

Estudio de un Modelo de Ventilación para un Túnel de Flujo Vehicular

Carlos H. Acevedo Peñaloza

Dpto. de Diseño Mecánico, Materiales y Procesos
U. F. P. S. - Cúcuta.

RESUMEN

El objetivo principal del estudio es determinar si el modelo de ventilación axial sin introducción de aire fresco es adecuado para mantener los niveles de contaminación en el túnel dentro de los límites permisibles para el ser humano, para un caso crítico de flujo vehicular. Para realizar el estudio se utilizan dos modelos, uno computacional y uno experimental a escala. Para el modelo computacional se utiliza el software de elementos finitos ANSYS - FLOTRAN con el cual se simula tanto el túnel real como el prototipo. El modelo experimental es construido cumpliendo la similitud geométrica ; para el caso de la similitud dinámica se lleva el flujo a régimen turbulento para observar el comportamiento de éste cualitativamente y compararlo con el modelo experimental.

Los resultados obtenidos con los modelos muestran que, en cada tramo de ventilación, se presenta recirculación local cerca del ventilador. En cada zona de recirculación se presentan dos puntos de estancamiento en los cuales los trazadores utilizados se acumulan.

Según el alcance de las pruebas realizadas se concluye que el sistema de ventilación propuesto es cualitativamente bueno, sin embargo, amerita un estudio profundo para analizar cuantitativamente el impacto de la recirculación en la concentración de contaminantes.

PALABRAS CLAVES

Simulación, contaminación, elementos finitos, túnel.

INTRODUCCIÓN

En la construcción de un túnel vehicular de 2.4 km de longitud, se ha de instalar un sistema de ventilación que elimine los contaminantes producidos por el paso de los vehículos en condiciones de seguridad adecuadas para las personas que circulan en el mismo.

Se ha diseñado un sistema de ventilación longitudinal que utiliza ventiladores axiales para mover un caudal de $37.6\text{m}^3/\text{s}$ de aire a una velocidad de soplado de 33.3m/s y con un consumo de potencia de 29.5kw a 3000msnm ubicados en la parte superior de la bóveda (FIGURA 1A) del túnel a una distancia de 70m entre cada uno.

Se debe revisar el diseño establecido de acuerdo a los parámetros de seguridad, para diferentes situaciones de flujo vehicular y para situaciones de contingencia.

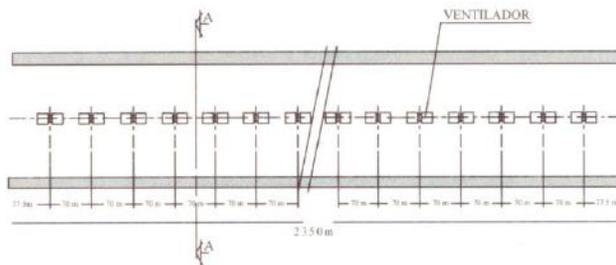


Figura 1A. distribución de ventiladores.

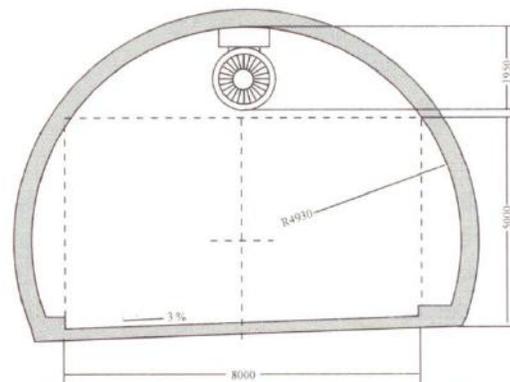


Figura 1B. vista frontal de distribución de ventiladores.

OBJETIVO

Determinar si el sistema de ventilación es adecuado para una situación de tráfico en la cual se encuentran los vehículos en ambas direcciones y encendidos los motores.

Validar mediante experimentación, un modelo computacional del flujo y un prototipo para una sección de 70 m de longitud del túnel.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

La forma de atacar el problema consiste en trazar los perfiles de velocidad y presión siempre que sea posible tanto en el prototipo a escala como en el real simulado en el Computador, para verificar si los ventiladores vencen la resistencia hidráulica que en un instante pudiera tener los gases contaminantes de los vehículos.

