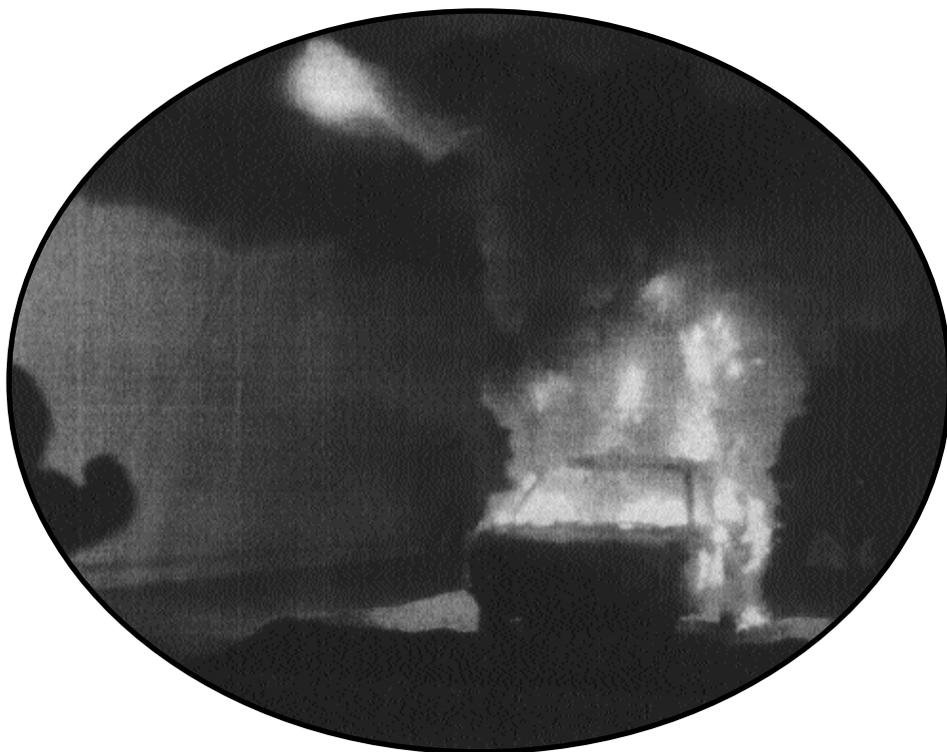




Bomberos de Navarra
Nafarroako Suhiltzaileak



Incendios en túneles

Carlos Orta



Bomberos de Navarra
Nafarroako Suhiltzaileak

11. LA INTERVENCIÓN EN INCENDIOS DE TÚNELES

1. INTRODUCCIÓN

- 1.1 Beneficios de los túneles.
- 1.2 Breve descripción de las técnicas de construcción de un túnel.
- 1.3 Problemática de los túneles.

2. TIPOS DE TÚNELES.

- 2.1 Urbanos y no urbanos.
- 2.2 En trinchera, recubiertos, excavados y prefabricados.
- 2.3 Terrestres, fluviales y marinos.
- 2.4 Carreteros y ferroviarios.
- 2.5 Con tráfico en un único sentido y en los dos sentidos.
- 2.6 Revestidos y sin revestir.

3. NORMATIVA SOBRE TÚNELES

- 3.1 La normativa Española. IOS-98.
- 3.2 La normativa Francesa.
- 3.3 Otras normativas.

4. INVENTARIO DE TÚNELES CARRETEROS EN NAVARRA

- 4.1 Relación de túneles carreteros existentes en Navarra.
- 4.2 Mapa de situación.

5. INSTALACIONES DE UN TÚNEL.

- 5.1 Denominaciones de las partes de un túnel
- 5.2 Ventilación.
- 5.3 Iluminación.
- 5.4 Cámaras televisión.
- 5.5 Megafonía.
- 5.6 Semáforos.
- 5.7 Paneles de información.
- 5.8 Comunicaciones.
- 5.9 Opacímetros.
- 5.10 Detección de incendios.
- 5.11 Extinción de incendios.
- 5.12 Señalización de Emergencia.
- 5.13 Salidas de evacuación.



6. SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN LOS TÚNELES.

- 6.1 Ventilación natural.
- 6.2 Ventilación artificial o forzada.
 - 6.2.1 longitudinal simple.
 - 6.2.2 longitudinal con toberas Saccardo.
 - 6.2.3 longitudinal con pozo central de extracción.
 - 6.2.4 transversal.
 - 6.2.5 semitransversal.
 - 6.2.6 semitransversal-transversal.

7. EQUIPOS RESPIRATORIOS PARA INTERVENCIÓN EN TÚNELES.

- 7.1 Los equipos de respiración autónoma de circuito abierto.
- 7.2 Los equipos de respiración autónoma de circuito cerrado.
- 7.3 Utilización de los diferentes equipos autónomos en fuegos de túneles.

8. TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN EN INCENDIOS DE TÚNELES.

- 8.1 Comportamiento del humo en un túnel con ventilación natural o con ventilación longitudinal simple.
- 8.2 Forma de proceder.
 - 8.2.1 Generalidades.
 - 8.2.2 Túneles de un solo tubo.
 - 8.2.3 Túneles de dos tubos paralelos.
 - 8.2.4 Equipo humano de intervención
 - 8.2.5 Protección respiratoria para los rescatados.

11.1. INTRODUCCIÓN

11.1.1 Beneficios de los túneles.

Los túneles, proporcionan hoy en día, unas facilidades de comunicación que se traducen, en una reducción de tiempos de desplazamiento, de consumos de combustibles y de cierto tipo de riesgos viarios (caídas en taludes por salirse los vehículos de la calzada en puertos de montaña, etc.). Todo ello, se traduce en una mayor eficiencia económica y en una mayor seguridad y comodidad para los conductores.

Pero los túneles, en el caso de que se produzca un incidente circulatorio en su interior, también conllevan un mayor riesgo para los usuarios, respecto al resto de la carretera a cielo abierto. El incidente más peligroso que puede ocurrir en un túnel es la aparición de un fuego.

Para comprender mejor como debemos actuar en caso de incendio en el interior de un túnel, vamos a estudiar las características de estos y como se comportan el calor y los humos en su interior.

11.1.2 Breve descripción de las técnicas de construcción de un túnel.

La construcción de un túnel consta básicamente, de las cuatro fases siguientes:

- a. Proyecto.
- b. Excavación.
- c. Sostenimiento.
- d. Revestimiento.

a.) *Proyecto.*

La fase de proyecto es de vital importancia, pues todo lo que no se haya tenido en cuenta en ella, difícilmente será modificable después de construido el túnel. Es por ello, que tiene tanta importancia la participación de un equipo multidisciplinar, en el cual deben estar presentes los Servicios de Extinción de incendios, pues somos los profesionales más adecuados para asesorar en materia de seguridad contra incendios. En la actualidad, a nivel internacional, son ya muchas las instituciones que cuentan con los Servicios de Extinción de Incendios a la hora de proyectar las infraestructuras e instalaciones de seguridad contra incendios en los túneles.

En Navarra, desde finales del año 2000, se empezó ya a contar con el SEIS para proyectar las infraestructuras de los túneles (salidas de evacuación, señalización de emergencia,...) y sus instalaciones (ventilación, situación del cableado, sistema de detección, red de extinción y características de las fuentes de abastecimiento).



b.) *Excavación.*

Los túneles, en su mayoría, son excavados en el terreno por dos procedimientos:

- b.1) - Con explosivos.
- b.2) - Con una Tuneladora.

b.1) Para la excavación con explosivos, se utiliza una máquina denominada Yumbo, que tiene unos barrenos, que sirven para abrir en el terreno unos orificios donde se alojan las cargas pirotécnicas. Estas, al explosionar, rompen el terreno, quedando en el suelo toda la tierra y rocas disgregadas. A continuación, una pala cargadora recoge todo el material disgregado y lo carga en camiones. El pirotécnico o artificiero, ha de ser bastante experto, para conseguir que la excavación resultante tenga la sección adecuada. Este método de excavación se utiliza, sobre todo, cuando el terreno es muy duro (roca).

b.2) Las máquinas denominadas tuneladoras, consisten en un cilindro (en general del mismo diámetro que el del túnel a excavar), en uno de cuyos extremos, que se denomina frente, existe un escudo que gira sobre un eje central. Este escudo, lleva unas garras o topos que, al girar con este, disgregan el terreno en su movimiento circular. La tuneladora, lleva también unos gatos hidráulicos, que sirven para que el escudo presione contra el terreno. La tuneladora, recoge el material excavado a través de unos huecos o ventanas que existen en su escudo junto a las garras, extrayéndose este material excavado, a través de una cinta transportadora o de una tubería (según los casos).



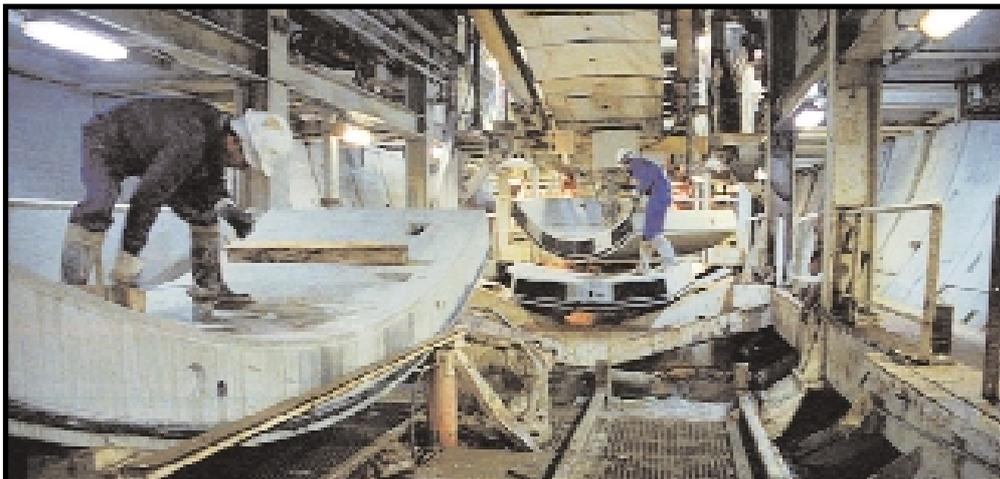
Los escudos de las tuneladoras pueden ser abiertos o cerrados. Las tuneladoras de escudo cerrado, son las máquina más seguras que actualmente existen para los trabajadores que excavan un túnel, pues en caso de que fallara la sustentación de la bóveda ya excavada o el frente de excavación (el frente es lo realmente más problemático, pues es muy inestable), los trabajadores se encontrarían bien protegidos en su interior.

c.) Sostenimiento.

El sostenimiento tiene por misión darle estabilidad estructural al túnel, es decir, trata de conseguir que no se produzcan desprendimientos en su interior. Para ello, se utilizan una serie de elementos de sujeción del terreno (bulones, cerchas, mallazos, gunita, etc.).

d.) Revestimiento.

