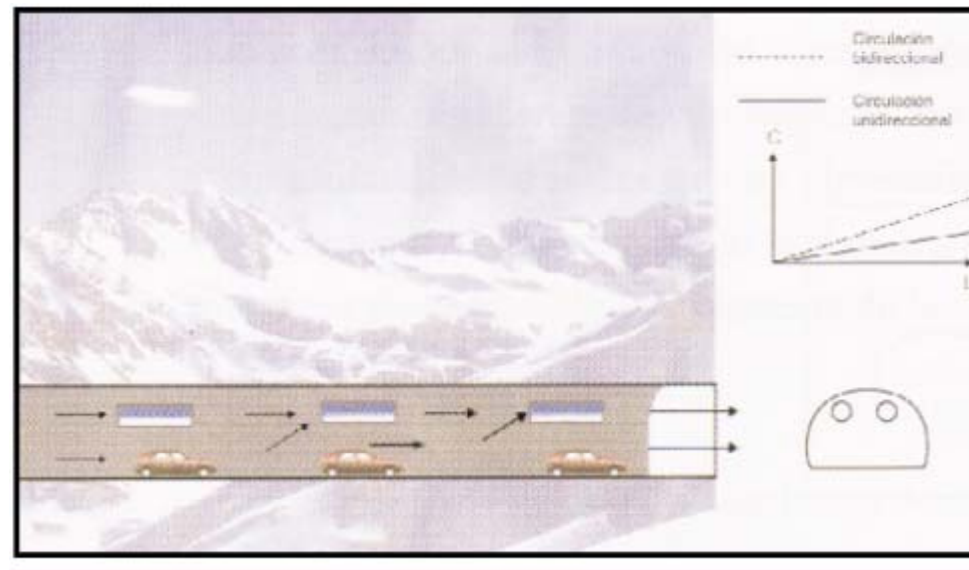
Módulos de supervisión y control
Supervisión de válvulas
Supervisión de puertas de BIEs e Hidrantes
Control de clima, paro de máquinas, etc.
Retenedores de puertas cortafuego

