

El dimensionamiento de túneles ferroviarios en líneas de Alta Velocidad

[2ª Parte.- Métodos alternativos]

Antonio Lozano del Moral

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director Técnico U.N. Mantenimiento de Infraestructura.RENFE.

Director de los Proyectos sobre Túneles de la Unión Internacional de Ferrocarriles.

RESUMEN

El artículo hace un sucinto repaso a los trabajos realizados por la U.I.C., en el ámbito de la aerodinámica y dirigidos por el autor del presente artículo, para encontrar métodos alternativos para el diseño de túneles en líneas de alta velocidad. Atención preferente se dedica al uso de chimeneas. Se describen las herramientas desarrolladas para el cálculo de la sección transversal de los túneles utilizando este método.

ABSTRACT

The article mentions some of the work carried out by the U.I.C., in the field of aerodynamics and led by the author of this article, to find alternative methods to the design of tunnels' cross sections in the high speed lines. Preference attention is given to the use of airshafts. The tools developed for the calculation of the tunnels' cross section using this method are also described.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento de velocidad que ha experimentado el modo de transporte ferroviario en los últimos tiempos y que ha obligado a la profundización de los conocimientos de aerodinámica y su aplicación al ferrocarril¹, ha obligado al incremento de sección transversal de los túneles para garantizar los adecuados niveles de confort. La construcción de secciones cada vez más grandes, se ha utilizado, como medida prácticamente universal para minimizar las variaciones de presión experimentadas por los viajeros.

(1) Ver artículo del mismo autor en el número 3.381 de la Revista de Obras Públicas del mes de Noviembre 1998.

El estudio técnico-económico de alternativas al incremento de sección transversal fue propuesta por el autor de este artículo, como Presidente de la Subcomisión de Túneles, a la Unión Internacional de Ferrocarriles (UIC), como un subproyecto del proyecto global "Variaciones de presión en túneles" que tenía como objetivo, no solamente la obtención de métodos prácticos de diseño de los túneles en nuevas líneas de alta velocidad, sino también, tratar de encontrar métodos para posibilitar el incremento de velocidad en líneas existentes, dadas las dificultades de incrementar la sección en líneas en explotación.

El subproyecto tenía asimismo los siguientes capítulos:

- ▼ 1º.- Selección de métodos alternativos: análisis de su eficacia aerodinámica y cuantificación de su eficacia técnico-económica.

- ▼ 2º.- Elección del método más eficaz y desarrollo de la metodología necesaria para su implementación.

Se encargó al Instituto Europeo de Investigación Ferroviaria (ERRI) la gestión del proyecto en su totalidad bajo mi dirección como "Project Leader" según la terminología de la UIC.

2. SELECCION DE MÉTODOS ALTERNATIVOS

Esta parte fue subcontratada al Profesor Vardy de la Universidad de Dundee.

Se inició el subproyecto con un inventario y estudio de todos los artículos publicados tanto en Europa como en Japón, sobre métodos para reducir presiones en los túneles.

Los métodos seleccionados fueron los siguientes:

- ▼ Boquillas de entrada abocinadas
- ▼ Boquillas perforadas
- ▼ Utilización de chimeneas

Asimismo, fueron analizados, aunque en menor detalle, la utilización de conexiones transversales en túneles paralelos, la utilización de restricciones físicas en las boquillas y restricciones funcionales en la explotación.

Especial atención se prestó en la definición del criterio para la cuantificación del concepto de beneficio alcanzado con la utilización de los métodos seleccionados, a estos efectos, se utilizó la siguiente definición:

$$\text{Beneficio} = 100 \cdot \frac{B - A}{B}$$

Siendo **A** la máxima variación de presión en un intervalo de 4 segundos (criterio más común para el diseño de la sección transversal de los túneles) a lo largo de todo el tren en el túnel con la solución implementada y **B** la máxima variación de presión en el túnel sin modificaciones.

La anterior definición se refiere expresamente a las presiones externas. En el caso de trenes no estancos estas presiones son similares a las experimentadas en el interior del tren. En el caso de trenes estancos, las fluctuaciones de presión internas pueden ser mucho menores (en función de la estanqueidad dinámica de los mismos) y la definición no es la más adecuada, sin embargo, es razonable considerar que incrementos de las historias de presión externas implicarán incrementos de las historias de presión internas.

Las simulaciones para evaluar el comportamiento aerodinámico fueron realizadas utilizando el programa Thermotun/4 desarrollado por el propio Profesor Vardy.

El parámetro elegido para evaluar la eficacia técnico-económica fue el ratio coste:beneficio al considerarlo como ade-

cuado para comparar métodos alternativos para conseguir idénticos objetivos.

Para hacer viable el estudio en términos tanto económicos como temporales se utilizaron un conjunto de "casos básicos" para cada sistema analizado. Por ejemplo, la longitud del túnel estandar se tomó de 1 km haciendo variar el resto de parámetros (secciones de túnel y tren, velocidades, longitudes de tren etc.). En ocasiones en el estudio paramétrico realizado también la longitud del túnel ha sido considerada como variable.

2.1. Boquillas abocinadas a la entrada

El caso base considerado tiene una longitud de abocinamiento de 300m (longitudes menores no tienen eficacia sensible en el confort de los viajeros), sección del túnel de 60 m² y una sección máxima del abocinamiento de 120 m².

Se consideraron tanto túneles para vía única o doble (una boquilla tratada o las dos). Se analizó la importancia del método con túneles de mayor longitud, con trenes de distinta longitud, en casos de doble vía con cruces, el efecto de distintas formas del abocinamiento etc.

El estudio paramétrico analizado perfila unas tendencias que se pueden sintetizar en:

- ▼ La efectividad del método aumenta al aumentar los ratios de longitudes y secciones (túnel/abocinamiento).
- ▼ El área se debe reducir más lentamente cerca de la boquilla.
- ▼ El método es menos eficaz según se incrementa la velocidad.

Los beneficios obtenidos en los casos analizados fluctúan entre 29 y el 37%.

Dada la enorme casuística existente tanto por los distintos tipos de terrenos como métodos constructivos, se seleccionaron algunos casos (roca dura, abocinamiento externo) obteniéndose ratios coste:beneficio de 0.14Meuros/% y de 0.29Meuros/% (millones de euros por unidad de beneficio en tanto por ciento).

2.2. Boquillas perforadas a la entrada

Como en el caso anterior, la atención se centró en zonas perforadas de gran longitud (300m) para que tuvieran influencia sensible en el confort del viajero.

Como en el punto anterior el estudio realizado tuvo en cuenta la variación de los parámetros básicos, entre otros, el porcentaje de sección perforada y su distribución.

Del estudio se deducen las siguientes tendencias:

- ▼ La efectividad del método aumenta con la longitud tratada.

- ▼ Existe un valor óptimo de la sección perforada. Un incremento o disminución de la misma empeora el resultado.
- ▼ El método es menos eficaz según se incrementa la velocidad.

Los beneficios obtenidos en los casos analizados fluctúan alrededor del 10%.

El ratio coste-beneficio está entre 0.21Meuros/% para un túnel de vía única y 0.23Meuros/% para vía doble.

2.3. Boquillas abocinadas o perforadas a la salida

La razón para haber diferenciado el análisis de los métodos anteriores según estén situados a la entrada o a la salida (solo en caso de vía única), se debe a que el proceso físico responsable de los hipotéticos beneficios es distinto.

En este caso, los beneficios para abocinamientos internos, y para boquillas perforadas internas y externas son aproximadamente 5%, 19% y 14% respectivamente. No se consideró la cuarta posibilidad, abocinamiento externo, al no presentar ningún beneficio.

El ratio coste-beneficio en el caso de las regiones externas perforadas es del orden de 0.21Meuro/%. En el caso de la región perforada interna (cuando es posible) el ratio es muy bajo, en el otro extremo, el coste-beneficio del abocinamiento externo es muy alto.