El revestimiento, persigue darle al túnel un acabado visual agradable y una impermeabilización, que evite la caída de agua proveniente de las filtraciones del terreno. El revestimiento puede consistir en unas láminas impermeabilizadoras o también, en un hormigonado de unos 30 a 50 centímetros de espesor. Últimamente, se está prefiriendo el hormigonado, pues aun saliendo más caro, supone una mayor protección para lo usuarios, ya que si se producen desconches o fallos de sujeción del terreno, estos no caen a la calzada, quedando contenidos por el revestimiento del hormigón. Además, los túneles revestidos con hormigón, ofrecen una menor resistencia al movimiento del aire, debido a la lisura de sus paredes, lo cual, siempre mejora la ventilación del mismo.

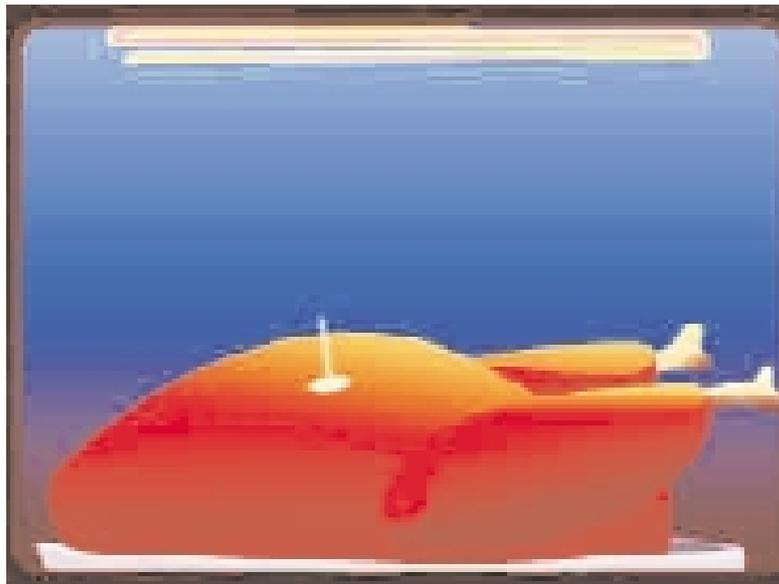


Piezas de hormigón prefabricadas para revestir el túnel.

11.1.3 Problemática de los túneles.

Los túneles, al ser cavidades muy aisladas del exterior, presentan el problema de la dificultad de eliminación del calor, el humo y las sobrepresiones, que se pueden llegar a generar durante un incendio. Al margen de esto, existen ciertas conductas, que no ayudan precisamente a reducir el número de víctimas. A continuación, vamos a pasar a describir brevemente algunos de estos problemas.

Efecto horno. La concentración del humo y calor que se produce en el interior de un túnel, es debida a que no existe hueco alguno por donde pueda salir el humo y el calor de una forma inmediata y natural. Esto genera el denominado "efecto horno", que consiste en acumulación progresiva del calor, que se traduce en un aumento continuado de la temperatura. Se le denomina efecto horno, porque la situación es muy parecida a lo que ocurre con el horno de una cocina (pero siendo los usuarios, en el caso del túnel, los que pueden llegar a terminar asados, en vez del pollo). Por supuesto, el calor no tiene porque ser considerado lo más peligroso, pues como ya se sabe, el humo es un factor mucho más peligroso en un primer momento.



Piezas de hormigón prefabricadas para revestir el túnel.

Efecto cañón. Este efecto se presentará, cuando se produzcan explosiones, debidas, por ejemplo, a un incendio. Imaginemos un camión-cisterna, que contiene un gas presurizado, que por efecto del calor del incendio explota, debido al aumento de la presión de vapor del gas que transporta. No es difícil imaginar, que existiendo solo una cavidad lineal, esta, se comportará como si fuera el cañón de una escopeta. Ello es debido, a que la sobrepresión generada por la explosión en el interior del túnel, solo puede liberarse hacia ambos lados a partir del punto de origen de dicha explosión. Si

tal explosión se produce, la sobrepresión creada, será mayor que si nos encontráramos a cielo abierto, con lo cual, los daños para las personas, debidos a la onda expansiva, serán mayores que en un lugar a cielo abierto. También los objetos proyectados por la explosión, se concentraran, debido a que serán direccionados a través del túnel (como los perdigones de una escopeta).

Desorientación de los usuarios. Otro problema importante, es la desorientación que se produce en las personas cuando pierden la visión, debido a la acumulación del humo producido durante un incendio. Esta desorientación ocasionará, que no sepan hacia donde caminan o conducen, pudiendo generar nuevos accidentes. Serán pocos a los que se les acurrirá salir palpando la pared, o caminando agachados para respirar un aire con menos humo, etc.

Comportamiento ingenuo de los usuarios. Este comportamiento es muy grave, pues ha sido motivo de varias muertes en incendios recientes. Hablamos de comportamiento ingenuo, cuando un usuario que está viendo fuego en un vehículo, se detiene e incluso se baja de su vehículo para contemplar mejor la escena, debido a la curiosidad que suscita lo inhabitual. No estamos hablando de personas que cogen un extintor para intentar tratar de apagar el fuego, sino de personas espectadoras. Estas personas espectadoras, se ponen así mismas en grave peligro, por el hecho de permanecer en el interior del túnel y además, bloquean el paso a los vehículos que vienen detrás, con lo cual, también ponen en peligro a los demás usuarios. Los usuarios, lo que deberían hacer, es evacuar inmediatamente el túnel incendiado.

Los usuarios, cuando están obteniendo el permiso de conducir en las autoescuelas, podrían recibir un mínimo de formación sobre como actuar en caso de incendio en lugares confinados (garajes, túneles, aparcamientos subterráneos). Con ello, es posible que dejen de reaccionar de manera ingenua.

11.2. TIPOS DE TÚNELES.

Existen diversas clasificaciones para tipificar los diferentes túneles que se construyen. Aquí vamos a ver solo algunas de ellas.

11.2.1 Túneles urbanos y no urbanos.

Los túneles urbanos, son los que se encuentran situados en la vía pública de las ciudades. Los no urbanos, se encuentran situados en el trazado de las carreteras, quedando fuera de los núcleos de las ciudades. Esta distinción, que a simple vista parece evidente y superflua, tiene gran importancia, porque condiciona en gran medida el diseño de los elementos que componen un túnel. Los túneles urbanos, generalmente tendrán, a igualdad de longitud que los no urbanos, unas mayores exigencias de ventilación y unas medidas de seguridad más importantes.

Una variable que se utiliza mucho para definir las exigencias de seguridad de un túnel, es la IMD de tráfico (intensidad media diaria del tráfico). Lógicamente, los túneles urbanos son los que tienen mayor IMD.



11.2.2. Túneles en trinchera, recubiertos, excavados y prefabricados.

Los túneles en trinchera, son en realidad zanjas o trincheras que se abren, para ser luego recubiertas con un forjado que permitirá el tránsito de personas y vehículos por encima de ellas. Son típicas en las ciudades y sirven para solucionar cruces de calles con tráfico intenso, o para respetar zonas peatonalizadas. Estas trincheras, si tienen mucha longitud, se las equipa con salidas de evacuación verticales, que facilitan ascender a la superficie.

Los túneles recubiertos, son realizados en carreteras donde se realizan desmontes importantes del terreno, queriéndose evitar que queden unos taludes muy grandes. Estos, taludes se suelen querer evitar, porque existe peligro de corrimientos del terreno (cuando llueve mucho), o porque paisajísticamente quedan unos desmontes muy agresivos. Estos túneles se construyen, primeramente desmontando el terreno, después se construyen uno o dos tubos y por último se recubren con tierra. Los túneles de Urriza en Navarra, son un ejemplo de este tipo de túneles recubiertos.

Los túneles excavados, son los que se abren en el terreno, sacando solo la tierra necesaria para que quede la cavidad lineal deseada. Son la mayoría de los túneles que conocemos (Belate, Sumbilla, etc.).

Los túneles prefabricados, están constituidos por piezas que se apoyan y luego se ensamblan. Lógicamente, son realizados para atravesar el agua y no el terreno, es decir son túneles acuáticos, que salvan barreras de agua y no barreras orográficas.

11.2.3. Túneles terrestres, fluviales y marinos.

Los túneles terrestres atraviesan el terreno, mientras que los fluviales atraviesan lagos o cursos de ríos, como es el caso del túnel del río Elba en Hamburgo. Los túneles marinos, atraviesan el mar, como es el caso del Eurotúnel del Canal de La Mancha, que une Inglaterra con Francia. Tanto los túneles fluviales como los marinos, pueden ser, excavados por debajo del lecho impermeable, o prefabricados. En este último caso, en vez de excavados por debajo del lecho, las piezas prefabricadas van apoyadas sobre el mismo.

11.2.4. Túneles carreteros y ferroviarios.

Los túneles carreteros tienen tráfico rodado, ligero y pesado. Los túneles ferroviarios solo tienen tráfico de trenes. Normalmente, como los usuarios de un tren atraviesan los túneles ferroviarios sin posibilidad de bajarse en ellos, estos están dotados de medidas de seguridad diferentes a las de los túneles carreteros. En general las medidas de seguridad de los túneles ferroviarios son muy inferiores a las de los carreteros. Para justificar estas menores medidas de seguridad en los túneles ferroviarios, se suele argumentar, que estos presentan una menor siniestralidad, debido a las características propias del tráfico ferroviario.

11.2.5. Túneles con tráfico en un solo sentido y en los dos sentidos.

Los túneles con tráfico en dos sentidos, se presentan cuando solo se ha construido un único tubo y la carretera que lo transita tiene tráfico con doble sentido. En Navarra tenemos muchos túneles así.

Los túneles con un único sentido de circulación, son frecuentes en autovías y autopistas y su particularidad reside en que cada sentido de circulación, transita por un tubo diferente, es decir hay dos túneles, uno para cada sentido de circulación. Un ejemplo, lo tenemos, nuevamente, en los túneles de Urriza o en los de Azpiroz o los de Ferrería, todos ellos en la autovía que une Pamplona con San Sebastián. Este tipo de túneles son mucho más seguros para los usuarios, que los que son atravesados por doble sentido de circulación. También, en caso de incendio, este tipo de túneles, a los bomberos nos ofrecen menores dificultades, a la hora de intervenir en la extinción y el rescate.

Una característica del sentido de circulación del tráfico en los túneles, es el resultado del movimiento del aire por el denominado "efecto pistón". Los vehículos, al penetrar por la cavidad de un túnel, se comportan como si fueran un émbolo o pistón que empuja el aire existente en el interior del túnel, actuando este último como de cilindro. En un túnel con tráfico en un único sentido, las emboladas sucesivas que proporcionan los vehículos que lo atraviesan, generarán viento en el mismo sentido de circulación que los vehículos. Sin embargo, en un túnel con doble sentido de circulación, el viento debido a las emboladas de los vehículos será caótico, sin un sentido de circulación definido, puesto que las emboladas que producen los vehículos se contrarrestan.

