

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 413 329**

51 Int. Cl.:

F04D 29/44 (2006.01)

F04D 29/54 (2006.01)

E21F 1/00 (2006.01)

A62C 3/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.10.2009 E 09744717 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.03.2013 EP 2373893**

54 Título: **Dispositivo mejorado de ventilación para un túnel**

30 Prioridad:

24.10.2008 GB 0819608

20.11.2008 GB 0821278

09.02.2009 GB 0902131

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

16.07.2013

73 Titular/es:

**MOSEN LTD (100.0%)
Unit 15 Riverview Business Park Station Road
Forest Row, East Sussex RH18 5FS, GB**

72 Inventor/es:

TARADA, FATHI

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 413 329 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo mejorado de ventilación para un túnel

Antecedentes de la invención

5 Esta invención se refiere a un dispositivo mejorado de ventilación para túneles. Los túneles pueden requerir ventilación por una variedad de razones - por ejemplo para garantizar una adecuada calidad del aire, para controlar la propagación del humo en caso de incendio, o para reducir las temperaturas a los límites aceptables. La función de la ventilación se refiere al tipo de túnel en cuestión - túneles vehiculares (de carretera, de ferrocarril y de metro) generalmente requieren una alta calidad del aire durante el funcionamiento normal y el control del humo en caso de incendio, mientras que los túneles de cable requieren refrigeración, control de humo y una cierta cantidad de intercambio de aire. Los túneles de minas y los túneles de estaciones también requieren una adecuada ventilación por requisitos fisiológicos, de refrigeración y de control de humo. Un número de sistemas de ventilación alternativos están disponibles para que los diseñadores logren estos requisitos. Para los túneles de carretera de corta y media distancia (dependiendo de la dirección nacional aplicable, hasta aproximadamente 3 km de longitud para túneles de tráfico unidireccional), normalmente se encuentra que los sistemas de ventilación longitudinal proporcionan la solución más económica. En la versión más simple de un sistema de ventilación longitudinal que se emplea en algunos túneles de ferrocarril, se usa un conducto de ventilación de mediado de túnel para suministrar o extraer el aire, lo cual provoca que se genere un flujo longitudinal de aire a lo largo del túnel. Más típicamente, los sistemas de ventilación longitudinal comprenden turbinas o toberas de impulsión para empujar el flujo de aire del túnel en la dirección deseada.

20 Las toberas de impulsión introducen un chorro de aire en un túnel, a una alta velocidad de alrededor de 30m/s. Este chorro de aire imparte la mayor parte de su impulso al aire del túnel, y por lo tanto ayuda a conducir el aire del túnel en la dirección deseada. Una fracción del impulso del chorro de aire se pierde debido a la resistencia de rozamiento sobre las superficies del túnel, y debido a la resistencia de la forma en cualesquiera cuerpos voluminosos sobre los que incide el chorro. Marco Saccardo patentó un "Método y aparato mejorados para ventilar túneles" en la patente del Reino Unido número 2026, fechada en 1898. Esta patente original describe el uso de chorros de aire para ventilar los túneles ferroviarios.

30 Las toberas de impulsión convencionales suministran aire dentro de un túnel, usando el aire generado por los ventiladores dentro de una cámara de ventiladores. Esta cámara de ventiladores se construye convencionalmente por encima del pórtico o del conducto del túnel, donde el aire se aspira del exterior, y se suministra después dentro del túnel con un ángulo pequeño respecto al eje longitudinal del túnel (típicamente, en un ángulo de 30 grados o menos). Un ángulo pequeño se selecciona normalmente, con el objetivo de alinear el chorro con el eje del túnel y por lo tanto maximizar el impulso potencial que puede generarse; para evitar chorros de alta velocidad que incomodan o ponen en peligro a los usuarios del túnel y para minimizar las pérdidas por fricción debido al flujo del chorro a lo largo del piso del túnel.

El impulso impartido por los chorros de aire que fluyen desde una tobera de impulsión al aire del túnel puede describirse mediante la siguiente ecuación de intercambio de cantidades de movimiento:

$$40 \quad T = \dot{m} V_j \eta_j \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 1}$$

donde:

45 T = Impulso impartido desde el chorro de aire al aire del túnel [Newton]
 \dot{m} = flujo másico del chorro de aire [kilogramos por segundo]
 V_j = Velocidad del chorro de aire [metros por segundo]
 η_j = Eficiencia de la instalación [adimensional]
 θ = Angulo entre el chorro y el eje del túnel [radianes]

50 En la ecuación anterior, la eficiencia de la instalación η_j puede ya sea reducir ($\eta_j < 1$) o aumentar ($\eta_j > 1$) el impulso, en dependencia de una función de un número de parámetros aerodinámicos. Los procesos irreversibles tales como la fricción del chorro a lo largo del sofito o del piso del túnel provocarán una reducción en la eficiencia de la instalación, típicamente hasta un valor por debajo de la unidad. Sin embargo, se ha informado por M. Tabarra y otros en "The revival of Saccardo ejectors - history, fundamentals, and applications" (10o Simposio Internacional sobre la aerodinámica y ventilación para túneles para vehículos, Boston, Estados Unidos, 1-3 de noviembre de 2000) que un perfil no uniforme de velocidad en el túnel puede conducir a un valor de la eficiencia de la instalación (denominada "coeficiente de intercambio de cantidad de movimiento" en el artículo anteriormente mencionado) por encima de la unidad.

60 En comparación con las turbinas, las toberas de impulsión tienen las ventajas de que no se requiere espacio para el

5 equipo de ventilación dentro de los túneles; se requieren regímenes de mantenimiento más simples, ya que no es necesario el acceso a los túneles para llevar a cabo el mantenimiento en el sistema de ventilación; hay significativamente menos riesgo de daño del ventilador en caso de incendio dentro del túnel; está presente un nivel reducido del sonido en el túnel; y generalmente se requiere un número reducido de ventiladores en comparación con la opción de turbinas. Sin embargo, la opción de la ventilación por impulso requiere la construcción de cámaras de ventiladores en cada pórtico; genera altas velocidades de flujo de aire en la vecindad inmediata de la tobera; y puede requerir sistemas de control más complejos, por ejemplo ventiladores de velocidad variable con variadores de frecuencia.

10 Las turbinas se instalan generalmente en un nivel alto dentro de un túnel, fuera de la cubierta de tráfico. Las localizaciones típicas para la instalación de las turbinas son el soffito del túnel; dentro de nichos del túnel construidos específicamente para el alojamiento de las turbinas; y dentro de las esquinas entre las paredes del túnel y el soffito. La instalación de las turbinas a un nivel alto proporciona una holgura física para el movimiento por abajo de los vehículos y peatones, y permite además que los chorros de aire a alta velocidad procedentes de las turbinas
15 (normalmente de 30 a 40 m/s) disminuyan hasta niveles aceptables (alrededor de 10 m/s) antes de entrar en la zona ocupada.

Con el objetivo de generar el impulso máximo potencial, se debe permitir que el chorro de aire que sale de una turbina disminuya a una distancia significativa aguas abajo, antes de encontrar un pórtico u otra turbina - típicamente, se recomienda una separación de alrededor de diez diámetros hidráulicos del túnel. Dado que la mayoría de las instalaciones de turbinas requieren un funcionamiento bidireccional del sistema de ventilación, normalmente las turbinas no se instalan en la proximidad de los pórticos del túnel. En su lugar, se instalan profundo dentro de los túneles, lo cual eleva el costo del cableado.

25 El impulso generado por el aire que sale de una turbina al aire del túnel puede describirse mediante la siguiente ecuación de intercambio de cantidad de movimiento:

$$T = \dot{m}(V_j - V_T)\eta_j \cos(\theta) \quad \text{Ecuación 2}$$

30 donde

- T = impulso impartido desde el chorro al aire del túnel [Newton]
- \dot{m} = Flujo másico del chorro de aire [kilogramos por segundo]
- V_j = Velocidad del chorro de aire [metros por segundo]
- V_T = Velocidad del aire del túnel [metros por segundo]
- 35 η_j = Rendimiento de la instalación [adimensional]
- θ = Ángulo entre el chorro y el eje del túnel [radianes]

40 Al seleccionar el ángulo más adecuado entre el chorro y el eje longitudinal del túnel, se debe considerar un número de problemas. Dependiendo de la distancia entre la turbina y las superficies del túnel (incluyendo las paredes y el soffito), un ángulo pequeño por debajo de aproximadamente 3 grados puede crear una zona de baja presión entre el chorro y una superficie del túnel, y provocar de esta manera que el chorro se adhiera a esa superficie - un fenómeno llamado 'efecto Coanda'.

45 V. V. Baturin en 'Fundamentals of Industrial Ventilation' (1972, Pergamon, Oxford, Reino Unido) reportó un intervalo de ángulos de dispersión de 25° a 27° para chorros libres que salen de toberas convergentes, y 29° para chorros libres que salen de tubos cilíndricos. La disminución de la velocidad del aire en la línea central puede estimarse a partir de una correlación propuesta por Baturin, que se basa en una revisión de los datos experimentales. Sin embargo, para los chorros que se unen a una superficie (efecto Coanda), I.M.C. Farquharson en su artículo 'The ventilating air jet' (1952, JIHVE, 19, 449-69) encontró que la velocidad de línea central para un chorro unido puede ser de hasta 40% más alta que la de un chorro libre, debido al arrastre restringido del aire dentro del chorro unido.

50 El efecto Coanda provoca el arrastre por fricción adicional, y por lo tanto una reducción en el impulso efectivo generado por el chorro. Los chorros de aire que se inclinan hacia la línea central de un túnel pueden separarse de las superficies que limitan el túnel, y por lo tanto puede generarse un impulso más grande. Sin embargo, este beneficio debe equilibrarse frente a las velocidades del aire más grandes que pueden generarse en la zona ocupada, y que pueden conducir a situaciones peligrosas para los peatones y los vehículos de lados altos (tales como los vehículos de carga pesada).

60 Que un chorro permanezca libre o se una él mismo a una superficie del túnel a diferentes ángulos con respecto al eje del túnel depende de la relación de la fuerza de impulso del chorro en una dirección normal a la superficie, a la fuerza de presión que actúa para empujar el chorro hacia la superficie. Para chorros que salen paralelos al eje del túnel, es probable que la unión a una superficie cercana (soffito, pared o a ambos) se producirá dentro de unos pocos metros del plano de descarga del chorro.

Los cálculos de la Dinámica de Fluidos Computacional (CFD) han indicado que un ángulo relativamente grande hacia la línea central del túnel, tal como 7° o mayor, puede provocar que el chorro se una al suelo del túnel, y fluya a alta velocidad durante cierta distancia aguas abajo. Sin embargo, la velocidad del flujo de aire por encima del chorro puede estar por debajo de la velocidad crítica para el control de humo. Bajo tales circunstancias, el humo procedente de un incendio puede viajar realmente corriente arriba una cierta distancia desde la fuente del fuego, un fenómeno llamado 'estratificación'. Tal estratificación del humo puede representar un peligro para cualquier persona presente aguas arriba de la fuente del fuego.

Una patente europea anterior EP1050684 describe un método para dirigir el flujo de aire procedente de una turbina en un intervalo de ángulos entre 3 y 25 grados, que se reivindica que mejora el impulso generado por tales turbinas. Sin embargo, los ángulos grandes del chorro propuestos pueden conducir a los inconvenientes esbozados anteriormente en términos de la unión del chorro al piso del túnel, y la posible estratificación de cualquier humo dentro del túnel.

Otra patente europea EP1598604 propone usar un ventilador montado en un eje vertical, que suministra un chorro de aire a través de una tobera lateral. Sin embargo, este método involucra cambiar de dirección el flujo de aire dentro del dispositivo de ventilación en un ángulo de 90 grados o más, con las resultantes pérdidas indeseables de presión. Tales pérdidas de presión pueden ser aceptables para aplicaciones de estacionamiento, pero no para túneles, debido a los flujos de aire requeridos significativamente más altos.

JP-A-1130099 (la técnica anterior más cercana) describe múltiples ventiladores unidireccionales que se conectan a un impelente, con una tobera conectada al impelente que cambia la dirección del flujo hacia abajo por medio de paletas giratorias incorporadas. Sin embargo, la disposición de múltiples ventiladores dentro de un túnel propuesta por JP-A-1130099 hace uso intensivo del espacio y sería costoso realizarla en la práctica.

DE-A-102004041696 propone un ventilador unidireccional instalado dentro de un alojamiento de forma elíptica con un área de la sección transversal mayor que la del ventilador, donde el borde superior de la canalización se inclina hacia abajo en la dirección aguas abajo. Las paletas giratorias se proporcionan en la descarga de la canalización. Sin embargo, es probable que esta disposición genere una caída de presión significativa para el ventilador.

US-A-2219499 describe una construcción de ventilador impulsor, y particularmente, muestra disposiciones de paletas que reivindican maximizar la eficiencia del ventilador. El ventilador mejorado puede usarse para suministrar aire a túneles o minas, al conectarlo a canales o conductos. Las disposiciones de ventiladores de la técnica anterior buscan mantener una velocidad axial constante, es decir, una velocidad axial en el extremo de entrega que es igual a la velocidad en el extremo de entrada.

US-A-3285062 describe un aparato turboventilador educativo para medir la energía y presión. El aparato se diseña como un 'aparato sencillo y compacto que es fácilmente portable para su uso en un aula o en un laboratorio de investigación'. Se propone un medidor de Venturi para la medición del flujo de aire.

Los solicitantes creen que todavía queda campo para mejorar los sistemas de ventilación para túneles.

Sumario de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la presente invención, se proporciona un ensamble de ventiladores para su instalación en un túnel para proporcionar ventilación en el túnel, el ensamble de ventiladores que comprende:

- un ventilador para generar un flujo de ventilación; y
- una tobera que tiene un orificio pasante acoplada al ventilador de manera que el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra entre el intervalo de 0° a 15°;
- el ensamble que se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado; y
- en donde el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, con una relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera que se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que la tobera durante su funcionamiento actuará para acelerar un flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de su descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.

El aparato de ventilación para túnel de la presente invención comprende, *entre otros*, un ventilador para generar un flujo de ventilación que puede instalarse en un túnel. Esto es similar al uso conocido de "turbinas" para ventilar túneles, como se discutió anteriormente.

5 Sin embargo, el aparato de la presente invención comprende además una tobera a través de la cual se dirige el flujo de ventilación procedente del ventilador antes de que el flujo salga del ensamble de ventilador (y entre de esta manera en el túnel durante su funcionamiento).

10 El agujero pasante de la tobera y el eje de rotación del ventilador se disponen para ser generalmente paralelos (es decir de manera que el flujo procedente del ventilador y el flujo a través de la tobera durante su funcionamiento serán generalmente paralelos). Esto evita que el flujo procedente del ventilador tenga que cambiar de dirección un ángulo significativo (por ejemplo 90°) con el objetivo de atravesar la tobera (que pudiera resultar en pérdidas significativas de presión).

15 Aún más, la tobera se conforma de manera que su área de la sección transversal se estrecha en la dirección que se aleja del ventilador. El efecto de esto es que el agujero pasante de la tobera se estrecha en la dirección del flujo de ventilación que puede generar el ventilador durante su funcionamiento.

20 En otras palabras, en el ensamble de ventilador de la presente invención, el flujo de ventilación generado por el ventilador atraviesa una tobera convergente antes de salir del ensamble (y entra en el túnel).

El efecto de esto es que el flujo de ventilación generado por el ventilador se acelera por la tobera y así proporcionará un impulso adicional al aire del túnel (o los otros gases, por ejemplo el humo o el vapor de agua).

25 Particularmente, como se discutió anteriormente, el efecto de la tobera debe ser tal como para proporcionar a la salida de la tobera un flujo de ventilación que se ha acelerado (tiene una velocidad más alta) en comparación con el flujo que abandona el ventilador (la velocidad impartida por el propio ventilador).

30 Así, el aparato de ventilación de la presente invención puede proporcionar un impulso longitudinal mejorado dentro de un túnel. Esto se logra al usar una tobera convergente para acelerar el flujo de salida procedente del ventilador.

Esto significa entonces que, por ejemplo, deben necesitarse menos ensambles de ventiladores para un requisito dado de ventilación de un túnel, reduciendo de esta manera los costos y los otros requisitos con relación a la adquisición y la instalación.