2.4. Chimeneas

El uso de chimeneas es el método más extendido en el análisis bibliográfico realizado. La razón es el atractivo teórico que presenta el método al tener un potencial grande en la modificación de las historias de presión. Esta influencia se produce de dos maneras. La primera fragmentando las ondas de presión suministrando rutas alternativas a la propagación de las mismas. La segunda se produce al forzar las chimeneas la migración de las presiones hacia la presión atmosférica. Este fenómeno se produce durante los periodos de reposo que presentan las perturbaciones mientras se propagan a lo largo del túnel.

El primero de éstos efectos se puede imaginar fácilmente al considerar una onda propagándose a lo largo del túnel. Cuando alcanza la chimenea, tiene que decidir el camino a tomar. En la práctica, la onda se parte en dos, una parte continua a lo largo del túnel y la otra se canaliza a través de la chimenea. Ambas partes son menores que la onda original por tanto la presión en la chimenea es menor que la presión origen. Un tercer frente de onda reflejado vuelve por el túnel.

El segundo efecto es fácilmente imaginable considerando muchas chimeneas de poca longitud a lo largo del túnel. Si tienen áreas suficientemente grandes, entonces será más fácil que las presiones sean aliviadas lateralmente que longitudinalmente.

A pesar de los casos extremos utilizados en la descripción anterior, ambos efectos existen independientemente del número y tamaño de las chimeneas. Cuanto mayor es el número de chimeneas, mayor es la fragmentación y menores son las magnitudes de las ondas individuales. Sin embargo, teóricamente, existe la probabilidad (¿pequeña?) de que la superposición de múltiples pequeños frentes pueda conducir a mayores fluctuaciones de presión para los pasajeros, probabilidad que no hay que despreciar.

A pesar de la dificultad de establecer tendencias en el limitado estudio paramétrico realizado en esta fase del estudio, parece ser que:

- ▼ Las chimeneas en la primera mitad del túnel son más eficaces que en la segunda mitad.
- ▼ Las chimeneas no deben estar muy cerca de las boquillas.
- ▼ La efectividad tiende a aumentar cuando el área total de las chimeneas es del orden del 50% al 75% de la sección del túnel.

En el caso básico considerado la longitud de las chimeneas se ha tomado de una longitud de 30m, con una sección total de chimeneas del 20% de la sección del túnel. En túneles de vía única se han considerado configuraciones de 1, 2 y 3 chimeneas distribuidas uniformemente a lo largo del túnel, siendo de 1, 3 y 5 en túneles con vía doble.

Los beneficios medios en el primer caso son de 34%, 40% y 46%, y en el segundo caso de 42%, 59% y 61% respectivamente.

El ratio coste-beneficio medio estimado es de 0.023Meuro/%

2.5. Otros métodos

También fueron analizados los siguientes métodos:

- ▼ Conexiones transversales entre túneles independientes.
- ▼ Creación de resistencias locales en las boquillas de salida.
- ▼ Modificaciones de la velocidad del tren.

En el primer caso los beneficios son muy particulares, siendo sensibles en la situación de un solo tren en dos túneles y aproximadamente neutro en el caso de dos trenes. Por lo que no se considera atractivo el ratio coste-beneficio.

El incremento de la resistencia en las bocas de salida, teóricamente, tiene un beneficio sensible al modificar la amplitud de las ondas reflejadas, aunque no se ha analizado el ratio coste-beneficio al no poder estimar el coste del mecanismo al no haber experiencias al respecto.

Los métodos hasta ahora analizados están basados en la presunción implícita de que la velocidad de los trenes está

irrevocablemente determinada a priori. Una manera importante para disminuir las perturbaciones es operar los trenes para minimizar las mismas. Para ello, no es necesario reducir la velocidad a lo largo de todo el túnel, sino que puede ser suficiente la reducción en los momentos en los que producen las mayores perturbaciones.

En muchos túneles, los momentos más importantes son a la entrada, a la salida y en los cruces en el caso de vía doble. En las tres situaciones, el parámetro aerodinámico fundamental es la velocidad del aire relativa al tren.

Esta última opción no debe ser despreciada, sobre todo en el caso de túneles de gran longitud donde las servidumbres de explotación no implicarían una carga pesada a los explotadores ferroviarios, sobre todo considerando los nuevos sistemas de control de tráfico.

3. APLICACION DEL MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN DE CHIMENEAS

De la primera parte del subproyecto se dedujo que el método de mayor eficacia potencial era el uso de chimeneas. Al mismo tiempo se puso de manifiesto que era el método de mayor dificultad de aplicación, al añadir a la ya amplia complejidad de los fenómenos aerodinámicos en los túneles, la dificultad de establecer guías de aplicación de los nuevos parámetros derivados de las chimeneas.

Los parámetros básicos a fijar son: número de chimeneas, su situación a lo largo del túnel, su sección transversal (no tienen que ser todas iguales), su longitud (aunque la misma viene definida fundamentalmente por la topografía y la situación de las mismas).

Con tantas variables sería muy difícil poder asegurar que se había conseguido una optimización del diseño aún disponiendo del programa de cálculo para la estimación de las variaciones de presión en diversos periodos temporales y para todo tipo de trenes.

Para reducir las incertidumbres de diseño, y conseguir un procedimiento aplicable, se tomó la decisión de dividir esta fase en dos partes:

- ▼ En la primera se deberían fijar los valores macro del diseño para el tipo o tipos de trenes considerados y la longitud del túnel en cuestión (número de chimeneas, situación, longitud y sección transversal de las mismas).
- ▼ En la segunda se debería confeccionar el programa específico para el cálculo de las variaciones de presión para el prediseño elegido.

3.1. Programa TRENDSHAFT

La realización de la primera parte del proyecto fue adjudicada a la empresa AEA Technology Rail, que tenía una dilata-

da experiencia en el análisis de la influencia de chimeneas en la reducción de las variaciones de presión para los ferrocarriles británicos.

El objeto de este programa es guiar a los diseñadores de túneles sobre la sección transversal de los mismos utilizando chimeneas.

En concreto, para un túnel y un escenario operacional específicos (tipos de tren, velocidades, uno o dos trenes dentro del túnel) el programa despliega los efectos que la existencia de chimeneas (en términos de máxima variación de presión en un tiempo predefinido) tendría sobre una gama de coeficientes de bloqueo (cociente entre la sección libre del túnel y la sección del túnel). Una vez seleccionado un coeficiente de bloqueo, se puede obtener la sección del túnel al ser conocido la sección transversal del tren.

El número máximo de chimeneas que el programa considera es función de la longitud del túnel.

Dos tipos de trenes son considerados: ramas de alta velocidad (velocidad hasta 350km/h), y trenes remolcados (velocidad hasta 225 km/h). Los trenes pueden ser o no estancos, en el primer caso la estanqueidad dinámica es un parámetro adicional que debe ser introducido para obtener las variaciones de presión.

Asimismo, contempla la posibilidad de vías únicas, vías dobles con cruces de trenes del mismo o distinto tipo.

El programa considera constante el área de las chimeneas y su longitud.

En las figuras nº 1 y 2 se pueden ver ejemplos de salidas del ordenador.

Como se indicaba en el punto 2.4 existe la posibilidad de que la presencia de chimeneas empeoren la situación, esto se puede ver en la figura nº 3.

Al haberse considerado constantes algunos parámetros, se realizaron estudios de sensibilidad de los mismos con el fin de mantenerlos o no en el diseño definitivo. Las figuras nº 4 y 5 muestran ejemplos de estos estudios.

En concreto, en la figura nº 4 se pueden observar las variaciones de presión en 4 segundos que experimenta un tren de alta velocidad de 400m de longitud, al pasar a través de un túnel de 1500m de longitud, dotado de una chimenea, y con un coeficiente de bloqueo de 0.167, al variar la sección de la misma y en función de las velocidades de dicho tren.

