

SEGURIDAD EN TÚNELES

TÚNEL DE BRACONS.

INSTALACIONES DE SEGURIDAD

Enrique Segura Echániz

Jefe de Departamento de Túneles e ITS

AUDING, S.A.

1. Introducción

En el tramo de la carretera C-37 y para poder comunicar con una vía rápida la comarca de la Garrotxa con la comarca de Osona, se han construido 10 túneles bidireccionales, el primero y los cuatro últimos de 3 carriles y el resto de 2 carriles, con una IMD de aproximadamente 6.300 vehículos/día.

Estos túneles son:

Nombre	Longitud
La Cavorca	160 m
Els Corbs	90 m
Salines	157 m
Sala	508 m
Vola	500 m
Rierola	106 m
Bracons	4.610 m
Carrera	122 m
Famada	94 m
Codina	1.448 m

Los túneles cumplen con la Directiva Europea CE 54/2004, y con la transposición a la normativa catalana (actualmente en fase de aprobación).

2. Descripción del túnel

El eje Vic – Olot por el túnel de Bracons tiene dos objetivos básicos: la conexión de la Cataluña central con Figueres y la frontera francesa a través del eje Pirenaico (N-260), y la comunicación intercomarcal entre Osona y la Garrotxa como elemento decisivo para el crecimiento socioeconómico y para la vertebración del territorio.

En la nueva carretera Vic – Olot (C-37) por Bracons ya se ejecutaron dos tramos en su paso por la comarca de Osona: el tramo Vic - Manlleu y el tramo Manlleu - Torelló, los cuales entraron en servicio en 1998 y en 2002 respectivamente.

El Túnel forma parte de las obras de construcción de la nueva carretera C-37 Vic - Olot, tramo Torelló - La Vall d'en Bas. Después del viaducto del río Fornès, en torno al PK 12+000 se produce el cruce con el camino de Can Pigallem, que conecta con la carretera de Sant Pere de Torelló. Este tramo se sitúa en la zona de entrada de la boca Sur del Túnel de Bracons. Se han acondicionado unas conexiones de emergencia entre la nueva carretera y el camino de Can Pigallem, justo antes de la entrada al túnel, que permitirá, en caso de cierre del túnel, el desvío de los vehículos hacia la carretera actual BV-5224 de Sant Pere de Torelló hacia la Vall d'en Bas. También en esta zona se ha acondicionado una plataforma de servicios y accesos a la galería de evacuación.

En el PK 12+092, entre Collet de la Devesa y Plans de Pigallem, se sitúa la boca Sur de entrada al túnel de Bracons. El trazado en planta del túnel es prácticamente rectilíneo, con un corto tramo curvo a 500 m de la boca de salida, y se diseña con una pendiente constante de aproximadamente el 1,7%. Se ha considerado para el túnel una sección de tres carriles de circulación, uno en sentido descendente hacia Olot y dos en sentido ascendente hacia Vic.

La boca Norte del túnel se sitúa en el PK 16+430, ya en la Garrotxa, en la zona de la ermita de Sant Mateu, con orientación Norte, evitando así problemas de deslumbramiento. En la salida del túnel, así como en la boca Sur, se acondiciona también una plataforma de servicios y accesos a la galería de evacuación.

El túnel dispone de una galería de evacuación paralela al túnel con accesos a éste cada 400 m aproximadamente.

La siguiente Figura 2 1 representa la situación geográfica del túnel.



Figura 2 1: Mapa de situación del túnel de Bracons.

El siguiente esquema representa la sección transversal del túnel en una de las bocas, con representación de la proyección del falso techo.

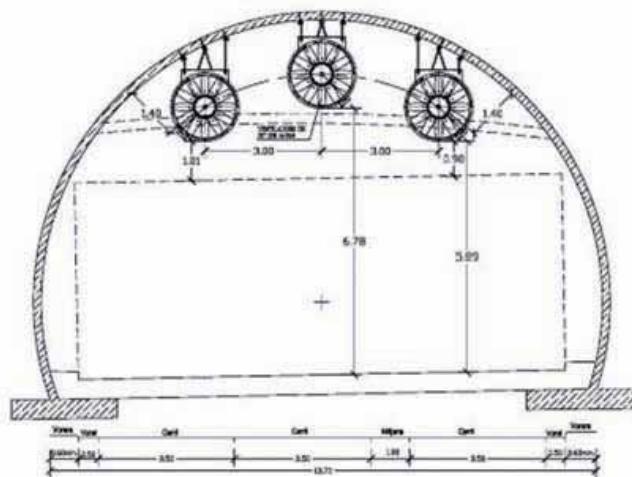


Figura 2 2: Sección transversal del túnel.

Desde el Centro de Control de Bracons (CCB), se llevan a cabo la gestión de todos los túneles. En los Locales Técnicos (L.T.), se sitúan los equipos para el control local de cada túnel, y es posible llevar a cabo una gestión local en caso de pérdida de la comunicación con el CCB o bien para tareas de mantenimiento y donde están ubicados los equipos que permiten conectar este local con el exterior. La red de comu-

nicaciones, está formada por un anillo físico de fibra óptica, donde se conectan los Switchs que forman una red Gigabit Ethernet a los cuales se conectan también los equipos de control de los dispositivos finales (ERU's). Una parte del anillo tiene su recorrido por un margen del túnel, y la otra por la galería de evacuación. La ERU, como equipo concentrador y controlador de dispositivos, está conectada a la red a través del Switch Gigabit.