35 Particularmente, con referencia a las ecuaciones 1 y 2 anteriores, el impulso generado por una turbina es proporcional a la velocidad de descarga de la turbina, y por lo tanto un aumento en la velocidad del chorro puede generar un aumento proporcional en el impulso, para el mismo flujo másico de aire. Los solicitantes han reconocido así que una tobera convergente unida dentro de una canalización aguas abajo de un ventilador puede acelerar el flujo de aire, y por lo tanto proporcionar un impulso adicional al aire del túnel.

La caída de presión a través de una tobera subsónica se determina aproximadamente por

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho V_j^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

45 donde

ΔP = Caída de presión a través de una tobera [Pascal]

ρ = Densidad del aire [kilogramos por m³]

V_j = Velocidad del chorro de aire en la descarga de la tobera [metros por segundo]

50 La aproximación principal en la Ecuación 3 se refiere a desprestigiar la resistencia de rozamiento laminar en las superficies internas de la tobera, que usualmente es una suposición razonable debido a la magnitud relativamente pequeña del rozamiento laminar.

55 De la Ecuación 3 sigue que un aumento en la velocidad del chorro debido a la presencia de una tobera convergente conduciría a una caída de presión aerodinámica más grande. A modo de ilustración solamente, un aumento en la velocidad del chorro desde 30 m/s a 50 m/s implicaría un aumento en la caída de presión en la tobera desde 540 Pa a 1500 Pa, suponiendo una densidad del aire de 1.2 kg/m³. El aumento en la velocidad del chorro causaría que el impulso entregado por tal tobera aumente en un 67%, suponiendo que la tasa de flujo másico a través del ventilador no cambie.

60 Como se apreciará a partir de lo anterior, habrá una caída de presión adicional a través de la tobera convergente en el aparato de la presente invención. Esto puede conducir a un aumento del consumo de energía por el ventilador, dado que la energía consumida es proporcional al producto de la caída de presión y a la tasa de flujo volumétrica.

Sin embargo, los solicitantes han reconocido que esta es una característica aceptable de esta invención, dado que la presente invención, en efecto debe permitir utilizar un número menor de ventiladores de alta potencia, en lugar del gran número de ventiladores de menor potencia que se utilizan actualmente en los túneles.

Al usar una tobera convergente para cambiar la dirección del flujo de escape desde un ventilador hacia la línea central del túnel, puede obtenerse una mejora significativa en la proporción del impulso aerodinámico impartido al aire del túnel, en oposición a ser desperdiciado en el rozamiento a lo largo de las superficies del túnel. Otra manera de expresar este fenómeno físico es afirmar que la invención puede disponerse de tal manera que se requiere menos energía por unidad de impulso, comparado con un diseño convencional de turbina.

Así, en dependencia de los aspectos específicos de esta invención que se seleccionen, el requisito de consumo de energía total con esta invención puede de hecho ser similar o menor que el de un diseño convencional de turbina. Aún más, el menor número de ventiladores que se deben requerir al usar la presente invención permitirá beneficios significativos en términos de costos reducidos de adquisición, de instalación, de cableado, y/o de ingeniería civil para la construcción de los nichos de turbinas.

La presente invención se extiende además al uso del aparato de la presente invención para ventilar un túnel, y para los sistemas de ventilación para túneles que incluyen el aparato de la presente invención.

Así de acuerdo con un segundo aspecto de la presente invención, se proporciona un método para ventilar un túnel, que comprende:

generar un flujo de ventilación a lo largo de la longitud del túnel usando un ventilador instalado en el túnel; atravesar con el flujo de ventilación procedente del ventilador el agujero pasante de una tobera que se acopla al ventilador y se monta de manera que el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°, el agujero pasante de la tobera que se conforma de manera que el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, con la relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera que se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar el flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que este pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de su descarga dentro del túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.

De acuerdo con una modalidad de la presente invención, se proporciona un sistema de ventilación para túneles que comprende:

uno o más ensambles de ventilador instalados en un túnel y dispuestos para ser capaces de generar un flujo de ventilación a lo largo del túnel durante el funcionamiento; y en donde al menos uno de los ensambles de ventilador instalados en el túnel comprende: un ventilador para generar un flujo de ventilación; y una tobera que tiene un agujero pasante acoplada al ventilador de manera que el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo desde 0° a 15°; El ensamble de ventilador que se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado; y

en donde el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, con la relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera que se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar el flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de su descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.

El ventilador que se usa en el aparato, el método y el sistema de la presente invención puede ser cualquier ventilador adecuado, es decir, un ventilador que es adecuado para la generación de un flujo de ventilación a lo largo de un túnel.

El flujo de ventilación, como se conoce en la técnica, típica y preferentemente comprenderá un flujo de aire. Sin embargo, la invención es aplicable donde se han de generar otras formas de flujo de ventilación gaseoso, por ejemplo, mezclas de aire, humo, vapor de agua y vapor.

El tamaño y la potencia del ventilador pueden variar, por ejemplo, en dependencia del tamaño y la naturaleza del túnel a ventilarse, pero para túneles típicos (de carretera, de ferrocarril, de metro, de mina), los parámetros

adecuados del ventilador podrían ser un diámetro interno desde 0.5 m a 2 m y una tasa de flujo volumétrico a través del ventilador de 5 m³/s a 100 m³/s. La longitud de un ensamble de ventilador, que incluye los silenciadores, los alisadores de flujo y las piezas de transición, puede medirse como un múltiplo del diámetro del ventilador. Una longitud típica del ensamble de ventilador puede encontrarse en el intervalo de uno a diez diámetros del ventilador.

5 El ventilador típicamente comprenderá, como se conoce en la técnica, un rotor de ventilador montado en un eje o centro de cuerpo del ventilador que se extiende longitudinalmente, y tiene, por ejemplo, una carcasa adecuada que rodea y que monta el rotor y el centro de cuerpo del ventilador.

10 El ventilador puede comprender un único rotor de ventilador, o una pluralidad de rotores de ventilador montados en serie (en el mismo eje o centro de cuerpo del ventilador), según se desee, por ejemplo, en dependencia del flujo de ventilación necesario.

15 Sería posible además que el ensamble de ventilador comprenda varios ventiladores, por ejemplo dispuestos en serie para suministrar un flujo de ventilación a una tobera común. Esto puede ser deseable cuando se desean mayores flujos de ventilación, o donde se requiere un grado de redundancia en la provisión de ventiladores.

20 Sería posible además, por ejemplo proporcionar varios ensambles de ventiladores, por ejemplo cada uno con su propia tobera.

En una modalidad preferida, cada ventilador se configura a fin de coincidir o tener en cuenta la presencia de la(s) tobera(s), por ejemplo, y preferentemente, para que coincida el ventilador seleccionado con la tobera, con el objetivo de lograr las metas aerodinámicas requeridas, que incluyen la entrega del impulso necesario, al funcionar en combinación con la tobera.

25 Por ejemplo, la caída de presión adicional debido a la presencia de una tobera convergente puede provocar que cambie el punto de operación del ventilador, para entregar menos flujo másico a una presión más alta. En una modalidad preferida, el ventilador se configura para tomar esto en cuenta (para tratar de superar esta tendencia), es decir, para aumentar el flujo másico que se entregará durante el funcionamiento. Por ejemplo, el perfil de las palas del rotor del ventilador, los ángulos de paso de las palas, la velocidad del ventilador, y/o el número de rotores de ventilador en serie, pueden seleccionarse, y preferentemente se seleccionan y/o modificarse para aumentar el flujo másico que se entregará durante el funcionamiento.

35 La tobera que se acopla al ventilador en el aparato de la presente invención, como se discutió anteriormente, debe tener un agujero pasante cuya área de la sección transversal disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, a fin de que "converja" el flujo de ventilación a través de la tobera en esa dirección y acelerar de esta manera el flujo de gas procedente del ventilador. Siempre que se cumpla este requisito, la tobera puede configurarse como se desee.

40 En otras palabras, debe haber por lo menos una sección o porción del agujero pasante de la tobera a lo largo de la cual converge el área de la sección transversal del agujero pasante, es decir disminuye a partir de un área de la sección transversal más grande a un área de la sección transversal más pequeña (y preferentemente una mínima). La parte más grande de esta sección convergente del agujero pasante de la tobera debe montarse más cerca del ventilador, es decir, de manera que habrá una sección a lo largo del agujero pasante de la tobera que tiene un área de la sección transversal mayor en un punto más cercano al ventilador y a lo largo de la cual el área de la sección transversal del agujero pasante disminuye en la dirección que se aleja del ventilador (en la dirección del flujo de ventilación procedente del ventilador) hacia un punto en el agujero pasante de la tobera que tiene un área de la sección transversal menor (y preferentemente el área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera) (y un área de la sección transversal que es menor que el área (total) de la sección transversal de la canalización en el(los) rotor(es) del ventilador).

45 Como se discutió anteriormente, el efecto de la tobera debe ser a fin de acelerar el flujo procedente del ventilador. Por lo tanto la tobera debe converger hacia un área de la sección transversal que es menor que el área total de la sección transversal de la canalización del ventilador en el rotor o rotores del ventilador. La tobera entonces tendrá el efecto de acelerar el flujo procedente del ventilador.

50 Se apreciará que la presente invención en consecuencia se extiende además de esta manera al uso y provisión de disposiciones de una tobera y un ventilador.

60 Así, de acuerdo con una modalidad de la presente invención, se proporciona un aparato para su instalación en un túnel para proporcionar ventilación en el túnel, que comprende un ensamble de ventilador que comprende:
un ventilador para generar un flujo de ventilación y rodeado por una canalización del ventilador; y
una tobera que tiene un agujero pasante acoplada al ventilador de manera que el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera se encuentra generalmente paralelo al eje de rotación del ventilador;

el ensamble que se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado; y

5 en donde el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador hasta un área de la sección transversal que es menor que el área de la sección transversal de la canalización en la posición del rotor del ventilador.

10 Se apreciará que esta disposición puede usarse además en los otros aspectos de la invención descritos en la presente. Así, de acuerdo con modalidades adicionales, la presente invención proporciona métodos para ventilar un túnel, sistemas de ventilación para un túnel, etc., en los cuales una tobera cuyo agujero pasante disminuye en la dirección que se aleja del ventilador hasta un área de la sección transversal que es menor que el área de la sección transversal de la canalización en la posición del rotor del ventilador.

15 El área de la sección transversal del barreno a través de la tobera disminuye preferentemente de manera progresiva (por ejemplo, y preferentemente, desde la localización del punto de conexión de la tobera a la canalización del ventilador), preferentemente de manera suave y monótona, hasta la localización del área mínima de la sección transversal del agujero pasante. El área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera puede denotarse como su 'garganta geométrica'.

20 En una modalidad preferida, la posición del área mínima de la sección transversal de la tobera se encuentra en su plano de salida. En este caso, el agujero pasante de la tobera tendrá un área de la sección transversal en su entrada mayor que en su salida y el extremo del agujero pasante de la tobera que se encuentra más cerca del ventilador tendrá un área de la sección transversal mayor que el extremo del agujero pasante de la tobera que se encuentra más lejos del ventilador.

25 Sin embargo, no es necesario que el punto (plano) en el agujero pasante que tiene un área mínima de la sección transversal se encuentre en la salida de la tobera y el agujero pasante de la tobera puede extenderse a partir de la localización del área mínima de la sección transversal en una dirección que se aleja del ventilador, por ejemplo, con un área constante de la sección transversal del agujero pasante, o, claramente, puede hacerse más grande nuevamente más allá del punto del área mínima de la sección transversal. En este último caso, la tobera aún servirá para acelerar el flujo procedente del ventilador, con el chorro de escape que probablemente se separa de la superficie interior del agujero pasante de la tobera en las localizaciones de cualesquiera agrandamientos repentinos al agujero pasante de la tobera.

35 La elección de extender o no la garganta geométrica puede depender, por ejemplo, de la selección de un número de características de la actual invención, que incluyen control de ruido, tratamientos acústicos y extinción de incendios (como se discutirá adicionalmente más adelante).

40 Por ejemplo, puede ser beneficioso, como se discutirá adicionalmente más adelante, proporcionar una transición abocinada (es decir que el agujero pasante de la tobera se agrande) en la salida de la tobera. Así, en una modalidad particularmente preferida, el agujero pasante de la tobera converge en una dirección que se aleja del ventilador a un punto donde el agujero pasante tiene un área mínima de la sección transversal, y después diverge más allá de ese punto.

45 Se debe notar además aquí que la presente invención pretende abarcar, y las referencias a una "tobera" o "toberas" de la forma de la presente invención pretenden abarcar, cualquier forma de construcción que tenga un agujero pasante que conforma (o que puede conformar) una trayectoria encerrada para el flujo procedente del ventilador hacia el ambiente exterior (el túnel) durante el funcionamiento y cuyo agujero pasante tiene una porción convergente en la cual el agujero pasante disminuye en área de la sección transversal en una dirección a lo largo del agujero pasante. Así, por ejemplo, la presente invención abarca también tales disposiciones que realizan otras funciones (ya sea como su función primaria o como una función secundaria), tales como dispositivos que tienen tales agujeros pasantes que realizan atenuación de ruido (silenciador) (por ejemplo, silenciadores convergentes) y/o que se disponen para cambiar la dirección del flujo en una dirección específica.

50 La relación de contracción, definida como la relación del área de la sección transversal del ventilador al punto en el cual el agujero pasante de la tobera tiene su área mínima de la sección transversal (el área de la sección transversal del ventilador es el área (total) de la sección transversal de la canalización en la localización del(los) rotor(es) del ventilador), se seleccionará preferentemente de manera que el ensamble de ventilador entregue el impulso longitudinal óptimo, mientras garantiza que las velocidades del aire en las zonas ocupadas del túnel se mantienen dentro de límites aceptables.

55 Esta relación de contracción para los ensambles de ventilación para un túnel de esta invención se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0. El límite inferior de la relación de contracción (1.05) se deriva de consideraciones de factibilidad comercial, en donde se obtiene sólo un modesto impulso adicional a partir del costo de instalar una tobera. El límite superior de la relación de contracción (5.0) corresponde a un valor que, en la experiencia de los

solicitantes, normalmente se encuentra en o por encima de la línea de parada para los ventiladores, y por lo tanto representa el punto de operación máximo factible para este tipo de aplicación.

5 En una modalidad preferida, la relación de contracción de la tobera se encuentra en el intervalo desde 1.1 hasta 3.0. Una relación de contracción de 1.25 se ha encontrado que se prefiere particularmente para al menos ciertas configuraciones de ventilador.

10 La forma de la sección transversal del agujero pasante de la tobera se diseñará preferentemente para minimizar las pérdidas aerodinámicas debidas a los efectos tales como el rozamiento laminar, la recirculación y el flujo de estancamiento. Para un ensamble que contiene un solo ventilador (o un ensamble de ventiladores dispuestos coaxialmente en serie), es preferible que se seleccione un agujero pasante de tobera con una sección transversal circular, con el objetivo de que coincida con la sección transversal circular de la canalización del ventilador.

15 La sección transversal en el borde posterior de la tobera (de salida) puede seleccionarse y/o cambiarse, para un número de propósitos, que incluyen el control del ruido.

En una modalidad preferida, la geometría del agujero pasante de la tobera (es decir de su superficie interior) es sustancialmente paralela a la dirección del flujo en el plano de entrada (entrada) y de salida (salida) de la tobera.

20 En una modalidad preferida, el agujero pasante de la tobera es simétrico alrededor de su línea central.

En una modalidad preferida, la línea central de la salida de la tobera (escape) es coincidente con la línea central de la entrada de la tobera.

25 En otra modalidad preferida, la línea central de la salida de la tobera (escape) no es coincidente con la línea central de la entrada de la tobera. Esto puede ser deseable por ejemplo, cuando el ensamble del ventilador y la tobera es para instalarse en un nicho en el techo de un túnel.

30 Similarmente se prefiere en una modalidad que el eje longitudinal central de la salida de la tobera sea paralelo al eje central, longitudinal de la entrada de la tobera, y en otra modalidad que el eje longitudinal central de la salida de la tobera no sea paralelo al eje longitudinal central de la entrada de la tobera, sino que se encuentre en un ángulo de hasta 15 grados con la misma. Esta última disposición puede ser deseable donde se desea, por ejemplo, dirigir el flujo procedente de la tobera hacia el eje central del túnel, en vez de paralelo al eje longitudinal del túnel.