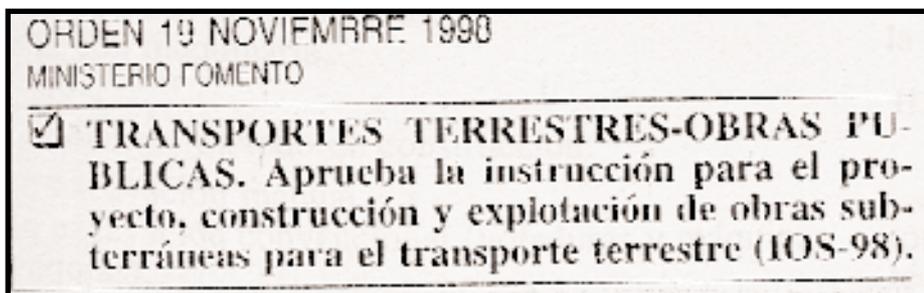
11.2.6. Túneles revestidos y sin revestir.

Los túneles sin revestir son aquellos en los que el terreno queda a la vista cuando los atravesamos. Suelen ser más usuales en terrenos duros rocosos, donde es difícil que se produzcan desprendimientos. Los revestidos, son los que tienen algún material que los aísla de la visión directa del terreno excavado. Este material puede ser, laminas impermeabilizadoras, chapa u hormigón. Los túneles revestidos con hormigón ofrecen, una protección adicional frente a los desconches o desprendimientos, una mayor resistencia estructural frente al fuego y un comportamiento del régimen de ventilación más laminar, con menores pérdidas de carga debidas a la fricción con las paredes.



11.3. ***NORMATIVA SOBRE TÚNELES***

11.3.1. *La normativa Española. IOS-98.*



La norma española que regula las características de diseño y construcción que deben tener los túneles, es la "Instrucción para el proyecto, construcción y explotación de obras subterráneas para el transporte terrestre" de 19 de noviembre del año 1998, conocida comúnmente como la IOS-98, que fue publicada en el BOE nº 287 de 1 de diciembre. Es una norma que regula tanto los túneles carreteros como los ferroviarios pero por separado. Aquí nos referiremos a lo relativo a carreteras. A pesar de ser una norma reciente, posee dos características que la definen: es incompleta e imprecisa. Esta instrucción técnica, se publicó unos meses antes de producirse el incendio del túnel del Montblanc (el incendio del Montblanc fue el 24 de marzo de 1999).

La seguridad contra incendios, se trata en el capítulo cinco de esta instrucción. Vamos a citar los principales párrafos de este capítulo (los cuales pondremos en letra cursiva).

V.1 Consideraciones generales. La explotación de un túnel de carretera, exige la implantación de una serie de instalaciones que aseguren el adecuado nivel de servicio y seguridad, tanto en régimen normal, como en circunstancias excepcionales (accidentes, incendio...).

V.2 Sistemas de explotación. Estos sistemas se pueden clasificar en tres niveles: Nivel III: Túneles cortos o de poco tráfico que no requieren de ningún tipo de instalación específica.

Nivel II: Túneles que van a exigir un cierto tipo de instalaciones y de vigilancia particular con respecto al resto del trazado donde están inscritos (túneles de montaña de mediana longitud).

Nivel I: Túneles en los que por sus especiales condiciones, se va a necesitar una organización específica permanente (túneles de autopista, urbanos, etc.). Estos túneles dispondrán de una sala de control donde se recogerá y tratará toda la información proveniente de las diferentes instalaciones del túnel.

Para los túneles de nivel I y II será preceptiva la redacción de un manual de explotación.

Como podemos ver, en esta norma no se especifican las longitudes que tienen los túneles de los diferentes niveles, ni tampoco se concretan las instalaciones que deben tener.

V.2.2.3 Ventilación. El estudio de ventilación de un túnel de carretera tendrá como fin reducir a límites aceptables la concentración de gases tóxicos y humos expulsados por los vehículos que circulen por el interior del túnel.....

Serán las condiciones del túnel y del tráfico a soportar las que determinen el sistema de ventilación artificial más adecuado para cada caso.

La necesidad de ventilación de un túnel a partir de una determinada longitud quedará fijada de acuerdo con el cuadro adjunto:

Modo de circulación	Intensidad de tráfico	Longitud en metros
Un solo sentido	Alto	> 300
	Medio	> 500
	Bajo	> 1000
Doble sentido	Alto	> 100
	Medio	> 200
	Bajo	> 300

El estudio de la ventilación del túnel tendrá en cuenta la posibilidad de actuación en caso de incendios en el interior.

III.2.3 Salvo justificación en contrario, en túneles paralelos de longitud mayor de un kilómetro se construirán conexiones entre ambos, a distancias y dimensiones adaptadas a las necesidades del tráfico o a otros objetivos de ventilación y seguridad.

V.2.2.5 Salidas de emergencia. Un túnel carretero a partir de los 2000 metros debe disponer de salidas de emergencia para utilizar en caso de accidente grave, incendio o vertido de materias peligrosas.....

Una alternativa a la galería de servicios podrá ser la habilitación de refugios adosados a los hastiales del túnel.

Como vemos se condiciona la ventilación a la polución debida al tráfico y al final se cita que se tendrá en cuenta el caso de un incendio. Está claro, que si la ventilación se diseña para evacuar el humo de un incendio, la evacuación de la polución debida al tráfico, en condiciones normales de utilización del túnel, está asegurada. Luego



parece más razonable, que la ventilación se diseñe pensando en un posible incendio y no pensando en la utilización normal del túnel.

Como vemos, esta norma española exige ventilación artificial o forzada a partir de los 300 metros de longitud del túnel, si existe circulación en doble sentido y el tráfico es bajo. Pero ¿Qué se considera tráfico alto, medio y bajo?. La norma no lo indica.

La IOS-98, tampoco dice nada sobre las características de las instalaciones de lucha contra incendios, de las salidas de evacuación, etc. Admite los refugios como una alternativa a la galería de evacuación (galería de servicios), lo cual no es admisible bajo mi punto de vista.

Así pues, concluiremos, que esta norma ha quedado muy incompleta e imprecisa, en todo lo relativo a las condiciones de seguridad frente a incendios de los túneles españoles.

11.3.2. La normativa Francesa.

Citaremos aquí la norma francesa, por ser de reciente aparición, surgida a raíz del siniestro del incendio del túnel del Montblanc y por lo tanto, por ser la más puntera en materia de seguridad contra incendios. La norma francesa a la que nos referimos, es la Circular interministerial N° 2000-63 de 25 de agosto del 2000 relativa a la seguridad en los túneles de la red nacional de carreteras.

Aunque no entraremos a describirla en detalle, por ser muy extensa, si diremos que regula exhaustivamente el diseño y equipamiento de todos los elementos de seguridad de los túneles carreteros. Las instalaciones de extinción están bien definidas. Las salidas de evacuación se definen con gran precisión y la ventilación tiene un tratamiento especial. Esta norma, esta sirviendo en este momento, como referente para la construcción de los túneles en Navarra.

Una cuestión muy importante, es que establece un comité multidisciplinar para la redacción del proyecto de un túnel. En este comité están representados profesionales de muy diferentes sectores y muy especialmente los implicados en la seguridad (bomberos).

11.3.3. Otras normativas.

Existen más normativas en el ámbito internacional, como la norma alemana RABT del año 1994, que es muy cuidada en todo lo referente a ventilación, o la NFPA 502 estadounidense del año 1998, o la Japonesa del año 1991.

Actualmente, la Comunidad Europea está trabajando en una norma unificadora, que será de aplicación en todos los países miembros. Esta norma regulará, o es de

esperar que lo haga, todos los temas en materia de seguridad de túneles que están siendo en la actualidad tan cuestionados.

11.4. INVENTARIO DE TÚNELES CARRETEROS EN NAVARRA

11.4.1. Relación de túneles carreteros existentes en Navarra.

0. Belate
1. Almándoiz
2. Sumbilla
3. Larrakaitz
4. Bera
5. Aritxulegui
6. La Ferrería
8. Urriza
9. Azpiroz
10. Pagocelay
11. Atallo I
12. Atallo II
13. Estella
14. Azqueta
15. Lizarraga
16. Eugui
17. Aoiz
18. Nagore
19. Elcoaz
20. Orhi
21. Larra
22. Zuriza
23. El perdón
24. Ezcaba
25. Mugaire
26. Arrigaztelu
27. Oieregui



11.4.2. Mapa de situación.



11.5. INSTALACIONES DE UN TÚNEL.

11.5.1 Denominaciones de las partes de un túnel.

- Clave: Es la parte más alta del túnel.
- Gálibo: Es la altura libre que hay sobre la calzada o zona de circulación de vehículos. Siempre es menor que la altura de la clave.
- Hastiales: Son los laterales izquierdo y derecho del túnel. Suelen estar forrados con chapa, cuando el túnel no está revestido de hormigón.
- Bocas: Son los pórticos por los que se penetra y se sale del túnel.
- Calzadas: Es por donde ruedan los vehículos.
- Aceras: Si existen, son para el tránsito de personas.
- Cunetas: Son para recogida de líquidos de materias peligrosas.
- Apartaderos: Son sobrecanchos para paradas de emergencia de los vehículos.

11.5.2. Ventilación.

La ventilación, esta constituida por el conjunto de ventiladores y conductos destinados a dirigir y canalizar el aire fresco y los humos. En los túneles con ventilación longitudinal, los ventiladores se colocan por parejas en la clave. Los ventiladores que se colocan suelen ser reversibles, para poder invertir el flujo. Es muy conveniente que sean resistentes al fuego. Existe la posibilidad de fabricarlos con una resistencia al fuego de 400° centígrados durante dos horas.

11.5.3. Iluminación.

En los túneles existen dos tipos de iluminación, la de servicio normal y la de emergencia. La de servicio normal está constituida por una serie de lámparas de distintos tipos, que pueden ser graduadas en intensidad para que los conductores, tanto al entrar como al salir del túnel, adapten progresivamente el diafragma ocular y no resulten deslumbrados. Va colocada por encima de los hastiales del túnel. La iluminación de emergencia tiene por misión que el túnel no se quede a oscuras ante una falta de suministro eléctrico.

11.5.4. Cámaras televisión.

Con las cámaras de televisión se controla visualmente, desde un centro de control, todo lo que sucede en el interior del túnel. Suelen ir colocadas por encima de los hastiales. Últimamente, se utilizan junto con un sistema automático de detección de incidentes (sistema DAI) mediante comparación de imágenes.



11.5.5. Megafonía.

Consiste en un conjunto de altavoces, colocados a partir de los hastiales. No suelen funcionar muy bien, porque se produce una reverberación muy fuerte dentro del túnel, que ocasiona que no se entiendan los mensajes que se quieren transmitir.

11.5.6. Semáforos.

Los semáforos suelen ir colocados por encima del gálibo, sobre sus carriles correspondientes. Sirven, lógicamente, para regular el tráfico. Si hay fuego, el centro de control los pondrá en rojo para cerrar la entrada al túnel.

