

IMPACTO EN LOS USUARIOS DE LA EXISTENCIA DE CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS EXTREMAS, PERO NO OBSERVABLES, EN TÚNELES DE GRAN LONGITUD

Alberto Miguel

(UTE Túnel de Somport)

director@tunelsomport.com

Ignacio del Rey

(CEMIM)

idelrey@etsii.upm.es

RESUMEN

Tradicionalmente las dificultades para lograr una adecuada explotación en periodos invernales suele asociarse a condiciones climatológicas extremas por las bajas temperaturas y por la existencia de precipitaciones en forma de nieve. Sin embargo, estos fenómenos llevan asociados temporales y fuertes vientos ocasionados por borrascas y frentes de bajas presiones.

Estas condiciones meteorológicas extremas pueden presentar implicaciones adicionales no siempre “visibles” pero con afección directa sobre la explotación.

En concreto, la existencia de fuertes condiciones de diferencia de presión entre las bocas de un túnel, puede llevar a condiciones degradadas de explotación e, incluso, a la imposición de restricciones de circulación de los vehículos a través del túnel. Esto se debe a que, a la hora de proyectar el sistema de ventilación de un túnel, éste debe estar dimensionado para ser capaz de cubrir escenarios desfavorables, pero no extremos, de tiro natural (es decir, aquellos valores que se dan en el 95% del periodo). Por tanto, en los intervalos en los que el tiro natural es superior al valor de dimensionamiento puede ser necesario adoptar medidas de seguridad complementarias y así compensar los riesgos derivados de una insuficiente capacidad del sistema de ventilación.

En el túnel del Somport, inaugurado en el año 2003, el sistema de ventilación fue dimensionado de acuerdo a este tipo de criterios y en su manual de explotación se estableció un valor de diferencia de presión límite que, en caso de ser sobrepasado, hace necesario adoptar medidas de seguridad especiales de acuerdo a las características técnicas de la instalación, el tipo de tráfico y las posibilidades de atender un incidente. En este caso, debido a su considerable longitud, una de las medidas establecidas en estas situaciones es la restricción de paso de vehículos pesados, permitiendo tan solo su paso bajo condiciones de convoy lo que impone una afección significativa al tráfico.

Sin embargo, transcurridos 10 años desde su apertura, la experiencia de la explotación del túnel ha obligado a replantear este tipo de medidas por diversos motivos: la incertidumbre asociada a los procedimientos de medición de la variable de control de forma fiable y continua, la compleja cuantificación de un límite de acuerdo a criterios de riesgo aceptable pero sobre todo, la dificultad de transmitir a los usuarios unas medidas de restricción del tráfico cuando aparentemente no existen factores climatológicos extremos que lo justifiquen.

El presente artículo describe la problemática asociada a estos fenómenos y la dificultad de plantear medidas de reducción de riesgos basadas en la afección al tráfico, de difícil explicación a la opinión pública.

1. INTRODUCCIÓN

De forma general, se denomina tiro natural al efecto de corriente longitudinal producido en el túnel debido a la diferencia de presiones (totales) entre las bocas del túnel y que suele deberse a la combinación de tres efectos diferenciados:

- La diferencia de presión barométrica en cada una de las bocas, debido a las distintas condiciones climatológicas y que, en túneles de cierta longitud (Mont Blanc, San Gotardo, etc) alcanzan valores considerables.
- El efecto de la incidencia del viento exterior en las bocas, factor que suele ser predominante en túneles de corta longitud con vientos fuertes predominantes.
- El efecto chimenea o de flotabilidad producido por la diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior del túnel.

A la combinación de las dos primeras suele denominarse diferencia de presión atmosférica para diferenciarla de la relacionada con las condiciones geotérmicas.

$$\Delta P_{\text{total}} = \Delta P_{\text{barom}} + \Delta P_{\text{viento}} + \Delta P_{\text{chimenea servicio}} = \Delta P_{\text{atm}} + \Delta P_{\text{chimenea servicio}}$$

Puede encontrarse una descripción detalladas de estos fenómenos en referencias especializadas y recomendaciones de ventilación de distintos países, siendo especialmente detallada la descripción recogida en el *Dossier Pilote du Ventilation* del CETU (ref.3).