35 La tobera puede acoplarse al ventilador con que se asocia de cualquier manera deseada y adecuada. Puede, por ejemplo, conformarse integralmente con la carcasa del ventilador, o puede, por ejemplo, ser un componente separado que puede unirse a (la carcasa de) un ventilador.

40 Como se discutió anteriormente, la tobera se acopla al ventilador de manera que el agujero pasante de la tobera (el flujo a través de la tobera) es generalmente paralelo a la dirección del flujo de ventilación procedente del ventilador (al eje de rotación del ventilador). Particularmente, el ángulo entre el eje de rotación del ventilador y el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera en la salida (descarga) de la tobera (la dirección del flujo que sale de la tobera) está dentro del intervalo de 0° a 15°. En una modalidad preferida, la tobera se acopla al ventilador de manera que el agujero pasante de la tobera (el flujo a través de la tobera) es sustancialmente paralelo a la dirección del flujo de ventilación procedente del ventilador (al eje de rotación del ventilador).

45 La tobera debe ser además y preferentemente es generalmente coaxial con el ventilador (al eje de rotación del ventilador), aunque nuevamente puede haber un ángulo entre el eje de rotación del ventilador y el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera. Sería posible además que el eje de la tobera se desplace a partir del eje del ventilador, aunque en ese caso el desplazamiento no debe situar el eje de la tobera fuera del área de la sección transversal del ventilador. En una modalidad preferida de la invención, un borde de la tobera es coaxial con el borde de la canalización del ventilador (es decir el desplazamiento de los ejes de la tobera y del ventilador en la dirección radial se establece que sea la mitad de la diferencia entre el diámetro de la canalización que contiene el ventilador y el ancho (o diámetro) de la salida de la tobera). En otra modalidad preferida, la tobera se acopla al ventilador de manera que el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera es sustancialmente coaxial con el eje de rotación del ventilador.

50 La tobera y/o su agujero pasante se conforman preferentemente a fin de mejorar la velocidad de arrastre del aire circundante hacia la corriente del chorro, y/o a fin de acortar la longitud efectiva del chorro que sale de la tobera. Esto ayudará a mejorar el impulso eficaz del ventilador sobre el aire (u otro gas) dentro del túnel, y a reducir la longitud del túnel que puede exponerse a las altas velocidades del aire. Puede ayudar además a reducir el ruido generado por la descarga de aire a alta velocidad dentro del túnel.

60 En una modalidad preferida, la porción de salida (por ejemplo la garganta geométrica) de la tobera además o en cambio se configura y/o se conforma a fin de controlar las estructuras de vórtice en la descarga de la tobera (la

65

forma y el tamaño de los vórtices se esparcen en la descarga de la tobera) con el objetivo de reducir el ruido aerodinámico durante el funcionamiento.

5 Por ejemplo, la tobera puede conformarse a fin de tener un borde posterior ondulado, y/o a fin de incluir dos o más lóbulos alrededor de su borde posterior. Dos o más bandas angulares o lengüetas, por ejemplo, que preferentemente se curvan o se doblan a fin de que sobresalgan dentro de la corriente de aire del túnel, pueden además o en cambio proporcionarse alrededor del borde posterior (borde de salida o distal) de la tobera, para este propósito.

10 En una modalidad particularmente preferida, el centro de cuerpo del ventilador se extiende dentro de la tobera, y más preferentemente se extiende hasta y preferentemente más allá de, el plano de salida de la tobera. Esto ayuda a evitar el ruido asociado con cualquier expansión repentina desde el espacio anular del ventilador a la tobera.

15 Donde el centro de cuerpo del ventilador se extiende hasta o más allá de la descarga de la tobera (plano de salida), la superficie exterior (circunferencial) del centro de cuerpo del ventilador en ese punto se conforma preferentemente a fin de que coincida o se corresponda con la superficie interna de la tobera en la descarga de la tobera (salida), de manera que se mantiene constante una distancia radial entre la superficie interior de la tobera y la superficie exterior del centro de cuerpo del ventilador alrededor de la circunferencia del centro de cuerpo del ventilador en el plano de salida de la tobera. Esto reducirá adicionalmente los niveles de ruido.

20 En una modalidad preferida, un material absorbente acústico se aplica sobre una parte o la totalidad de la superficie interna del agujero pasante de la tobera, y/o sobre una parte o la totalidad de la superficie externa del centro de cuerpo del ventilador. Esto ayudará a reducir el ruido durante el funcionamiento del aparato. Cualquier material absorbente acústico adecuado puede usarse para este propósito, tal como una fibra mineral de calidad acústica, por ejemplo con una cara resistente a la erosión y protegida y contenida por una lámina de acero perforada. En esta disposición, la tobera puede, en efecto, pensarse como un "silenciador" convergente.

25 El aparato (el ensamble del ventilador y de la tobera) de la presente invención se adapta para instalarse en un túnel. Se adapta preferentemente para instalarse en el techo o en la pared, por ejemplo, en el techo o en un nicho en la pared, de un túnel a ser ventilado. En una modalidad preferida, el aparato incluye un soporte y/o carcasa, que soporta y/o monta el ventilador y la tobera, y que puede fijarse o instalarse en un túnel (en el techo o en la pared de un túnel) para el uso del aparato en el túnel.

30 El ángulo de descarga de la tobera en el túnel durante el funcionamiento se selecciona y se dispone preferentemente con el objetivo de controlar las velocidades del aire dentro de las zonas ocupadas del túnel.

35 En una modalidad preferida, el ensamble del ventilador y la tobera se instala o puede instalarse en un túnel de manera que la corriente de chorro que sale de la tobera soplará en una dirección que es sustancialmente paralela al eje longitudinal del túnel.

40 Esto fomentará el efecto Coanda en el techo del túnel (para un ensamble de ventilador montado en el techo) y así reduce el riesgo de las altas velocidades del aire en el cuerpo principal del túnel (por ejemplo en la zona ocupada del túnel). Los efectos adicionales de la fricción debido al efecto Coanda todavía pueden superarse de manera significativa por el aumento de la velocidad del chorro de aire generado en la presente invención.

45 En otra modalidad preferida, el ensamble del ventilador y la tobera se disponen a fin de dirigir el flujo procedente de la tobera hacia la línea central longitudinal del túnel. Por ejemplo, donde no hay riesgo de velocidades de aire excesivas en la zona ocupada de un túnel, el flujo de ventilación puede dirigirse y preferentemente se dirige hacia la línea central del túnel.

50 En este caso, el flujo debe todavía ser sustancialmente a lo largo de la longitud del túnel, pero el flujo puede dirigirse en un ángulo hacia la línea central del túnel, en lugar de dirigirse paralelo al eje longitudinal del túnel.

55 En una tal disposición preferida, el flujo procedente de la tobera se dirige hacia la línea central del túnel en un ángulo de hasta 15 grados con relación al eje longitudinal del túnel.

En estas disposiciones, el flujo puede dirigirse hacia la línea central del túnel de cualquier manera adecuada y deseada. Por ejemplo, el ensamble del ventilador y la tobera podrían inclinarse en la dirección apropiada.

60 Sin embargo, en una modalidad preferida, el ventilador se dispone para soplar en una dirección sustancialmente paralela al eje longitudinal del túnel y la tobera se dispone para cambiar la dirección del flujo procedente del ventilador en la dirección deseada.

65 Esto podría lograrse, por ejemplo, al conformar el agujero pasante de la tobera a fin de redirigir el flujo a medida que viaja a través de la tobera.

Alternativamente, la tobera podría acoplarse al ventilador de manera que el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera se encuentre en un ángulo apropiado con respecto al eje del ventilador, por ejemplo al incluir una pieza de transición en ángulo entre la tobera y el ventilador, a fin de montar la tobera en un ángulo respecto al ventilador.

5 En estas disposiciones el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera en el plano de salida (extremo distal) de la tobera se encuentra preferentemente en un ángulo de hasta 15° con relación al eje de rotación (longitudinal) del ventilador (donde un ángulo de 0° significa que los ejes de la tobera y del ventilador son paralelos).

10 Así, en una modalidad preferida, la dirección del flujo (de aire) a través de la tobera es sustancialmente paralela al flujo (de aire) que fluye a través del ventilador, y en otra modalidad preferida, el ventilador y la tobera se disponen de manera que el flujo (de aire) que sale de la tobera se cambia de dirección, preferentemente hasta en 15°, con relación a la dirección del flujo (de aire) generado por el ventilador.

15 En una modalidad particularmente preferida, el ensamble de ventilador de la presente invención incluye medios para permitir la inyección de un agente de extinción de incendio, tal como niebla de agua, dentro del flujo de ventilación aguas abajo del ventilador (y aguas arriba del borde posterior (salida) de la tobera) (es decir entre el ventilador y el borde posterior de la tobera). Los solicitantes han reconocido que el aparato de la presente invención puede usarse para suministrar eficazmente un agente de extinción de incendio durante el funcionamiento, dado que la corriente de chorro producida por el aparato actuará para transportar y suministrar eficazmente el agente dentro del túnel.

20 En una tal disposición particularmente preferida, se inyecta el agente de extinción de incendio (dentro del agujero pasante de la tobera) por o en la proximidad (preferentemente justo corriente arriba) del punto de área mínima de la sección transversal (por ejemplo, en el borde posterior de la tobera (la salida de la tobera) donde esta tiene el área mínima de la sección transversal). Esto inyectará el agente dentro del flujo donde las velocidades de flujo son altas, pero las presiones estáticas correspondientes son bajas, proporcionando de esta manera una entrega más eficaz del agente de extinción de incendio dentro de la corriente en chorro. Preferentemente el agente de extinción de incendio se inyecta en la garganta geométrica de la tobera. La garganta geométrica de la tobera puede extenderse para permitir espacio para la descarga de un agente de extinción de incendio, si se desea.

25 Puede usarse cualquier agente de extinción de incendio adecuado, tal como la niebla de agua. Si se selecciona niebla de agua, pueden usarse toberas hidráulicas para entregar la niebla dentro del aparato de ventilación. Preferentemente, las toberas hidráulicas se dispondrán para descargar la niebla de agua en un ángulo que es aproximadamente paralelo al flujo de aire, con el objetivo de inducir la mínima caída de presión aerodinámica.

30 El medio para proporcionar el agente de extinción de incendio puede ser cualquiera de tales medios deseados y adecuados. Por ejemplo, una pluralidad de aberturas puede disponerse alrededor de (la circunferencia de) la garganta geométrica de la tobera a través de la cual el agente puede inyectarse dentro del flujo (de aire) durante el funcionamiento. Similarmente, la parte exterior de la tobera puede proporcionarse con tubos de suministro y accesorios y acoplamientos apropiados, etc., para permitir que se conecte a una fuente adecuada del agente de extinción de incendio.

35 El aparato del ventilador y la tobera de la presente invención pueden usarse según se desee para ventilar un túnel.

40 Por ejemplo, puede ser suficiente instalar un ensamble de ventilador y de tobera en cada extremo de un túnel a ser ventilado (en la vecindad de cada pórtico del túnel). Así, en una modalidad preferida, el sistema de ventilación de la presente invención comprende dos disposiciones de ventilador en la forma del aparato de la presente invención (una instalada en cada pórtico del túnel).

45 La instalación de ventiladores con toberas convergentes en la proximidad de un pórtico de túnel será similar al uso de una tobera convencional de impulsión en cada pórtico de un túnel, pero con la ventaja añadida de que no se necesita construir una cámara de ventilador encima del pórtico. En dependencia de la longitud del túnel, las tasas requeridas de refrigeración o de intercambio de aire y el escenario de incendio asumido, las instalaciones con dispositivos de ventilación basados en el pórtico de acuerdo con esta invención pueden proporcionar la capacidad adecuada de ventilación para el túnel. El coste del cableado hasta los ventiladores puede minimizarse, debido a su proximidad a un pórtico.

50 Donde se requiera un impulso aerodinámico más allá del que puede proporcionarse únicamente por ensambles de ventilador y de tobera basados en pórtico, por ejemplo debido a la longitud del túnel a ser ventilado, entonces pueden instalarse disposiciones adicionales de ventilador dentro del túnel para proporcionar el impulso aerodinámico adicional durante el funcionamiento.

60 Incluso en este caso, el número de ventiladores necesarios, y el costo de cableado, pueden reducirse significativamente en comparación con la opción equivalente de ventiladores sin toberas convergentes.

En este caso, cualesquiera ensambles adicionales de ventiladores que se proporcionen dentro del túnel pueden ser arreglos convencionales de turbina (es decir sin la tobera del aparato de la presente invención), ya que seguirá existiendo una ventaja incluso si sólo los dispositivos basados en los "pórticos" son de la forma del aparato de la presente invención. Sin embargo, en una modalidad particularmente preferida, cualesquiera ensambles de ventiladores instalados dentro del túnel son de la forma del aparato de la presente invención.

Así, en una modalidad preferida, el sistema de ventilación para un túnel de la presente invención comprende una pluralidad de ensambles de tobera y de ventilador de la presente invención dispuestos a intervalos separados a lo largo de un túnel (y configurados para su funcionamiento en conjunto).

En el caso de un escenario de incendio inmediatamente debajo de un dispositivo de ventilación basado en el pórtico, hay una posibilidad de que estos dispositivos de ventilación puedan dañarse debido a los efectos del fuego. Sin embargo, debería ser posible soplar el humo fuera del túnel usando el dispositivo de ventilación en el pórtico lejano, con la ayuda de cualesquiera turbinas instaladas dentro del túnel. La evacuación de las personas del túnel, y los esfuerzos de rescate por los servicios de emergencia, podría efectuarse a través del pórtico sin incidentes. Cualquier incendio que podría dañar un dispositivo de ventilación basado en un pórtico es probable que ocurra muy cerca del pórtico relevante, de manera que las distancias de escape es probable que sean bastante cortas, al menos en las etapas iniciales de un incendio.

Se apreciará que donde el aparato de la presente invención se ha de instalar dentro de un túnel (y lejos del pórtico de un túnel), entonces puede preferirse que el ensamble de ventilador sea capaz de producir flujo bidireccional. Así, en una modalidad preferida, el ventilador del aparato de la presente invención es capaz de soplar bidireccionalmente. Esto puede lograrse de cualquier manera deseada y adecuada.

Donde el ventilador del ensamble de ventilador es capaz de soplar bidireccionalmente, el ensamble de la presente invención podría después tener aún una sola tobera, en cuyo caso al soplar en un sentido del ventilador, el flujo procedente del ventilador atravesará la tobera, pero para el otro sentido el flujo procedente del ventilador no atravesará una tobera.

Sin embargo, en una modalidad particularmente preferida donde el ventilador puede soplar en dos direcciones (opuestas), el ensamble incluye una tobera de la forma de, y dispuesta en la manera de, la presente invención en cada extremo, es decir de manera que para cualquier dirección de soplado del ventilador, el flujo procedente del ventilador atravesará una tobera convergente dispuesta adecuadamente antes de entrar en el túnel.

Así, en una modalidad particularmente preferida, el ensamble de ventilador de la presente invención comprende un ventilador para generar un flujo de ventilación, el ventilador que es capaz de soplar bidireccionalmente; y una primera tobera que tiene un agujero pasante acoplada en un lado del ventilador de manera que el ángulo entre el flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15° ; y una segunda tobera que tiene un agujero pasante acoplada en el otro lado del ventilador de manera que el ángulo entre el flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15° ; el ensamble que se dispone o puede disponerse de manera que:

un flujo de ventilación generado por el ventilador en una dirección atravesará el agujero pasante de la primera tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado; y de manera que:

un flujo de ventilación generado por el ventilador en la dirección opuesta atravesará el agujero pasante de la segunda tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado;

en donde el área de la sección transversal del agujero pasante de cada tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar el flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de su descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel; y/o

en donde el área de la sección transversal del agujero pasante de cada tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador hasta un área de la sección transversal que es menor que el área de la sección transversal de la canalización en la posición del rotor del ventilador.

Se apreciará que donde el ventilador es capaz de soplar bidireccionalmente, el flujo de entrada al ventilador puede, en principio, necesitar (o necesitaría, en principio, donde el ensamble tiene dos toberas, una para cada dirección de flujo) atravesar una tobera antes de entrar en el ventilador. Esto puede restringir el flujo de entrada al ventilador.