11.5.7. Paneles de información.

Los paneles informativos, al igual que los semáforos van sobre la calzada por encima del gálibo. Son muy útiles para transmitir información en forma de mensajes escritos y dibujos. Dan mejor resultado que la megafonía

11.5.8. Comunicaciones.

Las comunicaciones vía radio en un túnel se pierden. Es por ello, que se instala un cable radiante, que sirve como de camino para las ondas electromagnéticas que emiten los talkys. Existe otro tipo de comunicaciones, que consisten en interfonos instalados en los postes SOS que hay en el túnel. Estos, tienen un pulsador, que si se oprime envía una llamada al centro de control. También tienen un micrófono y un altavoz para poder hablar y escuchar.

11.5.9. Opacímetros.

Los opacímetros tienen por misión detectar falta de visibilidad, producida por los humos emitidos por los escapes de los motores de los vehículos. Suelen ir colocados en los hastiales, no muy altos. Cuando detectan polución debida a los humos, accionan la ventilación de forma automática.

11.5.10. Detección de incendios.

Para la detección, se suele instalar, en la clave, a todo lo largo del túnel, un cable fibrolaser, que tiene la particularidad, de que al calentarse, cambian las condiciones de transmisión de la de luz que lo recorre. Esta detección, está resultando en la realidad muy tardía, detectándose el fuego antes por otros sistemas indirectamente (opacímetros, cámaras de TV, usuarios con teléfonos móviles).

11.5.11. Extinción de incendios.

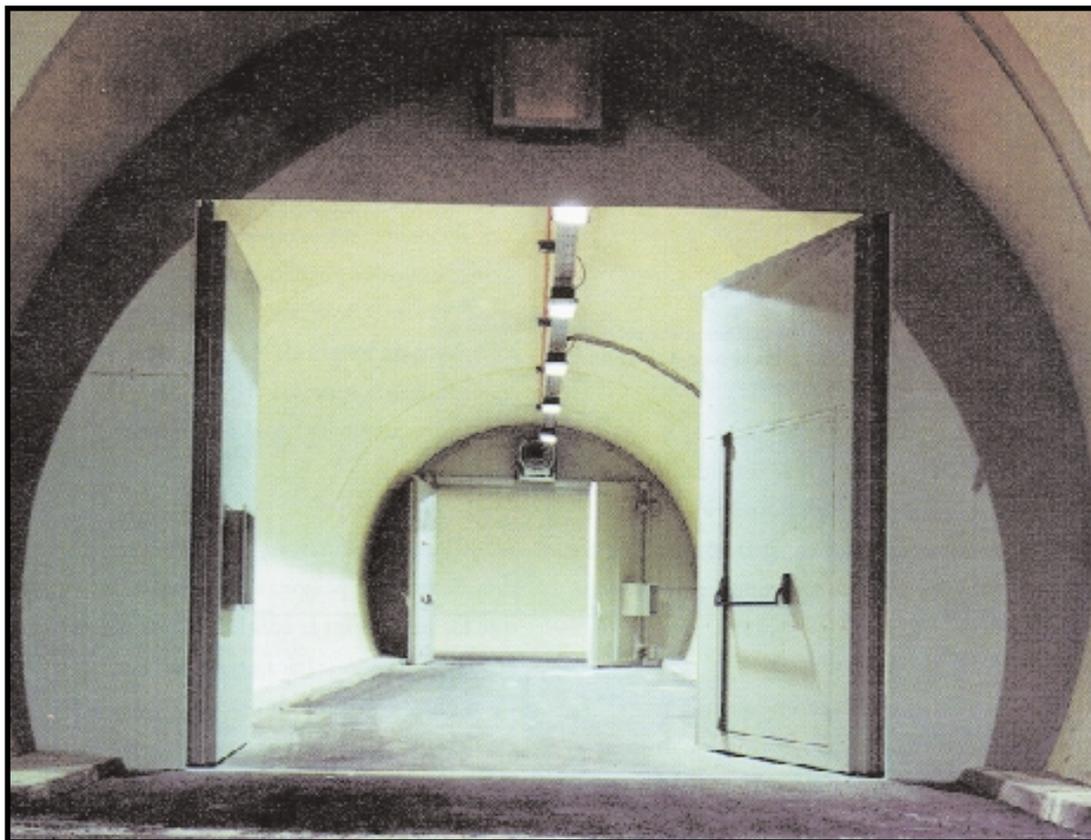
Las instalaciones de lucha contra incendios, constan, de una o dos fuentes de abastecimiento con su correspondiente equipo de bombeo y de unos armarios equipados con mangueras, lanzas, espumógeno y dosificador de espuma. Los armarios también suelen estar equipados con un extintor.

11.5.12. Señalización de Emergencia.

La señalización de emergencia, es la gran asignatura pendiente en los túneles, pues es muy escasa. Básicamente, hoy en día, consiste en un único pictograma puesto sobre la misma salida de evacuación, que es difícilmente distinguible a cierta distancia de él. Debería existir una señalización fotoluminescente a lo largo de todo el túnel, que indique las distancias a las salidas de evacuación más próximas en ambos sentidos.

11.5.13. Salidas de evacuación.

Las salidas de emergencia o de evacuación, son de vital importancia para los usuarios, pues constituyen la vía de escape más segura. No existen en todos los túneles. Deben estar correctamente señalizadas y tener puertas de paso para personas. En algunos casos se diseñan para que también pasen vehículos. En los túneles de dos tubos paralelos, comunican un tubo con el otro. En los túneles de un solo tubo, puede que den salida a una galería de servicio paralela al túnel o que suban verticalmente hacia la superficie del terreno. En bomberos de Navarra, creemos que a partir de una longitud de túnel de 500 metros deben existir salidas de evacuación cada 200 metros y sus puertas estar dotadas con barras antipánico, con mecanismo de cierre de la puerta automático.



Salida de evacuación, para paso de vehículos y personas. Obsérvese la barra antipánico.

11.6. SISTEMAS DE VENTILACIÓN EN LOS TÚNELES.

El movimiento de aire en el interior de un túnel, puede ser debido al resultado de la interacción de las fuerzas naturales o puede ser debido a la acción de los mecanismos de ventilación artificial con que esté equipado dicho túnel. Es por ello, que distinguiremos entre ventilación natural y ventilación artificial o forzada.

11.6.1. Ventilación natural.

La ventilación natural está siempre presente en todos los túneles y en ausencia de un sistema de ventilación artificial, es la que determina el sentido de circulación del aire en el interior de estos. La ventilación natural de un túnel, se debe a la interacción de los efectos que producen los tres factores siguientes:

- a) Diferencia de presión entre las bocas del túnel.
- b) Viento dominante en el exterior del túnel.
- c) Pendiente del interior del túnel.

Para comprender mejor dichos efectos, vamos a analizar los tres factores por separado.

a) Diferencias de presión entre las bocas del túnel.

Cuando el aire exterior existente en las dos bocas del túnel posee una presión diferente, el aire circulará por el interior del túnel en el sentido de mayor a menor presión, es decir, de la boca cuyo aire exterior se encuentre a mayor presión hacia la boca cuyo aire exterior se encuentre a menor presión. En este caso, el movimiento natural del aire se produce por el equilibrado de presiones. Este comportamiento del aire, no es más que un comportamiento meteorológico que se presenta constantemente en la atmósfera.

La localización geográfica de las bocas, condiciona en gran medida la diferencia de presión a la que se encuentran. Esto es así por lo siguiente: durante el día, en los valles, debido a la mayor insolación recibida, se forman zonas de altas presiones en contraposición con las zonas en pendiente de las laderas de las montañas, las cuales al ser menos calentadas poseen menor presión. También, las bocas que se encuentren en solanas tendrán más presión que las que se encuentren en umbrías.

Por lo tanto es de esperar, que cuando el día se ha caldeado, las bocas que dan a los valles o estén en solanas, estén sobrepresionadas respecto a las bocas que están a media ladera o en umbrías y que por tanto, se establezca una circulación del aire de la boca del valle o en solana, hacia la boca situada a media ladera o en umbría.

Por el contrario, durante la noche, es probable que este sentido de circulación se invierta en las bocas situadas en los valles, debido a que el enfriamiento de los mismos es más rápido que en la montaña (por efecto de la mayor contrairradiación de estos al espacio).

b) *Viento dominante en el exterior del túnel.*

Cuando existe viento en el exterior del túnel, el aire llegará a alguna de las bocas del túnel con una cierta velocidad. Si la dirección del viento es más o menos similar a la del túnel, el aire tenderá a penetrar por la boca a la que llega. Esto, producirá una circulación del aire en el interior del túnel, en el mismo sentido y dirección que el viento del exterior. Por lo tanto, el sentido de evacuación de humos en el interior de un túnel, puede estar condicionado por el viento reinante en el exterior del mismo.

En el caso de presentarse un incendio dentro de un túnel, cuando existe en el exterior un viento de cierta magnitud, este puede condicionar totalmente el movimiento del humo.

c) *Pendiente del interior del túnel.*

Si por cualquier circunstancia, el aire existente en el interior del túnel aumenta de temperatura, entonces el movimiento del aire seguirá un comportamiento convectivo, tendiendo por lo tanto a desplazarse pendiente arriba. Cuando la temperatura exterior es baja, el aire existente en el interior de los túneles suele estar más caliente que el del exterior (efecto abrigo), por lo que aquel, también tenderá a desplazarse pendiente arriba. El calor de los motores de los vehículos y los gases de combustión expelidos, también contribuyen a elevar la temperatura del aire en el interior del túnel.

De lo expuesto se deduce, que los movimientos convectivos pendiente arriba serán considerables en caso de presentarse un incendio y esto es algo que habremos de tener muy en cuenta a la hora de nuestra intervención.

En conclusión, debido a que la ventilación natural, se debe a la combinación de los tres efectos expuestos, el resultado final no se puede prever de antemano ya que, dependerá de las condiciones atmosféricas



Túnel con ventilación natural y sin revestir

que se den en cada momento y de si los efectos se suman o se contrarrestan. Así por ejemplo, un túnel en pendiente, en donde aparece un fuego, cabría esperar en principio que el humo se desplazara pendiente arriba, pero si la boca del túnel que está más arriba desemboca en un valle recalentado por el sol, lo más probable será que el humo descienda por la pendiente, para salir por la boca más baja. En este caso, el factor dominante habría sido, la diferencia de presión entre bocas.

El movimiento del aire natural en el interior de los túneles es tan importante, que a partir de una cierta longitud (más de 500 metros en general) se les dota de un mecanismo que calcula el sentido y la fuerza del viento en su interior. Este mecanismo, nos permite planificar mejor los pasos a seguir en caso de tener que intervenir en la extinción de un incendio.

11.6.2. Ventilación artificial o forzada.

Es la que se establece por la acción mecánica de ventiladores eléctricos. Puesto que el humo que se origina a consecuencia del tránsito de vehículos, supone un volumen de humos menor y son menos nocivos que los que se originan en un incendio, la ventilación forzada, se diseña hoy en día, o al menos debería ser diseñada, pensando en la evacuación del humo producido por un incendio.