En la figura nº 5, se puede ver el efecto que sobre un tren de alta velocidad de 300m de longitud, a 250km/h, tiene la variación de la longitud de las chimeneas, al pasar a través de un túnel de 1000m y un coeficiente de bloqueo de 0.167.

Para generar el programa fueron realizados 132000 casos, que generaron 785700 historias de presión que conforman la base de datos del mismo. A estos casos se añadieron los correspondientes a los estudios de sensibilidad.

Las tendencias esbozadas en la primera parte del estudio son matizadas con el programa TRENDSHAFT y los estudios de sensibilidad pudiendo resumirse en los siguientes criterios:

Figura 1.

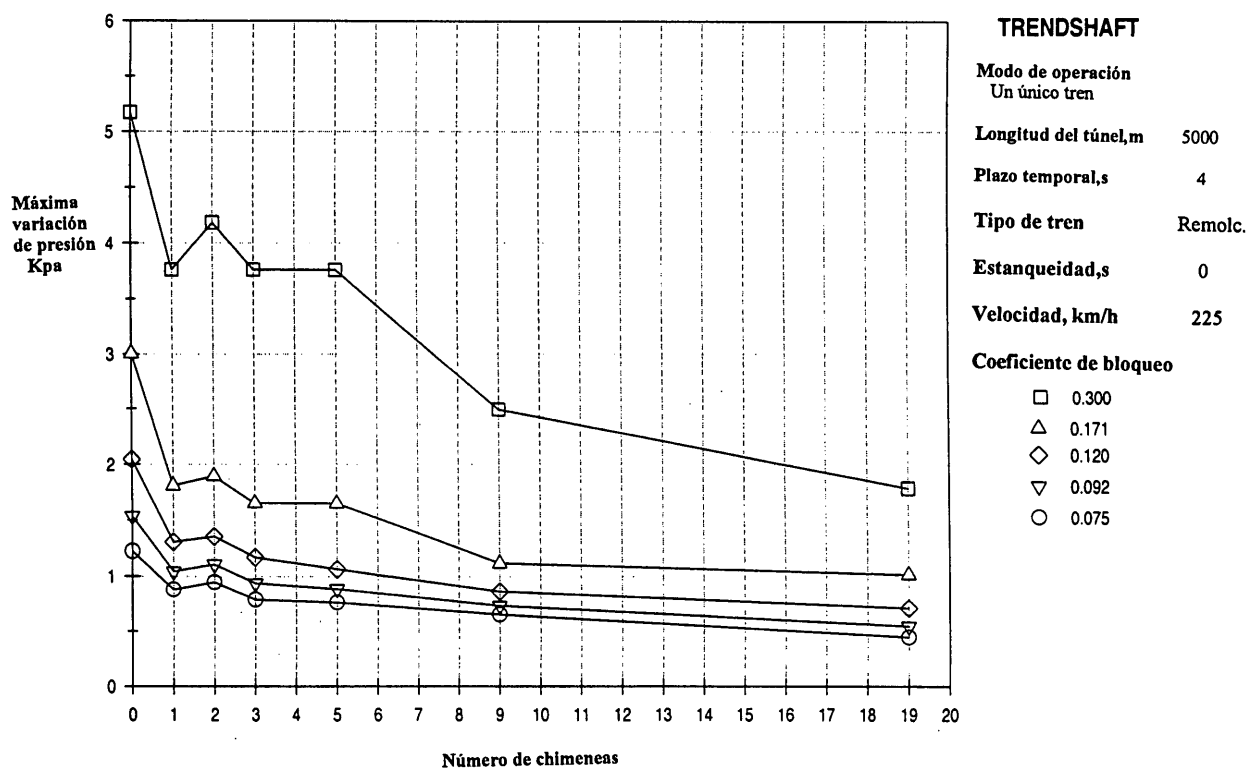
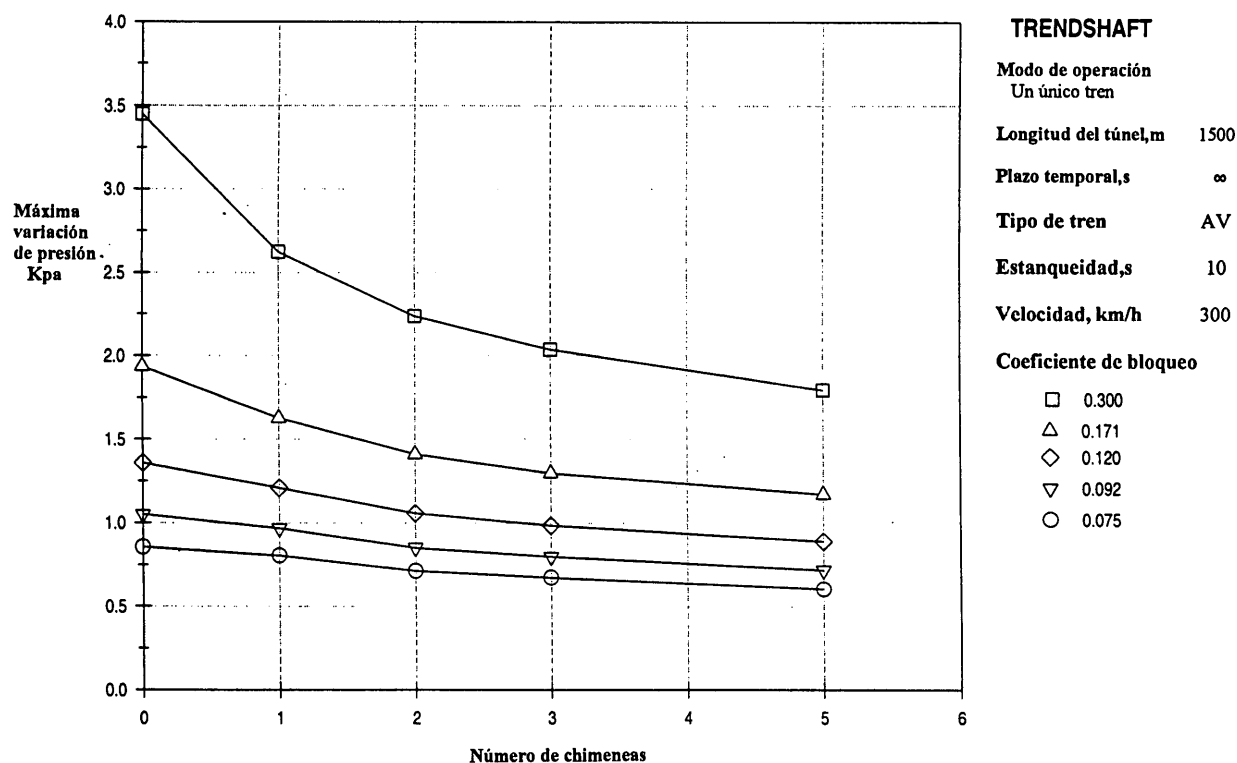


Figura 2.

Figura 3.