Así, en una modalidad particularmente preferida donde se usan ventiladores bidireccionales, el ventilador y la tobera (o las toberas, donde haya varias toberas) se disponen de manera que puede permitirse que el gas (aire) fluya dentro del ventilador (desde el exterior) sin atravesar primero la tobera durante el funcionamiento (sin tener que atravesar una tobera acoplada a ese lado del ventilador), es decir el ventilador y la(s) tobera(s) se disponen de

manera que el flujo de gas (aire) dentro del ventilador puede pasar por un lado de cualquier tobera acoplada a ese lado (de entrada) del ventilador.

5 Esto puede lograrse como se desee, pero en una tal modalidad preferida los medios de derivación, tales como compuertas, se montan entre la tobera y el ventilador (o entre cada tobera y el ventilador), que pueden operarse para permitir un flujo de entrada al ventilador que pasa por un lado de la tobera, para este propósito. Así, en una modalidad preferida, el ensamble de ventilador incluye preferentemente medios de derivación, tales como compuertas, entre el ventilador y la tobera (o entre el ventilador y cada tobera).

10 Se podrá apreciar aquí que en estas disposiciones donde se puede pasar por un lado de una tobera, todavía puede haber algo de flujo de entrada que atraviesa la tobera, y, de hecho, no es necesario pasar completamente por un lado de la tobera. Más bien la disposición de derivación se destina para proporcionar una trayectoria de flujo hacia la(s) entrada(s) del ventilador que se suma a la trayectoria de flujo a través del agujero pasante de la tobera. Preferentemente la suma de las áreas libres para la entrada de aire a través de la tobera y de la disposición de derivación (abierta) se dispone que sea no menos que el área (total) de la sección transversal de los conductos en la
15 localización del(los) rotor(es) del ventilador.

20 Con el objetivo de reducir el riesgo de aire que pasa incorrectamente por el lado de una tobera, se prefiere que se proporcione un acoplamiento mecánico o electrónico entre el medio de derivación, por ejemplo, las compuertas, de manera que se abran sólo el conjunto aguas arriba de los medios de derivación, mientras que los medios de derivación aguas abajo siempre están cerrados. En este contexto, los términos 'aguas arriba' y 'aguas abajo' se refieren a la dirección del flujo de gas dentro del ventilador o del ensamble de ventilación.

25 Sin embargo, los solicitantes han reconocido además que la provisión de tales medios de derivación puede no siempre ser necesaria, y puede ser el caso, por ejemplo, en muchas circunstancias, que la tobera en el lado de "entrada" (durante el funcionamiento), proporcionará una entrada de aire suficiente para que no haya ninguna necesidad de proporcionar o usar cualquier tipo de disposición de "derivación". Esto puede ser ventajoso, porque, por ejemplo, puede evitar cualesquiera costos adicionales, el mantenimiento, el riesgo de fallos, etc., que pueden asociarse con una disposición de derivación.
30

Así, en una modalidad particularmente preferida donde se usan ventiladores bidireccionales, el ventilador y la tobera (o las toberas, donde hay varias toberas) se disponen de manera que la (única) entrada de gas (aire) al ventilador (desde el exterior) es a través de (atraviesa) la tobera en ese lado del ventilador, es decir no hay medios de derivación para permitir el flujo de gas (aire) dentro del ventilador que pueda pasar por un lado de la tobera.
35

En estas disposiciones donde la única toma de aire es a través de una tobera en el lado de entrada del ventilador, entonces se prefiere que cada una de las superficies interiores del agujero pasante de la toberas se encuentre en un ángulo de 15 grados o menos con respecto al eje de la tobera, dado que esto debe ayudar a evitar la separación del flujo dentro de la tobera cuando actúa como la única entrada de aire. Se prefiere además proporcionar una transición abocinada en lo que será el extremo distal de la tobera con relación al ventilador durante el funcionamiento (es decir que el agujero pasante de la tobera diverja de nuevo después de su punto de área mínima de la sección transversal), dado que esto debe nuevamente ayudar a evitar la separación del flujo en el plano de entrada cuando la tobera actúa como la entrada para el ventilador.
40

45 Aunque la presente invención se ha descrito anteriormente con referencia específica a la provisión de una forma o formas de ensamble de ventilador y de tobera, los solicitantes han reconocido que los principios de la presente invención pueden aplicarse y explotarse igualmente con respecto a los sistemas de ventilación para túneles ya existentes que usan disposiciones adecuadas de turbina, al ajustar una tobera convergente de la manera prevista a una turbina existente a la forma de la presente invención, a fin de convertir el ensamble de turbina en un ensamble de ventilador de la forma de la presente invención.
50

La presente invención en consecuencia se extiende a tal ajuste de una tobera o toberas convergentes a un ensamble de ventilador existente para la ventilación de un túnel.

55 Así, de acuerdo con un tercer aspecto de la presente invención, se proporciona un método para modificar un ensamble de ventilador que comprende un ventilador dispuesto para proporcionar un flujo de ventilación en un túnel, el método que comprende:

60 acoplar al ventilador una tobera que tiene un agujero pasante cuya área de la sección transversal disminuye en una dirección a lo largo del agujero pasante, con la relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal de la agujero pasante de la tobera que se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que el flujo procedente del rotor del ventilador a través de la tobera en esa dirección se acelerará por la tobera;

de manera que:

65 el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°;

el ensamble acoplado del ventilador y la tobera se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar en el túnel a ser ventilado; y

de manera que el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar el flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de la descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.

De acuerdo con una modalidad de la presente invención, se proporciona un método para modificar un ensamble de ventilador que comprende un ventilador dispuesto para proporcionar un flujo de ventilación en un túnel, el método que comprende:

acoplar al ventilador una tobera que tiene un agujero pasante cuya área de la sección transversal disminuye en una dirección a lo largo del agujero pasante hasta un área de la sección transversal que es menor que el área de la sección transversal de la canalización del ventilador en la posición del rotor del ventilador, de manera que el flujo a través de la tobera en esa dirección se acelerará por la tobera;

de manera que:

el eje longitudinal del agujero pasante de la tobera es generalmente paralelo al eje de rotación del ventilador;

el ensamble acoplado del ventilador y la tobera se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar en el túnel a ser ventilado, y

de manera que el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador.

Como se apreciará por los expertos en la materia, estas disposiciones pueden incluir, y preferentemente incluyen, una o más o todas las características preferidas y opcionales de la invención descritas en la presente. Así, por ejemplo, una tobera puede ajustarse en cada lado del ventilador. Similarmente, la(s) tobera(s) incluye(n) preferentemente las características preferidas de la tobera descritas en la presente, de manera que tienen un borde posterior, ondulado, etc., medios para permitir la inyección de un agente de extinción de incendio, medios de derivación, tales como compuertas, etc.

Similarmente la presente invención, en consecuencia se extiende además a una tobera que puede proporcionarse para ajustarse a un ensamble de ventilador para este propósito.

Así, de acuerdo con un cuarto aspecto de la presente invención, se proporciona una tobera para ajustarse a un ventilador para proporcionar un flujo de ventilación en un túnel, la tobera que comprende:

un agujero pasante que tiene una porción convergente en la cual el área de la sección transversal del agujero pasante disminuye desde un extremo de la porción convergente hacia el otro, de manera que el flujo procedente del rotor del ventilador a través de la tobera en esa dirección se acelerará por la tobera; y en donde:

la relación del área más grande de la sección transversal de la porción convergente del agujero pasante de la tobera al área mínima de la sección transversal del agujero pasante en la parte convergente de la tobera se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0.

Como se apreciará por los expertos en la materia, este aspecto de la presente invención puede incluir, y preferentemente incluye, una o más o todas las características preferidas y opcionales de la invención descritas en la presente. Así, por ejemplo, la tobera incluye preferentemente una o más de las características preferidas de la tobera descritas en la presente, tales como tener un borde posterior, ondulado, etc., y/o medios para permitir la inyección de un agente de extinción de incendio, etc.

Similarmente, se prefiere que cada una de las superficies interiores del agujero pasante de la tobera se encuentre en un ángulo de 15 grados o menos con respecto al eje de la tobera, dado que esto debe ayudar a evitar la separación de flujo de la tobera si esta ha de actuar como la única entrada de aire en una disposición bidireccional. Se prefiere además que el agujero pasante de la tobera converja a su área mínima de la sección transversal y diverja entonces nuevamente después de su punto de área mínima de la sección transversal, dado que esto debe ayudar nuevamente a evitar la separación del flujo en el plano de entrada cuando la tobera actúa como una entrada para un ventilador en una disposición bidireccional.

Por ejemplo, se proporciona preferentemente una transición abocinada después del punto donde el agujero pasante de la tobera ha convergido a su área mínima de la sección transversal.

La presente invención puede usarse para proporcionar ventilación de cualquier manera deseada y adecuada a un túnel. Se prevé que la presente invención tendrá una aplicación específica en los túneles vehiculares, tales como los

- túneles de carretera, de ferrocarril o de metro. Puede usarse además en otros túneles, por ejemplo, túneles de minas, de estaciones, o de cables. Debe apreciarse además aquí que las referencias a un "túnel" en la presente pretenden abarcar todas las formas con estructura de "túnel", ya sean total o parcialmente cerrados, en las cuales puede aplicarse la presente invención. Así, las referencias a un túnel en la presente abarcan además, por ejemplo, y a menos que el contexto lo requiera de cualquier otra manera, las chimeneas, los socavones, las galerías y los pasajes transversales (y la presente invención puede igualmente usarse y aplicarse en tales estructuras, si se desea). En una modalidad preferida, la invención se usa en un túnel vehicular.
- 5
- Los ensambles de ventilador de la presente invención pueden operarse durante el funcionamiento de cualquier manera deseada y adecuada (y deben incluir, o acoplarse a, durante el funcionamiento, los medios de control adecuados para este propósito). Por ejemplo, como se conoce en la técnica, los ventiladores pueden operarse para mejorar la calidad del aire en un túnel, o controlar el humo en el caso de un incendio en el túnel, y pueden controlarse para soplar en una u otra dirección a lo largo del túnel según se desee.
- 10
- Para proporcionar un flujo de aire bidireccional como se requiere normalmente para los túneles, los ensambles de ventilador en la proximidad de un pórtico pueden disponerse para dirigirse hacia el centro del túnel, y, por ejemplo, la lógica de control del ventilador puede disponerse para operar sólo los ventiladores en el pórtico de aguas arriba, mientras que se desactivarían los ventiladores en el pórtico de aguas abajo. Los ventiladores del medio del túnel pueden disponerse para soplar en la dirección adecuada.
- 15
- 20 Breve descripción de los dibujos
- Un número de modalidades preferidas de la presente invención se describirán ahora a modo de ejemplo solamente, y con referencia a los dibujos acompañantes, en los cuales:
- 25 La Fig. 1 muestra una primera modalidad de un aparato de ventilación instalado en la proximidad de un pórtico de túnel de acuerdo con la presente invención;
- La Fig. 2 muestra un dispositivo de ventilación bidireccional, en una tercera modalidad de la invención;
- 30 La Fig. 3 muestra una modalidad de la invención que tiene un diseño de tobera simétrica que usa curvas elípticas;
- La Fig. 4 muestra una modalidad de la invención que tiene un diseño de tobera asimétrica que usa curvas elípticas;
- 35 La Fig. 5 muestra una modalidad de un dispositivo de ventilación instalado en un nicho de túnel en la proximidad de un pórtico, con una tobera convergente asimétrica;
- La Fig. 6 muestra posibles disposiciones de un ensamble de ventilador para túneles de sección rectangular, en modalidades de esta invención;
- 40 La Fig. 7 muestra una tobera convergente de tipo lobulado sin centro de cuerpo;
- La Fig. 8 muestra un extremo de tobera convergente de tipo lobulado con un centro de cuerpo conformado;
- La Fig. 9 muestra una tobera convergente con bandas angulares en el borde posterior;
- 45 La Fig. 10 muestra una tobera convergente con un suministro de un agente de extinción de incendio en la garganta geométrica de la tobera;
- La Fig. 11 es un gráfico que ilustra las condiciones de funcionamiento de los ensambles de ventilador;
- 50 La Fig. 12 muestra un método para ventilar un túnel, con dos ensambles de ventilador instalados en la proximidad de un pórtico;
- La Fig. 13 muestra un dispositivo de ventilación bidireccional de flujo axial, sin un dispositivo de derivación en la parte frontal del ventilador; y
- 55 La Fig. 14 muestra un dispositivo de ventilación bidireccional, sin un dispositivo de derivación en la parte frontal del ventilador, y con un ángulo prescrito de la tobera.
- 60 La Fig. 15 muestra un dispositivo de ventilación unidireccional, con paletas de guía de entrada;
- La Fig. 16 muestra un dispositivo de ventilación bidireccional, diseñado para optimizar el ángulo de flujo de salida, mientras mantiene las holguras para la cubierta de tráfico;

La Fig. 17 muestra una vista posterior de un dispositivo de ventilación, que incluye una tobera convergente;

La Fig. 18 muestra una representación tridimensional de un dispositivo de ventilación bidireccional;

La Fig. 19 muestra una variación típica del impulso instalado como una función de la relación de área de la tobera, para un dispositivo de ventilación bidireccional;

Los números de referencia similares se usan para componentes similares en todas partes de las figuras.

10 Descripción detallada de las modalidades de la invención

Con referencia a la figura 1, esta muestra una vista lateral de una primera modalidad de esta invención.

En esta modalidad, un ensamble de ventilador que comprende un ventilador (2) se instala en la proximidad de un pódico de túnel (9). El flujo de aire (8) entra al ventilador (2) a través de una transición abocinada (1) y atraviesa los silenciadores de aguas arriba (3) y de aguas abajo (5) de un rotor del ventilador (4) que se soporta por un centro de cuerpo (20). El flujo de aire se dirige a través del agujero pasante (31) de una tobera convergente (7) (es decir una tobera cuyo agujero pasante disminuye en área de la sección transversal, en este caso a partir de su entrada hacia su salida) que puede dirigirse en un ángulo determinado (36) hacia la línea central del túnel (12) y que se aleja del sofíto del túnel (10) por la instalación de una pieza de transición en ángulo (6). El ángulo de flujo se dispone para evitar la unión del chorro al piso del túnel (11).

Como se mostró y se discutió anteriormente, la tobera converge hacia un área de la sección transversal que es menor que el área de la canalización que rodea el rotor del ventilador en la posición del rotor del ventilador. Esto significa que la tobera actuará para acelerar el flujo a partir de su velocidad cuando "abandona" el ventilador hasta una velocidad más alta cuando sale de la tobera.

La figura 2 representa una vista lateral de la tercera modalidad de esta invención, que proporciona un dispositivo de ventilación bidireccional que puede instalarse nuevamente en un túnel. El ejemplo proporcionado por la figura 2 muestra el flujo de aire (8) que fluye de izquierda a derecha, pero es posible además una dirección opuesta del flujo de aire de derecha a izquierda a través del mismo ensamble de ventilador. Un rotor de ventilador reversible (4) aspira aire a través de una tobera (7) y además a través de compuertas abiertas (14) que permiten un flujo de entrada que pasa por un lado de la tobera (7). La suma de las áreas libres para la entrada de aire a través de la tobera y las compuertas abiertas se dispone preferentemente para no ser menor que el área de la sección transversal de las canalizaciones en el rotor del ventilador. En la descarga del ventilador, las compuertas cerradas (15) dirigen el flujo hacia otra tobera convergente, que descarga el aire dentro del túnel.

Las palas en las compuertas abiertas (14) preferentemente se dispondrán para abrirse en ciertos ángulos, para minimizar la caída de presión aerodinámica a través de ellas. Tales ángulos de apertura garantizarán que las líneas de corriente del flujo corran suaves desde el túnel dentro del ensamble del ventilador.