2. IMPORTANCIA DEL TIRO NATURAL EN CASO DE INCENDIO

Como es sabido, la necesidad en una estimación del valor de la diferencia de presión entre bocas está directamente relacionada con la capacidad de control de la corriente longitudinal del sistema de ventilación del túnel, objetivo importante para lograr una adecuada extracción de humos en la zona del incendio.

En efecto, en túneles bi-direccionales (donde en caso de incendio los usuarios se verán retenidos a ambos lados del fuego no es posible expulsar los humos hacia uno de los dos lados) el objetivo de la ventilación suele ser facilitar la estratificación y confinamiento de los humos (ver informe PIARC, ref. 2). Habitualmente, para garantizar las condiciones de control de humos, 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.

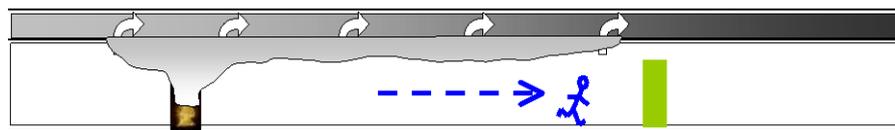


Figura 1.- Estrategia de estratificación

Si bien no se conocen completamente los procesos que favorecen la estratificación de los humos, los ensayos realizados en túneles a escala real reflejan que uno de los más importantes es la reducción de la velocidad del aire en las proximidades del foco. Para aquellos lectores que deseen profundizar en este campo, se recomienda la lectura del informe PIARC "Operational

Strategies for Road Tunnel Ventilation” (ref.7) que recoge las últimas tendencias en control de ventilación en caso de incendio.

A su vez, estos principios de control de humo han quedado reflejados en la normativa europea (ref. 4) como en la transposición a la legislación española (ref. 5). En concreto se indica (apartado 2.11.7 del anejo 2):

“Para los túneles de longitud superior a 1.000 metros, de tráfico bidireccional, con un volumen de tráfico superior a 1.000 vehículos por carril, dotados de un centro de control y de ventilación transversal o semitransversal, deberán adoptarse las siguientes medidas mínimas relativas a la ventilación:

- *se instalarán reguladores de aire y humo que puedan funcionar separadamente*
- *la velocidad del aire longitudinal deberá controlarse constantemente*
- *el proceso de control del sistema de ventilación (reguladores, ventiladores, etc.) deberá ajustarse en consecuencia”*

Este requisito, presenta un desafío considerable a la hora de especificar, implementar y probar sistemas de control ya que los efectos que intervienen en la generación de la corriente longitudinal son cambiantes y de difícil cuantificación.

3. PROBLEMÁTICA

Así, a la hora de proyectar el sistema de ventilación de un túnel (especialmente en el caso de sistemas de tipo transversal o semitransversal) se debe garantizar no sólo una cierta capacidad de extracción en la zona del foco, sino también una capacidad suficiente de control de la corriente longitudinal.

En numerosas normativas se exige que la ventilación debe ser capaz de “cubrir” las condiciones atmosféricas desfavorables pero no extremas, representadas por aquellos valores de tiro no superados en el 95% del tiempo. Esto conlleva la realización de campañas in-situ de medida para caracterizar dicho valor.

En el fondo, este requisito puede entenderse como un riesgo residual de la instalación que queda fuera de las hipótesis de diseño (de forma equivalente a lo que sucedería si la magnitud del incendio fuese superior a la de diseño).

Sin embargo, en otros casos, se puede considerar que, bajo condiciones de tiro fuera de la “zona de diseño” se dan unas condiciones de explotación no aceptables y es preciso adoptar medidas de compensación de riesgo.

Es precisamente este último caso el que se describe en el resto del artículo.

4. CASO DE ESTUDIO: EL TÚNEL DE SOMPORT

El túnel de Somport es un túnel fronterizo entre España y Francia. Su longitud es de 8610 m, 5760 de ellos en suelo español, y está situado a una altitud aproximada de 1100 m. Se trata de un túnel bidireccional, con dos carriles de 3.5 m de anchura, dos arcenes de 0.5 m, una mediana central de 1 m y dos aceras de 0.75 m de ancho medio. La altura libre es de 4.55 m. En la Figura 2 puede apreciarse un esquema general del trazado en alzado.