SIMILITUD

Las condiciones reales del túnel son:

CONDICIONES REALES S.I.	
LONG	2,4 km
DIAMETRO	8,152 m
CAUDAL	37,6 m ³ /s
VEL. SOPLADO	33,3 m/sg
POTENCIA	29,5 kw a 3000 m.s.n.m.
VEL. INDUCIDA	5,5 m/s
REGIMEN	Re 2500000

Tabla 1. Condiciones reales del túnel

El modelo experimental se construyó de acuerdo a las leyes de similitud de los fluidos, el diámetro equivalente para el modelo es 0.2589 m (Fig. 1) con este se calcula la velocidad para obtener un mismo número de Reynolds, esta es de 170m/s, sin embargo debido a la dificultad para alcanzar este valor en la experimentación se trabajo con un Reynolds menor,

manteniendo siempre el régimen turbulento. El modelo experimental se trabajó con aire comprimido el cual proporciona una velocidad en la descarga de 50m/s para una abertura de válvula dada. Luego las condiciones finales de trabajo en el modelo experimental fueron :

CONDICIONES DEL MODELO	
DIAMETRO EQUIVALENTE	0.2589 M
VEL. SOPLADO(descarga)	50 m/s
VEL. INDUCIDA PROMEDIO	6 m/s
REGIMEN	Re 86300

Tabla 2. Condiciones del modelo prototipo.

Las dimensiones del modelo experimental calculadas a similitud geométrica para un tramo de 70 metros son las siguientes :

Longitud 2.295 m, altura 0.245 m, ancho del túnel 0.31 m. (figura 2)

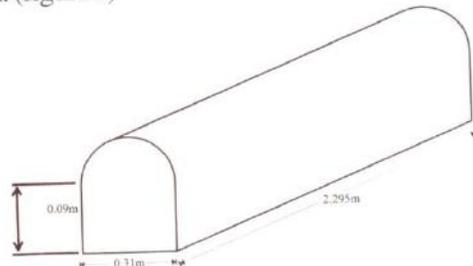


Figura 2. Dimensiones del modelo experimental

PRUEBAS Y MEDICIONES

La simulación comprende 70 metros del túnel real, por lo tanto es muy inexacto unificar un perfil de velocidad para un tramo de este tamaño. Por tal motivo se partió el prototipo en cinco secciones (figura 3) con el fin de calcular el perfil de velocidad y presión en cada una de estas y así analizar cualitativamente y cuantitativamente el túnel.

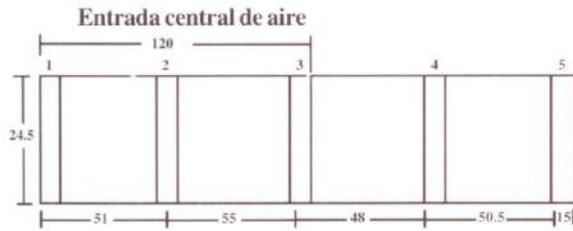


Figura 3. Plano de secciones (en cm).

Se realizaron dos tipos de ensayos, uno con ventilación en la entrada y otro con ventilación en el centro del modelo, el primero con el fin de analizar la parte de la entrada al túnel y todo lo referente al tiro inducido que este puede ocasionar. El segundo, para analizar la recirculación de aire que puede ocurrir en el centro del tramo.

En cada sección se colocaron mallas de alambre con hilos para trazar el flujo en cada una de estas. Para observar el comportamiento se utilizaron partículas sólidas de cigarrillo y humo. Esto, junto con los hilos permitió observar la zona de recirculación dentro del túnel y los puntos de estancamiento, los automóviles fueron simulados con bloques de madera.

En cada sección del trabajo se calculó el perfil de velocidad y el de presión siempre que fue posible. La toma de datos de velocidad se realizó con un anemómetro de hélice, para esto la sección fue distribuida como se indica (figura 4). La toma de datos de presión se realizó con un tubo de Pitot Estático de alcohol. La distribución para la toma de presión en la sección se muestra en la figura 5.

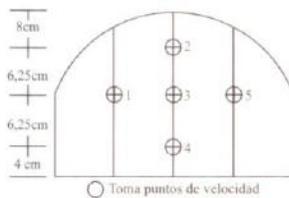


Figura 4. Rejilla de velocidad

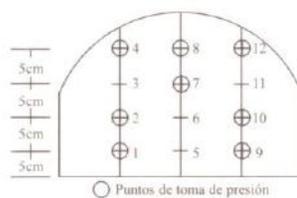


Figura 5. Rejilla de presión

PERFILES DE PRESION Y VELOCIDAD CON VENTILACION EN LA ENTRADA DEL TUNEL

A continuación se muestran los diferentes perfiles y los valores obtenidos en cada sección. Cabe recordar que se realizaron medidas de presión estática.