Es necesario cableado de 24Vcc en toda la longitud del túnel

Es necesario cable de lazo en toda la longitud del túnel

Ventilación forzada

Ventilación longitudinal

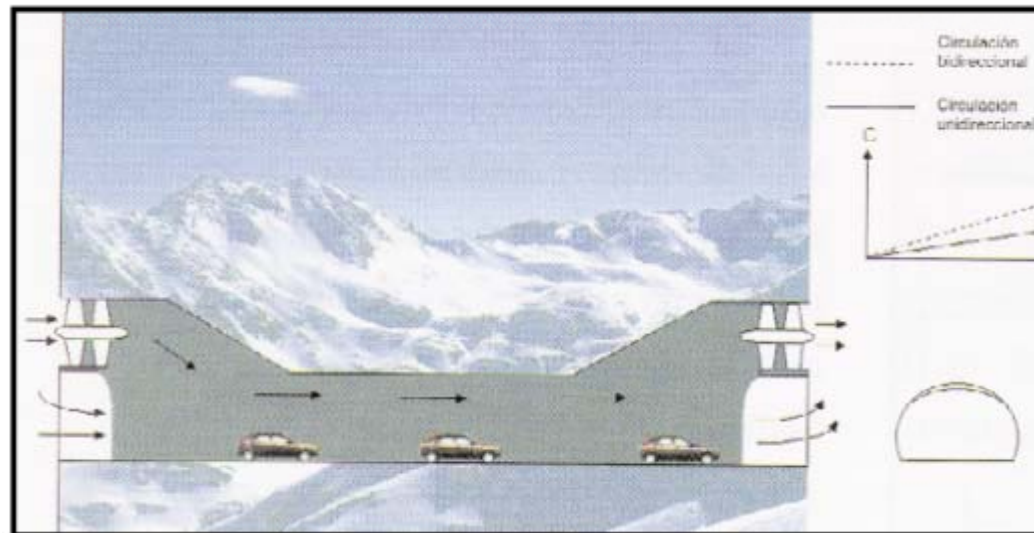


Fuente: Incendios en túneles. Bomberos de Navarra. Carlos Orta

No adecuada para túneles largos

Ventilación forzada

Ventilación longitudinal con toberas en accesos

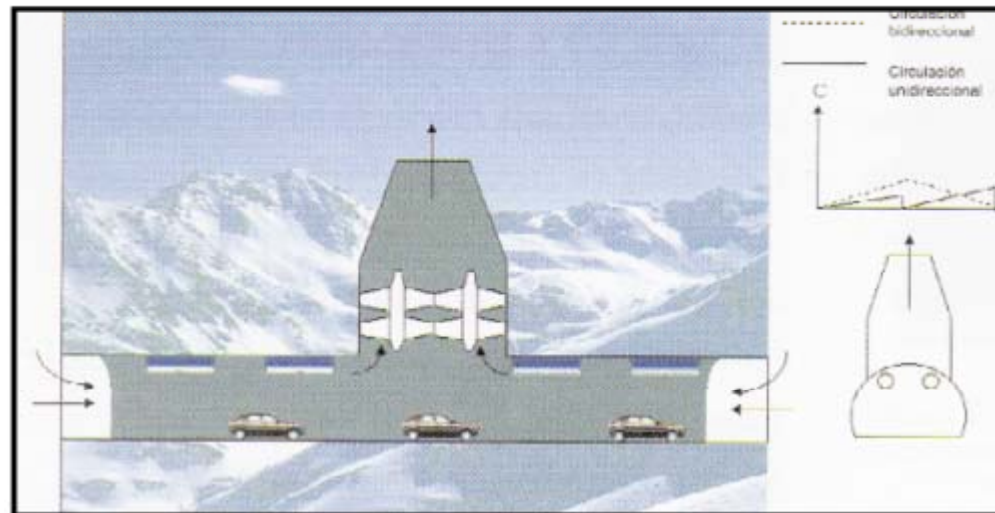


Fuente: Incendios en túneles. Bomberos de Navarra. Carlos Orta

Mismos problemas que la ventilación longitudinal sencilla

Ventilación forzada

Ventilación longitudinal con pozo de extracción

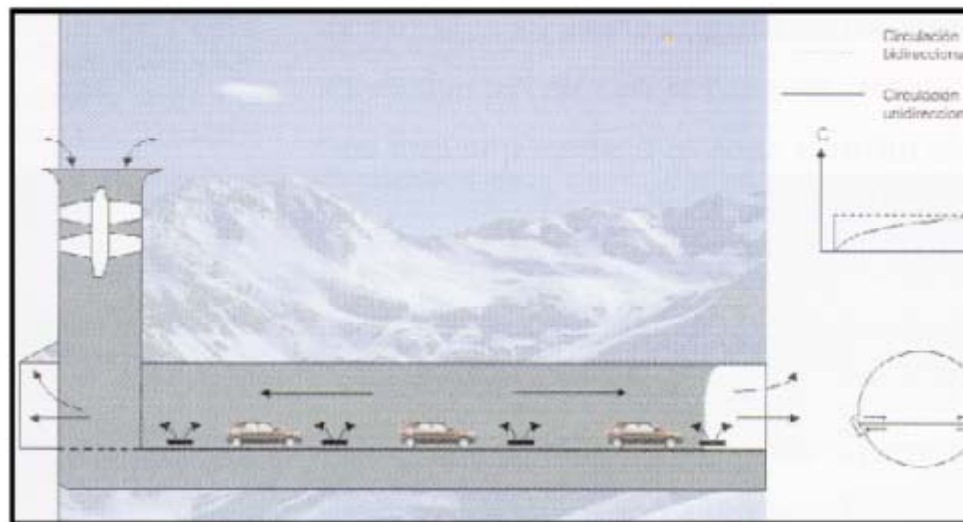


Fuente: Incendios en túneles. Bomberos de Navarra. Carlos Orta

Menos problemas que la ventilación longitudinal sencilla
En túneles largos se pueden crear varios pozos de extracción y
por tanto varios sectores de humo independientes

Ventilación forzada

Ventilación semitransversal

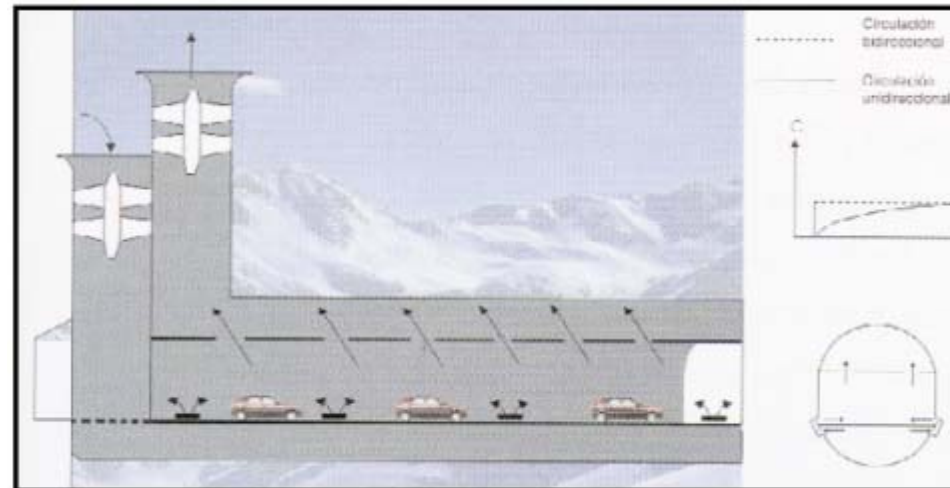


Fuente: Incendios en túneles. Bomberos de Navarra. Carlos Orta

Inyección por conducto independiente y rejillas distribuidas
El humo sale por los extremos, debido a la sobrepresión
Aunque el humo recorre todo el túnel, la concentración se diluye por la entrada de aire fresco