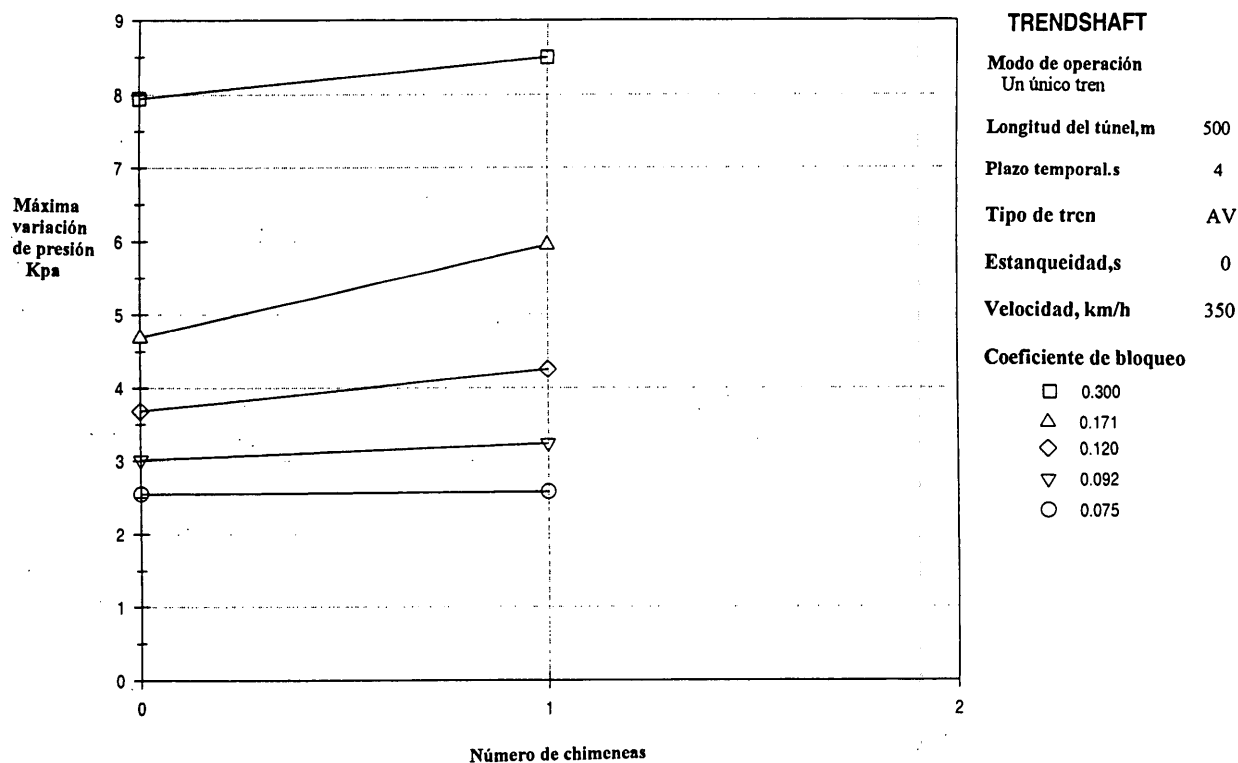


Figura 4.

Túnel de 1500m de longitud con una chimenea; un único tren A.V. de 400m. Btu=0.167

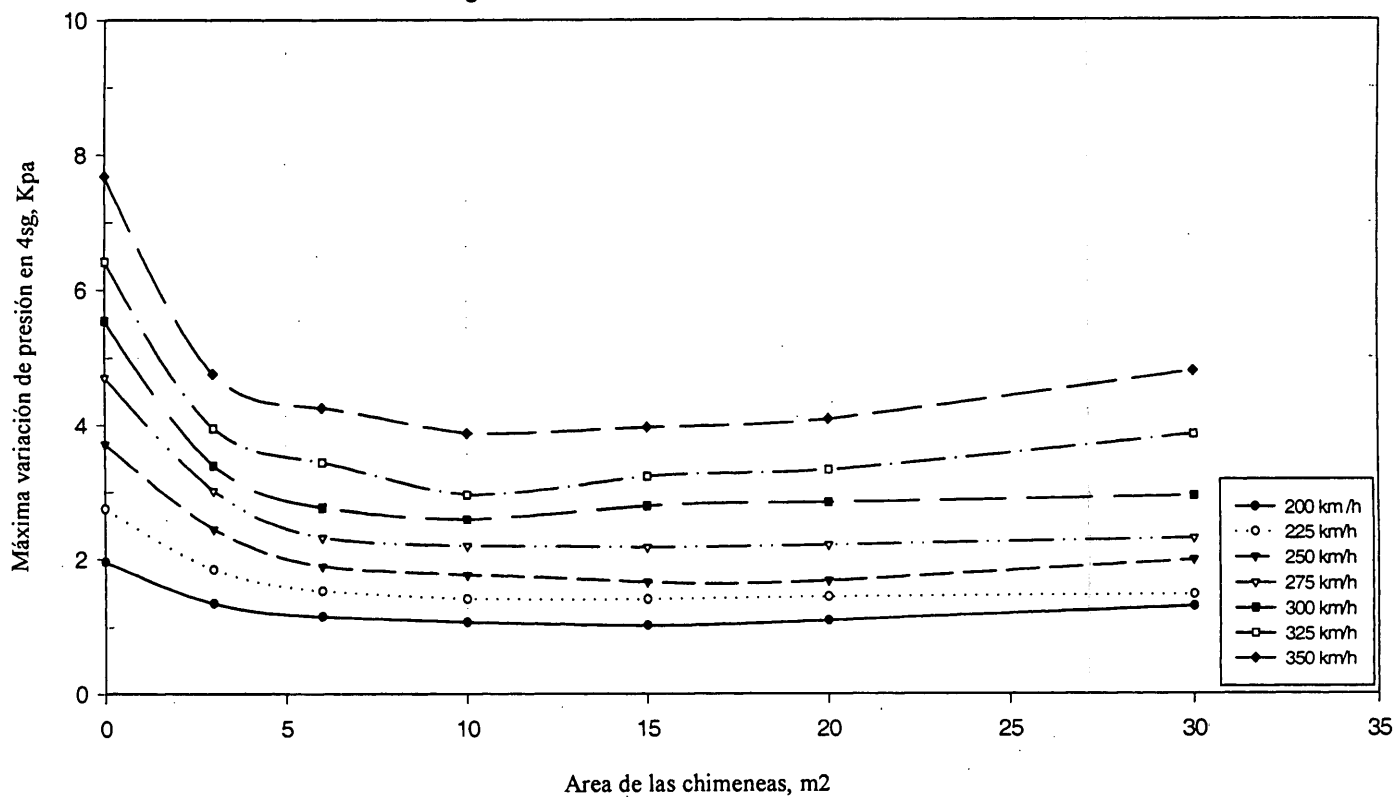
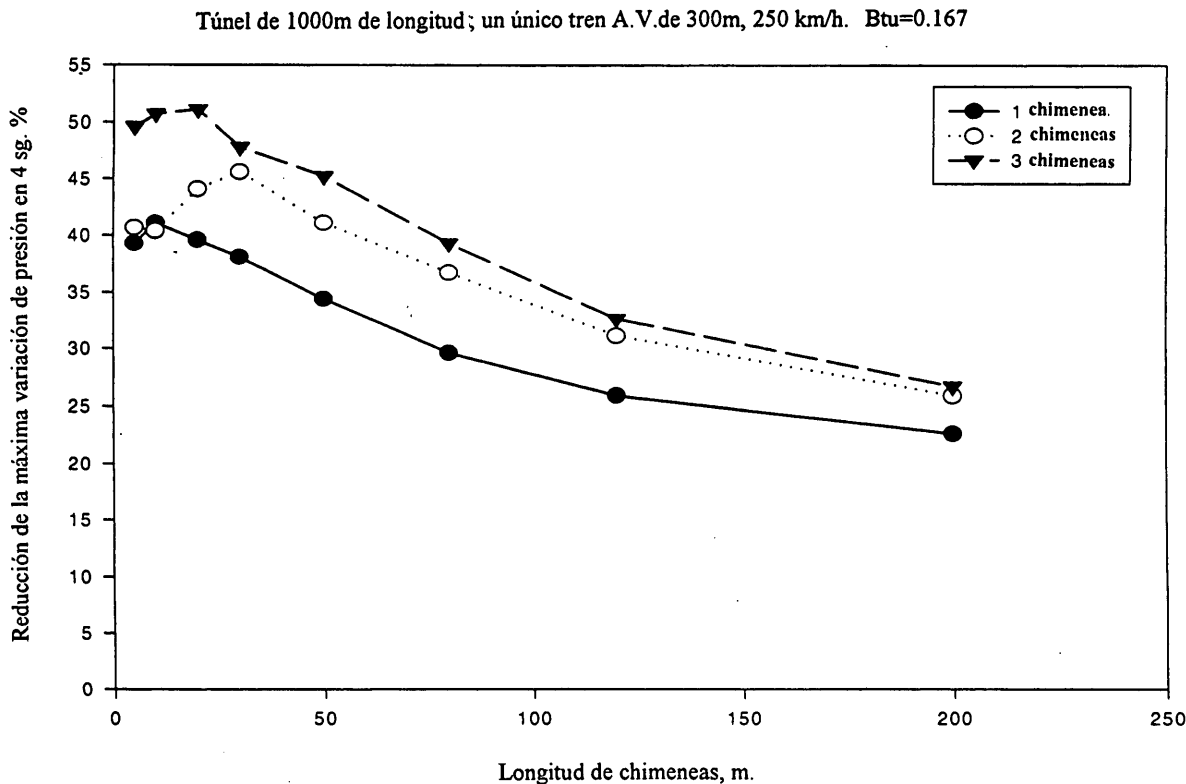


Figura 5.



