

# Criterios de seguridad en los túneles de la Calle 30. Sistemas de ventilación

Safety criteria in tunnels on the M-30 ring road. Ventilation systems

**Ignacio del Rey Llorente.** Dr. Ingeniero Industrial  
*Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales - U. P. M. idelrey@etsii.upm.es*  
**Irene Espinosa Antelo.** Ingeniero de Minas  
*Centro de Modelado en Ingeniería Mecánica - PP. iespinosa@etsii.upm.es*  
**Enrique Alarcón Álvarez.** Dr. Ingeniero Caminos Canales y Puertos  
*Escuela Técnica Superior Ingenieros Industriales - U. P. M. alarcon@estru.upm.es*

**Resumen:** Durante los próximos años se van a realizar una serie de actuaciones en la vía de circunvalación M-30 de Madrid en las que se incluirán grandes obras subterráneas.

Las condiciones de explotación con unos niveles de tráfico muy importantes hacen necesario extremar los criterios de seguridad en la ventilación de estas infraestructuras tanto en situación de explotación en servicio como en caso de incendio.

Los autores han participado en el asesoramiento técnico para la definición de principios generales de funcionamiento y criterios de dimensionamiento de las instalaciones para que así los Proyectos elaborados por las distintas ingenierías mantuviesen la deseada compatibilidad que debe significar una explotación más económica. Este artículo describe las ideas principales subyacentes a la solución conceptual estudiada.

**Palabras Clave:** Túneles, Seguridad, Ventilación, Incendio, Mejora

**Abstract:** The M-30 ring road around Madrid will undergo a series of modifications over the next few years in a project which includes a number of large tunnels. The operational conditions together with very high traffic flows, make it necessary to impose very strict safety criteria regarding the ventilation of these tunnels for both operational and fire conditions.

The authors have participated in the technical consultancy of the project to define the main operational principles and design criteria of the installations to ensure that the designs prepared by the various engineering departments are entirely compatible and allow more economical operation. This article describes the main ideas behind this conceptual study.

**Keywords:** Tunnels, Safety, Ventilation, Fire, Improvement

## 1. Introducción

Durante los próximos años se van a realizar una serie de actuaciones en la vía de circunvalación M-30 de Madrid en las que se incluirán grandes obras subterráneas.

Las condiciones de explotación con unos niveles de tráfico muy importantes hacen necesario extremar los criterios de seguridad en la ventilación de estas infraestructuras tanto en situación de explotación en servicio como en caso de incendio.

Los autores han participado en el asesoramiento técnico para la definición de principios generales de funcionamiento y criterios de dimensionamiento de las instalaciones para que así los Proyectos elaborados por las distintas ingenierías mantuviesen la deseada compatibilidad

que debe significar una explotación más económica. Este artículo describe las ideas principales subyacentes a la solución conceptual estudiada.

## 2. Características generales

Por su importancia se han considerado los siguientes criterios de partida:

- Es fundamental alcanzar los mayores niveles de seguridad posibles tanto en las situaciones de incendio como en situación de servicio.
- Se contemplan como escenarios de tráfico probables los de circulación con tráfico lento o congestión de vehículos.

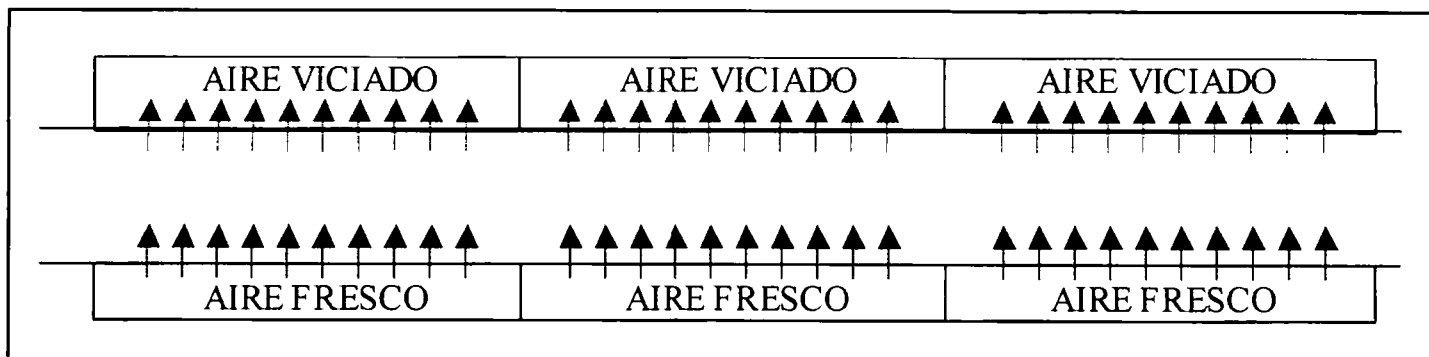


Fig. 1. Modo de funcionamiento en situación de servicio.

- No está permitido el paso de mercancías peligrosas en los túneles
- La división de túneles largos en obras de menor longitud o, al menos, aerodinámicamente independientes permite garantizar unas mayores condiciones de seguridad.
- La adopción de soluciones análogas (o al menos conceptualmente similares) para las distintas obras facilita las labores de evacuación y asistencia en caso de incendio además de reducir los plazos de ejecución.

En este tipo de infraestructuras el riesgo en situación de incendio está principalmente influido por el sentido de circulación (que sea simple o doble), el trazado, longitud, pendiente, sección transversal e iluminación, así como el tipo de tráfico (proporción de pesados) y la densidad (posibilidades de congestión).

Los túneles previstos de la M-30 presentan una gran longitud con niveles de tráfico importantes, con un crecimiento previsto en los próximos años considerable. Para alcanzar los niveles de seguridad exigidos se ha recomendado la adopción de distintas soluciones basadas en las alternativas tipo descritas a continuación, pero adaptadas por los proyectistas de cada tramo según las particularidades de cada caso individual.