Ventilación forzada

Ventilación transversal



Fuente: Incendios en túneles. Bomberos de Navarra. Carlos Orta

Inyección por conducto independiente y rejillas distribuidas

Extracción del aire viciado también a través de rejillas

Extracción más directa sin atravesar el túnel

En caso de fallo del ventilador extractor, se comportaría como ventilación semitransversal

Se pueden hacer varios sectores de extracción en túneles largos

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

Históricamente ha habido dudas y diferentes opiniones sobre el uso de sistemas de extinción (rociadores, pulverizada, etc.)

Hasta la fecha, tanto la Directiva Europea como la Española NO incluye estos sistemas entre las soluciones exigibles

NFPA 502 actualmente incluye sólo una reseña sobre estos sistemas, considerándolos necesarios únicamente conforme al punto 7.6.2:

“Deben proporcionarse medios aguas debajo de un incidente para enviar el flujo de vehículos fuera del túnel. Cuando no sea posible aportar esos medios, bajo cualquier condición de tráfico, el túnel deberá ser protegido por un sistema fijo de lucha contra incendios u otras medidas adecuadas que permitan mantener un entorno adecuado para la evacuación y entrada de los servicios de emergencia.”

Los pioneros y mayores partidarios han sido los túneles Japoneses



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

1) Los incendios en túneles normalmente ocurren en el interior de vehículos o dentro del compartimento de pasajeros o motor; por tanto, los sistemas fijos de extinción basados en agua no tendrán un efecto de extinción apropiado



RESPUESTA:

El propósito de estos sistemas no es extinguir el fuego sino prevenir su extensión y crecimiento, o su paso a otros vehículos, de forma que el incendio no crezca tanto que sea inatacable por los servicios de seguridad

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

2) Si hay un retardo entre el inicio del incendio y la activación del sistema, una fina capa de agua pulverizada a muy alta temperatura podría producir grandes cantidades de vapor sobrecalentado sin apagar materialmente el incendio



RESPUESTA:

Los test han demostrado que eso no es cierto. Un sistema correctamente diseñado apaga el fuego y enfría el entorno del túnel. Considerando que un camión de transporte pesado incendiado necesita sólo 10 minutos para superar los 100MW y los 1200°C, condiciones fatales, es importante que el sistema de extinción actúe y refrigere lo antes posible



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

3) Los túneles son largos y estrechos, normalmente con pendiente, con gran ventilación, y nunca subdivididos, por tanto el calor normalmente no estará localizado exactamente encima del incendio



RESPUESTA:

Los avances en detección de incendios han hecho posible localizar la posición del incendio en un túnel con suficiente precisión para gobernar sistemas de extinción subdivididos en zonas y que ataquen el incendio en el lugar adecuado.

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

4) Debido a la estratificación de los gases calientes a lo largo del techo del túnel, algunos de los sistemas de extinción que se activen posiblemente no estarán encima del incendio, lo cual producirá un efecto de enfriamiento que provocará la caída del humo estratificado al nivel de carretera, y por tanto impidiendo la evacuación y el rescate



RESPUESTA:

Laboratorios independientes han comentado que no observan esa estratificación. Cualquier sistema de extinción que se active enfriará el túnel para ayudar a los servicios de rescate. Los sistemas zonales se disparan por sistemas de detección de suficiente precisión.

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

5) Una lluvia de agua pulverizada desde el techo, en túneles subacuáticos, puede sugerir un fallo estructural del mismo e inducir pánico entre las personas



RESPUESTA:

En caso de incendio, las personas reconocerán, muy probablemente, el rociado desde boquillas como una medida contra incendios.

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

6) El uso de agua puede causar la deslaminación de la capa de humos e inducir turbulencias y mezcla de aire y humo, por tanto amenazando la seguridad de las personas.



RESPUESTA:

Los test de incendios han demostrado que el humo no forma normalmente una capa en la parte superior del túnel, sino que rápidamente llena por completo la sección del túnel. El movimiento normal del aire en el túnel acelera este proceso. Los sistemas de extinción reducen la temperatura y el riesgo de que el fuego se extienda a otros vehículos

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

PRINCIPALES ARGUMENTOS EN CONTRA Y RESPUESTAS A FAVOR (NFPA-502)

7) Las pruebas periódicas de los sistema de agua para determinar su estado son impracticables y caras