El control de la ventilación se realiza por medio de detectores de CO, NO_x, opacímetros, anemómetros, y estaciones meteorológicas en las bocas del túnel.

El alumbrado de aproximación al túnel, que funciona en horario nocturno y días nublados, se regula mediante fotocélulas. El interior de túnel está formado por luminarias de repartición fotométrica simétrica colocadas a los dos lados.

El sistema de detección de incendios va acompañado de otros sistemas auxiliares y de un plan de actuación conocido por las personas encargadas de gestionar la actuación en caso de incendio. Los sistemas de detección son los siguientes: detectores lineales bi-metálicos (cable sensor) y los opacímetros, fundamentalmente, situados cada 500 m a lo largo del túnel.

Los equipos para la extinción de incendios forman parte de los postes SOS de los locales técnicos. También se dispone de una red de agua contra incendios formada por una estación de bombeo que suministra un caudal de agua a la red a una presión determinada. Consta de dos bombas principales de tipo eléctrico, una activa y otra de reserva para asegurar un funcionamiento ininterrumpido en caso de necesidad. Dispone de un depósito con una capacidad mínima de 120 m³. El sistema es capaz de suministrar agua a dos hidrantes a la vez, con un caudal de 60m³/h cada uno durante una hora y con una presión de 6 bar.

El sistema de megafonía permite dar mensajes a los conductores en casos de incidentes que les obliguen a tomar acciones no previstas. Estos mensajes se pueden enviar tanto al interior del túnel, como a las bocas y zonas próximas a las barreras de cierre, como también en el interior de las galerías de evacuación. Para poder emitir desde el centro de control mensajes inteligibles pese al ruido ambiental y las reverberaciones del interior del túnel, se divide el túnel en secciones, que al mismo tiempo permite al sistema enviar mensajes particularizados en cada zona. Existe la posibilidad de dar mensajes en vivo o pregrabados.

El sistema de comunicaciones por cable radiante permite el intercambio de información entre estaciones de radio fijas y estaciones móviles ó portátiles que se encuentren situadas en el interior del túnel o galería. El sistema de cable radiante ofrece los siguientes servicios: Canales de RTP de VHF (80 y 160 MHz) y UHF (400 a 470 MHz) para servicios de emergencia (Bomberos, SOS, Protección Civil, Tráfico, etc) o por los servicios de mantenimiento del propio túnel. Canales de emergencia por difusión de radio RDS, canales de frecuencia o amplitud modulada para la difusión de AM/FM comercial, con la posibilidad de difundir mensajes desde el Centro de Control, y canales de red Rescat.

La función principal de los postes SOS es la comunicación bi-direccional de audio (voz IP). Se han instalado postes SOS tanto en el interior de los túneles como en el exterior en las proximidades de las bocas. La solución de voz IP consiste en una serie de elementos hardware y software que interoperan entre sí. Se compone de una serie de unidades digitalizadoras y emisoras de audio, que deponen la información digitalizada en la red y de unidades receptoras que, recogiendo la información de la red, pueden descomprimirla y pasarla a formato analógico. Esta solución permite comunicación full-duplex entre diferentes equipos mediante el software y hardware adecuados.

El sistema utilizado para dar una información de tipo variable al conductor mediante los paneles de mensaje variable se basa en tecnología de LED, y están situados tanto en las proximidades de las bocas de los túneles como en el interior de los mismos, así como a inicio de la traza en ambos extremos.

Se dispone de señales de gestión de carril tipo aspa/flecha con la finalidad de indicar al conductor el estado de circulación por los carriles de la vía. En determinadas ocasiones puede ser necesario redistribuir el tráfico en una vía con la finalidad de aumentar la capacidad, eficiencia y seguridad de la vía, debido a congestiones, accidentes, condiciones meteorológicas adversas, etc.

Para señalar la prohibición de circulación en caso de cierre de túnel o sentido de circulación, se dispone de semáforos tipo RAV en las proximidades de las bocas de los túneles o grupo de túneles, así como semáforos AA para advertir de la precaución en la circulación. La fuente de iluminación se basa en tecnología LED.

Dada la especial importancia que tiene la velocidad en la seguridad de circulación por el interior de los túneles, se han instalado los siguientes equipos de control de la

velocidad: señales luminosas de velocidad situadas sobre cada carril, o en posición lateral; señales luminosas de velocidad variable con la posibilidad de variar este límite, adaptándola a las condiciones de circulación de la vía (obras, accidentes, congestión, condiciones metodológicas adversas,...). No tiene finalidad sancionadora, sino una herramienta de gestión de tráfico del túnel. Están basadas en tecnología LED.

Como control de gálibo se han instalado controladores de gálibo de tipo mecánico (pórticos reforzados), y un sistema de control óptico que contempla la advertencia previa a los conductores que superen el límite permitido, haciéndoles desviar por otra ruta.

Se han instalado estaciones de toma de datos de tráfico (ETD's) en las bocas de los túneles o grupo de túneles y en el interior de estos.

Para el cierre físico del túnel, se han instalado barreras, que permiten o impiden el paso de los vehículos hacia el túnel o grupo de túneles. Esta acción está inmersa dentro de los planes de cierre que tienen en cuenta otras acciones paralelas, como avisos en los paneles de mensaje variable, activación de los semáforos, etc.

Se ha instalado un sistema de balizamiento lateral luminoso en ambos laterales del túnel (aproximadamente a un metro de altura respecto la calzada), para señalar la distancia de seguridad entre vehículos, ser un referente luminoso de los límites geométricos del túnel, en situación normal, y servir de guía de emergencia en caso de pérdida del alumbrado principal. Consta con dos caras de emisión de luz, y su disposición es de una luz de color amarillo cada 5 de color azul en el sentido de circulación de los vehículos, y color blanco en el otro sentido.