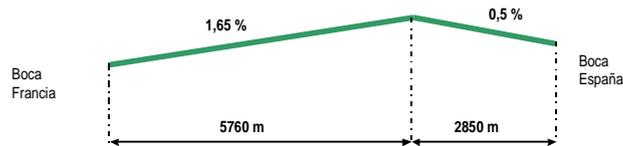


Figura 2.- Perfil general de túnel del Somport

El sistema de ventilación del túnel de Somport es del tipo semitransversal con posibilidad de extracción de humos mediante exutorios. Para ello está organizado en siete cantones, dos del lado francés y cinco del lado español, ventilados a partir de tres estaciones: dos en las bocas y otra en posición intermedia con salida a través de un pozo de ventilación al valle de Rioseta.

Como se puede observar en la Figura 3, desde la estación de ventilación de la boca francesa se cubren los cantones 1 y 2, mientras que los cantones 3, 4 y 5 corresponden con la estación de ventilación intermedia; la boca española, por su parte, da servicio a los cantones 6 y 7.

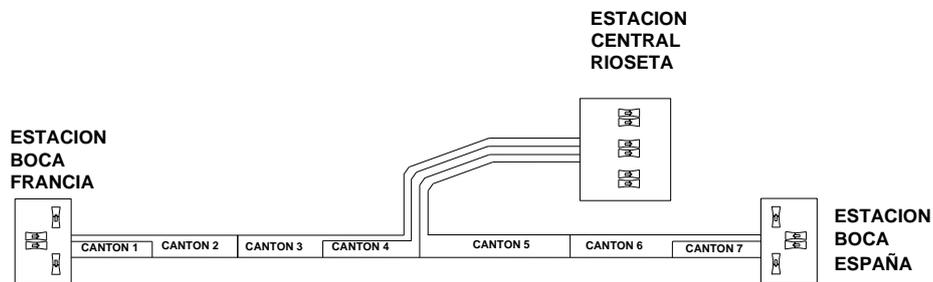


Figura 3.- Esquema del sistema de ventilación del túnel de Somport

En caso de incendio, la actuación de ventilación de forma general consiste en la parada de los ventiladores de aire limpio (si estuviesen arrancados), el ajuste de las lamas de los registros de aislamiento necesarios y la conexión del ventilador de extracción específico del cantón afectado. La posición de las trampillas, inicialmente semiabiertas, se modifica desde el sistema de control hasta permitir la apertura total de las seis trampillas más próximas al foco y el cierre del resto.

A su vez, se produce la inyección o extracción por las trampillas de los cantones vecinos para apoyar en el control de la corriente longitudinal.

El esquema de actuación queda recogido en la Figura 4.

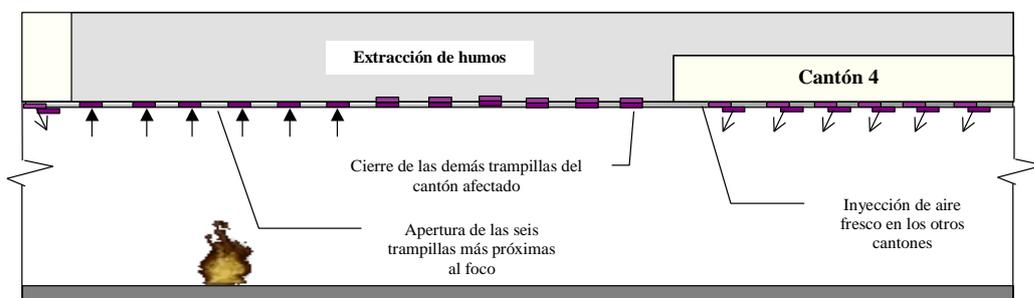


Figura 4.- Actuación sobre las trampillas en caso de incendio

Con el objetivo de alcanzar un adecuado control de la corriente longitudinal, se realizaron simulaciones computacionales para definir las actuaciones óptimas

en función de la posición del incendio y el tiro existente en el túnel, las cuales fueron implementadas en el sistema de control del túnel para su funcionamiento (semi-)automático en caso de incendio. Como se puede ver en la figura siguiente, estas “tablas” tienen en cuenta tanto la posición del incendio como el nivel de tiro natural.