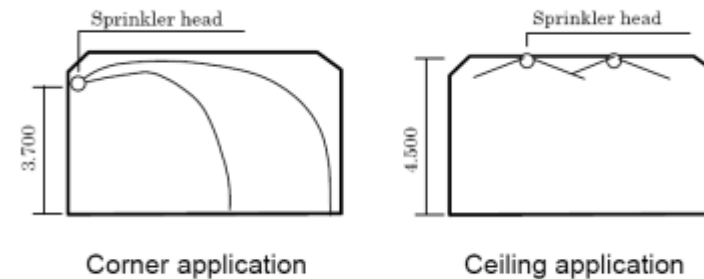
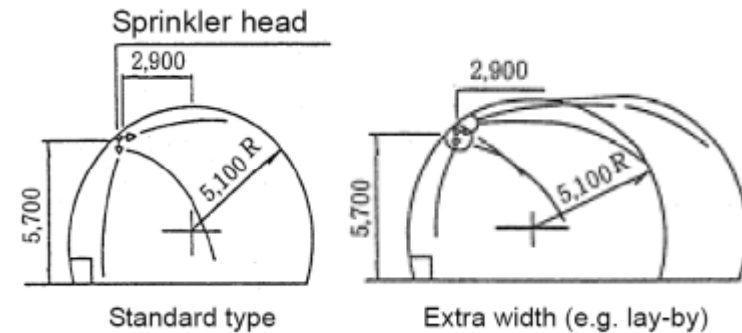
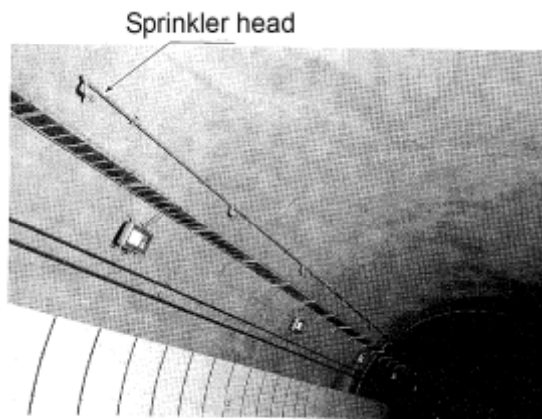
RESPUESTA:

La prueba de descarga completa normalmente sólo se hace en la puesta en marcha. Durante las pruebas rutinarias, el sistema puede configurarse para descargar a través de algún circuito de pruebas y ser conducido al sistema de drenaje

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

CRITERIOS DE DISEÑO

(Ministry of Land Infrastructure and Transport of Japan, MOLIT)



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

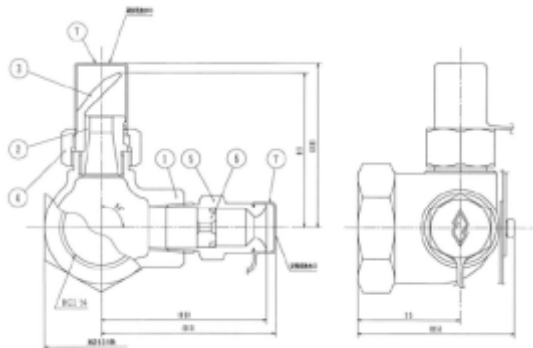
CRITERIOS DE DISEÑO

(Ministry of Land Infrastructure and Transport of Japan, MOLIT)

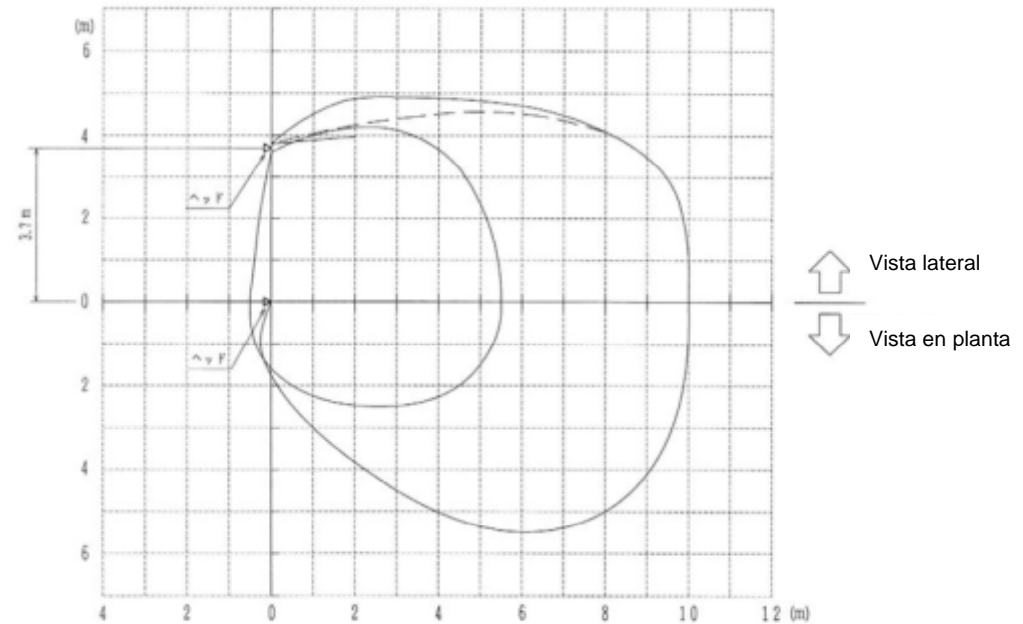
- **Sistemas de diluvio longitudinalmente**
- **Boquillas cada 5m**
- **1 sección (válvula de diluvio) cada 50m**
- **Densidad de diseño: 6 l/min·m²**
- **Sistema de control en función de longitud, estructura y ventilación**