En las puertas de las salidas de emergencia se disponen de luces estroboscópicas, que se encenderán cuando haya una emergencia y destellarán para advertir a los posibles usuarios de la ubicación exacta de la puerta de salida. Para potenciar la señalización de las salidas de emergencia también se dispone de flechas electroluminiscentes situadas 50 m a cada lado de éstas.

Se dispone de doble suministro de alimentación, con una conmutación que permite el suministro de una de ellas cuando falla la otra. Existe suministro de energía con grupos electrógenos para garantizar el suministro en caso de avería de la red principal.

El sistema de alimentación ininterrumpida (SAI) en todos los túneles se encarga de garantizar el suministro sin ningún corte a los elementos críticos de seguridad. Se consideran elementos críticos: los equipos informáticos (ERU's, etc.); el equipamiento de control ambiental; la señalización de carril y semáforos de emergencia; el alumbrado de emergencia y el balizamiento luminoso lateral. Los SAI's están dimensionados junto con los grupos electrógenos, puesto que el SAI asegurará el suministro de energía sin interrupción hasta que entre en funcionamiento el grupo electrógeno.

El suministro de energía eléctrica a todos los sistemas se realiza a través de tres centros de transformación en el túnel de Bracons. Los centros de transformación (CT-1 y CT-3) de 2500 KVA de 20.000/400 V, están situados en la boca lado Torelló y Vall d'en Bas, respectivamente. El CT-2 de 1000 KVA de 20.000/400 V, está en el interior del túnel.

Según las cargas, los sistemas de alimentación ininterrumpida SAI's tienen una potencia de: CT1: 60 KVA - CT2: 100 KVA - CT3: 60 KVA. Se dispone de grupo electrógeno en: CT1 (1.700 KVA), CT2 (730 KVA) y CT3 (1.700 KVA).

El túnel dispone de sistema de CCTV y DAI (Detección Automática de Incidentes). Mediante el CCTV se controla toda la longitud del túnel de Bracons así como sus accesos. El sistema de CCTV posibilita la visualización y grabación de las imágenes captadas por el conjunto de cámaras distribuidas cada 100 m en el túnel. Existen además las cámaras móviles exteriores situadas en los accesos a 10 m de altura. Asociado al sistema de cámaras de televisión existe un sistema de Detección Automática de Incidentes, basado en el análisis informatizado de imágenes.

Los equipos instalados a los Túneles de Bracons generan una importante cantidad de información que debe ser analizada para tomar decisiones, la mayor parte de las cuales afectarán a otras instalaciones del túnel, y debe ser archivada para disponer de un registro histórico que ayude a solucionar los problemas futuros que pueda presentar la explotación del túnel. Todas las instalaciones de los Túneles de Bracons están gobernadas desde el Centro de Control Local en la boca del Túnel de Bracons, el CCB, lado Sant Pere de Torelló. La transmisión de la información generada en los túneles hacia el CCB, estará gestionada por las Estaciones Remotas Universales (ERU).

Las ERU's instaladas en los Túneles de Bracons corresponden a las especificaciones de la denominada Estación Remota Multifuncional homologadas por la D.G.T. Estas ERU's se conectan directamente a la Red de comunicaciones (doble anillo Gigabit

Ethernet), mediante el Switch correspondiente, que conectará los diferentes elementos con el ordenador de control dónde, mediante un software, se gobernará todo lo que hace referencia al tránsito del túnel. En el CCB es posible implantar varios clientes del sistema de control de captura de información conectados en red. Existe una función de conexión de red que ofrece servicios de red punto a punto entre uno o varios sistemas de control de captura de información en red (como mínimo TCP-IP).

Mediante esta función se permite realizar intercambios entre diferentes bases de datos o transferir ficheros entre estaciones. Igualmente una estación podrá utilizar los recursos de un servidor conectado a la red; básicamente discos e impresoras. Existe una red local que permite interconectar todos los equipos de control entre sí con un ordenador servidor en el CCB.

El anillo de Módulos de E/S, se encarga de controlar las entradas/salidas analógicas y digitales, así como los Inputs/Outputs de potencia de los dispositivos finales (sensores, plafones, cuadros de ventilación e iluminación, semáforos, etc). El hardware está en el Local Técnico. La red local está formada por el anillo de fibra óptica a la cual se conectan los switch's Gigabit Ethernet. De cada Switch se conecta una ERU y se controlan todos los dispositivos finales de control. Las entradas/salidas analógicas y digitales se controlan desde una subred de módulos de control formando un buzo industrial.

3. Análisis de riesgos

AUDING ha desarrollado una metodología propia de Análisis de Riesgos, aplicándola al grupo de túneles de Bracons.

En estos análisis se han utilizado simulaciones de ventilación y de evacuación para diversos escenarios.

A continuación se presenta el ejemplo del Túnel de Bracons.

3.1. Descripción de las instalaciones de seguridad

La boca Norte del túnel se sitúa en el PK 16+430, ya en la Garrotxa, en la zona de la ermita de Sant Mateu, cómo se ha mencionado previamente con orientación Norte, evitando así problemas de deslumbramiento.

En la salida del túnel, así como en la boca Sur, se acondiciona también una plataforma de servicios y accesos a la galería de evacuación.