PUNTO	PRESION(Pa)*
1	-12.28
2	-15.35
4	-15.35
8	-15.35
7	-12.28
9	-12.28
10	-6.14
12	-15.35

Tabla 3. Datos del perfil de presión, sección 1.

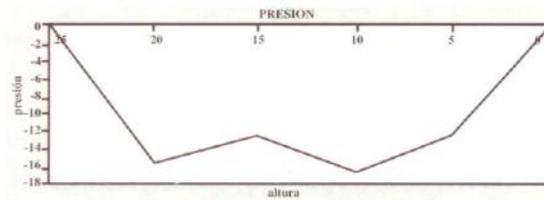


Figura 6. Perfil de presión, sección 1.

PUNTO	VELOCIDAD (m/s)
1	18
2	30
3	18
4	-1.2
5	20

Tabla 4. Datos de perfil de velocidad, sección 1.

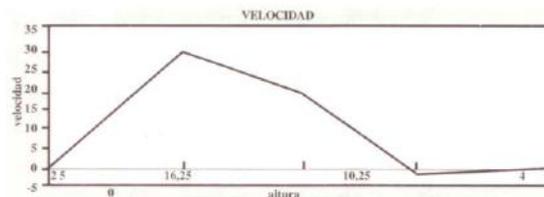


Figura 7. Perfil de velocidad, sección 1.

PUNTO	PRESION (Pa)*
1	-15.35
2	-15.35
4	-19.65
8	-15.97
7	-15.35
9	-15.35
10	-10.05
12	-19.65

Tabla 5. Datos de perfil de presión, sección 2.

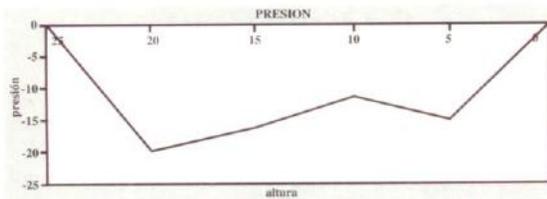


Figura 8. Perfil de presión, sección 2.

PUNTO	VELOCIDAD (m/s)
1	2
2	12
3	5.5
4	-2.4
5	5.5

Tabla 6. Datos del perfil de velocidad, sección 2.

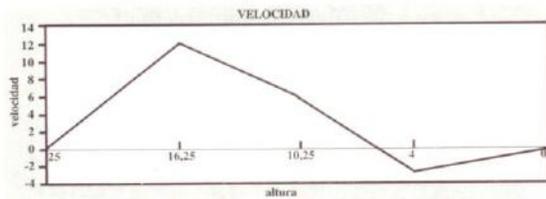


Figura 9. Perfil de velocidad, sección 2.

PUNTO	PRESION (Pa)*
1	-6.14
2	-12.28
4	-3.07
8	-3.07
7	-3.07
9	-6.14
10	-12.28
12	-9.82

Tabla 7. Datos del perfil de presión, sección 3.

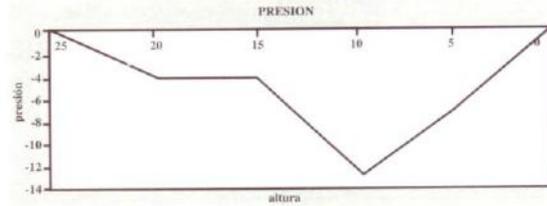


Figura 10. Perfil de presión, sección 3.

PUNTO	VELOCIDAD (m/s)
1	5.8
2	9
3	5.3
4	3.5
5	8

Tabla 8. Datos del perfil de velocidad, sección 3.

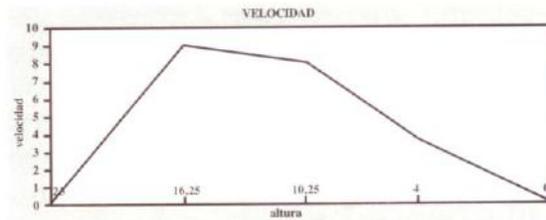


Figura 11. Perfil de velocidad, sección 3.