La figura 3 muestra un método preferido para diseñar una tobera convergente (7) para su uso en el ensamble de ventilador (dispositivo de ventilación) de la presente invención, que usa curvas elípticas. En la entrada a la tobera, la elipse (17a) se dibuja con uno de sus ejes alineados con el plano de entrada de la tobera. Esto garantiza que la tangente a la elipse (17a) es paralela a la línea central (24) de la tobera (7), y por lo tanto reduce el riesgo de separación del flujo, y los subsecuentes problemas de caída de presión aerodinámica y de ruido. Una segunda elipse (17b) se dibuja con uno de sus ejes alineados con el plano de salida de la tobera. Esto garantiza que la tangente a la elipse (17b) es paralela a la línea central (24) de la tobera (7), y por lo tanto es probable que la tobera produzca una distribución de flujo uniforme en su escape. En el punto de encuentro entre las curvas elípticas (17a) y (17b), las dos curvas elípticas son tangenciales, y por lo tanto sus gradientes son idénticos. Esta es una consideración importante, para evitar cualquier posible separación del flujo en el punto de encuentro entre las dos curvas elípticas. En este ejemplo de tobera simétrica, la mitad restante de la tobera se diseña para ser idéntica a la primera mitad, reflejada sobre su línea central (24). Es posible además aproximar las elipses usando curvas circulares, aunque se aplican aquí las mismas consideraciones aerodinámicas descritas.

La figura 4 muestra un método preferido para diseñar una tobera convergente asimétrica (7) para su uso en el ensamble de ventilador (dispositivo de ventilación) de la presente invención. En una tobera convergente asimétrica, la línea central (24) del escape de la tobera no coincide con la línea central (25) de la entrada de la tobera. Tales toberas asimétricas son más beneficiosas en los casos donde el dispositivo de ventilación se ha de instalar en una ampliación local o nicho en el túnel (ver la figura 5), o donde se requiere una reducción en el efecto Coanda. Similar al diseño preferido de una tobera simétrica, las curvas elípticas (17a, 17b) se presentan en la figura 4 para construir la parte superior de la tobera, mientras que se emplea un conjunto diferente de dos curvas elípticas para construir la parte inferior de la tobera. En las localizaciones de entrada y de salida a la tobera, las curvas elípticas se dibujan con

uno de sus ejes alineados con dichas localizaciones de entrada y de salida. En el punto de encuentro entre las curvas elípticas (17a) y (17b), las dos curvas elípticas son tangenciales, y por lo tanto sus gradientes son idénticos. Es posible además nuevamente aproximar las elipses usando curvas circulares.

5 La figura 5 muestra la instalación de un ensamble de ventilador que comprende una tobera (7) como se muestra en la figura 4 en un nicho del techo del túnel.

10 La figura 6 indica una disposición preferida de los ensambles de ventilador dentro de un túnel de carretera de sección rectangular. Esta figura muestra que el espacio requerido para esta invención no es mayor que el requerido para las turbinas convencionales, pero con la ventaja significativa de un impulso aerodinámico más alto que es disponible a partir de la invención.

15 La figura 7 representa una tobera convergente (7) con múltiples lóbulos (16) en su borde posterior, diseñados para reducir la producción de ruido, y para acortar la longitud efectiva del chorro de aire aguas abajo de la tobera convergente. La figura 7 muestra una solución preferida con cinco lóbulos, aunque una tobera con dos o más lóbulos también tendrá propiedades acústicas y de arrastre de chorro mejoradas.

20 La figura 8 muestra una vista posterior de los bordes posteriores de una tobera convergente con un número de lóbulos, que tiene el efecto de reducir el ruido generado por la tobera, y aumentar la tasa de arrastre dentro del chorro. El ejemplo proporcionado en la figura 8 muestra un borde posterior (21) de la tobera con ocho lóbulos, que se reproducen en un centro de cuerpo (20) del ventilador conformado con el mismo número de lóbulos. En esta modalidad, los lóbulos en el borde posterior de la tobera y el centro de cuerpo del ventilador se disponen uno frente al otro, de manera que se mantiene una distancia radial L en términos generales constante entre el centro de cuerpo del ventilador y la superficie interior de la tobera (21) alrededor de la circunferencia de la salida de la tobera.

25 La figura 9 muestra una tobera convergente (7) con un centro de cuerpo de ventilador (20) en la cual el borde posterior de la tobera se conforma con lengüetas o bandas angulares (27) que se encuentran alrededor de la línea media (23) del borde posterior de la tobera. Las lengüetas o bandas angulares pueden tener una variedad de formas, que incluyen formas en V o formas en U, y pueden curvarse o doblarse de tal manera a fin de sobresalir dentro de la corriente de aire del túnel. Estos salientes ayudan a mezclar los flujos de aire del túnel y la tobera, y por lo tanto sirven para mejorar el rendimiento acústico y aerodinámico de la tobera.

30 Un propósito clave de la ventilación del túnel es controlar la propagación del humo de los incendios, y la invención actual puede proporcionar un medio para extinguir activamente el desarrollo de tales incendios en túneles.

35 La Fig. 10 proporciona una ilustración de una modalidad de esta invención que puede lograr esto.

40 En esta modalidad, la tobera (7) incluye un medio para inyectar un agente de extinción de incendio dentro del flujo de aire, que comprende una o más toberas hidráulicas (29) alimentadas por una tubería de suministro (28) que se instala dentro de la tobera convergente (7), para descargar el agente de extinción de incendios dentro de la tobera durante el funcionamiento.

45 En esta modalidad, en el caso de una alarma de incendio confirmada, se descarga un agente de extinción de incendio (por ejemplo niebla de agua) aguas abajo del ventilador, dentro de la garganta geométrica (30) de la tobera, justo aguas arriba del borde posterior de la tobera, donde las velocidades del aire dentro de la canalización son altas, y las presiones estáticas correspondientes son bajas. El agente de extinción de incendios se transportará por las altas velocidades del aire dentro de la tobera, y se propaga a lo largo del túnel mediante el chorro que se expande rápidamente aguas abajo de la tobera convergente (7). Una cobertura completa del túnel puede proporcionarse a partir de un número limitado de dispositivos de ventilación.

50 Una gama de agentes de extinción de incendios a base de agua y gaseosos estarían disponibles y serían apropiados para su consideración. Por ejemplo, partículas de niebla fina de agua pueden transportarse una distancia considerable aguas abajo de un túnel, antes de caer al piso del túnel debido a la acción de la gravedad, o combinarse en partículas de agua más grandes.

55 En una modalidad preferida, el silenciamiento acústico se proporciona a través de la provisión de un material absorbente en la superficie interna de la tobera. El material absorbente se especifica preferentemente como una fibra mineral de calidad acústica con una orientación resistente a la erosión, protegida y contenida por una lámina de acero perforada. Esto puede conducir a una reducción en la longitud total del aparato de ventilación, dado que cualquier silenciador separado de ventilador (5) puede reducirse en longitud, o incluso omitirse.

60 Si se emplea un centro de cuerpo extendido (20) de ventilador, entonces el silenciamiento adicional es posible mediante la instalación de un material absorbente en la superficie externa del centro de cuerpo.

65 Como se discutió anteriormente, la invención actual puede usarse para mejorar el impulso obtenido a partir de los

ventiladores que ya están instalados en los túneles, mediante la colocación de una tobera convergente en uno o ambos lados de un ventilador.

5 La Fig. 11 es un gráfico que muestra una curva característica de un ventilador ilustrativo (P vs V, donde P es la presión y V es la tasa de flujo volumétrico) e ilustra los cambios en los puntos de funcionamiento cuando una tobera se ajusta a un ventilador. La figura indica que cuando una tobera se ajusta a un ventilador, la tasa de flujo volumétrico cae desde V_1 , hasta V_2 . Sin embargo, V_2 es todavía mayor que V'_1 , donde V'_1 se encuentra en una línea de alimentación constante V_1 . Por lo tanto, siempre y cuando el nuevo punto de funcionamiento esté por debajo de la línea de parada del ventilador, es probable que la instalación de una tobera convergente conduzca a un aumento del impulso producido por el ventilador. La razón de esto es que una característica de presión del ventilador frente a la tasa de flujo volumétrico para una velocidad dada y una configuración de las hojas es generalmente más empinada que una relación de potencia constante entre la presión y la tasa de flujo volumétrico, cuando se compara el punto de operación modificado con el punto de funcionamiento original. La demanda de energía del ventilador es probable que se eleve con la instalación aguas abajo de una tobera convergente, y una gran proporción de esta energía se transferirá al flujo de aire, que conduce a un aumento del impulso aerodinámico.

20 Cuando se usa una tobera en la forma de la presente invención en el lado de descarga del ventilador después con el fin de lograr, en comparación con el impulso generado por una turbina sin toberas, una mejora en el impulso de un dispositivo de ventilación, la característica del ventilador (la curva P vs V para el ensamble del ventilador) del ensamble de ventilador se configura preferentemente para que sea suficientemente 'empinada' para satisfacer:

$$-\frac{\partial P}{\partial V} > \frac{2\rho V_j^2}{V} \quad \text{Ecuación 4}$$

donde

- 25 V = Flujo volumétrico de aire a través del dispositivo de ventilación [m^3 por segundo]
 P = Presión estática del ventilador [Pascal]
 V_j = Velocidad del chorro de aire [metros por segundo]
 ρ = Densidad del aire (del fluido en cuestión) [kilogramos por m^3]

30 Se ha hecho un número de suposiciones simplificadoras en la derivación de la Ecuación 4 anterior, que incluyen:

- La caída de presión a través de la tobera se supone que domina la caída total de presión del ventilador;
- La velocidad del chorro V_j se supone que es mucho mayor que la velocidad del aire en el túnel V_T ;
- La característica del ventilador (la curva $P - V$) se supone que es lineal dentro del intervalo relevante.

35 • El rozamiento pelicular dentro de la tobera se supone que es pequeño.

40 La Fig. 12 ilustra cómo múltiples ensambles de ventilador pueden disponerse en la proximidad de un pórtico, con el objetivo de generar el impulso longitudinal requerido. Dos ensambles de ventilador se representan en la Fig. 12, aunque puede emplearse cualquier número de ensambles de ventilador, hasta los límites geométricos de un túnel específico. Los ensambles de ventilador se configuran para conducir el flujo de aire hacia el pórtico lejano. El impulso longitudinal generado en el flujo de aire del túnel es la suma de los valores individuales de los impulsos proporcionados por cada ensamble de ventilador. Se requeriría otro conjunto de ensambles de ventilador en la proximidad del pórtico lejano, para proporcionar la facilidad para conducir el flujo de aire en la dirección opuesta.

45 En el método ilustrado en la Fig. 12, uno o más ensambles de ventilador en un pórtico específico pueden ser operativos en cualquier instante en el tiempo, para generar un impulso aerodinámico en la dirección deseada. Donde se requiere una presurización positiva del túnel, con el objetivo de impedir la entrada de humo desde un túnel, chimenea o pasaje transversal adyacente, los ensambles de ventilador en ambos conjuntos de pórticos pueden operarse simultáneamente. Al encender un número desigual de ensambles de ventilador en los dos pórticos, es posible presurizar positivamente el túnel, mientras se logra aún un impulso longitudinal neto.

50 Los requisitos de cableado para los ensambles de ventilador de un túnel se minimizan de las siguientes maneras por esta invención:

- La mejora de impulso aerodinámico debido a montar las toberas significa que necesitan instalarse menos ensambles de ventiladores;
- Los primeros conjuntos de ensambles de ventilador se encuentran normalmente en los dos pórticos, que suelen ser los puntos más cercanos a las fuentes de alimentación;
- La invención permite que el chorro de aire en la descarga desde el ensamble de ventilador se dirija hacia abajo hacia la línea central del túnel, y por lo tanto es menos probable que cualquier cantidad de aire de alta velocidad se alimente dentro de un ensamble del ventilador posterior. La regla de diseño de proporcionar diez diámetros hidráulicos de túnel entre las turbinas puede por lo tanto relajarse con esta invención, que conduce a recorridos más cortos de cable;
- Dado que las reglas normales de diseño para la separación longitudinal entre los ensambles de ventilador pueden relajarse, el problema del daño potencial a múltiples ensambles de ventilador debido a un incendio

se hace más importante. Sin embargo, la distancia mínima entre los ensambles de ventilador para garantizar que un incendio en un ensamble de ventilador no provoque un mal funcionamiento de un ensamble de ventilador aguas abajo puede reducirse, al especificar ventiladores clasificados para operar a altas temperaturas (por ejemplo 400 °C durante dos horas).

5 Las figuras 13 y 14 muestran métodos para construir un dispositivo de ventilación bidireccional, sin la necesidad de ninguna compuerta de derivación en la parte frontal del ventilador. Los ejemplos proporcionados en las figuras 13 y 14 muestran el flujo de aire (8) que fluye de izquierda a derecha, pero es posible además una dirección opuesta del flujo de aire de derecha a izquierda a través de los mismos ensambles de ventilador. Los ejemplos proporcionados en las figuras 13 y 14 muestran superficies de tobera rectas, con cada uno de los ángulos de superficie de la tobera (32) dispuestos para ser de 15 grados o menos con respecto al eje del ventilador, con el objetivo de evitar la separación de flujo dentro de la tobera en el lado de entrada del ensamble de ventilador. La introducción de las transiciones abocinadas (1) ayuda a garantizar que no haya separación de flujo en la toma de la tobera de entrada. La figura 13 indica un dispositivo de ventilación con una dirección de flujo que es paralela al eje del ventilador, y la figura 14 muestra piezas de transición en ángulo (6) que proporcionan un ángulo de la tobera (26) de hasta 15 grados, con el objetivo de reducir el efecto Coanda y por lo tanto mejorar el impulso aerodinámico generado en un túnel.

20 Puede haber ventajas significativas en no usar las compuertas de derivación, debido a la ausencia de partes móviles adicionales. Tales partes móviles pueden presentar un pequeño riesgo de no funcionamiento cuando sea necesario, y pueden requerir mantenimiento o reemplazo dentro de la vida útil del dispositivo de ventilación.

25 Suponiendo que las áreas de la sección transversal de la entrada y la descarga de la tobera son iguales, la caída adicional de presión ΔP debido al flujo dentro de la tobera de entrada en estas disposiciones se puede estimar como:

$$\Delta P = \frac{1}{2} K_{in} \rho V_f^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

30 donde K_{in} = Coeficiente de pérdida de flujo de entrada (≈ 0.2 a 0.3)
La caída de presión a través de la tobera de entrada se estima así que ser aproximadamente la mitad del valor esperado a través de la tobera de descarga (Ecuación 3).

35 En vista de esta caída de presión adicional en el lado de entrada, con el objetivo de lograr una mejora en el impulso de un dispositivo de ventilación bidireccional con toberas en ambos lados (y sin ningún tipo de compuertas de derivación) en comparación con el impulso generado por una turbina sin toberas, la característica del ventilador, en este caso se configura preferentemente para ser suficientemente 'empinada' para satisfacer

$$-\frac{\partial P}{\partial V} > \frac{2(1+K_{in})\rho V_f^2}{V} \quad \text{Ecuación 6}$$

- 40 Un número de suposiciones simplificadoras se han hecho en la derivación de la Ecuación 6 anterior, que incluyen:
- Se supone que las caídas de presión a través de las toberas de entrada y de escape dominan la caída total de presión del ventilador;
 - Se supone que la velocidad del chorro V_f es mucho mayor que la velocidad del aire del túnel V_f ;
 - La característica del ventilador (la curva $P - V$) se supone que es lineal dentro del intervalo relevante.
 - El rozamiento pelicular dentro de las toberas se supone que es pequeño.

50 La Fig. 15 muestra un método para mejorar el impulso de un dispositivo de ventilación unidireccional, con el fluido que fluye de izquierda a derecha. Las paletas de guía de entrada (35) se instalan aguas arriba del rotor del ventilador, con el objetivo de alinear el flujo de aire de entrada con las hojas del rotor. Esto tiene el efecto de aumentar la presión de descarga y el gradiente de la característica del ventilador (la curva $P - V$), ambos de los cuales sirven para mejorar el impulso procedente del dispositivo de ventilación. Los cálculos indican que con esta disposición se puede lograr una mejora en el impulso de hasta un 20%, en comparación con el caso equivalente sin una tobera.

60 Adicionalmente a la mejora del impulso debido al aumento en la velocidad de descarga, un aumento adicional del impulso a partir del dispositivo de ventilación durante el funcionamiento se logra a través de la mejora de la eficiencia de la instalación, η_j . Se sabe que si una turbina se localiza adyacente a la pared del túnel, $\eta_j = 0.85$ y para una turbina en una esquina de un túnel de sección transversal rectangular, $\eta_j = 0.73$. Al inclinar el chorro de descarga hacia la línea central del túnel, se pueden lograr valores de eficiencia de la instalación casi de la unidad ($\eta_j \sim 1$). La mejora en el impulso debido al aumento de la eficiencia de la instalación es de hasta un 18% para una turbina localizada

adyacente a una pared del túnel, y de hasta un 37% para una turbina localizada en una esquina de un túnel rectangular.