En túneles de tipo unidireccional el sistema de ventilación habitualmente escogido es el longitudinal mediante aceleradores de chorro para situación de servicio que se complementa con estaciones intermedias locales (pozos) para la extracción de humos en caso de incendio. La distancia entre estaciones y sus características (caudal y potencia instalada) vienen determinadas por los escenarios de incendio previstos o los niveles de emisiones de contaminantes previstas si apoyan durante la ventilación en servicio.

Sin embargo en el caso de los túneles de la M-30 existen diversos condicionantes que descartan esta solución de una forma general, entre las que se pueden citar:

- La geometría de la red de túneles final con gran número de incorporaciones e interconexiones dificulta enormemente la distribución de caudales de ventilación a las zonas deseadas.
- Las situaciones de tráfico denso habituales e incluso atasco de vehículos en las que una actuación de tipo longitudinal solo pueden llevarse a cabo en dos fases (inicialmente parada de los humos y, tras el escape de los usuarios, expulsión de humos) con la dificultad que ello conlleva.
- La importante longitud global de las obras y los niveles de contaminantes admisibles que implica velocidades del aire muy elevadas así como empujes y potencias totales muy importantes.

Por todo ello, se ha recomendado la adopción de un sistema de ventilación de tipo transversal con inyección continua de aire fresco y extracción repartida de aire viciado (Figura 1).

Para complementar esta solución se propuso la disposición, en ciertos emplazamientos, de una capacidad de extracción muy superior que debe permitir el funcionamiento como si de un pozo de extracción se tratase para el mejor tratamiento en caso de tráfico fluido.

Un aspecto importante a tener en cuenta ha sido la disposición de las estaciones de extracción e inyección de aire fresco ya que deben evitarse las recirculaciones de aire. Por una parte en situación de incendio se evitaría el riesgo de que los humos extraídos fuesen absorbidos por las tomas de aire fresco e introducidos en el túnel de nuevo. Por la otra, las emisiones de aire viciado deben realizarse lejos de las bocas de admisión de aire limpio para evitar que los niveles de contaminantes del aire inyectado en el túnel sean importantes.

En este sentido la solución prevista contempla una disposición alternativa de las estaciones de ventilación y extracción quedando una distancia de 600 metros entre las últimas y las de inyección de aire fresco.

En algunos casos, ante la dificultad en la adopción de esta solución debido a la alta densidad de edifica-

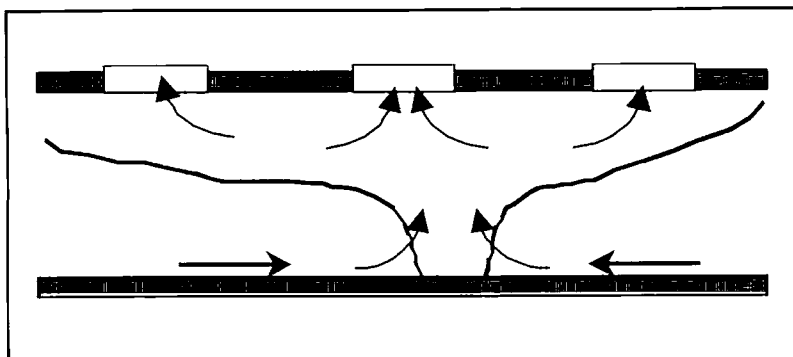


Fig. 2. Actuación en dos fases. Extracción.

ción en la traza prevista, los autores de los diferentes Proyectos han optado por la adopción de un sistema basado en pozos concéntricos en los que la chimenea de extracción, de mayor altura, queda inscrita en un pozo exterior de aire fresco.

### 2.1. Funcionamiento en modo transversal

En el caso de túneles bi-direccionales o con tráfico uni-direccional denso los usuarios se ven retenidos a ambos lados del fuego por lo que no es posible evacuar los humos hacia una de las bocas.

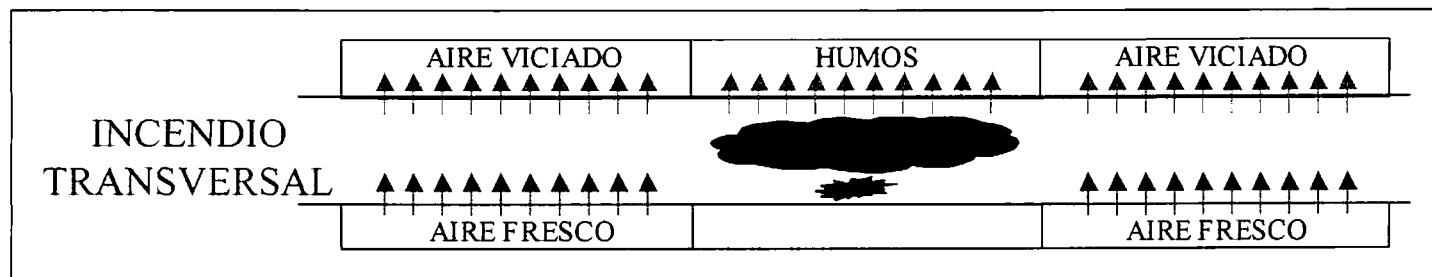
Por ello en estos casos se ha recomendado definir la actuación en una doble fase:

1. Estratificación y extracción de los humos mediante la reducción de la velocidad en el interior del túnel.
2. Una vez evacuado el túnel, y si se considera adecuado para la gestión de la emergencia, expulsión de los humos a alta velocidad hacia una de las bocas.

Para este tipo de actuaciones se precisa disponer de un sistema de extracción repartido que confine los humos a una zona suficientemente reducida, lo que se obtiene con sistemas de tipo (semi-)transversal.

Para ello se recomienda emplear dos conductos: uno de extracción conectado al túnel mediante exutorios situados en la parte superior del túnel para la evacuación de aire viciado o humos y otro de aire fresco que a través

Fig. 3. Principio funcionamiento en incendio. Modo transversal.



de pequeñas boquillas situadas en ambos hastiales aportarían aire fresco al interior del túnel (Figura 3).

En cuanto a las longitudes, se han propuesto, como concepto básico, cantones de ventilación de 600 metros de longitud tanto para la extracción como para la inyección de aire en los cuales se incorporan las aberturas al túnel (exutorios o boquillas) que no han de estar telecomandadas aunque sí dotadas de una rejilla para su regulación. Este criterio permite minimizar las tareas de mantenimiento.