PUNTO	PRESION (Pa)*
1	-3.07
2	-3.07
4	3.07
8	0
7	0
9	-3.07
10	0
12	0

Tabla 9. Datos del perfil de presión, sección 4.

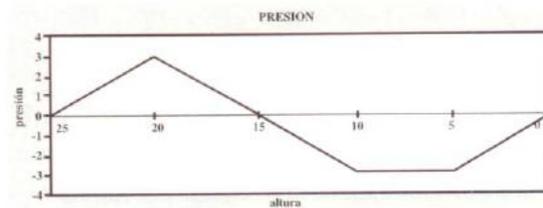


Figura 12. Perfil de presión, sección 4.

Para la simulación de los modelos experimentales se utiliza como condiciones de borde los datos medidos en los ensayos.

Para el caso real se toman los datos suministrados por el proyecto de construcción del túnel.



Figura 16. Túnel real con ventilación en la mitad del tramo.

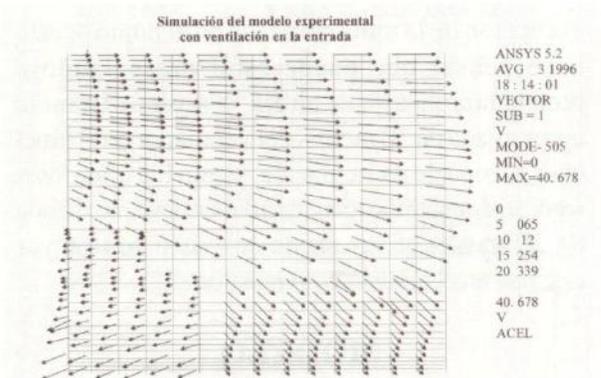


Figura 17. Modelo experimental con ventilación en la entrada.



Figura 18. Modelo experimental con ventilación en la mitad.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En las tres gráficas generadas por el computador, se puede observar la recirculación de aire que ocurre a través del modelo real y experimental. Por lo tanto se puede asegurar que la toma de datos realizada en el modelo experimental con el anemómetro de hélice arrojó valores confiables para el análisis.

Después de analizar los modelos computacional y experimental, se puede concluir en primera medida que sí existe recirculación de aire a través del túnel, pero la interrogante que se plantea aquí es: ¿Qué tanto puede influir esta recirculación en un caso de contingencia vehicular?, cabe recordar que la simulación se realizó para un tramo de 70 metros y la longitud real es de 2.4 km., luego la recirculación para el túnel real es un factor de gran importancia.

DETERMINACION DEL GRADO DE CONTAMINACION

Para la determinación del grado de contaminación se utilizan las siguientes tablas:

RAZON AIRE/ COMBUSTIBLE	FLUJO DE GAS m ³ /s	NO _x ppm	HC ppm	CO ppm
-------------------------	--------------------------------	---------------------	--------	--------

12	3.30E-03	30	350	1700
----	----------	----	-----	------

Tabla 13. Concentraciones promedio de CO, NO_x y HC en los gases de escape de vehículos detenidos y con chispa descontrolada*