1. Área de las chimeneas

Para trenes de vía única, el área de las chimeneas óptima es pequeña comparado con el área del túnel (del 10 al 20%). Mayores chimeneas se comportan como boquillas de entrada y salida del túnel, dando lugar a grandes variaciones de presión generadas y experimentadas cuando el tren pasa por la chimenea.

Para túneles con vía doble, la sección óptima es significativamente mayor que en el caso anterior. En éste caso hay que buscar el equilibrio entre lo óptimo para un tren aislado y lo óptimo para los cruces de dos trenes.

2. Longitud de las chimeneas

La longitud de las chimeneas está normalmente determinada por la topografía, aunque esta puede ser aumentada por encima del nivel del terreno para conseguir la longitud óptima. Las chimeneas son más efectivas en túneles superficiales. La longitud óptima suele estar entre 0-50m. Pequeños cambios no tienen un efecto significativo en las variaciones de presión.

Para túneles profundos, la efectividad de las chimeneas aumenta si se consideran áreas mayores.

3. Distribución de las chimeneas

No existen restricciones al emplazamiento de las chimeneas. Es aconsejable empezar con una distribución uniforme.

Para túneles de vía única, es aconsejable colocar las chimeneas en la primera mitad del túnel ya que de esta manera se alivian las ondas de entrada.

4. Número de chimeneas

El número óptimo de chimeneas depende de la longitud del túnel y de las velocidades de los trenes, siendo también función de los otros parámetros (área, longitud y posición).

En general para trenes estancos un mayor número de chimeneas implica una mayor reducción de las variaciones de presión, hasta un punto en el que estas se hacen constantes independientemente de su número.

5. Generalidades

Dada la complejidad del fenómeno físico producido, y siendo tantas las variables a considerar, se estima esencial el análisis de cada caso específico sin recurrir a generalizaciones ni extrapolaciones de los datos existentes, debiéndose analizar exhaustivamente el prediseño con todas las condiciones operacionales previsibles, ya que las anteriores tendencias pueden verse modificadas en función de la longitud de los trenes y sus velocidades.

Por tanto, se juzga imprescindible la utilización de un programa específico para el cálculo de las variaciones de presión.

Figura 6.

ERRI C 218

DE-Shaft

☒ Deutsche Version

☐ English Version

☐ Version Française

O.K.

☐ Dieses Fenster beim Start nicht mehr anzeigen

Chairman A. Lozano, RENFE Program by H.-J. Wörmstall-Reitschuster, DB AG, FTZ 82 Aerodynamics

3.2. Programa DE-SHAFT

La confección de esta parte fue adjudicada al departamento de Aerodinámica de los ferrocarriles alemanes (DB AG).

Con la ayuda del programa, es posible calcular las variaciones de presión en el exterior y en el interior de los trenes al

pasar a través de los túneles diseñados con chimeneas y por tanto, se pueden dimensionar las secciones transversales de los mismos, para que satisfagan los criterios tanto de salud como de confort que se elijan en función de los parámetros operacionales previstos.

Se pueden analizar túneles de vía única o doble.

Los tipos de trenes analizados son los trenes remolcados y las ramas de alta velocidad con velocidades hasta los 400 km/h.

En el caso de túneles de doble vía, se pueden analizar los casos de cruces de trenes del mismo o distinto tipo. En estos casos un parámetro a considerar es el tiempo de decalaje a la entrada entre los dos trenes para poder determinar la peor situación de los cruces.

El programa tiene la posibilidad de analizar hasta 9 chimeneas con dimensiones que van desde 1 hasta 40 m² y longitudes que van desde 10 hasta 300m.

El programa se puede utilizar en cualquiera de los tres idiomas oficiales de la UIC (francés, inglés o alemán). En la figura nº 6 se puede ver la primera pantalla del mismo.

DE-SHAFT posibilita el cálculo de hasta tres curvas correspondientes a las presiones que experimenta el tren en tres posiciones distintas, representándolas en unos gráficos de presión - tiempos.