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

BOQUILLAS

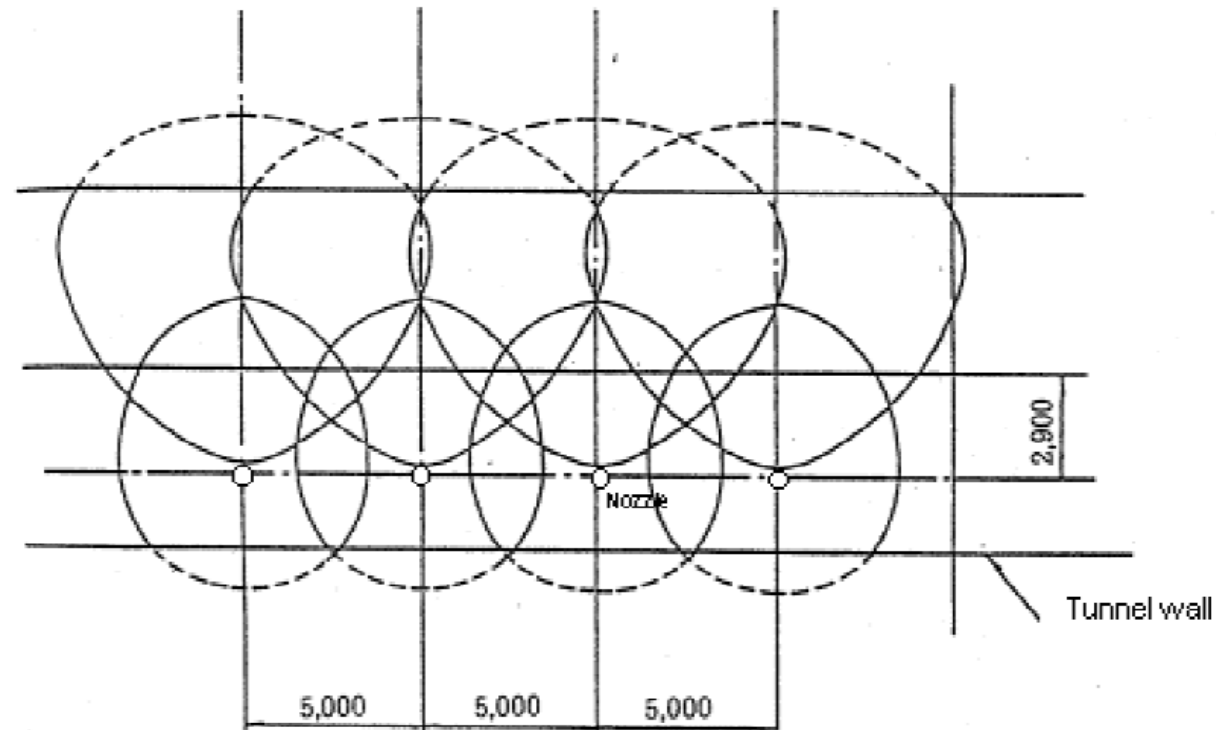


1: Body, 2: Long range nozzle, 3: Deflector, 4: Ball, 5: Short range nozzle, 6: Spiral, 7: Dustproof cap