		DIFPRES: (200, 100)							DIFPRES: (100, 30)						
		NIVEL ALTO SENTIDO ESPAÑA							NIVEL MEDIO SENTIDO ESPAÑA						
canton	Tramo	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1	C7	C6	C5	C4	C3	C2	C1
C7	1	E	50	100	100	100	100	100	E	0	100	100	75	75	75
	2	E	50	100	100	100	100	100	E	0	100	100	75	75	75
	3	E	50	100	100	100	100	100	E	0	100	100	75	75	75
	4	E	50	100	100	75	75	75	E	50	100	100	100	100	100
	5	E	50	100	100	75	75	75	E	50	100	100	100	100	100
	6	E	50	100	100	75	75	75	E	50	100	100	100	100	100
	7	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
	8	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
	9	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
	10	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
	11	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
C6	12	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	13	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	14	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	15	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	16	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	17	E	E	50	100	100	100	100	E	0	100	100	100	100	100
	18	E	E	50	100	100	100	100	E	50	100	100	100	100	100
	19	E	E	50	100	100	100	100	E	E	50	100	100	100	100
	20	E	E	E	100	100	100	100	E	E	50	100	100	100	100
	21	E	E	E	100	100	100	100	E	E	50	100	100	100	100
	22	E	E	E	100	100	100	100	E	E	50	100	100	100	100

Figura 5.- Pautas de actuación predefinidas en función de la posición y el tiro natural.

Por otra parte, se llevaron a cabo campañas de medida del tiro natural, tanto previamente a la apertura del túnel como durante su explotación en las que se caracterizaron los niveles de diferencia de presión “esperables” en distintos periodos, estableciéndose que, un valor en torno a los 180 Pascales no eran superado en el 95% del tiempo de medida.

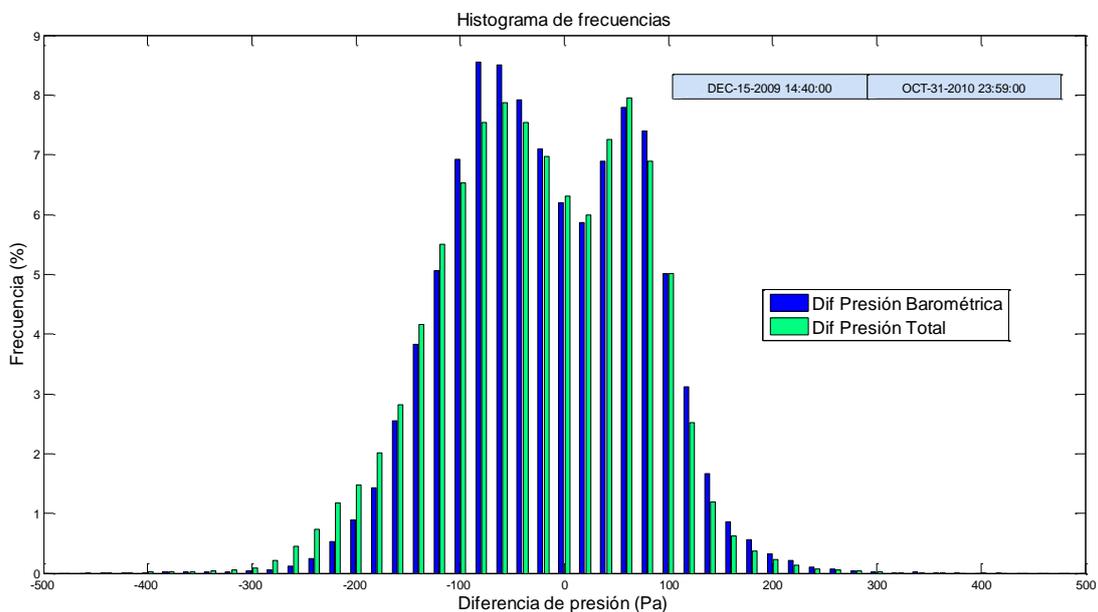


Figura 6.- Histograma de frecuencias. Periodo 15-12-2009 a 15-10-2010

Adicionalmente, en el caso del túnel del Somport, modelos numéricos realizados previamente a la apertura del túnel, estimaban como valor límite del tiro natural a compensar por el sistema de ventilación, valores no superiores a 200 Pa (en cualquiera de los sentidos), si bien para valores por encima de 150

Pa las condiciones de control longitudinal podrían ser reducidas en algunos escenarios concretos (incendio en las proximidades de las bocas) como el mostrado en la figura siguiente donde, para valores del tiro natural de 200 Pa, la velocidad de confinamiento era reducida.