- Estructuras de seguridad implantadas en los accesos del túnel:
- Barreras de seguridad de cierre del túnel en cada sentido que, en caso necesario, impiden el acceso al túnel.
- Una sala de acogida en la boca de la Vall d'en Bas y otra en el mismo local técnico, que conectan con la galería de evacuación, para acoger a los usuarios en caso de peligro.
- Panel indicador en cada acceso del túnel con 3 líneas y 2 áreas gráficas, con el fin de prevenir e informar a los usuarios de las condiciones específicas del túnel.
- Controles de gálibo electrónicos antes de los accesos al túnel, con señal oculta de desvío y posteriormente gálibo mecánico.
- Cámaras tipo Domo en las bocas del túnel.
- Estructuras de seguridad implantadas en el túnel:
- 14 apartaderos, dotados con postes SOS (cada 350 m aproximadamente).
- 11 salidas de emergencia, protegidas mediante puertas cortafuegos, aisladas y presurizadas, que comunican con la galería de evacuación. Tres de éstas permiten el paso de vehículos. Se encuentran aproximadamente cada 400 m. En el interior se han instalado postes SOS, extintores, CCTV, megafonía y cable radiante.
- Estaciones de emergencia dotadas de postes SOS de tecnología IP, y 2 extintores, cada 150 m aproximadamente, a lo largo de todo el túnel.
- Tomas de agua del tipo hidrantes de contraincendios cada 150 m aproximadamente.
- CCTV, con la instalación de 1 cámara cada 75 m aproximadamente, con gestión DAI.
- Cable radiante en el túnel y la galería, que permite comunicaciones vía radio para ayuda a la conservación y explotación, a los servicios de emergencia, y la retransmisión de las emisoras de radio a los usuarios, con la posibilidad de que introducir mensajes.
- Megafonía con tecnología IP en túnel y galería.
- Además de la señalización de tráfico reglamentaria, los paneles de mensajes variables de 1 línea (PMV) del interior del túnel, y los semáforos de preaviso en ambos sentidos de circulación, facilitan la información a los usuarios y la gestión del tráfico.
- Iluminación estroboscópica en salidas de emergencia.
- Iluminación de hilo de Ariadna en salidas de emergencia (flechas de señalización electroluminiscente).
- Ventilación longitudinal reversible en las bocas, diseñada para una potencia térmica de incendio de 30 MW.
- Ventilación semitransversal en el interior del túnel para una potencia térmica de

- incendio de 30 MW,
- Señalización dinámica de elementos de seguridad.
 - ERU's en el túnel (salidas de emergencia y locales técnicos) y red Gigabit redundante en el túnel y en la galería.
 - Semáforos RAV, aspa-flechas y semáforos AA de preaviso, de tecnología LED.
 - Iluminación normal, mediante proyectores de VSAP.
 - Iluminación de evacuación, mediante luces de emergencia.
 - Iluminación de seguridad, mediante "hublots" alimentados de SAI y grupo electrógeno, y una parte de la iluminación nocturna también.
 - Postes SOS con tecnología IP.
 - Opacímetros, detectores de CO y detectores de NOx.
 - Anemómetros ultrasónicos.
 - Sensores de iluminación.
 - Cable sensor detector de incendios.
 - Espiras del sistema de aforo.
 - Doble acometida eléctrica de dos compañías suministradoras diferentes.
 - Grupos electrógenos en las bocas y en el centro del túnel.
 - Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI).
 - Cableado resistente al fuego para los equipamientos de seguridad.
 - Ventilación:
 - Sistema de ventilación combinado longitudinal y semitransversal no reversible.
 - El falso techo del túnel dispone de compuertas de extracción 2,5m², a razón de una trampilla cada 75 metros, de lamas motorizadas y su caudal de extracción puede variar de 190 a 248 m³/s en la zona próxima al incendio.
 - Se dispone de un total de 15 jets reversibles en los dos tramos de falso túnel de 90 kW cada uno (siendo una pareja redundante), y 2 axiales de 315 kW situados en los edificios de ventilación para incendios ocurridos en la zona de falso techo.

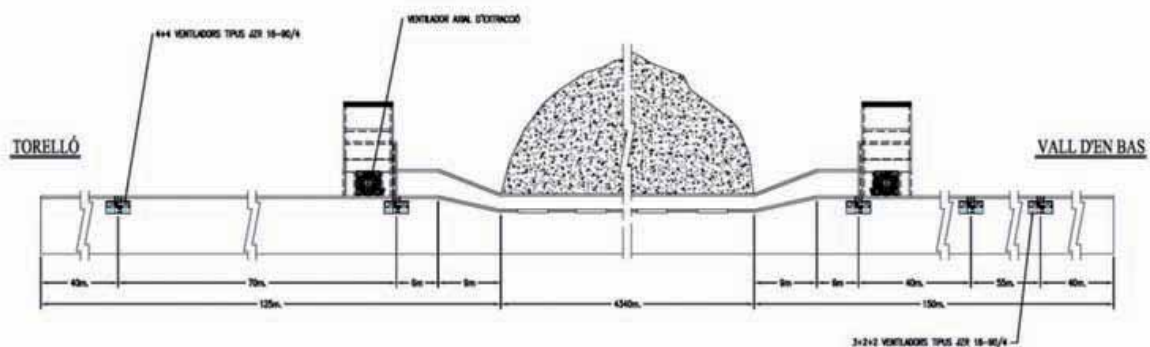


Figura 3 1: Esquema del sistema de ventilación.