Los sistemas artificiales que se utilizan para ventilar un túnel mecánicamente son los siguientes:

- a) Ventilación longitudinal simple.
- b) Ventilación longitudinal con toberas Saccardo.
- c) Ventilación longitudinal con pozo central de extracción.
- d) Ventilación transversal.
- e) Ventilación semitransversal.
- f) Ventilación semitransversal-transversal.

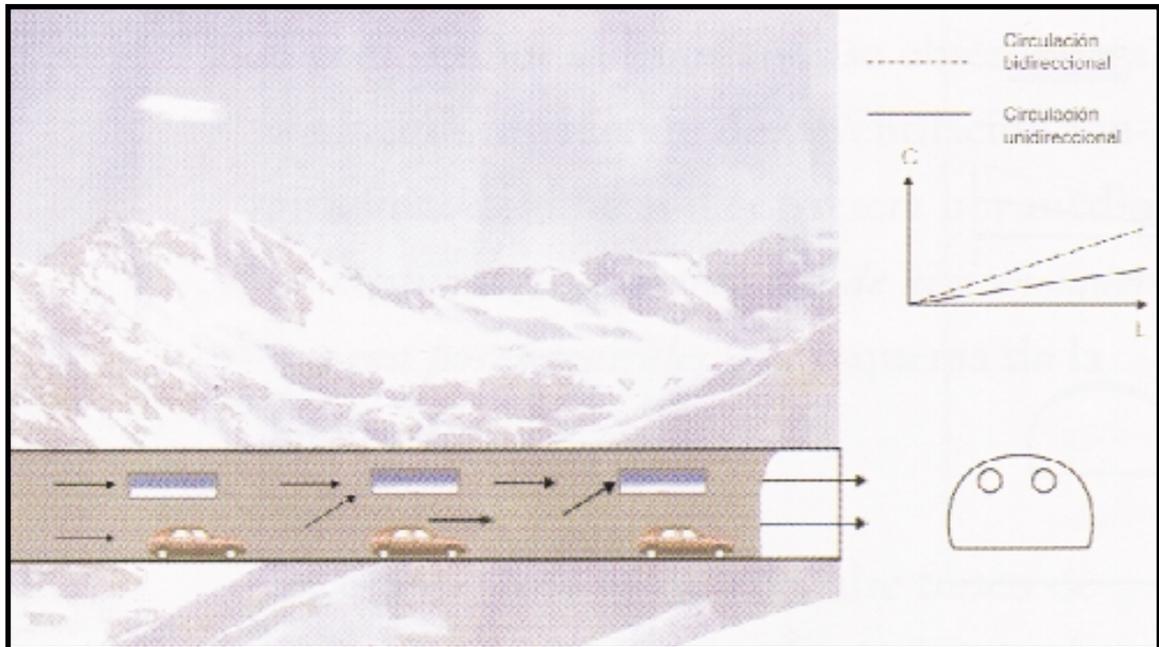
Vamos a ver en que consisten.

a) Ventilación longitudinal simple.

Consiste en ventilar el túnel haciendo circular el aire en un único sentido a lo largo de todo él, de manera, que el aire que se succiona por una boca se expulsa por la otra. Esta ventilación, se consigue mediante la colocación de ventiladores axiales en la clave del túnel, separados a cierta distancia. Los ventiladores son reversibles, es decir que se puede cambiar el sentido del flujo del aire, con tan solo invertir el giro de los ventiladores.

Este sistema de ventilación no es adecuado para túneles largos, ya que el humo del incendio que se pretende extraer, realiza todo su recorrido por el

interior del túnel antes de ser expulsado, lo cual pone en peligro a los usuarios que han quedado detenidos en su interior. Igualmente, los humos de escape expelidos por los vehículos que transitan por el túnel, se acumulan progresivamente en dirección hacia la boca de extracción.



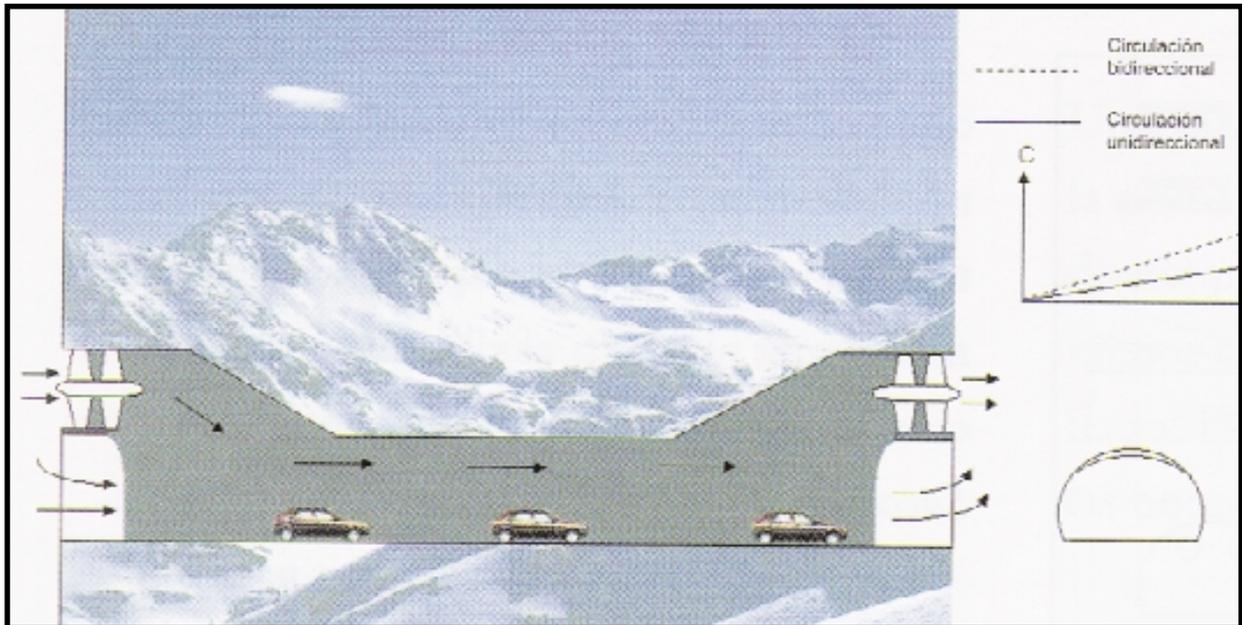
Túnel con ventilación longitudinal simple

b) *Ventilación longitudinal con toberas Saccardo.*

Este sistema es similar al longitudinal simple, con la particularidad de que solo posee dos ventiladores o toberas, denominadas Saccardo, que van colocadas de forma especial. Al igual que antes, el sistema consiste en ventilar el túnel haciendo circular el aire en un único sentido a lo largo de todo él. Pero en este caso, el aire se succiona del exterior por una tobera, situada encima de la boca del túnel, que está provista de un ventilador grande. Este aire succionado, se inyecta en el interior del túnel por la parte superior de este, a través de una rampa que forma con el túnel un ángulo de unos 15 a 20 grados. Cuando llega a la otra boca, el aire es expulsado al exterior a través de otra tobera exactamente igual. Esta forma de inyectar el aire en el interior del túnel, origina algo de succión (por efecto venturi) en la boca del túnel en la que se encuentra la tobera inyectora, con lo cual, el aire que penetra en el túnel entra en parte por la boca de este y en parte por la tobera Saccardo. Lo mismo ocurre cuando el aire sale del túnel, es decir parte sale por la tobera y parte por la boca. Los ventiladores de las toberas son reversibles, lo que permite invertir el sentido del flujo de aire.

Con este sistema de ventilación, la acumulación de humos a lo largo del trazado del túnel, se produce exactamente igual que con el sistema de ventilación simple.

El sistema de ventilación longitudinal con toberas Saccardo, se ha dejado de considerar en los túneles de nueva construcción, pues ha resultado ser muy sensible a las resistencias debidas al movimiento natural del aire en el interior de los túneles (por diferencia de presión, viento exterior, etc.).



Túnel con ventilación longitudinal con toberas Saccardo.

c) *Ventilación longitudinal con pozo central de extracción.*

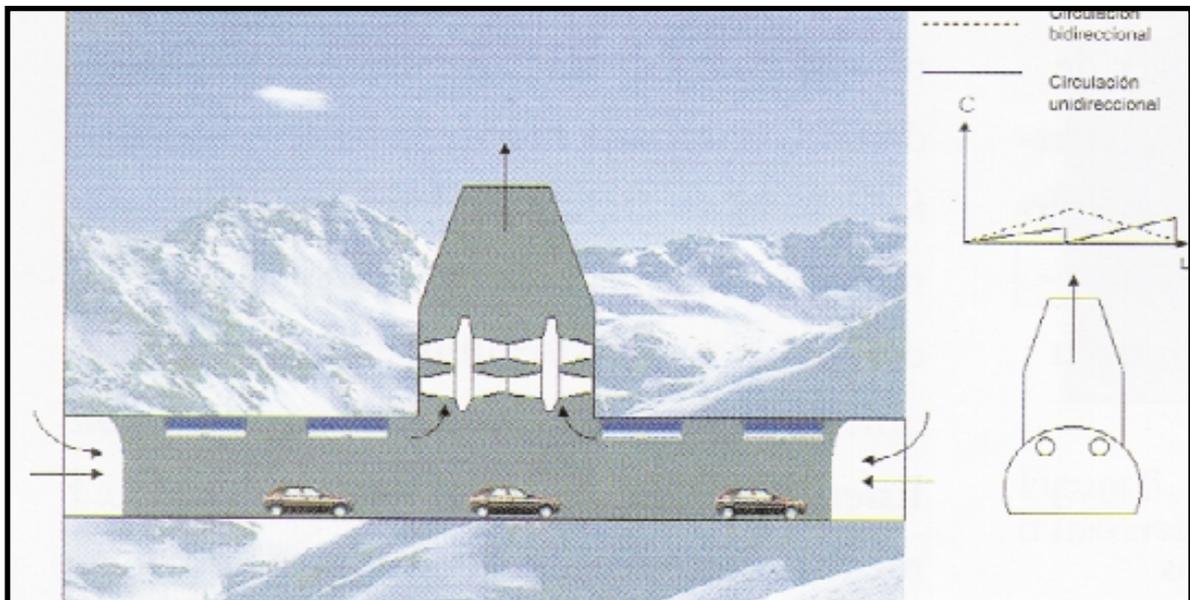
Este sistema consiste, en una combinación de la ventilación longitudinal, con una extracción central a través de un pozo. El aire limpio entra por las dos bocas del túnel en sentido opuesto, convergiendo en el centro, de donde es extraído hacia arriba, a través de un pozo que existe en este punto central que comunica con la superficie, funcionando como si fuera una chimenea.

La ventilación longitudinal se consigue, con ventiladores axiales colocados en la clave del túnel y la extracción en el punto medio se consigue, con un gran ventilador-extractor colocado en el pozo central, que impulsa el aire viciado hacia la superficie.