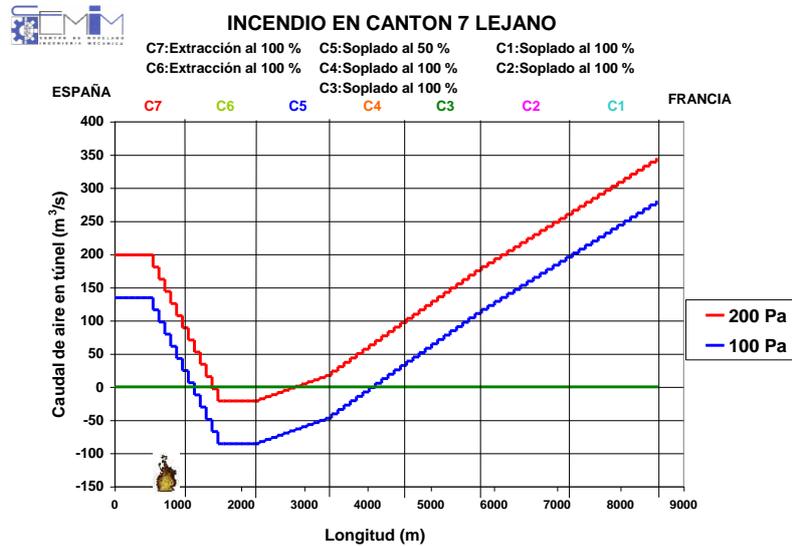
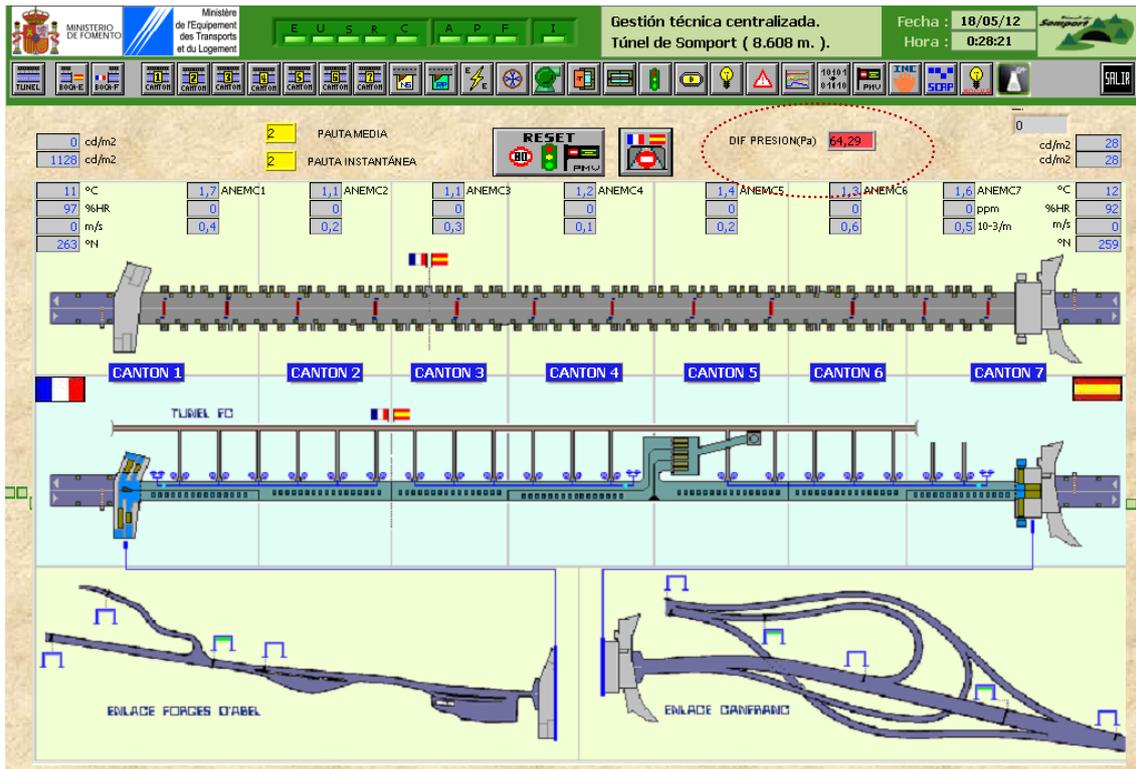


Figura 7.- Ejemplo de escenario considerado límite en estudios previos.

5. ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES MÍNIMAS DE EXPLOTACIÓN

Desde su puesta en servicio en enero de 2003 mantiene, entre otras, una condición mínima de explotación referida a la diferencia máxima de presión entre las bocas en la que puede operar sin restricciones. La ficha CME170 del Manual de Explotación indica que por encima de 200 Pa se deben tomar medidas compensatorias consistentes en la prohibición del tráfico pesado por el túnel.

Para poder establecer esta condición, el Gestor del túnel tomó interés por la forma en que el Operador podía conocer este dato en tiempo real, y por ese motivo se reprogramó la aplicación informática, para que mostrara este valor.



El resultado del protocolo de aplicación de la condición mínima de explotación consistía inicialmente en la prohibición del paso de vehículos pesados.

Esta medida generó un importante rechazo de los usuarios, incluso con comentarios en prensa referidos a la falta de seguridad del túnel, al no interpretar adecuadamente que las medidas que se tomaban eran, precisamente, para garantizar la seguridad del mismo.

Por ello, la medida que se tomó, provisionalmente hasta conocer con detalle lo que ocurría, consistió en escoltar en convoy, a túnel cerrado para el reto de vehículos, hasta 5 vehículos pesados, circulando separados 100 metros entre sí. Los vehículos que realizaban la escolta estaban provistos de medios para evacuar a los chóferes, en caso necesario. El paso estaba abierto a vehículos pesados de toda clase, incluso de mercancías peligrosas (el túnel está clasificado según el ADR como clase A). Además, durante la situación de superación del umbral de los 200 Pa, el personal que está situado en las bocas del túnel para regular el tráfico y atender una emergencia, está en estado de prealerta, equipado con trajes de intervención para poder entrar, a bordo de vehículos de bomberos, en un tiempo aproximado de un minuto.

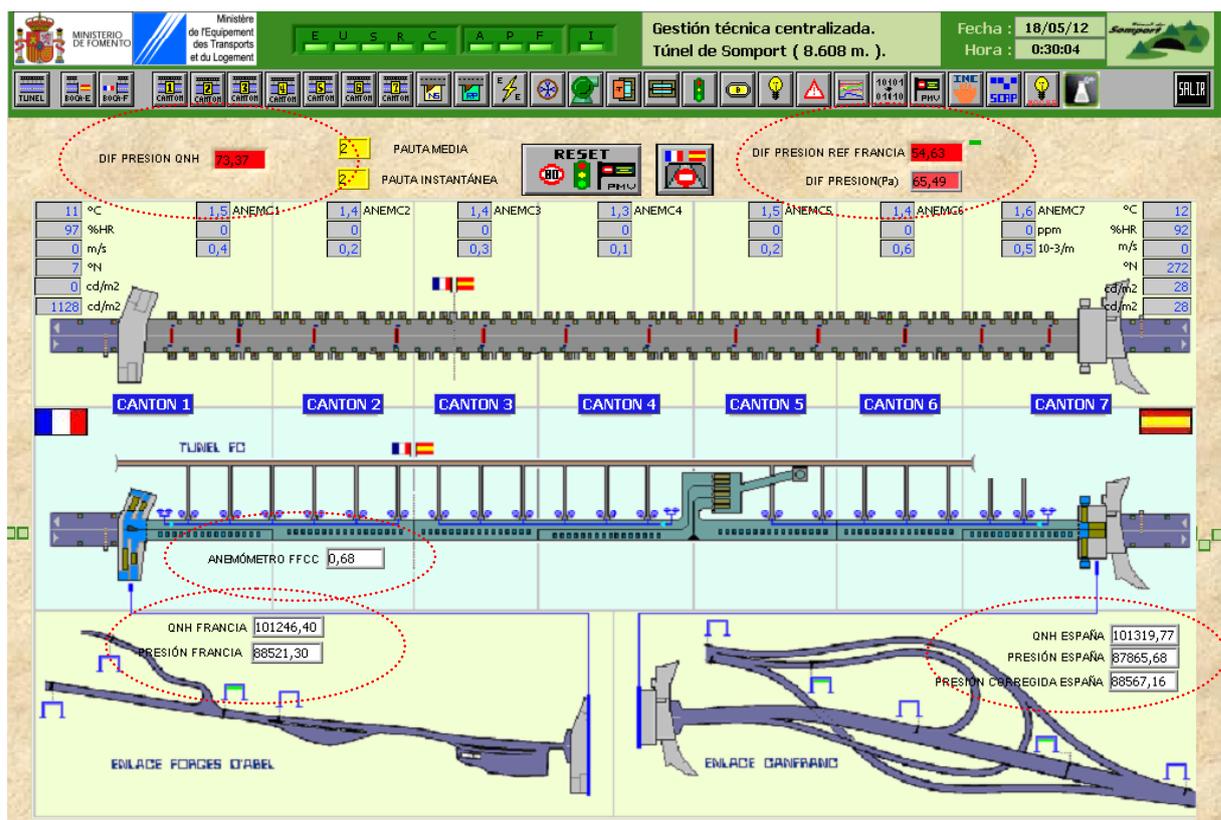
El inconveniente de esta situación para el resto de usuarios era que el túnel, mientras se realizaba esta maniobra, permanecía cerrado al resto de usuarios durante unos 15 minutos por escolta. Por el túnel pueden llegar a circular hasta 400 camiones al día, con lo que el paso se podía ver muy afectado.