3.2. Hipótesis consideradas

Las hipótesis consideradas han sido las siguientes:

1. Potencia térmica del incendio de 30 MW, ya que no se permite la circulación de mercancías peligrosas por este túnel.
2. Velocidad de los usuarios en función de la concentración de CO.
3. Causas de mortalidad estudiadas-
 - a. Inhalación de CO.
 - b. Exposición a alta temperatura
 - c. Efecto de la radiación térmica
4. Simulaciones en diferentes puntos según actuación de la ventilación y recorrido a la salida de emergencia.
5. Ventilación forzada se activa 6 minutos después de la detección del incendio.
6. Densidad de ocupación de los vehículos de 1,5 ocupantes/vehículo.

3.3. Modelos de vulnerabilidad y evaluación de consecuencias

La función Probit relaciona la magnitud de un impacto con el grado de daño que éste ocasiona:

$$Y = a + b \cdot \ln(V)$$

dónde:

Y es la variable Probit, % de la población expuesta que sufre los daños.

V es la intensidad del fenómeno que causa el daño (dosis recibida).

a, b son valores determinados experimentalmente para los diferentes modelos.

Se ha utilizado en los cálculos para el CO y la radiación térmica.

Escenario 1. Accidente e incendio en el punto central del túnel (bloqueando una salida de emergencia). Las salidas más próximas están a 400m en cada sentido.

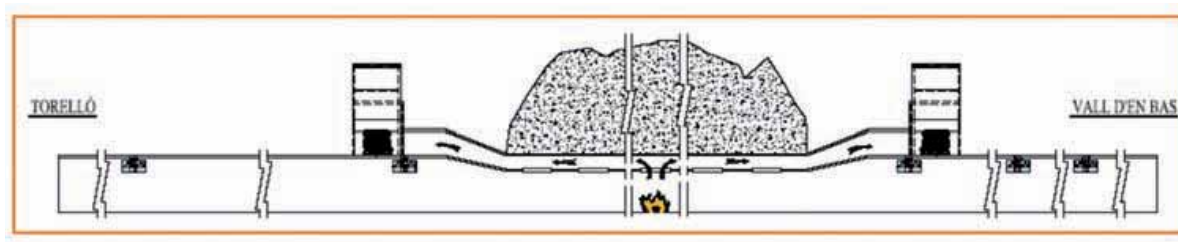


Figura 3 2: Esquema de escenario 1 de incendio.

Escenario 2. Accidente e incendio en un punto situado a un cuarto de la longitud del falso techo (próximo a la Garrotxa).

- a) Suponiendo la torre de extracción del lado Garrotxa NO operativa. Extracción desde el lado Osona.

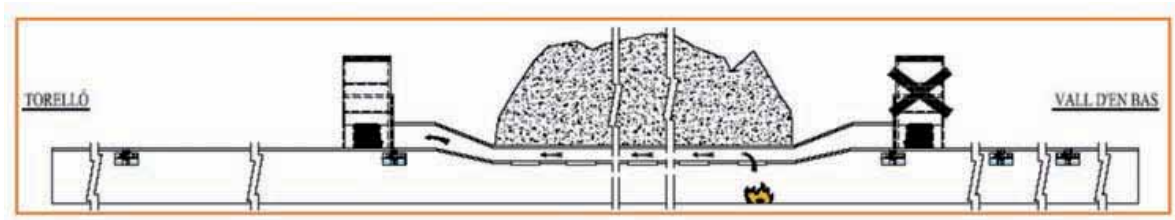


Figura 3 3: Esquema de escenario 2.a de incendio.

- b) Suponiendo la torre de extracción del lado Osona NO operativa. Extracción desde el lado Garrotxa.

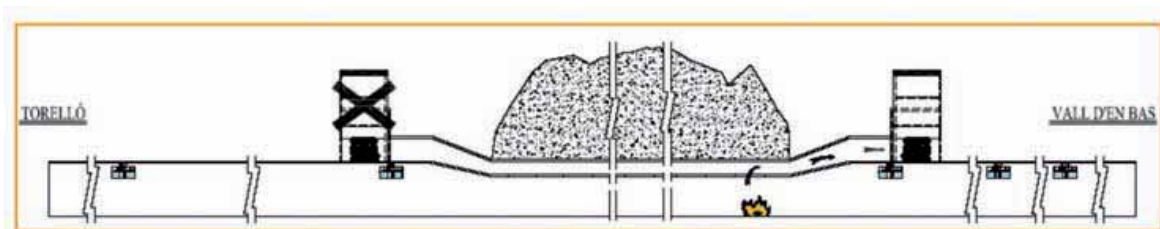


Figura 3 4: Esquema de escenario 2.b de incendio.

La salida de emergencia más próxima en ambos casos se encuentra a 160 m en dirección Garrotxa y 240 m en dirección Osona.

Escenario 3. Accidente e incendio bajo el falso túnel próximo a la boca Garrotxa.

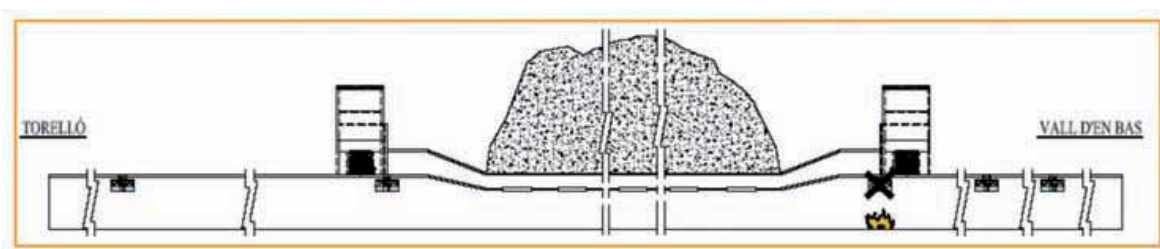


Figura 3 5: Esquema de escenario 3 de incendio.