Este sistema, tiene la ventaja de que, en túneles muy largos y si la orografía lo permite, se pueden colocar varios pozos de extracción, sectorizando así el

túnel en tramos de circulación longitudinal, quedando estos así independizados del resto del túnel a efectos de extracción de humos. Con unos pozos bien dimensionados, si se produce un incendio, el humo y el calor sólo afectarán a un tramo o sector de túnel, quedando el resto sin problema alguno. En caso de incendio, cabe la posibilidad de avería en el ventilador-extractor del pozo central, puesto que todos los gases de combustión pasan a través de aquel. Sin embargo, como los pozos suelen ser verticales, o muy verticales, aunque el ventilador-extractor se averíe, el humo siempre tenderá a salir por efecto convectivo, comportándose el pozo como si fuera una chimenea.

Por último, hay que considerar, respecto de los sistemas de ventilación longitudinal expuestos, que aunque con ellos se puede conseguir variar el sentido y la velocidad del flujo de la ventilación natural, no siempre es posible hacerlo, pues esto depende de la intensidad con que se haya establecido la circulación natural de aire.



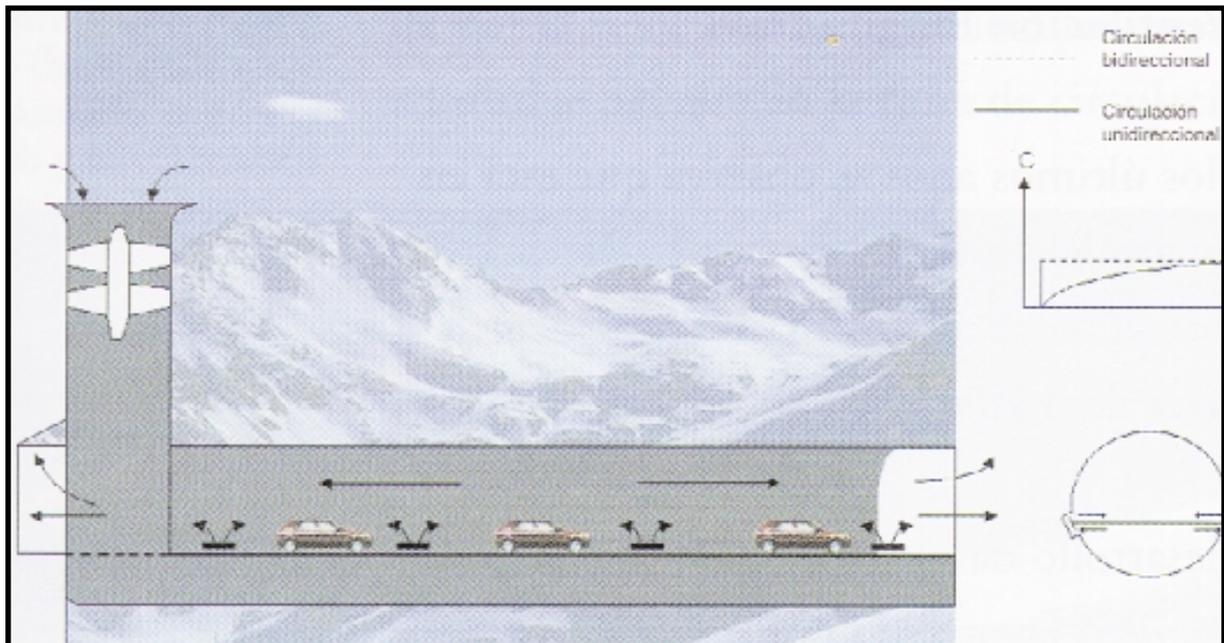
Túnel con ventilación longitudinal con pozo central de extracción.

d) *Ventilación semitransversal.*

Con este sistema, se mete aire limpio en el túnel, mediante un colector separado de la cavidad del mismo, que abastece varios ramales secundarios. Estos, comunican a su vez, con unos puntos de inyección de aire situados en el interior del túnel. Los puntos de inyección, suelen ser rejillas colocadas cada cierta distancia a lo largo de todo el túnel. El aire viciado, sale expulsado al exterior a través de las bocas del túnel, a causa de la sobrepresión creada por la inyección del aire.

Este sistema, precisa de un potente ventilador que sea capaz de suministrar el caudal de aire limpio necesario, a través del colector que alimenta las rejillas de inyección.

Con este sistema, el humo o aire viciado transita a lo largo de todo el túnel, al igual que con los sistemas de ventilación longitudinales, pero tendrá una concentración menor que en aquellos, puesto que el humo es diluido por el aire limpio que suministran los puntos de inyección.



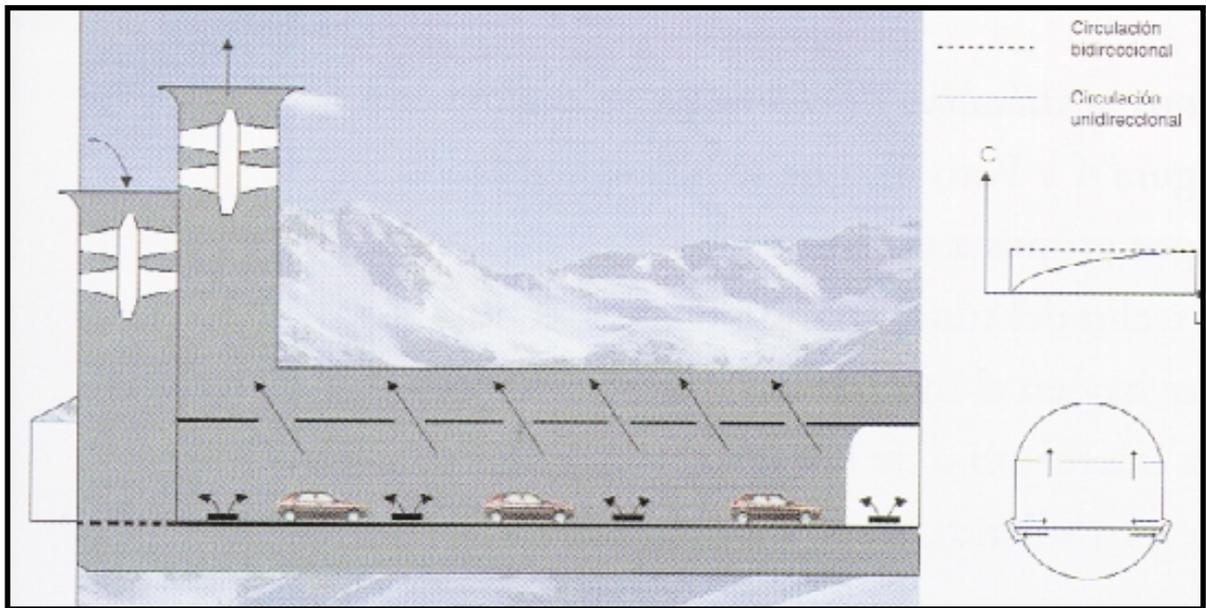
Túnel con ventilación semitransversal.

e) *Ventilación transversal.*

Este sistema de ventilación funciona, al igual que el de ventilación semitransversal, metiendo aire limpio en el túnel mediante un colector, independiente de la cavidad del túnel, que abastece varios ramales secundarios, que a su vez comunican con los puntos de inyección de aire del túnel. La diferencia con el sistema de ventilación semitransversal está, en que el humo o aire viciado, es succionado a través de unos puntos o rejillas, que comunican con un colector de recogida de humos. Este colector de humos es el encargado de sacar el aire viciado al exterior.

Tanto la inyección como la succión del aire, requieren de su correspondiente ventilador. Como es fácil deducir, en caso de incendio, el ventilador que succiona será el más vulnerable, puesto que todos los gases calientes

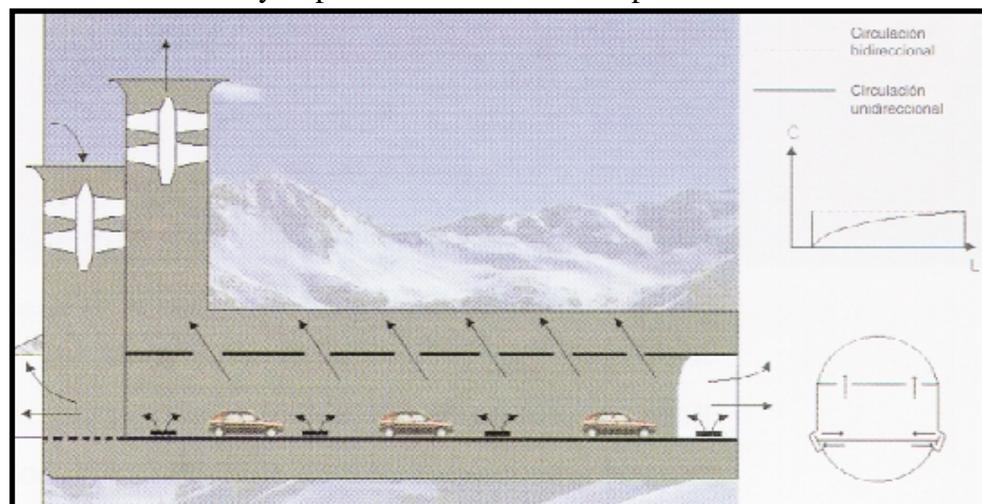
generados por el incendio, pasarán a través de él, cabiendo por lo tanto la posibilidad de que se averíe. Esta posible avería, dejaría al túnel en ventilación semitransversal, ya que los humos saldrían por las bocas.



Túnel con ventilación transversal.

f) Ventilación semitransversal - transversal.

A este sistema de ventilación, también se le denomina a veces "psedo-transversal". Es un sistema transversal en el que el caudal de succión del aire viciado es menor que el caudal del aire inyectado. Por lo tanto, funciona evacuando los humos a través de dos caminos: una parte de estos se recogen en el colector de succión y la parte restante se evacua por las bocas del túnel.



En la realidad, cuando se produce un incendio importante, los túneles equipados con un sistema de ventilación transversal, se comportan como si tuvieran un sistema semitransversal - transversal, debido a que no consiguen succionar todo el humo que se genera.

Los puntos de inyección de aire limpio, de los sistemas semitransversales y transversales, suelen estar en los hastiales del túnel a nivel de la calzada, mientras que los puntos de succión del aire viciado, están en la clave del túnel. A veces, también se coloca en los colectores de ventilación, un falso tabique, dividido en dos, que se adosa en la clave, de manera que tanto la inyección como la succión se realizan por la parte superior del túnel. El mejor sistema, es el que inyecta aire desde el nivel de la calzada y succiona a nivel de la clave, porque el aire resultante en el interior del túnel es más limpio..

Ejemplos de realizaciones.

El túnel carretero de *San Gotardo*, en los Alpes Suizos, tiene algo más de dieciséis kilómetros de longitud. Fue abierto al tráfico en 1980. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal, con colectores en falso tabique en la clave. Tanto el aire limpio como el viciado se inyecta y se succiona a nivel de la clave. El túnel, está dividido en cinco tramos de ventilación y en cada uno de esos tramos existe un pozo o chimenea, por donde se impulsa aire limpio del exterior y se extrae el viciado. De esta manera, cada pozo da servicio a un tramo de túnel diferente. El pozo más largo tiene casi milsetecientos metros de longitud. Posee una galería de seguridad para evacuación, que discurre paralela al túnel, la cual está comunicada con este a intervalos regulares (a través de las salidas de evacuación).