5 Las mejoras en el impulso debido al aumento de la velocidad de descarga y las debidas al aumento de la eficiencia de la instalación son multiplicativas. Por ejemplo, suponiendo un aumento del 20% en el impulso debido al aumento de la velocidad, y para una turbina localizada en una esquina de un túnel rectangular, la mejora general en el impulso sería de hasta $(1.20 \times 1.37 = 1.644)$, o un aumento en el impulso de un 64%.

10 La mejora en el impulso proporcionada por el dispositivo de ventilación en la Fig. 15 se obtiene sin la tobera que incide sobre el espacio de tráfico en el túnel, dado que la parte inferior del dispositivo de ventilación se mantiene horizontal. La deflexión hacia abajo del flujo de fluido se logra al disponer que el ángulo de convergencia (33) de la tobera sea aproximadamente dos veces el ángulo de flujo (36).

15 La Fig. 16 muestra una modalidad de la invención diseñada para optimizar el ángulo de flujo de salida, mientras se mantienen las holguras para la cubierta de tráfico. Esto permite un aumento significativo en la eficiencia de la instalación para un dispositivo de ventilación bidireccional, sin la instalación de ningún dispositivo de derivación (por ejemplo las compuertas), ni el uso de palas de rotor reversibles convencionales. Basado en la mejora en la sola eficiencia de la instalación (es decir sin la consideración de la aceleración del flujo a través de la tobera de descarga), están disponibles mejoras en el impulso de hasta 18% para una turbina localizada adyacente a una pared del túnel, y de hasta 37% para una turbina localizada en una esquina de un túnel rectangular.

20 Una ventaja clave de esta invención es que la mejora en la eficiencia de la instalación puede obtenerse con el dispositivo de ventilación que se instala muy cerca al soffito y las paredes del túnel, con sólo la consideración práctica de montar el ventilador (por ejemplo, usando soportes antivibración) y el acceso de mantenimiento que limita la distancia entre el ventilador y las superficies sólidas del túnel. En una aplicación, se obtuvo una reducción en la holgura física de 200 mm a 50 mm, lo que conduce a una reducción de ancho global de 300 mm en un túnel, que a su vez ofrece reducciones significativas en los costos de construcción de túneles.

25 Esta invención tiene varias ventajas en comparación con la práctica de instalar paletas de guía en el extremo de salida de los silenciadores, con el objetivo de dirigir el flujo hacia la línea central del túnel. Una ventaja es que la caída de presión asociada con una tobera convergente puede disponerse para que sea significativamente menor que la que se produce a través de las paletas de guía de salida. Otra ventaja clave es que mientras que esta invención se puede usar en un modo bidireccional, hay considerables dificultades en usar las paletas de guía en el modo inverso, es decir cuando las paletas de guía están en el lado de entrada del dispositivo de ventilación, debido a la alta caída de presión asociada con tal disposición de flujo. La práctica de usar una tobera convergente que se dirige hacia la línea central del túnel supera los problemas asociados con el uso de paletas de guía de salida.

30 La Fig. 17 muestra una vista posterior de un dispositivo de ventilación con la tobera convergente propuesta que apunta hacia abajo, es decir que se aleja del soffito del túnel, con el objetivo de minimizar el efecto Coanda, y por lo tanto maximizar el impulso instalado.

35 La Fig. 18 muestra una vista tridimensional de un dispositivo bidireccional de ventilación para un túnel. En esta modalidad específica de la invención, las toberas se disponen de una manera axial, es decir no se dirigen hacia la línea central del túnel. Sin embargo generalmente, hay ventajas aerodinámicas significativas en disponer que las toberas se orienten hacia la línea central del túnel.

40 La Fig. 19 muestra una variación típica del impulso como una función de la relación de área de la tobera, para el dispositivo bidireccional indicado en la Fig. 16 y la Fig. 17. El ventilador en este caso es un ventilador de 1120mm de diámetro, verdaderamente reversible, de 4 polos, 50 Hz, 1440 rpm, con 36° de ángulo de pala. Esto muestra que es posible una mejora pico en el impulso instalado de un 17% con un área de descarga de la tobera de 1020 mm, debido a un aumento de la eficiencia de la instalación y una mayor velocidad del aire de descarga.

Leyenda de símbolos

1	Transición abocinada
2	Ventilador
3	Silenciador de entrada
4	Rotor del ventilador
5	Silenciador
6	Pieza de transición en ángulo
7	Tobera convergente

ES 2 413 329 T3

8	Dirección del flujo de aire
9	Pórtico del túnel
10	Sofito del túnel
11	Piso del túnel
12	Línea central del túnel
13a, 13b	Impelente
14	Compuerta abierta
15	Compuerta cerrada
16	Lóbulo
17a, 17b	Curvas elípticas
18	Impelente de entrada de aire
19	Cubierta de tráfico
20	Centro de cuerpo de ventilador
21	Borde posterior de tobera
22	Trayectoria de aire
23	Línea media del borde posterior de la tobera
24	Línea central del escape de la tobera
25	Línea central del ventilador
26	Ángulo de la tobera
27	Lengüeta/banda angular
28	Tubería de suministro
29	Tobera de niebla de agua
30	Garganta geométrica
31	Agujero pasante de la tobera
32	Ángulo de superficie de la tobera
33	Ángulo de convergencia de la tobera
34	Escuadra de soporte
35	Paleta de guía de entrada
36	Ángulo de flujo

REIVINDICACIONES

1. Un ensamble de ventilador para su instalación en un túnel para proporcionar ventilación en el túnel, el ensamble de ventilador que comprende:
- 5 un ventilador (2) para generar un flujo de ventilación (8); y
 una tobera (7) que tiene un agujero pasante (31) acoplada al ventilador;
 el ensamble que se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del ensamble para entrar a un túnel a ser ventilado; y
- 10 **caracterizado porque** la tobera (7) que tiene el agujero pasante (31) se acopla al ventilador de manera que el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°; y el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, con la relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera que se encuentra en el
- 15 intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar un flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador (4) a través de la tobera antes de la descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.
- 20
2. El ensamble de ventilador de la reivindicación 1, en donde la tobera tiene una salida y una entrada, y la línea central (24) de la salida de la tobera no es coincidente con la línea central (25) de la entrada de la tobera.
3. El ensamble de ventilador de una de las reivindicaciones precedentes, en donde el ventilador es capaz de soplar bidireccionalmente, la tobera se acopla en un lado del ventilador y el ensamble de ventilador comprende además:
- 25 una segunda tobera que tiene un agujero pasante acoplada en el otro lado del ventilador de manera que el ángulo entre el flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°;
 en donde:
- 30 el área de la sección transversal del agujero pasante de la segunda tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar un flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la tobera antes de la descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad más
- 35 alta en la descarga de la tobera dentro del túnel; y
 el ensamble se dispone o puede disponerse de manera que:
 un flujo de ventilación generado por el ventilador en una dirección atravesará el agujero pasante de la primera tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado; y de manera que:
 un flujo de ventilación generado por el ventilador en la dirección opuesta atravesará el agujero pasante de
- 40 la segunda tobera antes de salir del ensamble para entrar en un túnel a ser ventilado.
4. El ensamble de ventilador de la reivindicación 3, en donde se montan medios de derivación entre cada tobera y el ventilador para permitir un flujo de entrada al ventilador que no pasa por la tobera.
- 45
5. El ensamble de ventilador de una de las reivindicaciones anteriores en donde el ensamble de ventilador incluye medios para permitir la inyección de un agente de extinción de incendio dentro del flujo de ventilación aguas abajo del ventilador.
6. Un sistema de ventilación para un túnel que comprende:
- 50 uno o más ensambles de ventilador instalados en un túnel y dispuestos para ser capaces de generar un flujo de ventilación a lo largo del túnel durante el funcionamiento;
 y en donde al menos uno de los ensambles de ventilador instalados en el túnel comprende un ensamble de ventilador como se reivindica en una de las reivindicaciones anteriores.
7. El sistema de ventilación para un túnel de la reivindicación 6 en donde el al menos un ensamble de ventilador se instala en el túnel de manera que el flujo desde la tobera se dirige hacia la línea central del túnel en un ángulo de hasta 15 grados con relación al eje longitudinal del túnel.
8. El sistema de ventilación para un túnel de la reivindicación 6 o 7 en donde dicho túnel tiene dos pórticos (9), dicho sistema de ventilación para un túnel que comprende además dos ensambles de ventiladores como se reivindica en una de las reivindicaciones 1 a 5, uno de dichos ensambles de ventilador que se instala en cada pórtico del túnel.
- 60
9. Un método para ventilar un túnel, que comprende:
 generar un flujo de ventilación a lo largo de la longitud del túnel usando un ventilador instalado en el túnel;

- 5 pasar el flujo de ventilación procedente del ventilador a través del agujero pasante de una tobera que se
 10 acopla al ventilador y se monta de manera que el ángulo entre la dirección del flujo que sale de la tobera y
 el eje de rotación del ventilador se encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°, **caracterizado porque** el
 agujero pasante de la tobera se conforma de manera que el área de la sección transversal del agujero
 pasante de la tobera disminuye en la dirección que se aleja del ventilador, con la relación del área de la
 sección transversal del ventilador al área mínima de la sección transversal del agujero pasante de la tobera
 que se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará
 para acelerar el flujo de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del
 ventilador a través de la tobera antes de la descarga dentro del túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo
 de ventilación a partir de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una
 segunda velocidad más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel.
- 15 **10.** El método de la reivindicación 9, que comprende inyectar un agente de extinción de incendio a través de la
 tobera dentro del flujo de ventilación aguas abajo del ventilador.
- 11.** El método de la reivindicación 9 o 10, que comprende disponer el ventilador y la tobera en el túnel de manera
 que el flujo procedente de la tobera se dirige hacia la línea central del túnel en un ángulo de hasta 15 grados con
 relación al eje longitudinal del túnel.
- 20 **12.** Un método para modificar un ensamble de ventilador que comprende un ventilador dispuesto para proporcionar
 un flujo de ventilación en un túnel, el método que comprende:
 acoplar al ventilador (2) una tobera (7) que tiene un agujero pasante (31), de manera que:
 el ángulo (36) entre la dirección del flujo que sale de la tobera y el eje de rotación del ventilador se
 encuentra dentro del intervalo de 0° a 15°;
 25 el ensamble acoplado del ventilador y la tobera se dispone o puede disponerse de manera que un flujo de
 ventilación generado por el ventilador atravesará el agujero pasante de la tobera antes de salir del
 ensamble para entrar en el túnel a ser ventilado;
 de manera que el área de la sección transversal del agujero pasante de la tobera disminuye en la dirección
 que se aleja del ventilador de manera que la tobera durante el funcionamiento actuará para acelerar el flujo
 30 de ventilación procedente del ventilador a medida que pasa desde el rotor del ventilador a través de la
 tobera antes de la descarga dentro de un túnel a fin de aumentar la velocidad del flujo de ventilación a partir
 de una primera velocidad impartida al flujo en el ventilador por el ventilador hasta una segunda velocidad
 más alta en la descarga de la tobera dentro del túnel; y
caracterizado porque la relación del área de la sección transversal del ventilador al área mínima de la sección
 35 transversal del agujero pasante de la tobera se encuentra en el intervalo de 1.05 a 5.0, cuya área de la sección
 transversal disminuye en una dirección a lo largo del agujero pasante de manera que el flujo desde el rotor del
 ventilador a través de la tobera **en esa** dirección se acelerará por la tobera.
- 40 **13.** El método de la reivindicación 12, en donde la tobera incluye medios para permitir la inyección de un agente de
 extinción de incendio dentro del flujo de ventilación aguas abajo del ventilador.
- 14.** El método de la reivindicación 12 o 13, en donde la tobera se acopla en un lado del ventilador y que comprende
 además acoplar al otro lado del ventilador una segunda tobera que tiene un agujero pasante que tiene un primer
 extremo cuya área de la sección transversal es mayor que el área de la sección transversal de su otro extremo.
- 45 **15.** El método de la reivindicación 14, que comprende montar medios de derivación entre cada tobera y el ventilador
 para permitir un flujo de entrada al ventilador que no pasa por la tobera.