En diciembre de 2011 se realizó la instalación del sistema, formado por dos barómetros colocados en el exterior del túnel carretero, junto a las bocas, complementado con un anemómetro instalado en el interior del túnel ferroviario en desuso que discurre paralelo y sirve como galería de evacuación. Estos equipos han sido conectados a la GTC y la programación se ha modificado

para que presente tanto el valor del algoritmo anterior como el del dispositivo actual en la pantalla principal de la aplicación. Los Operadores y Jefes de turno han sido formados sobre su uso.

Para la aplicación de la CME170 se ha programado un temporizador en la aplicación GTC que realiza las siguientes funciones:

- Indica al Operador que se superan 200 Pa presentando un cartel en el monitor de avisos
- Si la situación se mantiene durante 30 minutos, aparece un nuevo cartel que ordena la aplicación de la CME170.



El resultado es que se ha conseguido mejorar el confort de los usuarios, al constatar que el número de veces en que se supera el umbral es inferior al previsto, permitiendo que el túnel se mantenga más tiempo en servicio para todo el tráfico, sin restricciones.

6. CONCLUSIONES

Como se ha explicado en este artículo, la existencia de condiciones meteorológicas extremas que pueden afectar al nivel de seguridad de un túnel no siempre están ocasionadas por fenómenos percibidos por el usuario del túnel.

En estos casos su gestión puede resultar especialmente compleja ya que la adopción de restricciones al tráfico en estas condiciones puede repercutir en la percepción de la seguridad del usuario y en su "comprensión" de un problema de compleja explicación.

La experiencia del túnel de Somport en este sentido, transcurridos 10 años desde su apertura, ha obligado a replantear las medidas de compensación a adoptar.

Actualmente se siguen realizando estudiando medidas de compensación de riesgos complementarias o sustitutivas para minimizar la afección a los usuarios sin incrementar el riesgo admisible de la infraestructura.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo quieren agradecer a la Demarcación de Carreteras del Ministerio de Fomento en Aragón y la Unidad de Carreteras de Huesca por su apoyo para la preparación de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. "Dossier Pilote du Ventilation", CETU, Noviembre 2003
2. "Fire and Smoke Control in Tunnels". PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 1999
3. "Road Tunnels - Operational Strategies for Tunnel Ventilation" PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2012
4. DIRECTIVA 2004/54/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO sobre requisitos mínimos de seguridad para túneles de la red transeuropea de carreteras. Abril 2004
5. Real Decreto 635/2006 sobre requisitos mínimos de seguridad en los túneles de la red de carreteras del Estado. Mayo de 2006.
6. "Systems and equipments for fire and Smoke control". PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2007
7. "Road Tunnels - Operational Strategies for Tunnel Ventilation" PIARC Committee on Road Tunnel Operations. 2012
8. "Le déreoulement des opérations de sécurité lors d'un incendie en tunnel routier". Les notes d'information du CETU (nº13). CETU. 2005.