El túnel carretero del Montblanc, también en los Alpes, que comunica Francia con Italia, tiene una longitud de casi trece kilómetros. Fue abierto al tráfico en el año 1965. Tiene tráfico en ambos sentidos y el sistema de ventilación es transversal, con los colectores de aire bajo la calzada. El aire limpio se inyecta a nivel de la calzada y el viciado se succiona a nivel de la clave.

11.7. EQUIPOS DE PROTECCIÓN RESPIRATORIA PARA INTERVENCIÓN EN TÚNELES.

Los equipos de protección respiratoria a utilizar en el interior de un túnel, deben tener una autonomía suficiente. Hay que tener siempre presente, que a priori no sabemos con exactitud el tiempo que vamos a permanecer en el interior de un túnel que está inundado de humo. En un túnel lleno de humo, es fácil perder la orientación. Por otro lado, dependiendo de la longitud del túnel y de la complejidad de la intervención, el tiempo de permanencia en la zona inundada de humo puede sobrepasar ampliamente la media hora. Existen además, muchas circunstancias que pueden ser causa de que la permanencia en el interior de un túnel se dilate más de lo previsto. Sirva como ejemplo, el que se haga necesario penetrar a pie una distancia considerable para localizar a una persona que ha quedado atrapada en la zona inundada de humo. O también, podría ocurrir que la intervención se complique y que cuando hayamos finalizado, no nos quede aire para retornar al exterior (caso ocurrido en Japón donde murieron varios bomberos).

Por todo lo visto anteriormente, se hace necesario dotarse de los equipos de protección respiratoria adecuados a la tarea a realizar.

Vamos por tanto a analizar, los equipos de respiración autónomos que encontramos en el mercado, en base al nivel tecnológico alcanzado hasta ahora. Los sistemas de respiración autónomos son de dos tipos, los de circuito abierto y los de circuito cerrado.

11.7.1 Equipos autónomos de respiración de circuito abierto.

Son los que intercambian aire con el exterior durante su ciclo de respiratorio. Es durante la etapa de exhalación, cuando se intercambia el aire, puesto que este sale fuera del circuito del equipo autónomo, expulsándose al exterior a través de las válvulas de exhalación de la máscara. Actualmente existen dos variantes de este equipo.

- a) Equipo monobotella.
- b) Equipo bibotella.

a) ***El equipo monobotella***, es suficientemente conocido por todos los Servicios de extinción de Incendios y Salvamento, por lo que no entraremos en su descripción, ya que es tratado exhaustivamente en otra asignatura. Como ya sabemos, con un consumo nominal de 40 litros minuto, tiene una duración aproximada (con botella de 6 litros de capacidad cargada a 300 bares) de 45 minutos, que en la realidad, como demuestran las intervenciones que realizamos, se queda en 25 ó 30 minutos (con consumos de 72 y 60 litros minuto respectivamente). El aire que suministra este equipo no cambia de temperatura durante su utilización, es decir es siempre fresco.



b) *El equipo bibotella*, funciona exactamente igual que el monobotella, pero tiene la ventaja de tener el doble de capacidad, pues lleva dos botellas en vez de una. En realidad tiene algo más del doble de capacidad, pues las dos botellas que lleva en la espaldera son de 6,8 litros de capacidad cada una. Con un consumo nominal de 40 litros minuto, trabajando con las dos botellas cargadas a 300 bares, este equipo tiene una autonomía de 102 minutos, es decir una hora y cuarenta y dos minutos. Este tiempo de autonomía respiratoria, se convierte en la realidad en 68 minutos, es decir una hora y ocho minutos, para un consumo de 60 litros minuto y en 58 minutos, es decir menos de una hora, para un consumo de 70 litros minuto.

Las botellas del equipo bibotella son de composite, un material más ligero que el acero pero con la misma resistencia a la presión que este.



Detalle del equipo bibotella

11.7.2 Equipos autónomos de respiración de circuito cerrado.

Son los que no intercambian aire con el exterior durante su ciclo respiratorio. El aire exhalado, no se expulsa del circuito del equipo, como ocurría con los equipos de circuito abierto, sino que es reconducido al interior del equipo para ser acondicionado para volver a ser respirado. Durante este acondicionamiento se verifican dos acciones, una de absorción del dióxido de carbono, que es generado durante el proceso respiratorio, y otra de enriquecimiento del aire con oxígeno, el cual ha sido consumido al respirar. Una característica de estos equipos es que el aire se va calentando según va transcurriendo el tiempo de utilización. Es por ello, que disponen de un dispositivo para disminuir la temperatura del aire respirado. Otra característica de los equipos de circuito cerrado, es que poseen una bolsa respiratoria, que hace la función de pulmón o depósito de aire (como el circuito es cerrado, sino hubiera una bolsa de

aire deformable o pulmón artificial, no podríamos inhalar el aire.). Una última característica de estos equipos, es que poseen dos tráqueas con válvulas direccionales que se encargan de recircular el aire respirado en el sentido adecuado.

Actualmente, existen dos tipos de equipos autónomos de circuito cerrado, que difieren en la forma en que regeneran el aire respirado.

- a) Equipo de oxígeno químico.
- b) Equipo de oxígeno presurizado.

a) **El equipo de oxígeno químico**, realiza el acondicionamiento del aire respirado mediante un proceso químico, en el cual interviene una sustancia denominada Peróxido Potásico, que se encuentra contenida en dos cartuchos reactivos. La reacción que se verifica es la siguiente:



Equipo de circuito cerrado de oxígeno químico

Como vemos en la reacción se absorbe agua. Este agua, se obtiene de la humedad que hay en el aire exhalado proveniente de los pulmones del usuario. Por lo tanto es un equipo que deshidrata al usuario durante el proceso respiratorio (de forma similar a la deshidratación que sufren los escaladores al respirar en cumbres muy altas como las del Himalaya). También, como se ve en la formulación de la

reacción, se desprende calor. Este calor es eliminado, parcialmente, a través de unas aletas de disipación de calor, que están situadas a la salida de los cartuchos reactivos, sobre los conductos que conducen el aire ya regenerado.

Este equipo, lleva una batería recargable y una bomba eléctrica cuya finalidad es disminuir la resistencia respiratoria. También posee unas pastillas de arranque rápido, que tienen por misión suministrar oxígeno adicional durante un corto periodo de tiempo, ya que al comienzo de la reacción química, el aire resulta pobre en oxígeno.

Las dos tráqueas que lleva este equipo, discurren de forma paralela y juntas por debajo del brazo izquierdo del usuario. La autonomía de este equipo, con un consumo nominal de 40 litros por minuto, es de dos horas. El equipo pesa en torno a los trece kilogramos.

b) *El equipo de oxígeno presurizado*, realiza el acondicionamiento del aire respirado en dos etapas. Primeramente, absorbe el dióxido de carbono generado durante la respiración y en segundo lugar, enriquece este aire con oxígeno puro. El dióxido de carbono es absorbido por una sustancia denominada cal sodada, que va alojada en un recipiente que tiene que ser atravesado por el aire exhalado. Posteriormente, este aire ya limpio de dióxido de carbono, es enriquecido con el oxígeno que le inyecta un regulador. El oxígeno con el que se enriquece el aire, se encuentra alojado en un botellín de 2 litros de capacidad, a una presión de 200 bares.



Equipo de circuito cerrado de oxígeno presurizado.

La reacción que se verifica en el recipiente de cal sodada es la siguiente:



Como vemos, en esta reacción no se absorbe agua y por lo tanto, el usuario no se deshidrata a través de los pulmones.

Al igual que en el equipo de oxígeno químico, durante la regeneración del aire, se produce un calentamiento del mismo, debido a que la reacción química que se verifica en el cartucho de cal sodada es exotérmica. Por ello es necesario realizar un acondicionamiento de la temperatura del aire, el cual se efectúa en la cámara donde se añade el oxígeno puro. Esta cámara, tiene una carcasa de aluminio de forma cilíndrica, que no es otra cosa que un intercambiador de calor, a la cual se le puede añadir hielo para mejorar aún más su eficacia.

El equipo de oxígeno presurizado funciona a presión positiva, es decir que si se produce una falta de estanqueidad de la máscara, soplará aire hacia afuera de esta. Esto hace que el esfuerzo respiratorio sea bajo y que sea difícil que penetre humo del exterior hacia interior de la máscara.

La autonomía de este equipo, para un consumo nominal de 40 litros por minuto, es de cuatro horas. En la realidad, para un consumo durante la intervención de unos 60 a 70 litros por minuto, la autonomía se reduce a unas tres horas. El peso del equipo, con hielo, es de unos 14 kilogramos.

11.7.3 Utilización de los diferentes equipos autónomos de respiración durante la intervención con fuego en túneles.

De todo lo expuesto sobre equipos autónomos de respiración, concluiremos lo siguiente:

Para intervenir en las bocas de los túneles incendiados, en sus proximidades, o para penetrar poca distancia en el interior de aquellos, puede que sea suficiente con un equipo monobotella de circuito abierto. Aunque este equipo solo tiene una autonomía de una media hora, si se nos acaba el aire respirable, o si surgen dificultades, como estaremos situados en las inmediaciones de la boca del túnel, será sencillo ponerse a salvo saliendo rápidamente al exterior y alejándonos un poco del humo que sale por la boca.

Aún cuando no salga humo por una de las bocas del túnel, encontrándonos situados en ella, o dentro del túnel a pocos metros de aquella, no debemos confiarnos, porque el humo puede cambiar de sentido (bien sea por tener el túnel ventilación natural o por que alguien cambie el sentido de giro de los ventiladores del túnel). Por lo tanto, en dicha boca, es muy conveniente tener puesto el equipo monobotella, con la máscara quitada para no consumir aire innecesariamente, pero listos para ajustárnosla por si se nos vuelve el humo.



Los equipos bibotella de circuito abierto, con autonomía respiratoria de aproximadamente una hora, son más adecuados para penetrar en túneles que, teniendo un solo tubo y careciendo de salidas de evacuación a lo largo de él, no sean de mucha longitud. Consideraremos dichos túneles, a aquellos que tengan una longitud de kilómetro a kilómetro y medio.

Los equipos bibotella, también los consideraremos adecuados para intervención en túneles de mayor longitud, cuando se trate de túneles de dos tubos con varias conexiones entre ellos, o lo que es lo mismo, con salidas de evacuación que comunican un tubo con el otro. Como es lógico, estas salidas de evacuación son un elemento de seguridad a la hora de intervenir, pues al igual que permiten a los usuarios del túnel escapar del fuego, también nos permitirán a nosotros salir del tubo incendiado hacia el tubo no incendiado (con lo cual, no tendremos que transitar por el tubo lleno de humo para salir por una boca).