Ello presenta numerosas ventajas frente a cantones de ventilación de mayor longitud, entre las que cabe citar:

- Sectorización y subdivisión mayor de los distintos tramos del túnel.
- Reducción de las potencias individuales de los equipos de ventilación.
- Mejora de la capacidad de control de la corriente longitudinal.
- Reducción de los problemas de estanqueidad en conductos y minimización de su importancia.
- Menor peso específico de cada estación de ventilación en el conjunto de la obra (y por tanto de la afección en los modos degradados por avería o mantenimiento de ventiladores)

Adicionalmente, de esta forma se evita la disposición de trampillas accionables desde el centro de control, que repercute en:

- Mayor fiabilidad del sistema al evitar fallos de componentes.
- Reducción de los costes de mantenimiento.
- Simplificación de los algoritmos de control de la ventilación

Para aportar la mayor versatilidad posible al sistema, se ha propuesto la disposición de un ventilador independiente por cada cantón (tanto extracción como soplado) con un sistema de registros previstos para cubrir los modos degradados de funcionamiento (fallo de equipos de ventilación).



Fig. 4. Detención vehículos tráfico unidireccional.

Según estos principios, las soluciones que se proyecten deben ser capaces de cubrir, aun en caso de fallo del ventilador de extracción del cantón afectado las necesidades previstas de caudal de extracción sin ninguna merma de las mismas.

## 2.2. Funcionamiento en modo pozo

Este modo de funcionamiento es el previsto para los escenarios de incendio con tráfico fluido donde los vehículos situados aguas abajo del incendio (en el sentido del tráfico) pueden abandonarlo sin encontrar interrupción. Por el contrario, en el otro lado los vehículos quedan retenidos en su avance.

Por ello, la mejor actuación posible consiste en la expulsión a gran velocidad del humo en el sentido de avance de los vehículos.

Para poder garantizar este hecho es preciso conseguir unas condiciones de ventilación determinadas ya que el humo, en un túnel sin pendiente en el que no existe una dirección predominante del aire, tiende a propagarse en ambas direcciones debido a los efectos de flotabilidad.

No obstante, aunque existiese una dirección del aire predominante hacia la que el humo tendiese a propagarse, debido a la flotabilidad, una parte del mismo tendería a producir un retorno aguas arriba del incendio también conocido como recirculación.

Para este caso se debería disponer en el falso techo un exutorio telecomandado de grandes dimensiones que, estando normalmente cerrado, se abriese en caso

de incendio para proporcionar una mayor capacidad de extracción.

## 3. Criterios de dimensionamiento

### 3.1. Situación de servicio

El objetivo de la ventilación en situación de servicio es garantizar que la atmósfera del túnel reúne condiciones adecuadas de confort y seguridad para los usuarios.

Así, la demanda de caudal de aire correspondiente al régimen habitual de explotación debe asegurar la dilución de los contaminantes emitidos por los vehículos para mantener sus concentraciones dentro de límites admisibles, y además permitir una adecuada capacidad de reacción del sistema de ventilación ante una demanda rápida de caudal en cualquier situación de servicio.

En el caso de los túneles de la M-30 las situaciones de congestión pueden ser habituales y los tiempos de permanencia elevados; esto puede ser especialmente crítico en el caso del CO, donde la concentración máxima admisible viene impuesta por la dosis máxima que puede ser absorbida por la hemoglobina de la sangre. Con la concentración límite de humos se intenta controlar el deterioro en la visibilidad producido por las partículas de polvo y hollín.

Habitualmente para el dimensionamiento del sistema de ventilación se emplean los niveles admisibles recomendados por PIARC. Sin embargo, en algunos países como por ejemplo Francia, se establecen criterios más

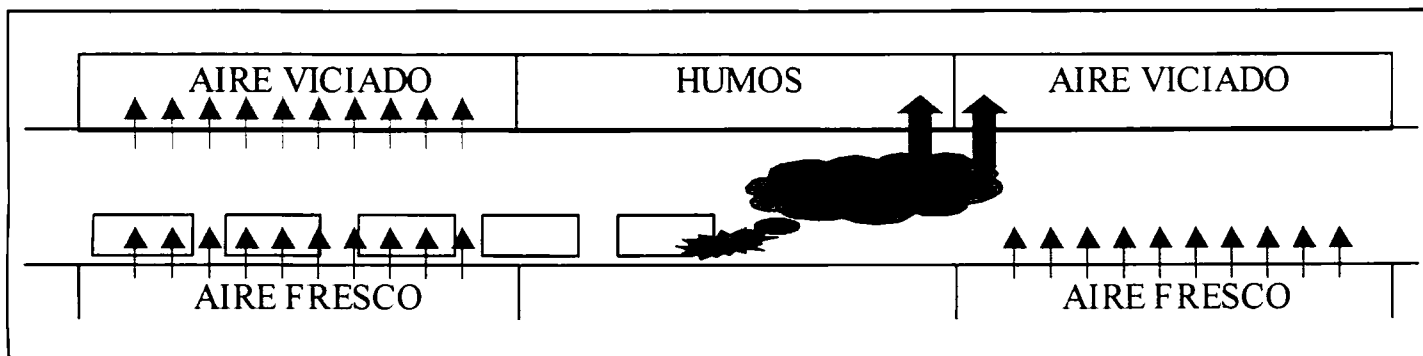


Fig. 5 Principio funcionamiento en incendio. Modo pozo.

restrictivos. Allí los niveles recomendados son de 50 ppm durante un tiempo máximo de 30 minutos o 90 ppm en 15 minutos.

Para poder estimar los valores de CO admisible para tiempos de permanencia distintos a los anteriores es preciso tener en cuenta la dosis recibida, para lo que existen relaciones empíricas. En el caso de los túneles de la M-30 se ha propuesto a los Proyectistas la adopción de un límite admisible para el CO de 30 ppm hasta el año 2010 y 20 a partir de éste.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno emitidos por los vehículos están formados por NO, que en la concentración que se encuentra en los túneles no es perjudicial. Pero éste, en presencia de ozono y dependiendo de la temperatura y la humedad del túnel, se oxida a NO<sub>2</sub>, que sí resulta nocivo, especialmente para las personas con problemas respiratorios.