3.4. Escenario de incendio en el centro del túnel

En este escenario obtenemos los siguientes resultados:

Tiempo máximo de evacuación = 14,5 minutos
(considerando $v_{\text{usuario}} = 0,5 \text{ m/s}$)

3.4.1 Efectos de la radiación térmica

Las funciones Probit que establecen los daños debido a radiación térmica son las siguientes:

$$Pr_{\% \text{muerte}} = -37,23 + 2,56 \cdot \ln \int Q^{4/3} dt$$

$$Pr_{\% \text{heridos}} = -43,21 + 3,019 \cdot \ln \int Q^{4/3} dt$$

dónde Q es el flujo de calor recibido ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) durante la exposición en minutos, que depende del coeficiente de transmisión atmosférica, el factor de vista y el poder emisor de la llama.

Cuándo el valor de la variable Probit $Pr > 2,67$ existe riesgo alto de muerte.

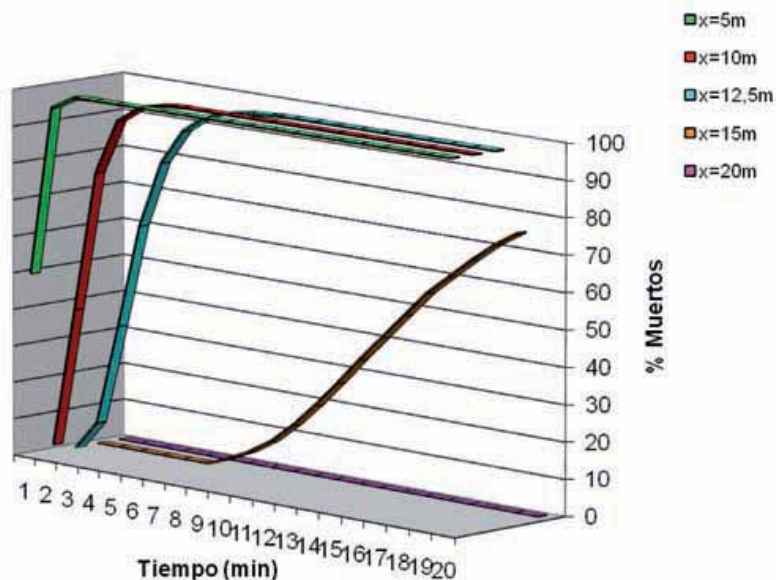


Figura 3 6: Evolución de la mortalidad a causa de la radiación térmica en función de la distancia al foco.

El efecto mortal de la radiación es considerable hasta una distancia de 15 m del foco de éste desde el primer instante. El tiempo en evacuar estos 15 m es de unos 2

minutos (ya que sólo el tiempo en salir del vehículo se considera de 1,5 minutos), por tanto todos los usuarios situados a menos de 15 m del foco morirán a causa de la radiación térmica.

Tal y como se observa en el gráfico, el % de muertos es altísimo en los primeros minutos para los vehículos situados a 5, 10 y 12,5 m. A partir de los 15 m, el riesgo de muerte es de un 10 % a los 9 minutos; pero hay que tener en cuenta que en este momento ya no hay usuarios en esta zona. A partir de los 20 m el efecto de la radiación es despreciable.

3.4.2. Efectos de la inhalación de CO

Las funciones Probit que establecen los daños debido a radiación térmica son las siguientes:

$$Pr_{\%muerte} = -39,87 + 3,7 \cdot \ln \int [CO] dt$$

$$Pr_{\%heridos} = -7,826 + \ln \int [CO]^{1,036} dt$$

dónde [CO] es el la concentración de CO en ppm durante la exposición en minutos.

Cuándo el valor de la variable probit $Pr > 2,67$ existe riesgo alto de muerte.

En las siguientes figuras podemos observar cómo evoluciona la concentración de CO en el foco y en el punto de estudio una vez se ha activado la ventilación.