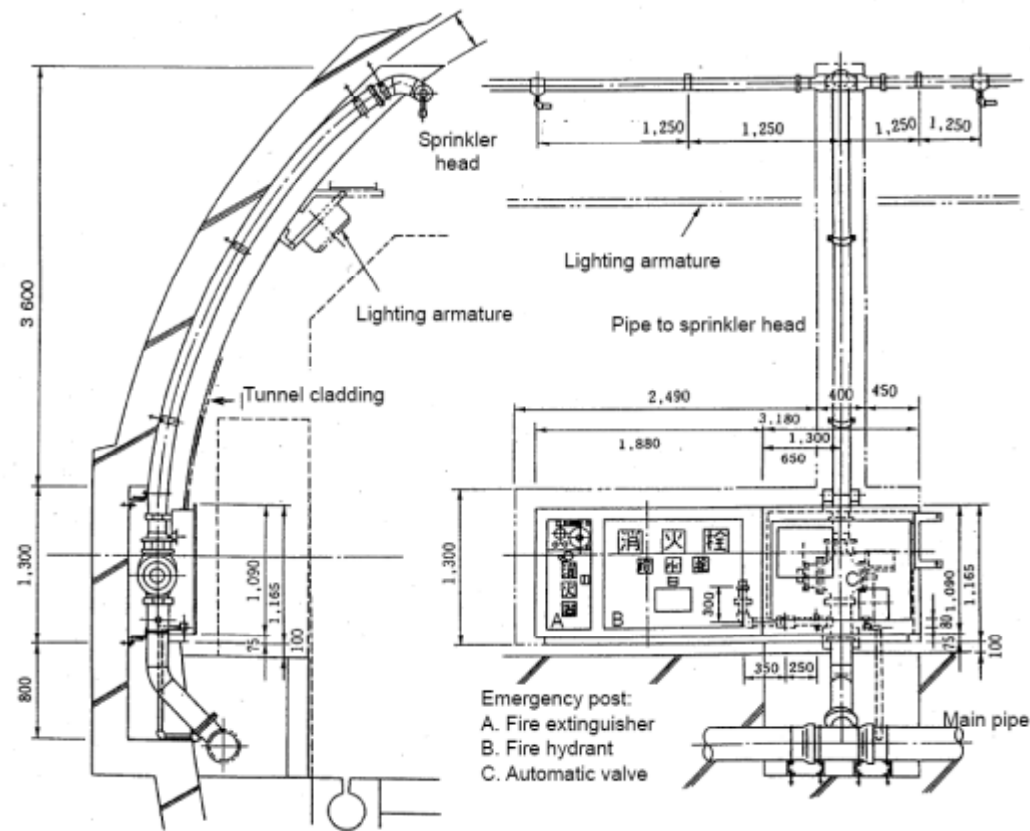
Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

Boquillas. Disposición y coberturas



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

Ejemplo de instalación



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

Fotografías



Inicio de prueba de descarga



Sistema descargando

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.



Detalle de boquilla



Patrón de descarga uniforme



Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.



Sistema parando



Sistema parando

Sistemas fijos de extinción: Rociadores, pulverizada, etc.