Sin embargo, respecto a la concentración máxima admisible de óxidos de nitrógeno no existe un acuerdo para fijar límites precisos debido a la complejidad en su determinación experimental ya que no existen sensores de NO<sub>2</sub> fiables en el rango de concentraciones que se da en los túneles.

Teniendo en cuenta estos criterios y para poder estimar un valor de caudal de emisiones válido de forma general se realizaron una serie de estudios paramétricos en el que se han estimado los caudales de ventilación precisos para un túnel tipo de 1 kilómetro de longitud y pendiente variable entre -5 y 5%, adoptando como hipótesis

Tabla 1. Necesidades de ventilación según pendiente

Pendiente	Caudal (m <sup>3</sup> /s/Km)
-5	170
-3	200
-1	250
1	280
3	270
5	320

una proporción de tráfico de vehículos pesados del 10%. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

Estos resultados permitieron recomendar un caudal de ventilación de referencia de 285 m<sup>3</sup>/s/Km de túnel, lo que para cantones de ventilación de 600 metros implica de unos 170 m<sup>3</sup>/s por cantón.

Así, por ejemplo, para un túnel de 10 km (la longitud máxima que puede recorrer un usuario de forma continua en esta red de túneles) se han obtenido los caudales de dilución de CO por kilómetro, para el año más desfavorable, reflejados en la Figura 6, donde puede observarse que mayores velocidades de circulación de los vehículos implica menores tiempos de exposición y por tanto mayores niveles de CO admisible y caudal de ventilación inferiores.

En cualquier caso las singularidades de cada Proyecto obligan a adaptar estos criterios ya que, por ejemplo,

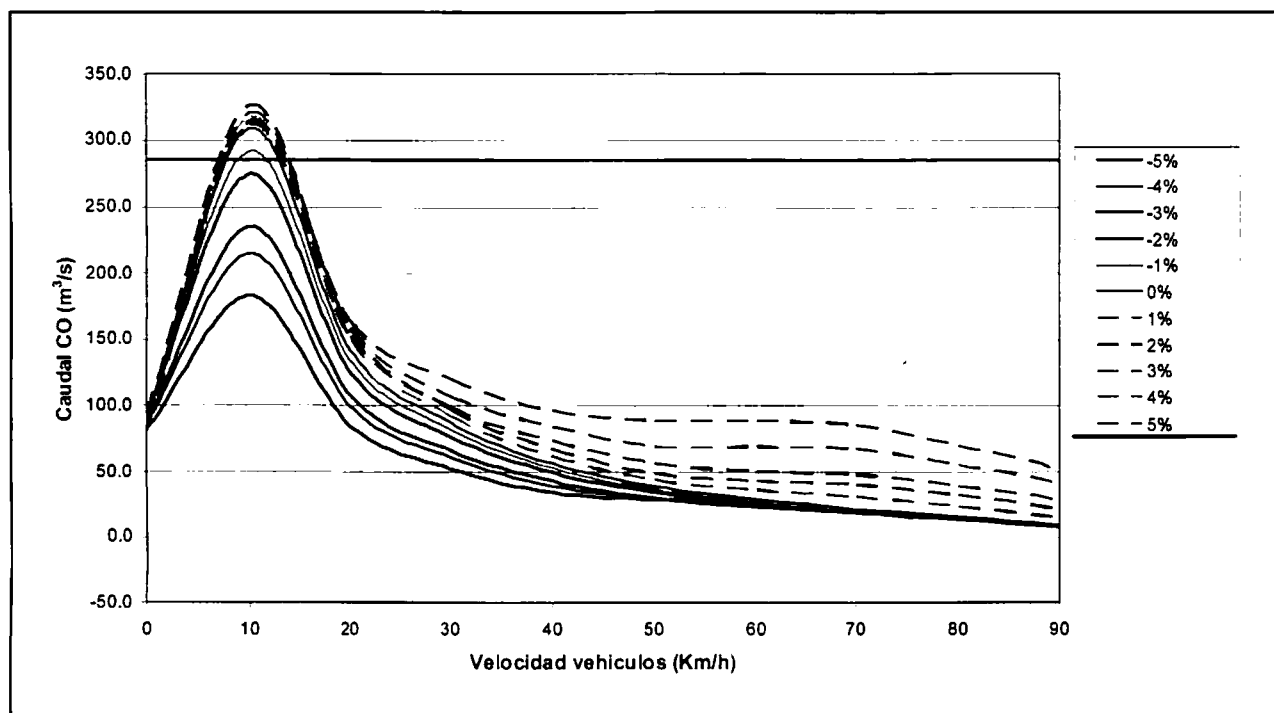


Fig. 6. Caudales para dilución de CO según velocidad.

tramos con mayor número de carriles de circulación suponen un incremento del caudal total de inyección,

### 3.2. Situación de incendio

Desde el punto de vista de la seguridad en caso de incendio, los objetivos a cumplir son los siguientes:

- Mantener controlada la nube de humos lo más lejos posible de los usuarios. Para ello debe conseguirse en la medida de lo posible su estratificación o expulsarla a gran velocidad si las personas situadas aguas abajo del incendio ya han sido evacuadas.
- Evitar la extensión del incidente a zonas próximas al túnel pero no implicadas en el incendio (locales técnicos, otro tubo en túneles comunicados, galerías de escape, etc.)
- Apoyar en las tareas de salvamento (tanto de personas como bienes) a los equipos de rescate.

La potencia de incendio se ha fijado en 30 MW, que corresponde al incendio de un vehículo pesado sin mercancías peligrosas. En este caso la producción de humos está en torno a los 80 m<sup>3</sup>/s, valor que resulta coherente con los valores propuestos hace años por Heselden, confirmados en los ensayos EUREKA y adoptados internacionalmente como criterio convencional para sistemas de ventilación de tipo transversal.