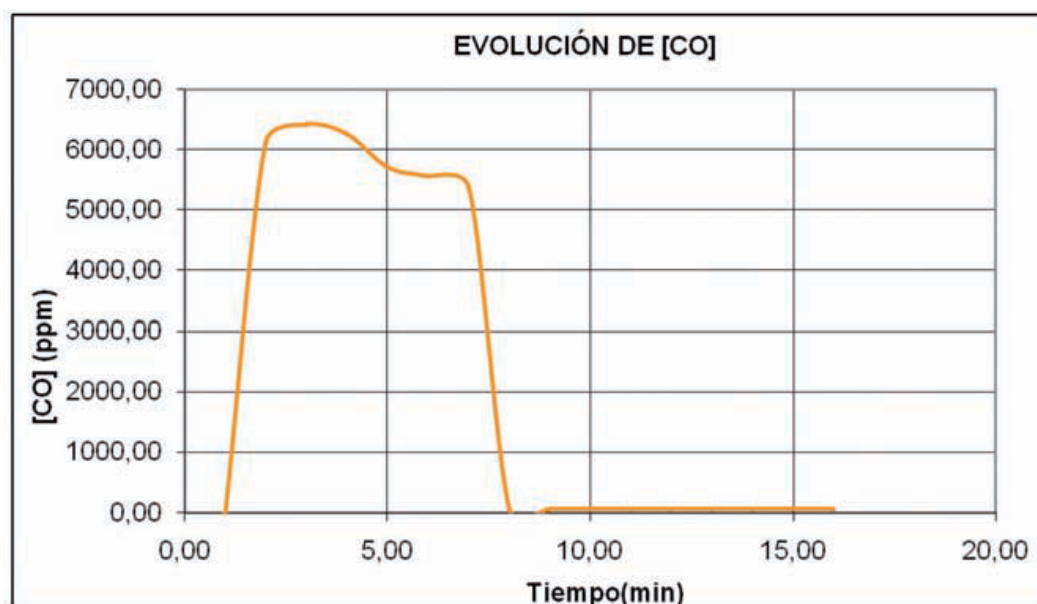


Figura 3 7: Evolución de la concentración de CO en el foco de incendio.

Hasta que no actúa el sistema de ventilación, se alcanza una concentración máxima de unos 6.000 ppm. Una vez se activa ésta, la concentración de CO disminuye por debajo de los 6.000 ppm.

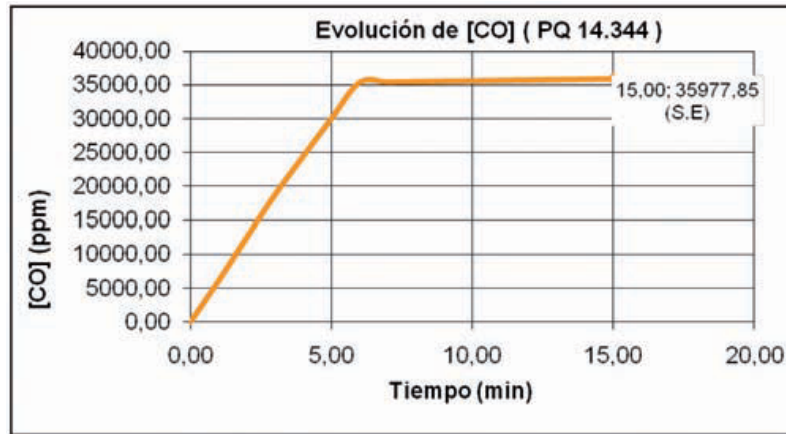


Figura 3 8: Evolución de la concentración de CO en el escenario de estudio (punto central).

Conociendo la velocidad de los usuarios, podemos saber la cantidad de CO inhalada en todo momento.

El caso más crítico es el de las personas que están más cerca al foco.

La cantidad de CO inhalada no provoca la muerte, pero hay una probabilidad del 8% de heridos.

3.4.3. Exposición a altas temperaturas

Según la normativa NFPA 130, dependiendo de la temperatura a la que se encuentre sometida una persona puede tardar más o menos tiempo sin padecer incapacitación, cómo puede verse en la siguiente tabla:

Tiempo máximo de exposición	
Temperatura exposición (°C)	Tiempo sin incapacitación (minutos)
80	3,8
75	4,7
70	6
65	7,7
60	10,1
55	13,6
50	18,8
45	26,9
40	40,2

Tabla 1: Tiempo máximo de exposición según temperatura.

La curva de potencia crece linealmente hasta llegar a la máxima potencia de 30 MW transcurrido un tiempo de 12 minutos. El caudal de humo generado es proporcional a la potencia del incendio.

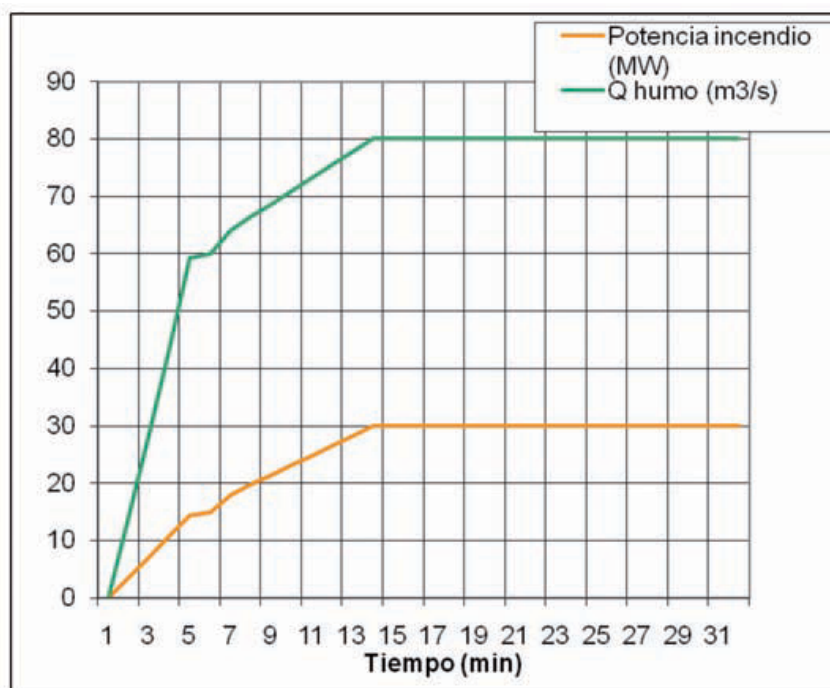


Figura 3 9: Potencia y caudal de humos de un incendio de 30 MW.



Figura 3 10: Evolución de la temperatura del humo.

La temperatura y el caudal de los humos generados crecen proporcionalmente a la potencia del incendio.