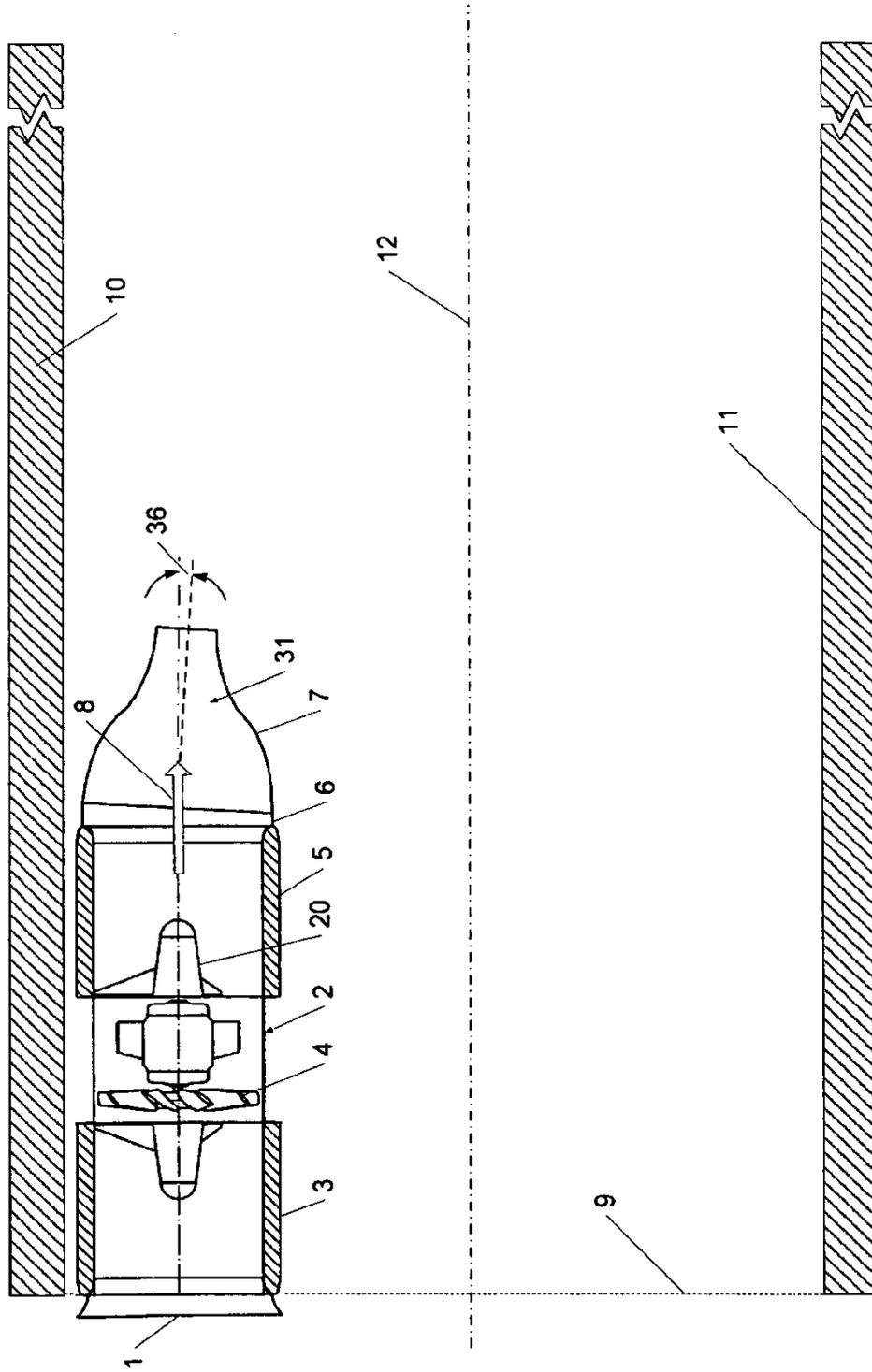


Fig. 1

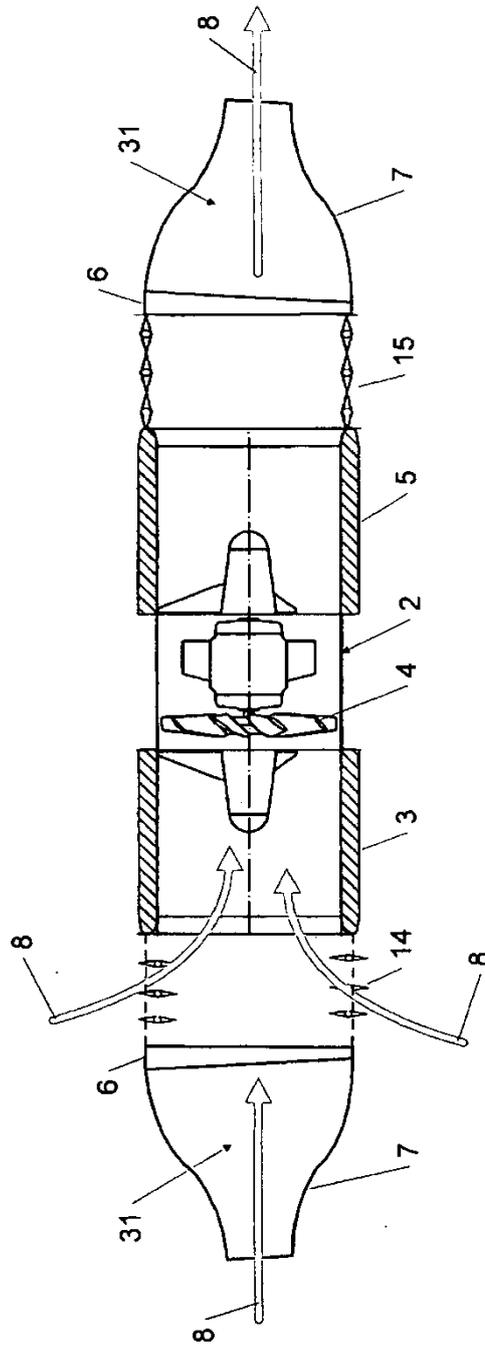


Fig. 2

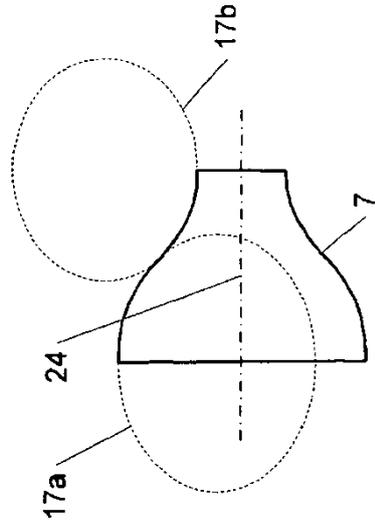


Fig. 3

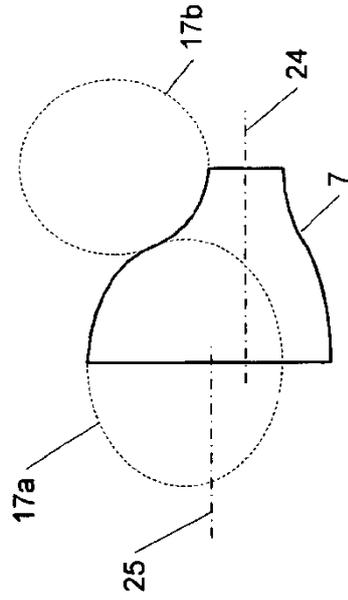


Fig. 4

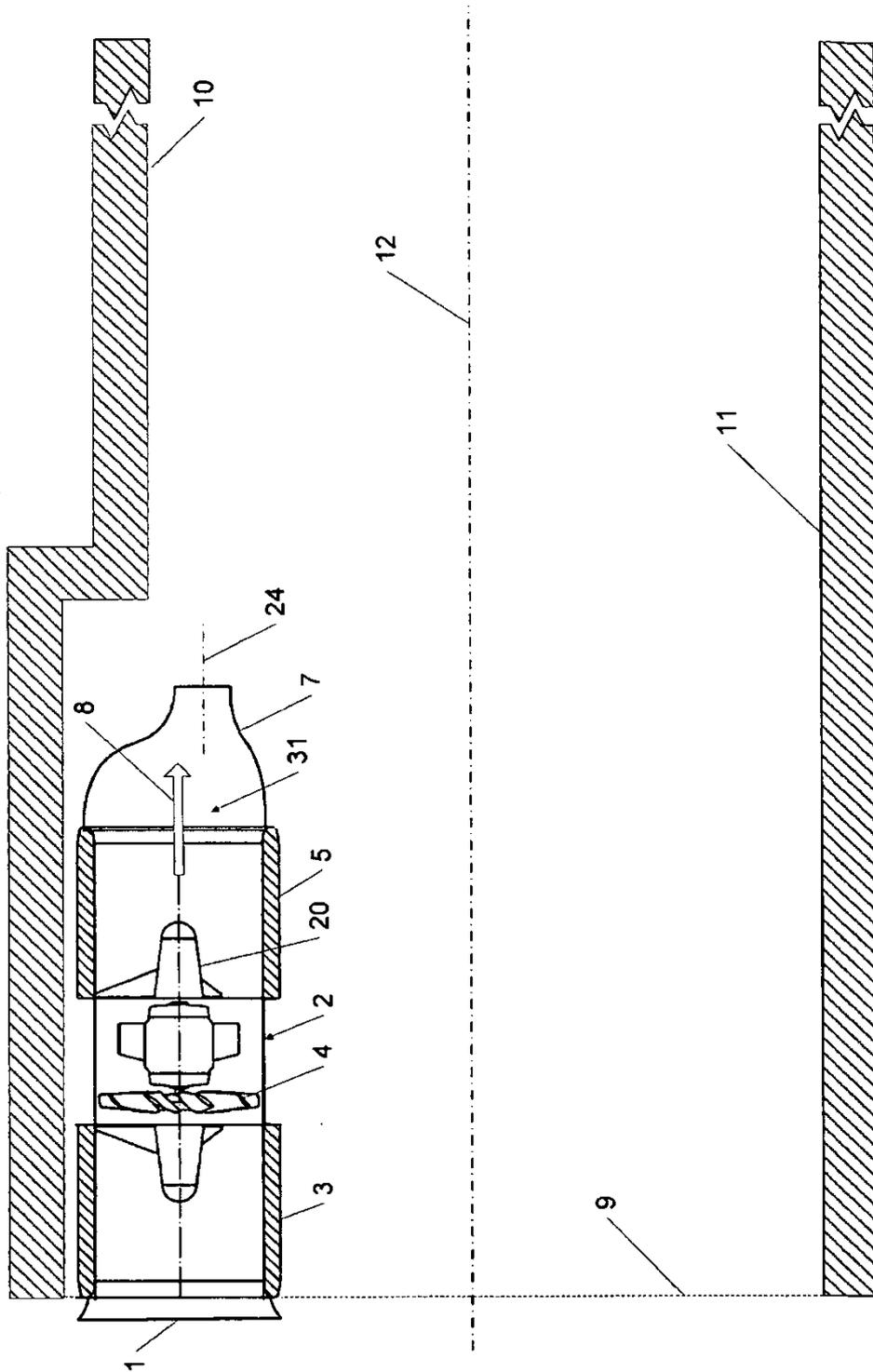


Fig. 5

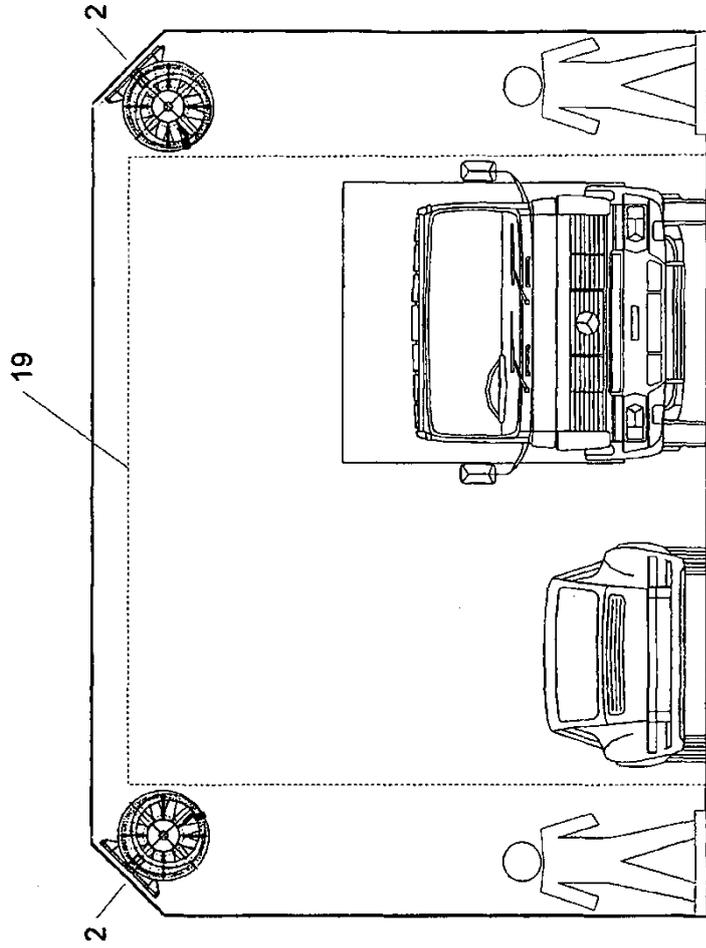


Fig. 6

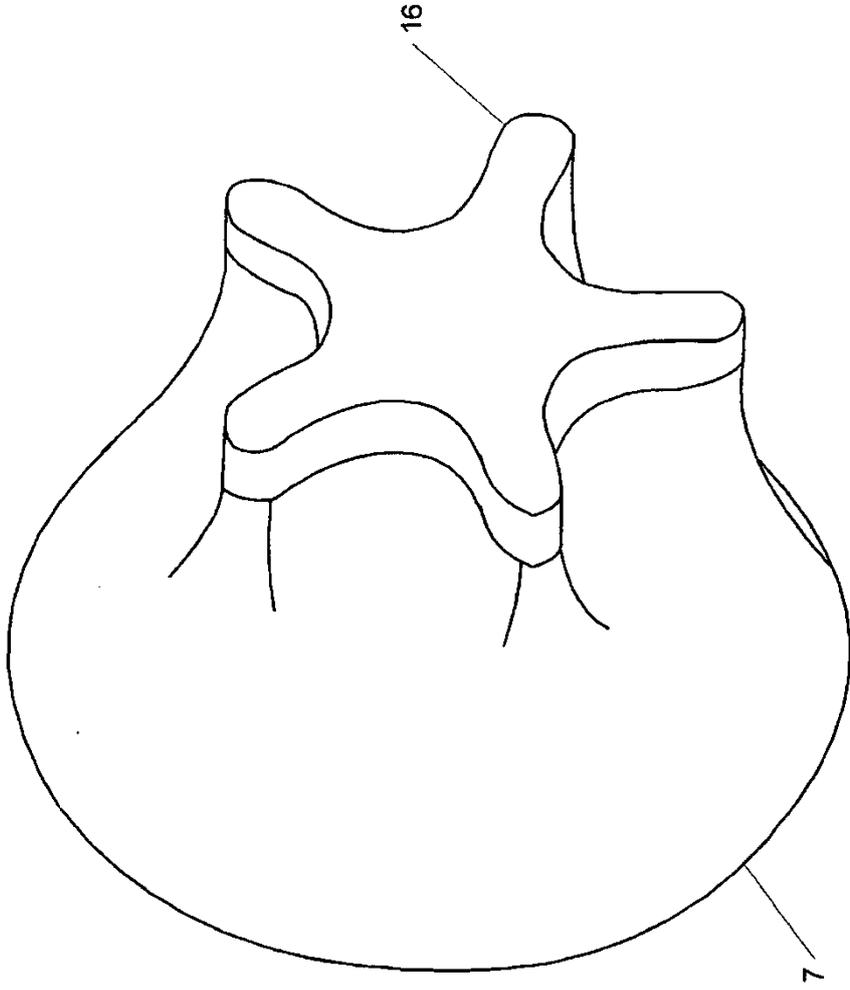


Fig. 7

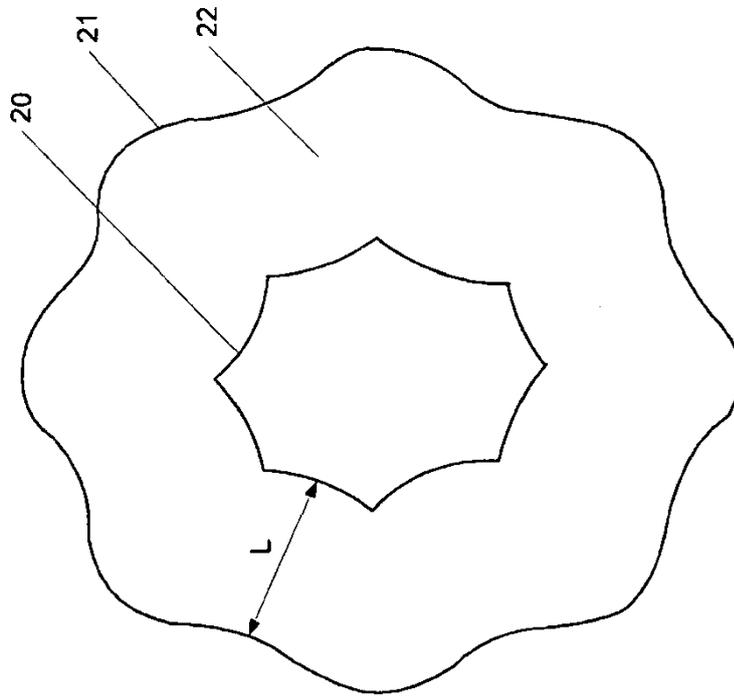