#### 3.2.1. Modo transversal

Además se ha propuesto que los Proyectos consideren una capacidad de extracción (mediante una extracción repartida con un sistema de tipo transversal) de un caudal capaz de absorber los humos generados y una velocidad adicional de 1.5 m/s en el túnel, lo que lleva a una caudal total en los 600 metros de 170 m<sup>3</sup>/s.

Este valor debe ser coherente con los caudales de inyección previstos si se tiene en cuenta que en funcionamiento en servicio el sistema de evacuación de aire viciado debe ser capaz, al menos, de extraer el caudal inyectado.

#### 3.2.2. Modo pozo

En el caso de funcionamiento en modo pozo el sistema de ventilación debe ser capaz de garantizar una corriente longitudinal del aire en el sentido de circulación que evite el retroceso de la capa de humos hacia los vehículos situados aguas arriba del foco.

La velocidad del aire que evita el retorno de la nube de contaminantes se denomina velocidad crítica, y depende de la pendiente del túnel, la potencia del incen-

dio y la geometría de la sección transversal. Esta velocidad se estima habitualmente en función de las recomendaciones derivadas de los ensayos de incendio realizados en los Estados Unidos dentro del Proyecto del Memorial Túnel.

Teniendo en cuenta los parámetros de proyecto se ha propuesto de forma general un valor de 3 m/s que contempla un coeficiente de seguridad adicional. No obstante los proyectistas han ajustado éste, atendiendo a características diferentes de sección, pendiente, etc relativas al tramo cuyo proyecto les fue encargado.

De esta forma el caudal de proyecto para funcionamiento en modo pozo con una sección tipo de 80 m<sup>2</sup> sería de unos 320 m<sup>3</sup>/s.

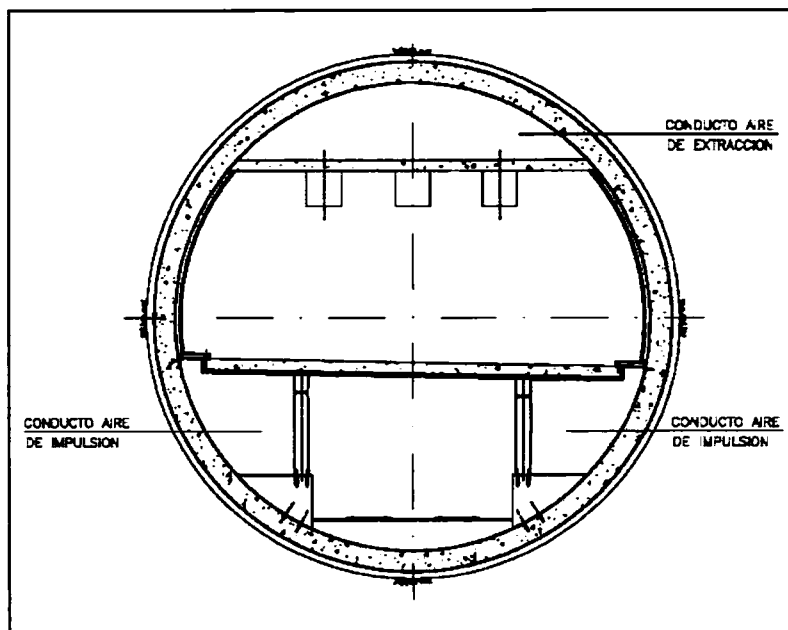
Este valor correspondería a la capacidad del sistema de ventilación extrayendo simultáneamente por los dos cantones situados aguas abajo del foco (en el sentido del tráfico) a través de los grandes exutorios telecomandados.

### 4. Tramos con tuneladora

Los tramos realizados con tuneladora de 15.2 metros de diámetro presentan una sección como la mostrada en la Figura 7, que comprende tres carriles de circulación de 3.5 metros, arcones y aceras con gálibo de 11.5 metros por 4.5 metros.

En cuanto a los espacios no destinados al tráfico, en su parte superior queda disponible una zona para la extracción de humos y en la inferior está previsto disponer una galería de servicios transitable quedando además

Fig. 7. Sección transversal prevista.



una zona que podría ser empleada para la distribución de aire fresco.

En los tramos construidos con tuneladora se ha propuesto un sistema de ventilación como el mostrado en el esquema de principio de la Figura 8. En él pueden apreciarse los dos tubos así como los circuitos de aporte de aire fresco (azul) y extracción de aire viciado o humos (rojo) formando cantones de una longitud máxima de 600 metros.

También pueden apreciarse las estaciones de ventilación destinadas a la extracción de humos (rojo) o inyección de aire fresco (azul) cada una de las cuales está compuesta por cuatro ventiladores axiales.

El sistema propuesto se complementa con las trampillas de extracción de humos, las boquillas de inyección de aire fresco y los exutorios de grandes dimensiones situados en los entronques de unión de la estación de ventilación y el túnel.

En la Figura 9 se esquematiza la propuesta realizada. Como puede observarse se precisa la disposición de estaciones de ventilación cada 600 metros alternándose las de inyección con las de aire fresco.

Entre las estaciones de ventilación situadas en la superficie y el túnel se dispondrían dos conductos de ventilación: un pozo vertical de grandes dimensiones y una galería horizontal de longitudes variables en función de la distancia entre túneles o su profundidad.

### 5. Tramos con pantallas

Los tramos realizados mediante pantallas presentan tipologías mucho más diversas con dificultades topográficas que impiden adoptar soluciones únicas.