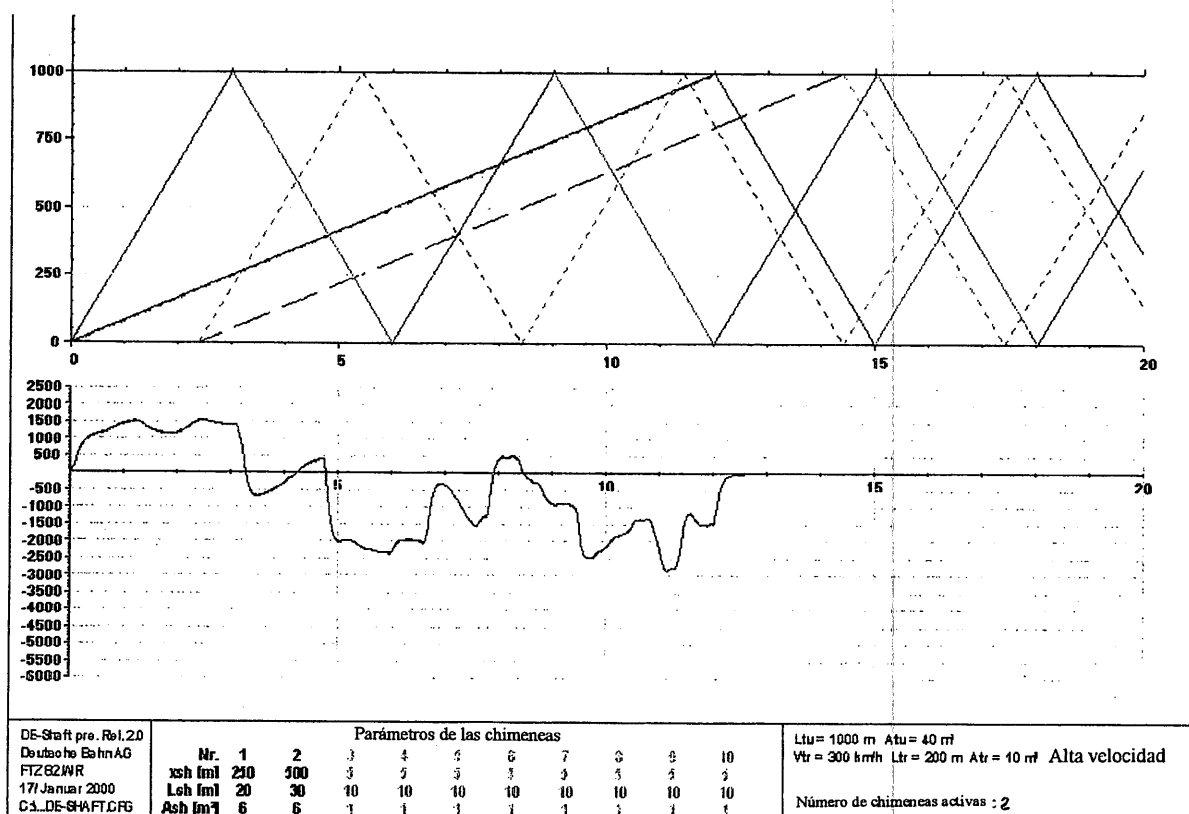
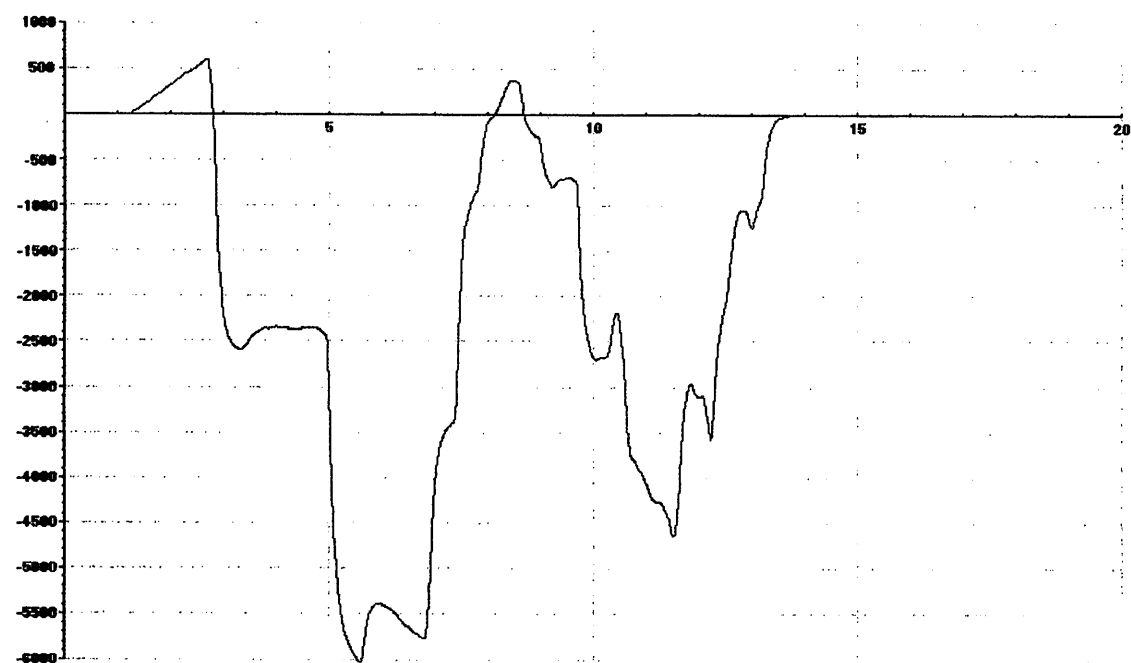
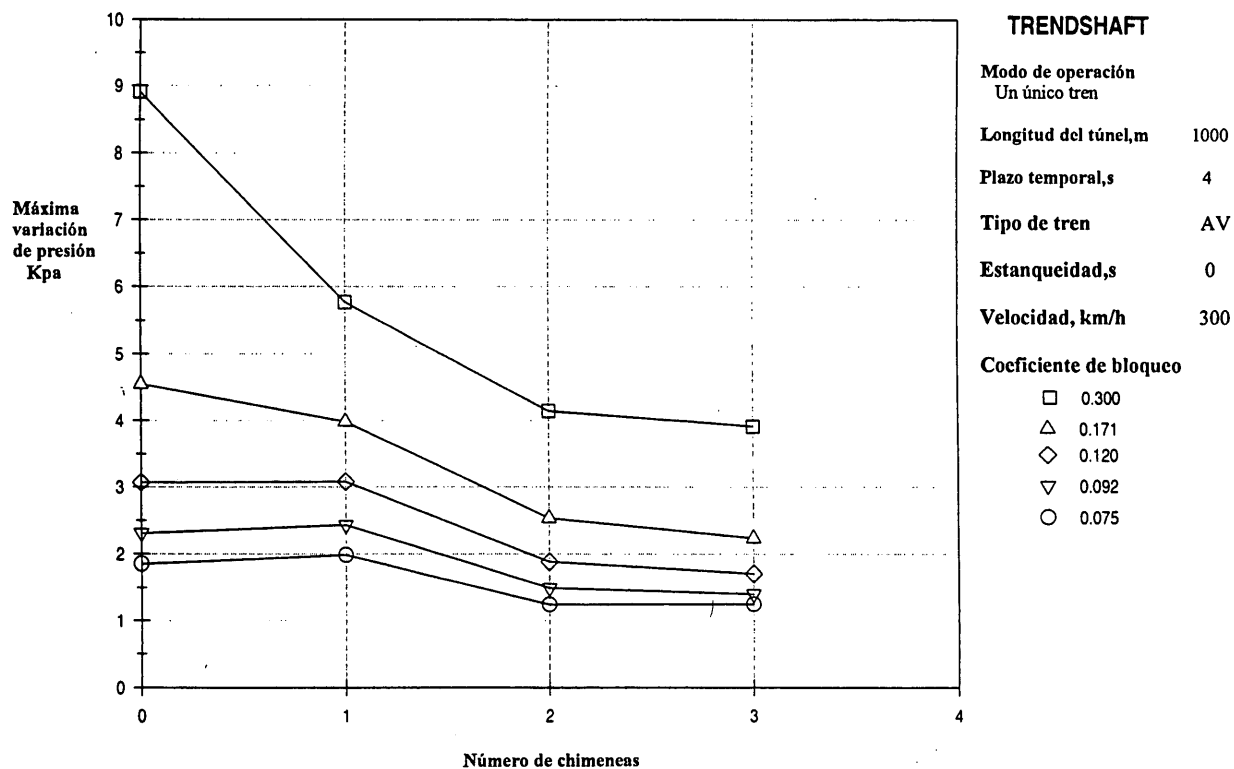


Figura 7.

Figura 8.



DE-Shaft pro. Rev. 2.0	Parámetros de las chimeneas												Ltu= 1000 m	Atu= 40 m²		
Deutsche Bahn AG	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Vtr = 300 km/h		Ltr = 200 m	Atr = 10 m²	Alta velocidad
FTZ 82WR	sch. lin.	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3					
12/Januar 2000	Lsch. lin.	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10					
CL_DE-SHAFT.CRO	Ash. lin.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Número de chimeneas activas				

Figura 9.

Figura 10.