Cuando un túnel sea de un solo tubo y su longitud exceda de un kilómetro y medio, los equipos de respiración que elegiremos son los de circuito cerrado, pues tienen mayor autonomía que los de circuito abierto. Con esta elección, buscamos primar la duración de la protección respiratoria de los intervinientes. Es claro, que con un equipo de circuito cerrado, respiraremos un aire más caliente que el que respiraríamos con un equipo de circuito abierto, pero con un adecuado entrenamiento ello no debe ofrecer mayores dificultades. No hay que olvidar que la mayor autonomía respiratoria es un factor de seguridad a tener muy en cuenta, cuando se interviene en túneles de las características mencionadas.

11.8. TÉCNICAS DE INTERVENCIÓN EN INCENDIOS DE TÚNELES.

Vamos a ver que ocurre cuando se produce un fuego de cierta intensidad en el interior de un túnel y como debemos proceder.

11.8.1. Comportamiento del humo en un túnel con ventilación natural o con longitudinal simple.

Nos referiremos sobre todo al comportamiento del humo con estos tipos de ventilaciones, por ser hasta la fecha los únicos que existen en los túneles de la Comunidad Foral de Navarra. Los túneles de Belate y Almandoz, tienen ventilación forzada del tipo longitudinal simple. El resto de túneles de Navarra, poseen ventilación natural.

En base a las experiencias obtenidas en los incendios ocurridos en diversos túneles de todo el mundo, se ha observado lo siguiente. Cuando se produce un incendio en un túnel, el humo y el calor se dirigen en sentido vertical hacia la parte más alta de la cavidad, es decir, hacia la clave. Este humo, una vez que está situado en la clave, comienza a desplazarse horizontalmente. El sentido en el cual se va a desplazar el

humo, será el mismo que tenga la ventilación en el interior del túnel en el momento de producirse el incendio, con independencia de que esta ventilación sea natural o esté forzada por ventiladores. En un principio, el humo avanzará por el túnel en el sentido ya explicado, pegado a la parte superior de la bóveda, pues los gases de combustión estarán todavía muy calientes, predominando el efecto convectivo, produciéndose una estratificación similar a la que estamos acostumbrados a ver en los incendios de viviendas. A continuación, el humo, que avanza alejándose del foco del incendio, comenzará a enfriarse. Este enfriamiento progresivo, ocasionará que el humo descendiera a la calzada, lo cual ocurre a una distancia del foco de fuego de entre 80 y 200 metros, dependiendo dicha distancia, de las dimensiones del túnel, de si este está revestido, de la magnitud del fuego, de la velocidad del aire, etc.

Por lo tanto, de lo expuesto anteriormente se deduce, que sobre la calzada quedará una burbuja o campana de aire exenta de humo de unos 80 a 200 metros, a partir del foco del incendio. A continuación, transcurridos entre 6 a 10 minutos, debido a la acumulación del humo y a la aparición de turbulencias en el aire, desaparecerá la campana de aire, llenándose de humo toda la sección del túnel. Si el túnel posee ventilación forzada y esta se encuentra funcionando, tendremos un tramo de túnel inundado de humo (desde el foco del incendio hacia la boca por donde esta siendo expulsado el aire) y el otro tramo exento de humo. Si el túnel solo cuenta con ventilación natural, sucederá lo mismo que con la ventilación forzada longitudinal en lo referente a los dos tramos comentados, con la salvedad y esto es muy importante, de que el sentido de circulación del aire y por tanto el del humo, queda a merced de los efectos aleatorios ya descritos en el epígrafe de la ventilación natural, es decir que podrá cambiar de sentido de circulación en cualquier momento y de forma caprichosa. Esto último, es poco probable que ocurra si existe ventilación forzada, pues la fuerza que tienen los ventiladores es considerable. No obstante, si la climatología es muy adversa (por ejemplo un viento exterior muy fuerte en sentido contrario a la ventilación) podría darse el caso de que el sentido de circulación del humo cambie.

11.8.2. Información previa a la intervención.

Es fundamental, antes de penetrar en el túnel, informarse de que es lo que está pasando en el túnel y que acciones está realizando el centro de control. Esta información, debemos obtenerla durante el trayecto del parque al túnel. El centro de control, es un centro integrado que controla todos los túneles de Navarra (a fecha de redacción de estos apuntes - abril del 2001- se está realizando el citado centro de control, pero aún no está en funcionamiento). El centro de control es el que manipula la ventilación forzada, los semáforos, las barreras, los mensajes de los paneles informativos, las cámaras de televisión, la megafonía, la sala de bombas contra incendios, los sistemas de detección de incendios, etc. Es decir, el centro de control, lo controla todo. Es por ello fundamental mantener contacto permanente con el mismo. Una vez que estemos interviniendo en el túnel, el centro de control realizará todas las acciones que le solicitemos. Recordemos que en el incendio del túnel del Montblanc, nuestros colegas, los bomberos de Chamonix, penetraron en el túnel con una primera dotación, con vehículos, con equipos de circuito abierto y sin informarse de como estaba la



situación. El resultado, es que algunos de ellos murieron intoxicados, siendo otros rescatados por sus compañeros, los cuales penetraron a pie por las galerías de ventilación y con equipos de circuito cerrado.

11.8.3. Forma de proceder.

Una vez que estemos bien informados, antes de penetrar al túnel hay que establecer un plan de intervención. Este, tiene que dar respuesta a las siguientes preguntas:

- a) Que intervención vamos a realizar.
- b) Como la vamos a llevar a cabo.
- c) Quienes van a intervenir.
- d) Con que medios.
- e) Quiénes acuden a un posible rescate de emergencia de los intervinientes.

11.8.2.1 Generalidades.

Una cuestión importante, es comprobar que la instalación contra incendios propia del túnel, si es que existe, está convenientemente presurizada antes de penetrar en él. Una buena medida de precaución es penetrar en el túnel con una lanza y al menos un tramo de manguera del diámetro adecuado, para poder conectarla al armario de incendios, en previsión de que, por cualquier motivo, dicho armario no se encuentre, en ese momento, correctamente equipado. En el caso de que el túnel esté equipado con una columna seca, habrá que presurizarla previamente con una autobomba nodriza y buscar a continuación una fuente de abastecimiento.

La adopción del tipo de plan de intervención, va a depender sobre todo, de si el túnel es de un solo tubo y tráfico en doble sentido, o de si se trata de dos tubos con un único sentido de circulación en cada tubo. También va a depender de si existe ventilación forzada o no.

La prioridad número uno, como siempre en toda intervención, es rescatar y evacuar a las personas afectadas que están con vida. Solo posteriormente nos ocuparemos de la extinción. Si resulta posible, realizaremos simultáneamente las tareas de rescate y extinción, constituyendo para ello dos equipos de intervención. En los túneles, resulta muy indicada, la utilización de la cámara de imágenes térmicas para la localización de personas que han quedado en la zona inundada por el humo.

11.8.2.2 Túneles de un solo tubo.

En los túneles de un único tubo, que suelen tener tráfico en los dos sentidos, es decir en aquellos en los que no existe otro tubo paralelo para ser usado

como galería de evacuación y que tampoco tienen salidas de evacuación verticales hacia el exterior, lo mejor será penetrar por la boca por la que entra el aire limpio, puesto que si penetramos por la boca que sale el humo, no tendremos visibilidad y además, nos vendrá el calor de frente.

Por lo tanto, en estos túneles, lo primero será averiguar porque boca sale el humo. La mayoría de las veces, cuando lleguemos a un túnel incendiado, el sentido de circulación del aire ya estará establecido, bien de forma natural, o bien porque el centro de control habrá accionado los ventiladores. Si consideramos que los ventiladores no han sido accionados en el sentido adecuado, podremos solicitar al centro de control que los cambie, pero eso es algo que hay que sopesar bien antes de solicitarlo.

Si el túnel tiene menos de 1000 metros de longitud, es mejor no penetrar en él con los vehículos, siendo más conveniente utilizar las instalaciones de lucha contra incendios con que esté dotado (armarios con lanzas y mangueras). Si no está dotado de instalaciones contra incendios, entonces habrá que montar una línea de agua.

En túneles de más de 1000 metros de longitud, dada la distancia a recorrer, habrá que considerar la posibilidad de penetrar con un vehículo, a través de la boca por la que no sale el humo. Ello nos permitirá acortar el tiempo de intervención. No obstante, convendrá detener el vehículo, al menos a 50 metros del foco del incendio, ya que de otro modo el vehículo podría resultar afectado por el calor.

11.8.2.3. *Túneles de dos tubos paralelos.*

En túneles de dos tubos, con un único sentido de circulación en cada tubo, lo normal será que existan galerías que comuniquen un túnel con el otro. Esto último suele ser habitual (o al menos debería serlo), si el túnel tiene más de 500 metros de longitud. Las galerías de comunicación de un tubo con el otro, no son otra cosa, que las salidas de evacuación en caso de emergencia. Estas salidas de evacuación, nos servirán para aproximarnos todo lo posible hasta el foco del incendio, sin necesidad de transitar por el túnel incendiado. En este caso, como se habrá cerrado la circulación al tráfico en los dos tubos, podremos penetrar con los vehículos sin problema alguno, a través del túnel no incendiado, penetrando al túnel incendiado a través de las galerías de evacuación. Podremos entonces, usar las instalaciones contra incendios que existan en el túnel, o bien montar nuestras propias líneas de agua, haciéndolas pasar de un tubo a otro a través de las galerías de evacuación.

11.8.2.4. *Equipo humano de intervención.*

Al menos deberían penetrar 2 bomberos y un cabo, es decir tres efectivos



humanos. La comunicación de este trío, con el mando que permanezca en el exterior del túnel, debe ser continua. La dotación exterior tiene que estar preparada por si fuera necesario realizar un rescate de emergencia de sus compañeros, pues pueden resultar afectados por el calor, por una explosión, por avería de un equipo autónomo, o por cualquier otra circunstancia.

El mando que permanece fuera, tiene que ser informado continuamente por el equipo que ha entrado en el túnel, pues de otra manera no podrá coordinar la intervención adecuadamente. Será necesario, que alguien se encargue de llevar el control de tiempos de los equipos autónomos de respiración, de la dotación que está interviniendo en el interior del túnel.

11.8.2.5. *Protección respiratoria para los rescatados.*

En el caso de tener que realizar un rescate en una zona inundada de humo, hay que tener en cuenta que si nos va a llevar cierto tiempo, las personas pueden acabar seriamente intoxicadas. Por ello, habrá que proceder a proteger las vías respiratorias de estas personas colocándoles algún tipo de máscara con un elemento filtrante o incluso un equipo autónomo de respiración.

Por último recordar, que debemos tener en cuenta, que en un túnel incendiado pueden empezar a fallar los sistemas de ventilación e iluminación. También podría ocurrir, que el equipo de bombeo que presuriza las instalaciones de lucha contra incendios, con las que está equipado el túnel, ¡no funcione ese día!. Por lo tanto, debemos estar preparados para conectar nuestros equipos de iluminación y de impulsión de agua.

Estos apuntes se terminaron de redactar el 10 de abril del 2001.