En los casos de túneles profundos, para poder disponer conductos de ventilación las disposiciones específicas a adoptar son muy diversas y requieren soluciones parti-

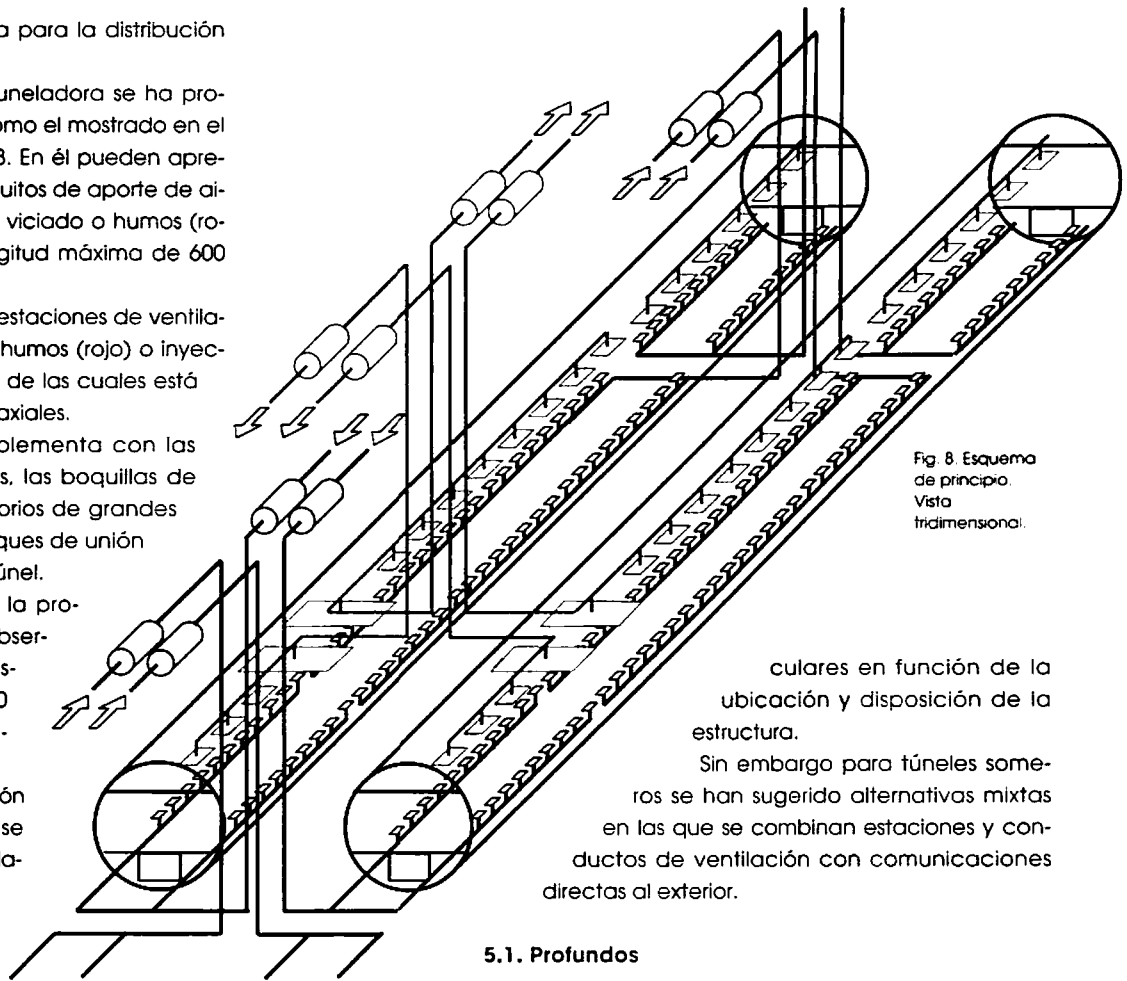


Fig. 8. Esquema de principio. Vista tridimensional.

culares en función de la ubicación y disposición de la estructura.

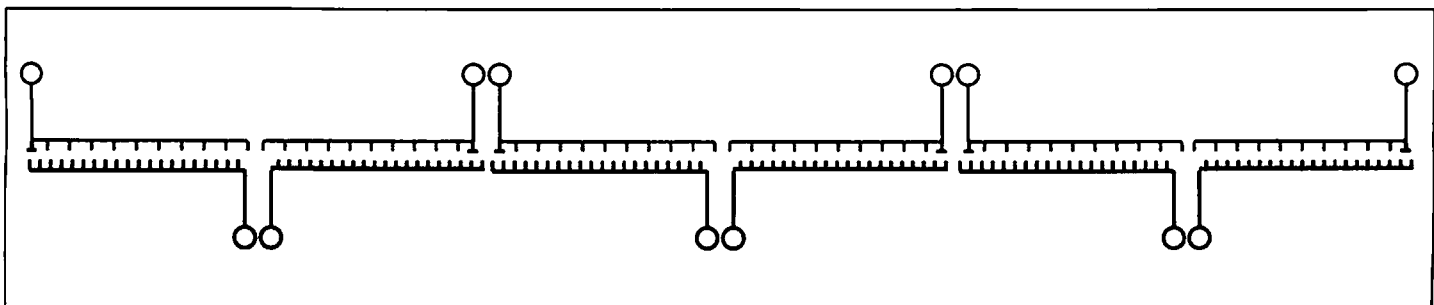
Sin embargo para túneles someros se han sugerido alternativas mixtas en las que se combinan estaciones y conductos de ventilación con comunicaciones directas al exterior.

### 5.1. Profundos

En los tramos realizados con pantallas no es posible plantear soluciones generales que permitan cubrir las distintas peculiaridades, por lo que cada proyectista ha adoptado las soluciones constructivas que ha considerado conveniente. Sin embargo, a continuación se indican algunas de las alternativas que se han propuesto como adecuadas para mantener principios de funcionamiento análogos a los especificados para los tramos con tuneladora.

De ellas, las dos primeras presentan condiciones análogas a las descritas para los tramos con tuneladora para

Fig. 9. Esquema de principio. Alzado.