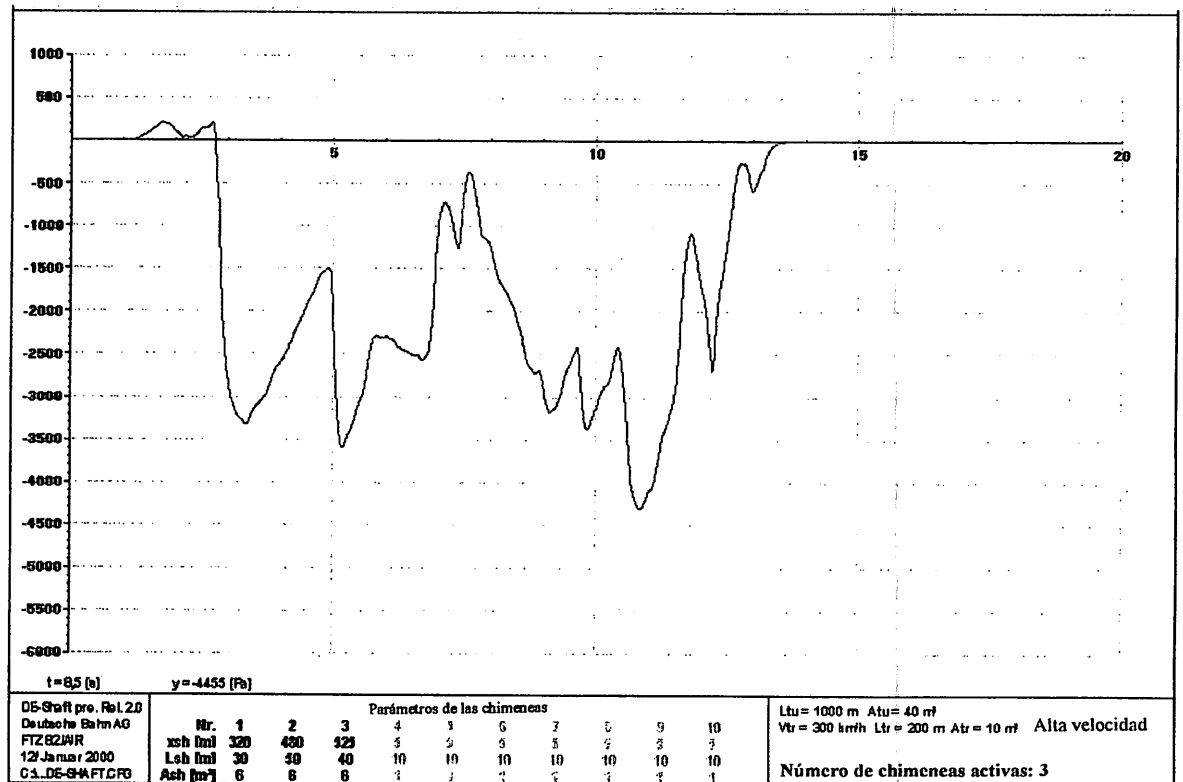
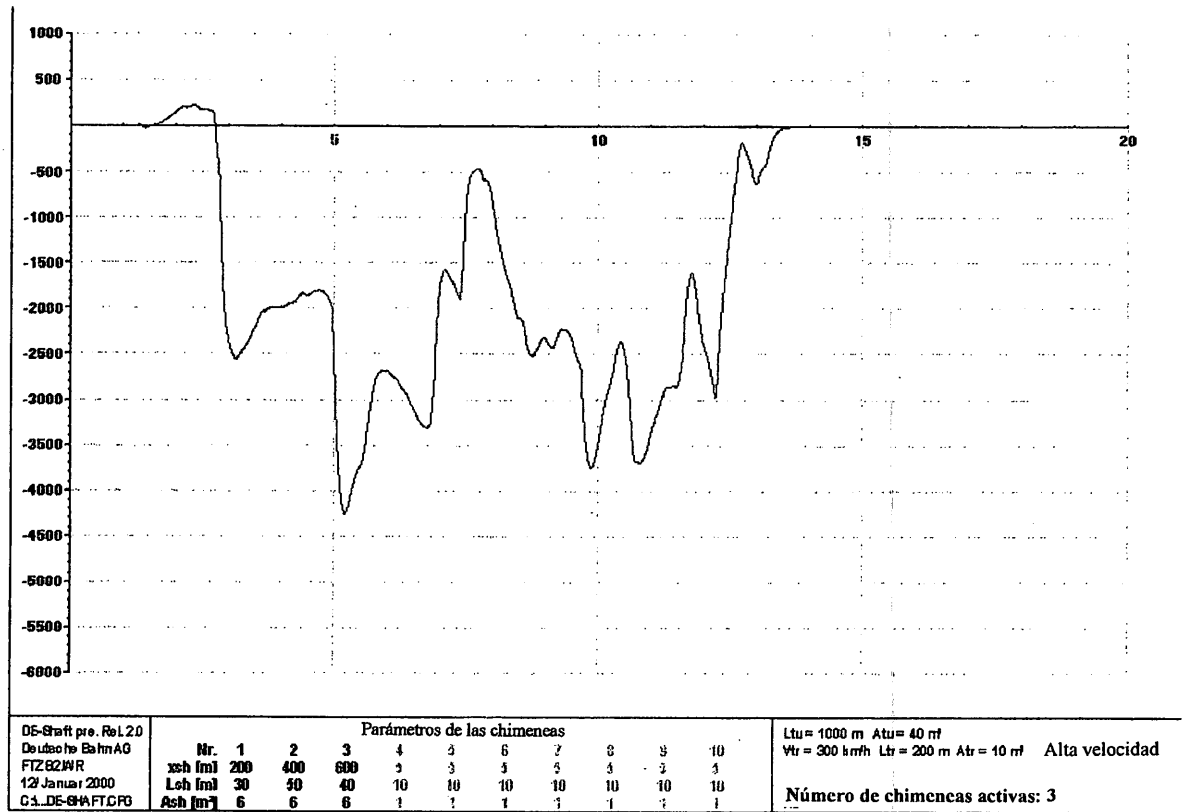


Figura 11.

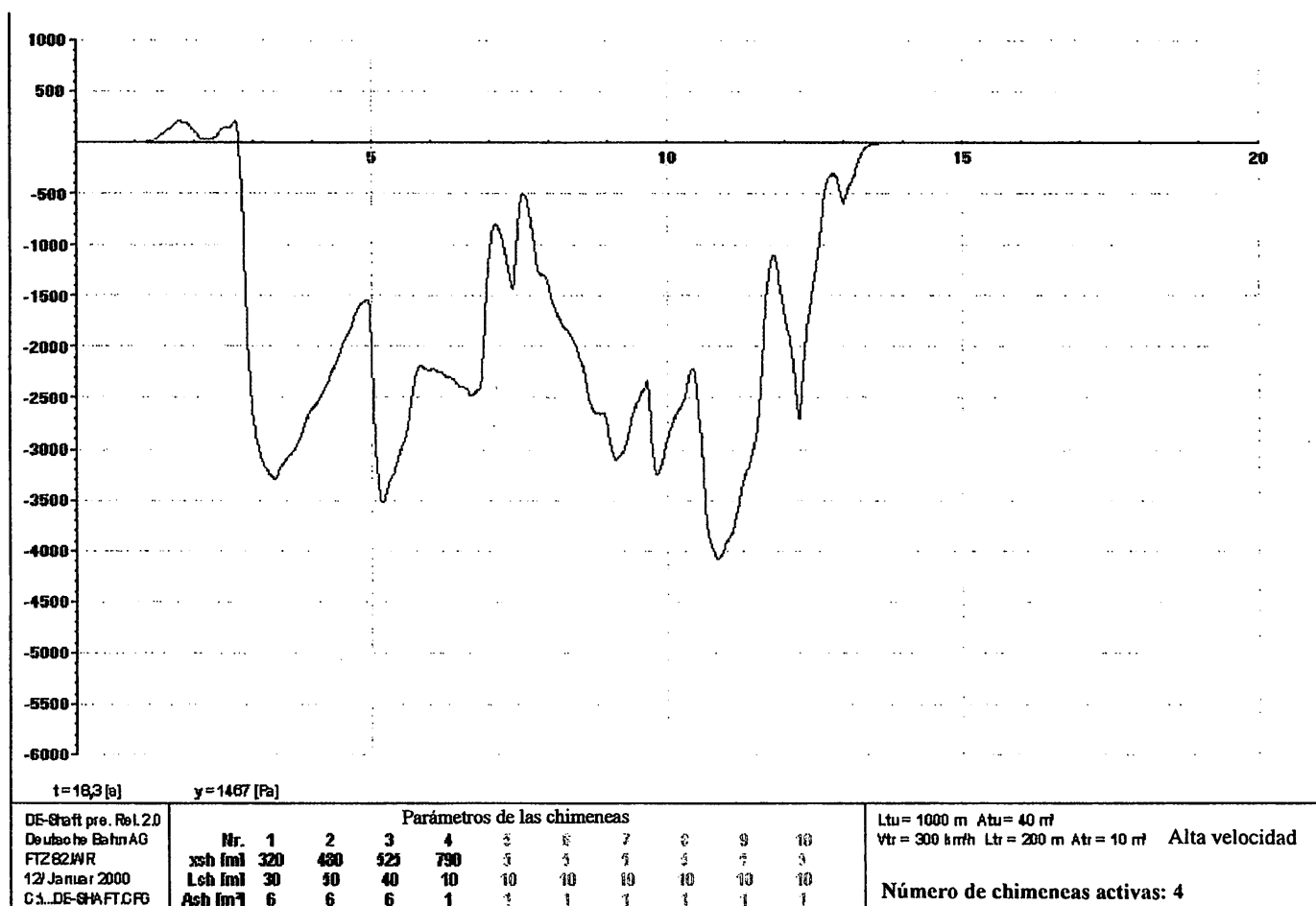


Figura 12.