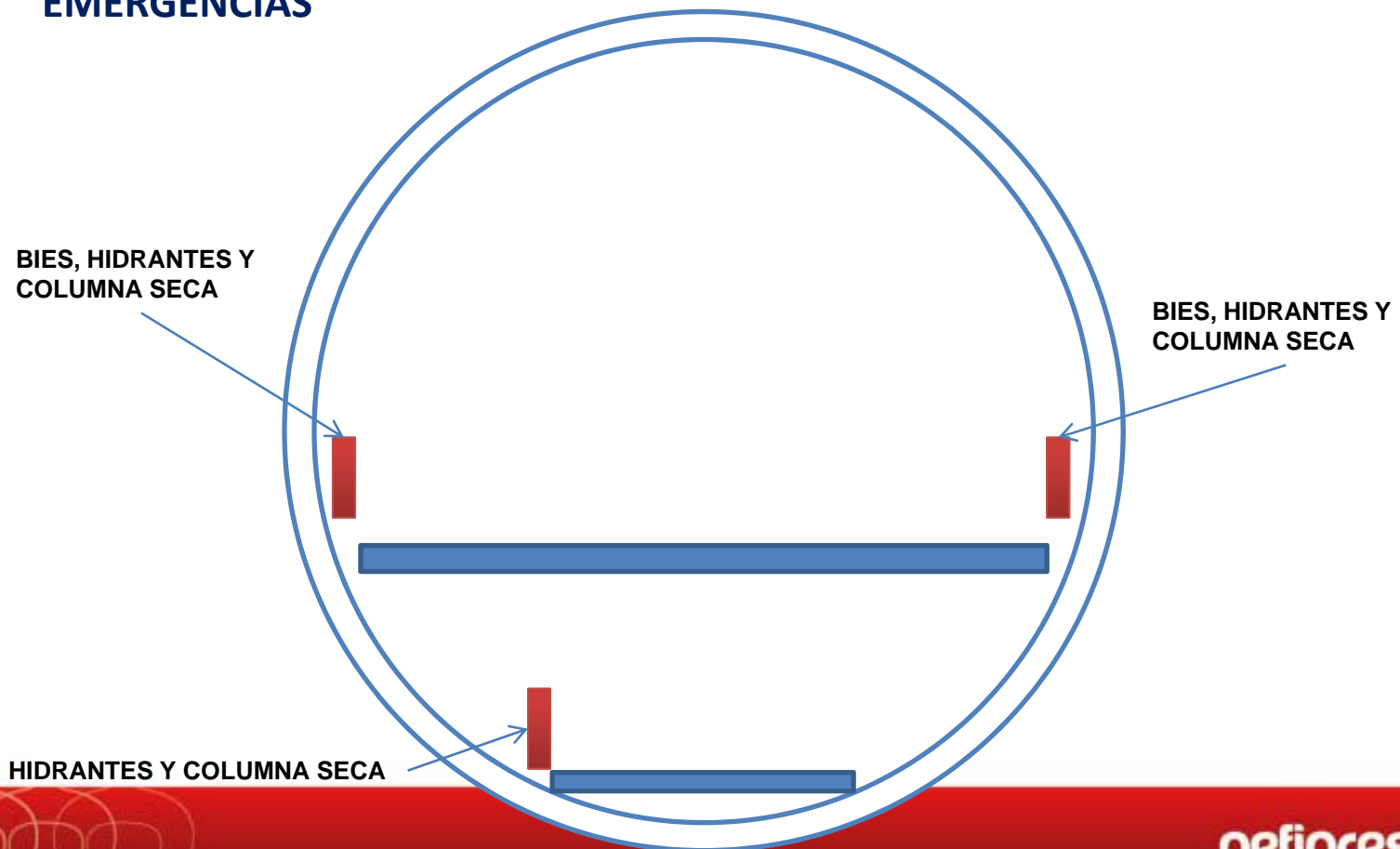


Descarga desde ambos lados



Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



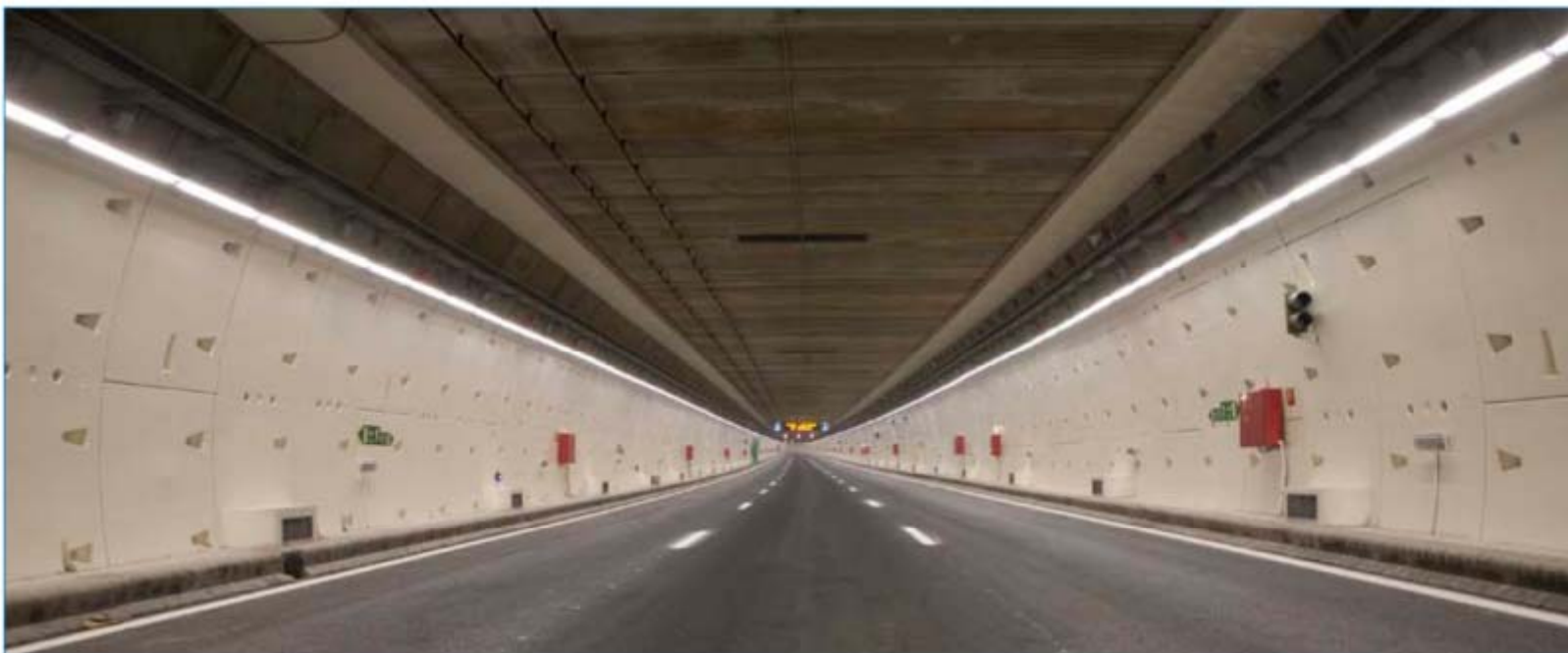
Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS

- Bies en sección superior cada 25m, a ambos lados de la calzada
- Hidrantes cada 200m, en todas las salidas de evacuación
- Columna seca cada 200m, en todas las salidas de evacuación
- Hidrantes cada 100m, en carril inferior de emergencias
- Columna seca cada 200m, en carril inferior de emergencias
- Ventilación transversal
- Cable detector

Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Fuente: Ayuntamiento de Madrid



Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Fuente: Ayuntamiento de Madrid

Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Fuente: Ayuntamiento de Madrid

Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Fuente: Ayuntamiento de Madrid

Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



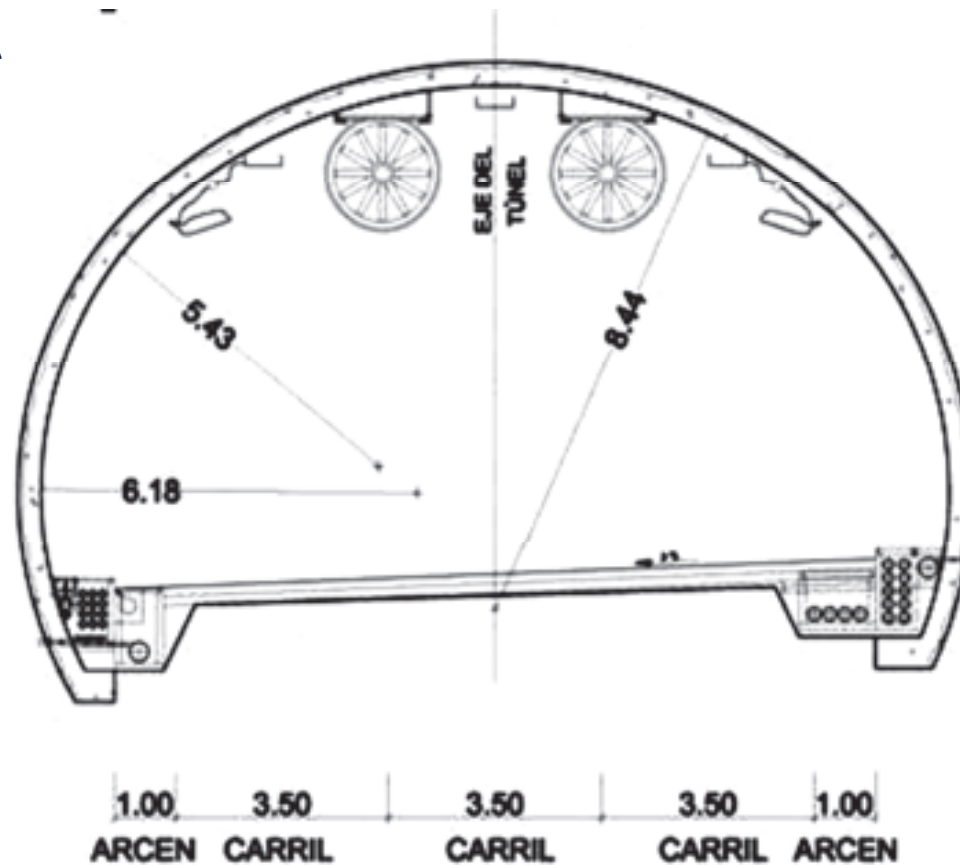
Casos reales

TÚNEL SECCIÓN CIRCULAR CON LOSA DE RODADURA Y CARRIL INFERIOR DE EMERGENCIAS



Casos reales

TÚNEL DE MONTA



Fuente: Iberpistas

Casos reales

TÚNEL DE MONTAÑA

- Bies en sección superior cada 42m, a ambos lados de la calzada
- Hidrantes cada 125m, en todas las salidas de evacuación
- Ventilación transversal cenital
- Cable detector

Casos reales

TÚNEL DE MONTAÑA



Casos reales

TÚNEL DE MONTAÑA



Casos reales

TÚNEL DE MONTAÑA



Problemas técnicos

1) Longitud de líneas de comunicación, fibra óptica, alimentación, etc.

Es necesario realizar cálculos para seleccionar las secciones de cable apropiadas

2) Las centrales de detección automática tienen una limitación en la longitud de los lazos (2km orientativamente)

Puede ser necesario prever más de una central por dicha limitación

3) Longitud máxima de cable detector

Existen sistemas de muy largo alcance, pero alto precio

Problemas técnicos

4) Presiones

- 1 grupo de bombeo cubre una gran distancia
- El desnivel puede alcanzar hasta cientos de metros
- Hay que garantizar la presión mínima en el punto más desfavorable
- No se puede superar una presión máxima para poder accionar los equipos



VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN

Problemas técnicos

VÁLVULAS REDUCTORAS DE PRESIÓN



Problemas técnicos

5) Congelaciones

- Habitualmente, puertos de montaña y similares
- Es necesario calorifugar tuberías aéreas húmedas
- Es necesario recubrir armarios de BIEs, etc.
- Sistemas secos son posibles, pero se debe garantizar que el agua llegue en un tiempo suficientemente corto al equipo
- NPFA recomienda el traceado eléctrico de las tuberías

Problemas técnicos

6) Supervisión de sistemas

- Robos o accionamiento de equipos PCI
- Es necesario supervisar su estado
- Conlleva instalar finales de carrera y elementos similares
- Conlleva instalar lazo a lo largo de todo el túnel