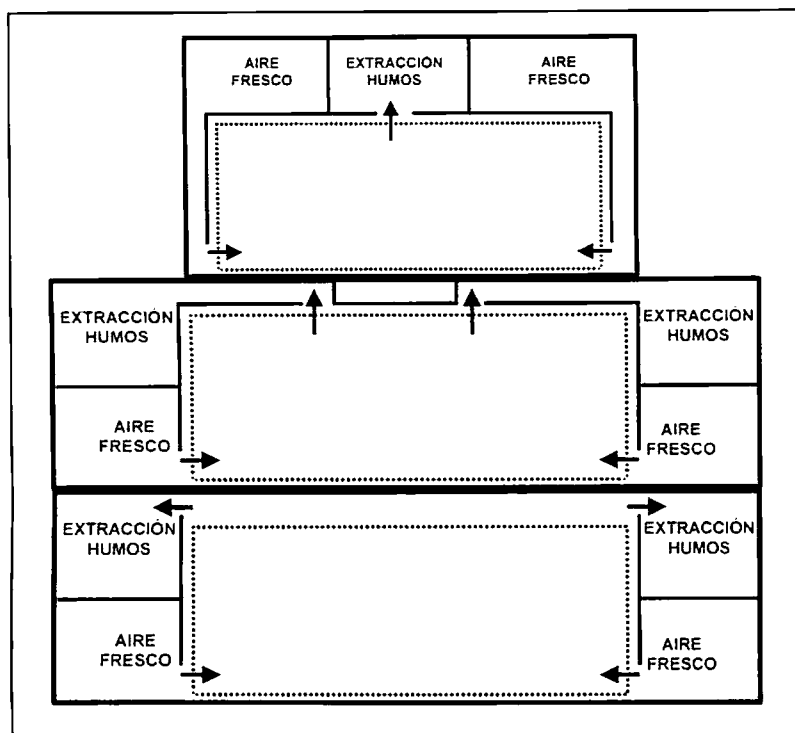


Fig. 10. Alternativas sección transversal.

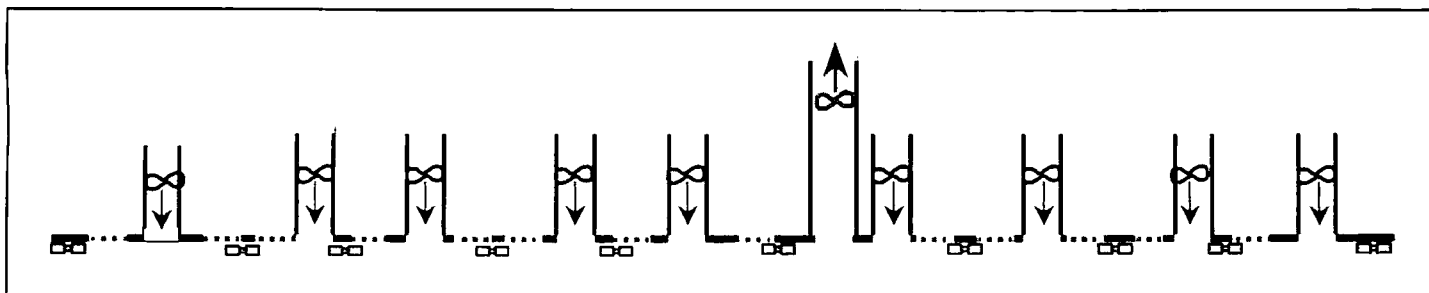
aquellas zonas en las que haya posibilidad de reservar un espacio para conductos en la zona superior o lateral del túnel.

La tercera opción, con extracción lateral sólo debería utilizarse en casos extremos ya que esta disposición supone una disminución del rendimiento siendo necesario un sobredimensionamiento de la capacidad de extracción.

## 5.2. Someros

Se refiere este apartado a aquellos tramos en los que el túnel tiene pocos metros de montera. En estos casos, por razones ajenas a la ventilación, se ha considerado aconsejable realizar aberturas de grandes dimensiones (entre 100 y 150 m<sup>2</sup>) en el techo del túnel que comunican con el exterior. Desde el punto de vista aerodinámico esta solución es de interés ya que desconecta las dos partes del túnel al crear una zona a presión atmosférica.

Fig. 11. Esquema del sistema de ventilación.



Esta disposición no está relacionada con la extracción de aire viciado en situación de servicio sino que con ello se pretende controlar la corriente longitudinal de aire imponiendo condiciones de presión atmosférica iguales a cortas distancias. Ello es importantísimo en caso de incendio ya que permite obtener velocidades bajas que evitan la desestratificación de la capa de humos. Como subproducto deseable estas perforaciones permiten también el escape de humos al exterior por efecto chimenea.

Además, el sistema debe disponer de aceleradores de chorro para el control de la corriente longitudinal.

A modo de ejemplo en la Figura 11 se muestra un croquis del esquema en el que se han representado las transparencias así como un pozo de extracción, con diversas inyecciones de aire fresco a ambos lados del mismo.

El comportamiento de la ventilación en servicio en el caso de túneles someros con transparencias vienen dado por una combinación de los fenómenos de dilución por entrada de aire fresco y transporte a lo largo de zonas de caudal constante. En el caso de grandes longitudes o, como en los túneles de la M30, donde los niveles admisibles son reducidos, se recomienda la inclusión de pozos de extracción que reduzcan la longitud efectiva.

En caso de existir inyecciones de aire fresco distribuidas, éstas deben tener como objetivo la dilución de contaminantes pero en cualquier caso se debe garantizar que en los tramos de velocidad reducida los niveles de contaminantes se mantengan dentro de los valores admisibles.

En esta etapa de definición de criterios la utilización de modelos de tipo unidimensional han proporcionado resultados cualitativos (ya que no se incluyen los efectos tridimensionales o locales así como los fenómenos de difusión) acerca de las estimaciones de los niveles de contaminantes esperados permiten evaluar la bondad de las distintas propuestas.