Puede calcular también las presiones internas, correspondientes a la curva de presión seleccionada y presentarla en forma de gráfico en función de la estanqueidad dinámica del tren. Se puede seleccionar la visión de las curvas anteriores, o el esquema de ondas o las dos al mismo tiempo. En la figura nº 7 se puede ver un ejemplo de este último caso.

Como complemento de los gráficos anteriores, el programa determina las variaciones de presión en hasta tres intervalos de tiempo seleccionados según el criterio de confort elegido.

A continuación, veremos algunos ejemplos para demostrar la eficacia en la utilización de chimeneas, utilizando previamente el programa TRENDSHAFT para definir las tendencias pasando posteriormente al cálculo utilizando el programa DE-SHAFT.

En la figura nº 8 se muestra la información tendencial en un túnel de 1000 m. de vía única para trenes de alta velocidad a 300 km/h.

En la figura nº 9 se puede ver la curva de presiones externas en el centro de un tren de 200 m de longitud, de una sec-

ción transversal de 10m² y en un túnel de 40m² de sección libre sin chimeneas.

En la figura nº 10 se pueden ver las variaciones de presión del caso anterior, pero habiendo previsto 3 chimeneas (aconsejadas por Trendshaft) de 6 m² de sección, situadas a 200, 400 y 600 m de la boquilla de entrada, y de longitudes 30, 40 y 40 m de longitud respectivamente.

Analizando las gráficas, se puede observar, que existe una disminución de aproximadamente 2150 pascales entre los picos de la máxima presión positiva y la máxima presión negativa. Lo que representa una reducción del 33%, verdaderamente significativa.

Para analizar la eficacia de modificar la localización de las chimeneas, en la figura nº 11 se muestra la gráfica, habiendo situado las chimeneas justo en los puntos de choque de las ondas reflejadas con el centro del tren, es decir, a las distancias de 320, 480 y 525 respectivamente. Se puede observar un cambio significativo en la forma de la curva de presiones pero sin variación en las magnitudes de las presiones.

El efecto de una cuarta chimenea se puede analizar en la figura nº 12. En esta ocasión, se la ha añadido otra chimenea al caso anterior, situada justamente en el punto donde existía la máxima presión negativa (a 790m), observándose la escasa eficacia de esta nueva configuración.

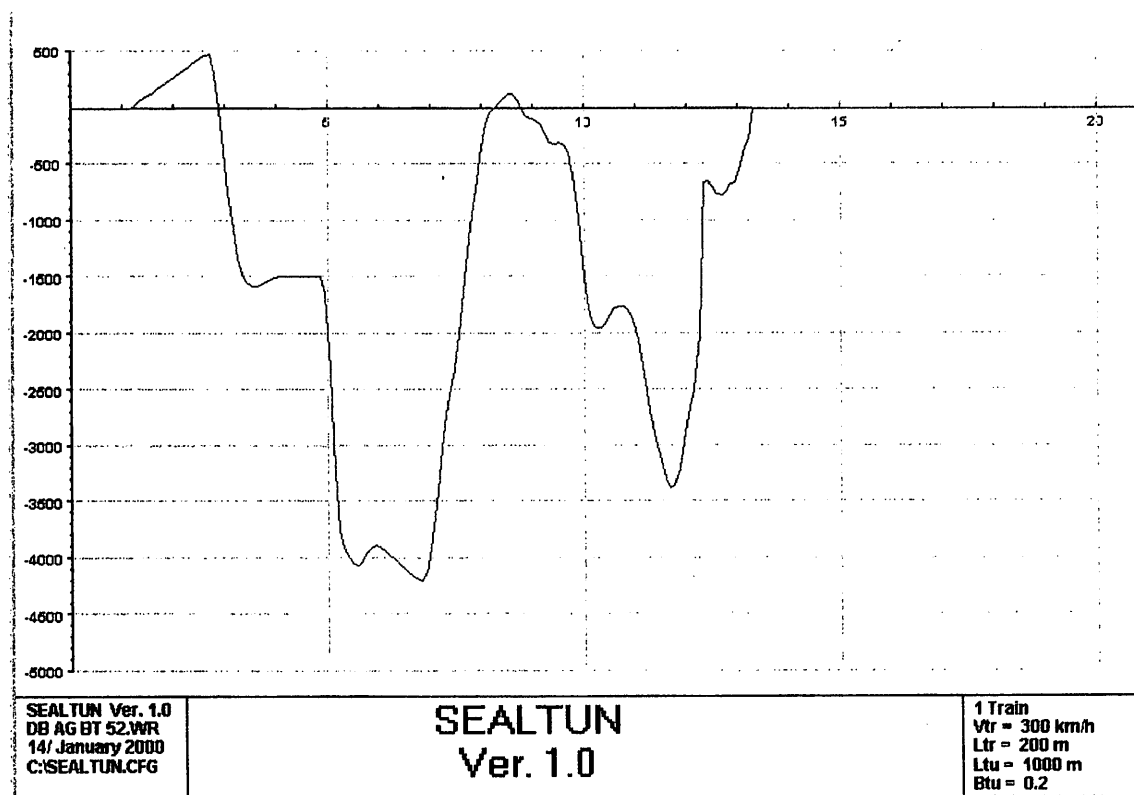
Para constatar la importancia económica de la utilización de chimeneas se ha incluido la figura nº13. En la misma se pueden observar que las magnitudes de las presiones máximas son del orden de las reflejadas en las figuras 10 u 11, y representan la gráfica de un túnel sin chimeneas pero de 50m² de sección transversal libre. Es decir, que ambas soluciones serían técnicamente equivalentes; por tanto, habría que comparar el coste de construcción de las chimeneas con el ahorro derivado de la reducción de 10 m² de sección para determinar el diseño óptimo desde un punto de vista económico.

Una idea de la complejidad del fenómeno físico analizado, la da el hecho de que en ciertas configuraciones, el tiempo de proceso utilizando DE-SHAFT supera la hora, aún contando con ordenadores dotados de micro-procesadores Intel -Pentium III a 500Mhz.

4. CONCLUSIONES

El proyecto ha permitido constatar las posibilidades reales de utilización de métodos nuevos para el diseño de túneles, optimizando los recursos económicos por medio de la utiliza-

Figura 13.



ción de sistemas alternativos a las grandes secciones necesarias en las líneas de alta velocidad.

De todos los métodos analizados, el sistema más eficaz es la utilización de chimeneas.

El diseño de las mismas presenta una elevada complejidad derivada de los múltiples parámetros a considerar, dificultad acrecentada en el caso de los túneles de vía doble, al intervenir la diferencia temporal a la entrada de los trenes que se cruzan (decalaje), parámetro fundamental para encontrar la peor situación que es la que se debe utilizar para el cálculo.

En el caso de modernización de líneas para incrementar sus prestaciones, el método de utilización de chimeneas, puede que sea el único viable para incrementar la velocidad en los túneles, dadas las dificultades que presenta aumentar la sección de los mismos en líneas en explotación.

Las dificultades para el cálculo, pueden ser solventadas con la utilización de las herramientas desarrolladas gracias a la colaboración internacional a través de la UIC, colaboración promovida y gestionada por RENFE a través de la Dirección Técnica de la U.N. de Mantenimiento de Infraestructura. ■