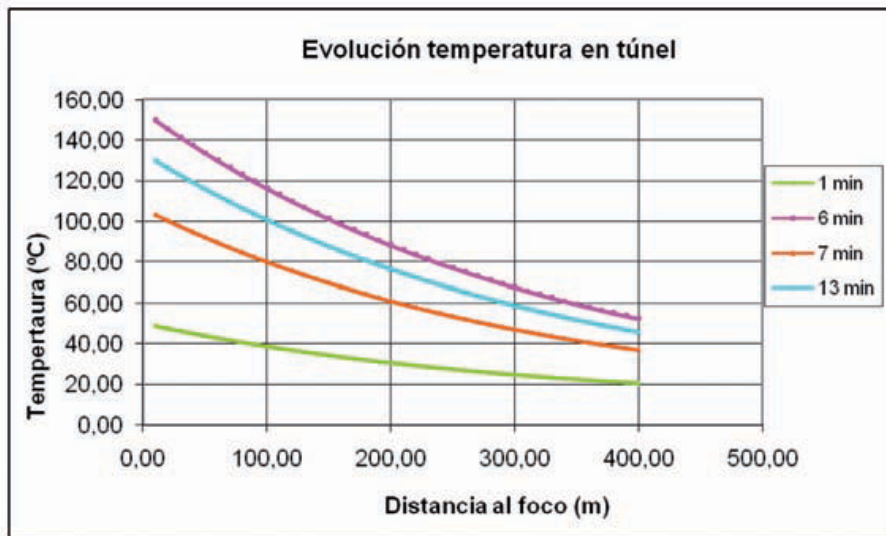


Figura 3 11: Evolución de la temperatura de la mezcla aire-humo.

A continuación se muestra la evolución de la temperatura a la que han estado sometidos los usuarios a lo largo del recorrido de evacuación.

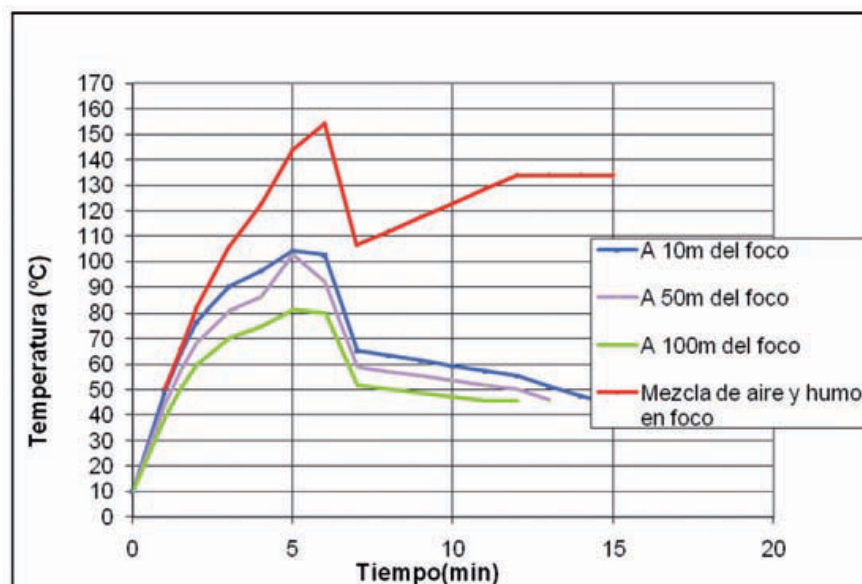


Figura 3 12: Evolución de la temperatura en el recorrido de evacuación de los usuarios para el escenario descrito.

Comparando estos tiempos con los de permanencia máxima a la correspondiente temperatura, el resultado es que los usuarios del primer vehículo superarían el tiempo mínimo de exposición.

Hay un total de 3 muertos.

3.5. Conclusiones

En los casos analizados hay un máximo de 3 muertos.

Las personas que pueden quedar atrapadas en el momento del incendio son 243 (previsiones de tráfico año 2020), es decir, el 1,2 % de los usuarios.

En este estudio se ha manifestado lo siguiente:

- De manera general, el túnel dispone de un elevado nivel de equipamientos respecto al tráfico esperado.
- El nivel de vigilancia permanente previsto, juntamente con un DAI, es muy importante por el nivel de seguridad del túnel: optimiza los tiempos de reacción de los diferentes participantes.
- Es fundamental la intervención rápida de los agentes de seguridad para guiar a los usuarios hacia a las salidas de emergencia.
- El equipamiento de emergencia básico previsto para la explotación junto con la presencia del personal formada adecuadamente es muy positivo y reduce el tiempo de intervención en el túnel. Así, se aumenta las posibilidades de control de un incendio en los primeros minutos.
- Las salidas de emergencia favorecen la evacuación de los usuarios hacia una atmósfera sin humo. Para los casos que presentan consecuencias graves (muerte de usuarios), al disponer salidas de emergencia cada 200 m mejoraría claramente la evacuación, sobre todo cuando una evacuación de urgencia implica la totalidad de los pasajeros de un autocar.
- El hilo de Ariadna facilita el desplazamiento de los usuarios hacia las salidas de emergencia en caso de humos densos.
- La indicación luminosa de las salidas de evacuación más cercanas con las distancias que queden para recorrer optimiza la elección de la dirección a tomar para los usuarios. También los ayudan las luces estroboscópicas, los hublots guías de evacuación de vehículos y personas y la correcta señalización de los postes SOS.
- La doble acometida también es una garantía de fiabilidad para el suministro eléctrico del túnel y su buen funcionamiento.