Estudios posteriores deben ser capaces de valorar las situaciones de carácter transitorio (arranques de ventiladores, efectos del paso de vehículos, etc.) que puedan darse y que deberán solventarse a través de los algoritmos de control de la ventilación que decidirán los crite-



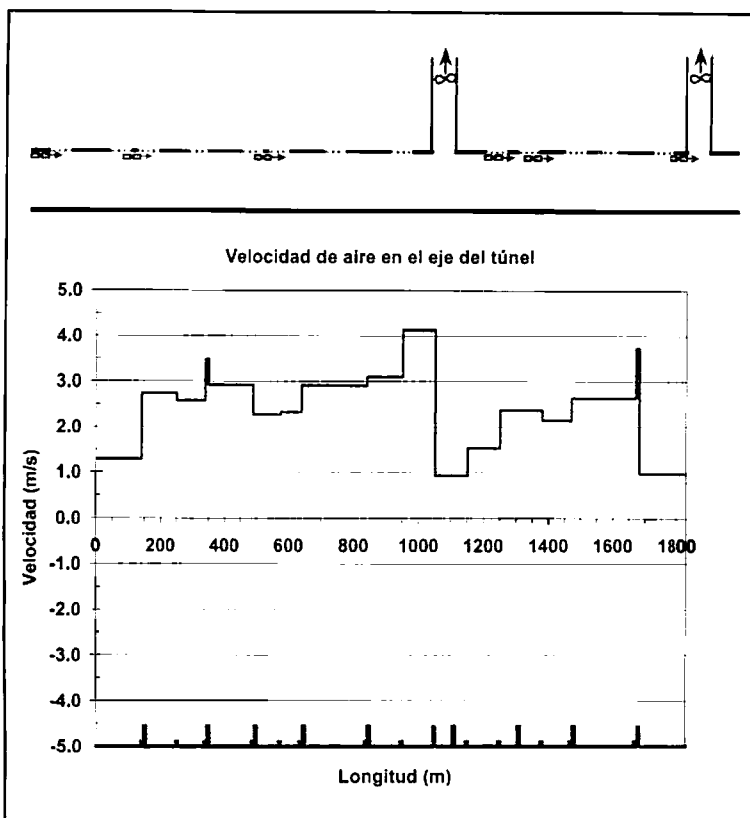
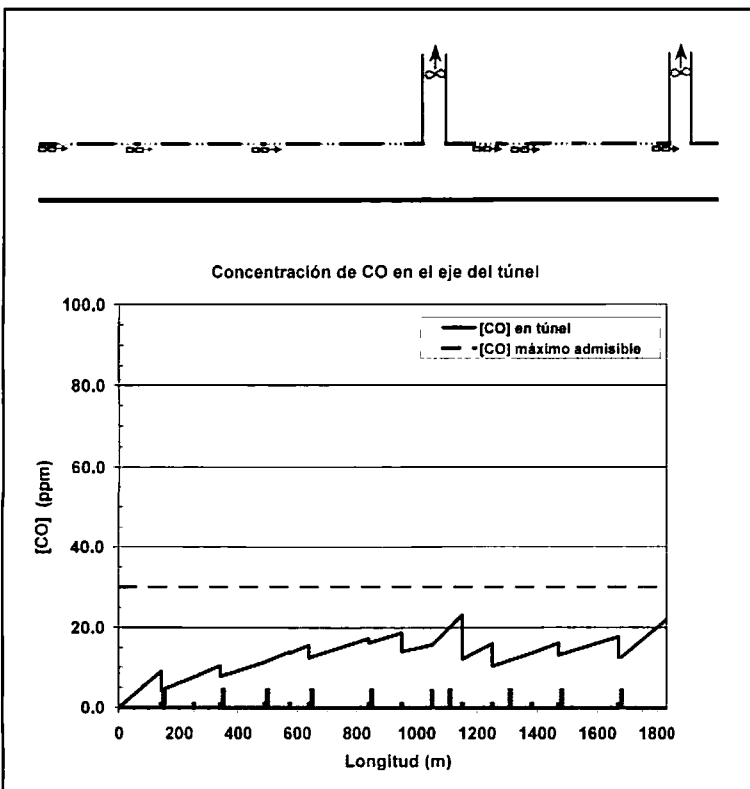


Fig. 12. Efecto de combinación de pozos y transparencias.

Fig. 13. Solución con transparencias. Distribución de contaminantes.



rios bajo los cuales cada equipo de ventilación deberá ser accionado en función de las lecturas de contaminantes en el interior de los túneles.

A continuación se muestra, a modo de ejemplo, un escenario adicional en el que se consigue, con la actuación sobre la ventilación indicada en el croquis, el caudal de aire suficiente para mantener la atmósfera del túnel con niveles razonables de CO, como correspondería a la situación deseada y que debe ser capaz de lograr el sistema de ventilación propuesto en situación de servicio.

## 6. Conclusiones

La construcción de la Calle 30 presenta un interesantísimo ejemplo de obra en que pueden darse diferentes condiciones geométricas, topográficas, etc. en condiciones de tráfico también muy variadas.

Los autores de este artículo han participado como Asistencia técnica en la definición de criterios generales que permitiesen la toma de decisiones de los proyectistas dentro de un marco uniforme de exigencias en relación con la seguridad de los usuarios.

Elo es del máximo interés para garantizar aquella pero también para simplificar y uniformizar los procesos de control de la ventilación durante las situaciones de servicio o accidente así como para que exista una compatibilidad entre los equipos que finalmente se instalen.

Tras estudios paramétricos sobre situaciones típicas se han fijado criterios cuantitativos de caudales, distancias y dimensiones que han servido de guía para que los proyectistas de cada tramo hayan adaptado la filosofía general a cada situación concreta.

Los autores desean agradecer a los ingenieros M. Melis, I. De Matías, M. Arnaiz y F. Rodríguez la oportunidad de participar en el desarrollo de los conceptos de seguridad en una obra única en la historia de Madrid. ♦

## Referencias

- (1) Alarcón, E.. "Accidentes y sistemas de seguridad en túneles". Seguridad frente a incendio en túneles. Serie Seminarios Academia de Ingeniería. Madrid. 2002.
- (2) "Fire and Smoke Control in Road Tunnels". PIARC. 1999.
- (3) "Road Tunnels: Vehicle Emissions and Air demand for ventilation". PIARC. 2004.
- (4) "Road Tunnels: Emissions, ventilation, environment". PIARC. 1995.
- (5) Dossier pilote. Ventilation. CETU. Nov. 2003.
- (6) Proceedings of the International Symposium on catastrophic Tunnel Fires. SP Report. Nov. 2003.
- (7) Dossier pilote. Ventilation. CETU. Nov. 2003
- (8) Circular Francesa 2000-63 de Ago. 2000
- (9) Retana, P. "Regímenes transitorios de ventilación. Aplicación a la seguridad frente a incendios", Universidad Politécnica de Madrid, Tesis doctoral. 1999.