NO _x ppm	HC ppm	CO ppm
5	500	50

Tabla 14. Valores máximos permisibles para el ser humano*

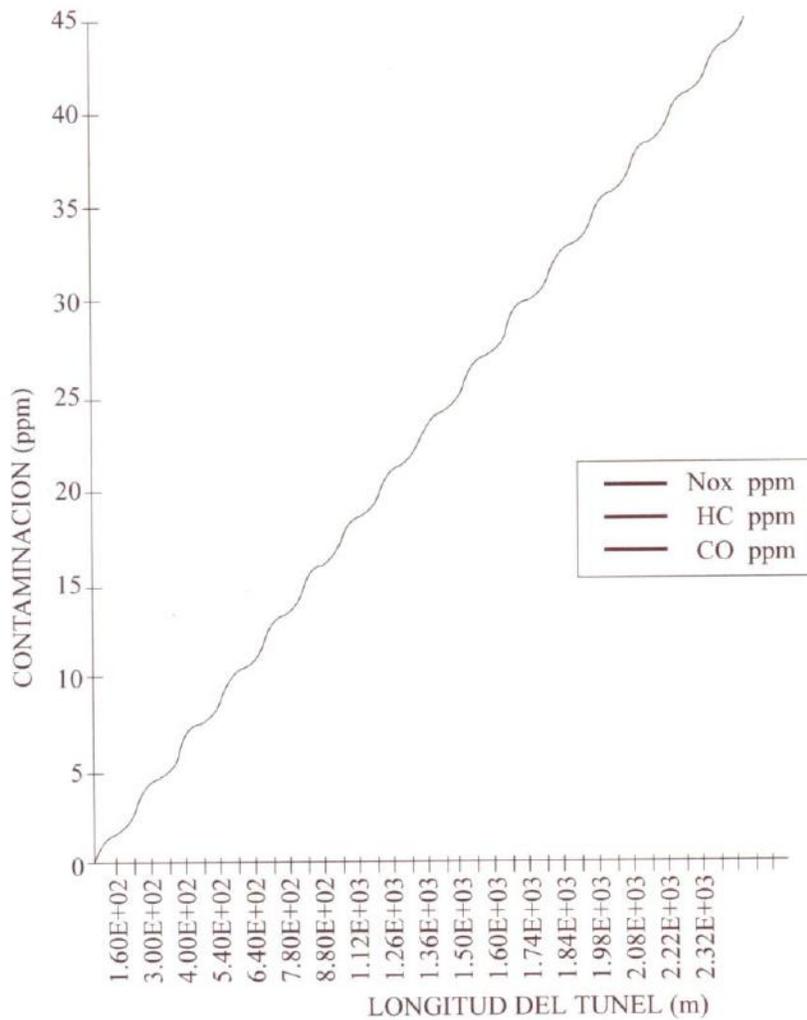


Figura 22. Curva de concentración de CO vs longitud del túnel.

El fenómeno de la recirculación se debe al desequilibrio de transporte de momento que ocurre debido a la configuración del flujo del ventilador en el túnel. Por lo tanto se sugiere estudiar otras configuraciones que disminuyan el

desequilibrio de momento, por ejemplo tratando de centralizar el flujo con unos álabes directrices. Otra forma, aunque demasiado costosa, podría ser ampliar la sección del túnel de manera que los ventiladores queden más centrales.

De acuerdo a las gráficas mostradas para los niveles de contaminación a lo largo del túnel se observan picos localizados en las zonas correspondientes a la recirculación del flujo donde el caudal efectivo en la sección disminuye. Sin embargo, los niveles máximos totales obtenidos a los 2.4 km están por debajo de los límites permisibles como se observa en la tabla 16 :

Los valores obtenidos para el NO_x y el HC no son críticos para esta situación de contingencia en

CONTAMINANTE	NIVEL OBTENIDO	NIVEL PERMISIBLE
NO _x ppm	0.0806	5
HC ppm	0.89	500
CO ppm	43.25	50

Tabla 16. Comparación de contaminantes.

la cual los vehículos se encuentran detenidos y con los motores encendidos, para un instante mínimo. Sin embargo, el CO se encuentra muy cercano de los límites y posiblemente en puntos localizados se supere el valor de 50 ppm.

NOx ppm 0.08067062

HC ppm 0.890600924

CO ppm 43.25885978

CONCLUSIONES

Según las pruebas realizadas en el modelo, la ventilación propuesta cualitativamente da buenos resultados. Una prueba que demuestra lo anterior es que cuando el túnel era llenado con humo, el tiro del ventilador era capaz de vencerlo y lo evacuaba completamente.

Por otra parte, hay un cierto grado de incertidumbre en el comportamiento del modelo experimental, ya que en la prueba con partículas sólidas se observa una acumulación de estos en los puntos de recirculación o estancamiento.

Se infiere de lo anterior, que es necesario hacer un análisis más profundo en la zona de recirculación para evaluar los niveles de contaminación locales.

En la simulación de los modelos por computador se observa que el comportamiento del flujo coincide con el modelo experimental, el cual incluye zonas de recirculación y distribuciones similares de presión y velocidad. Las gráficas de presión simuladas por el computador no se anexan en este proyecto.

Una solución práctica en caso de contingencia (trancón vehicular) es señalizar todo el túnel con avisos que indiquen la importancia de apagar el motor en esta situación expresando que sus vidas están en peligro.

AGRADECIMIENTOS

Como coautores del proyecto a los ingenieros Mecánicos :
Roque Hernandez y Edgar Silva Castro.

BIBLIOGRAFIA

HENRY, J. Glynn, HEINKE, Gary W. Environmental science and engineering, New Jersey, 1989.