Fig. 8

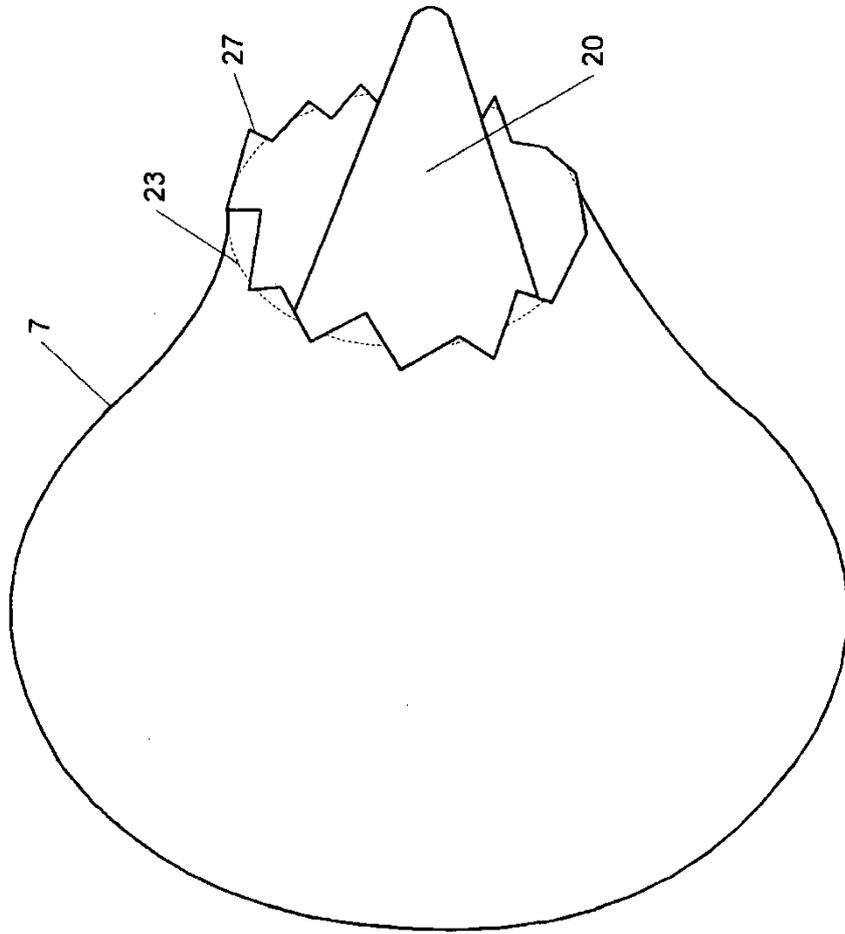


Fig. 9

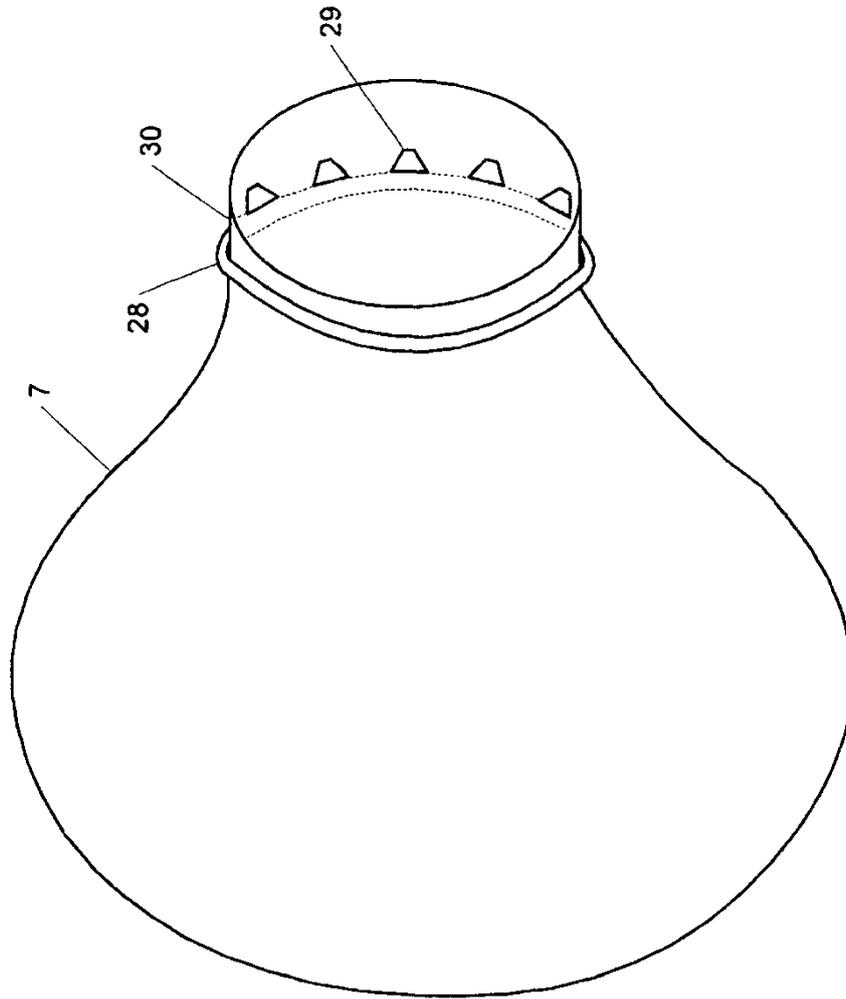


Fig. 10

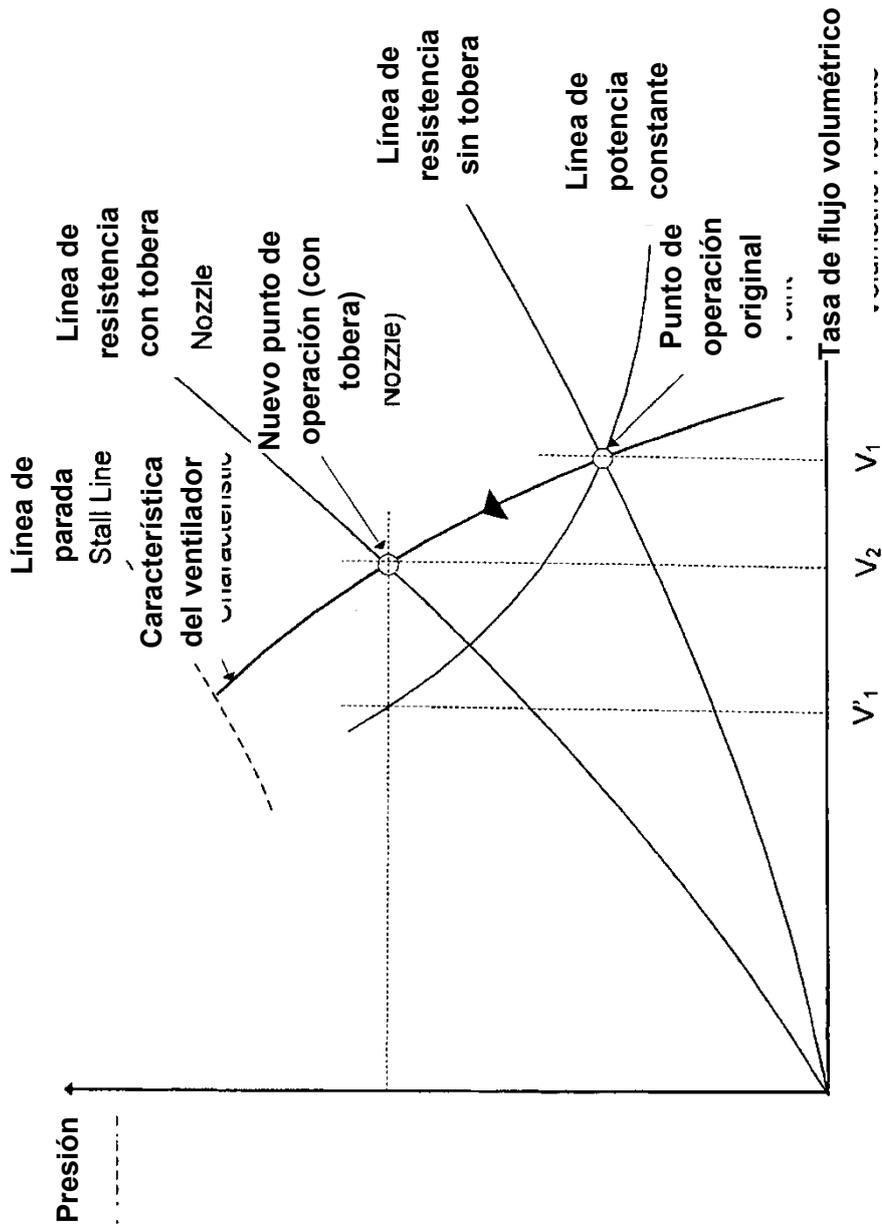


Fig. 11

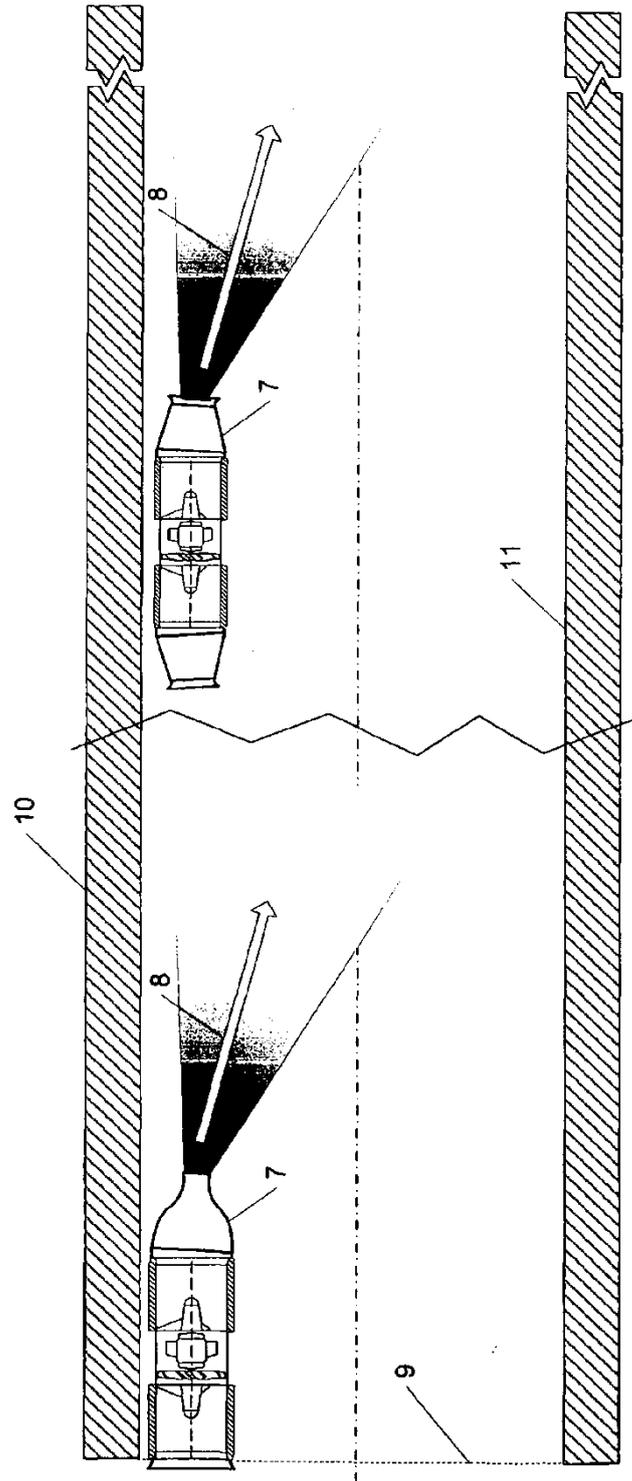


Fig. 12

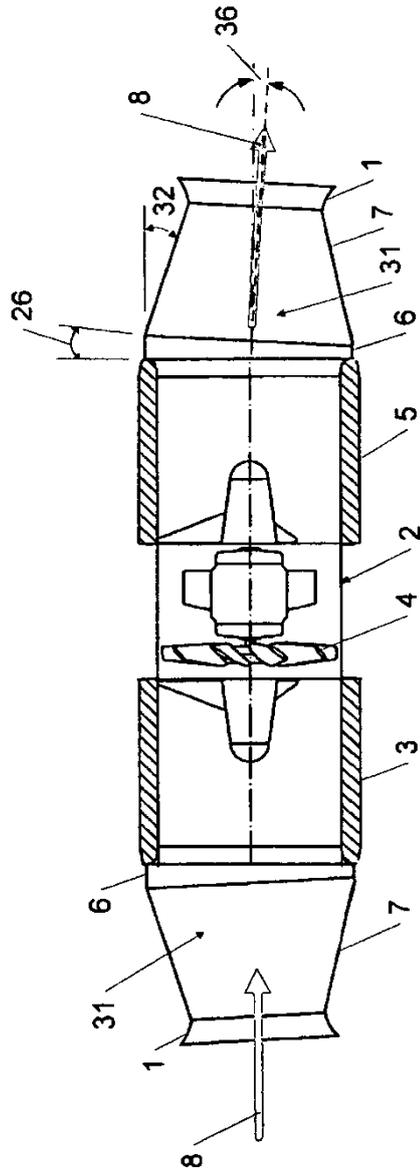


Fig. 14

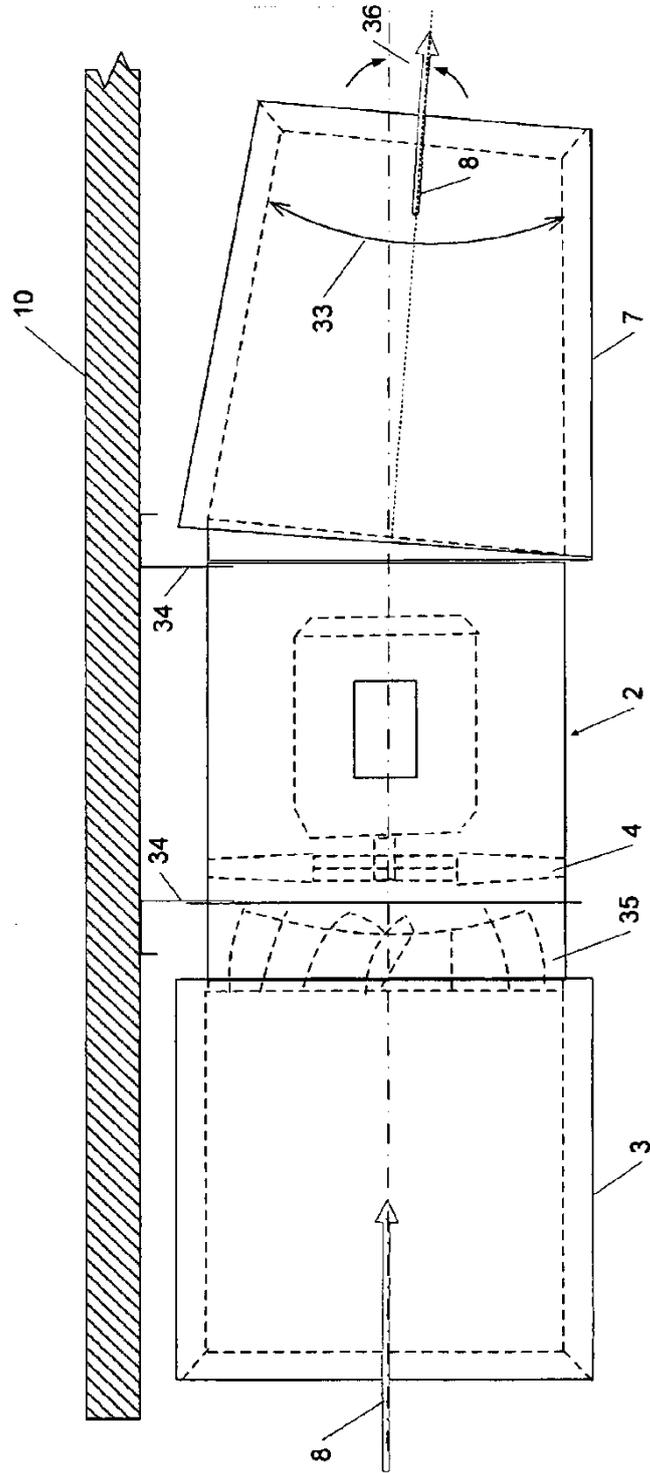


Fig. 15

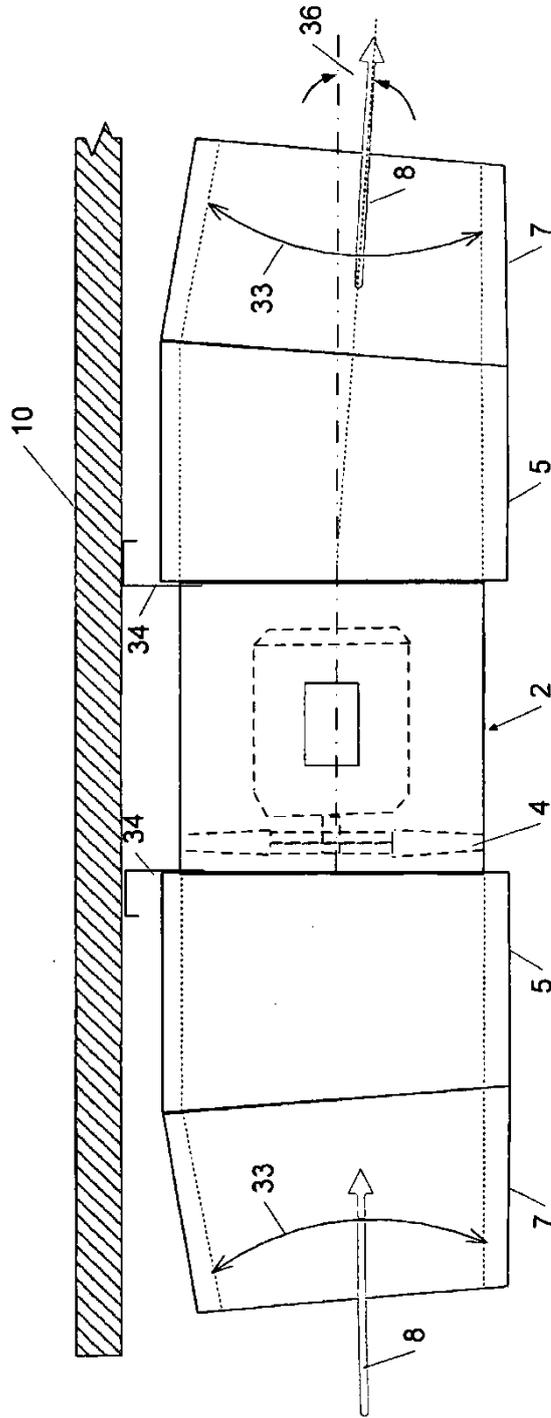


Fig. 16

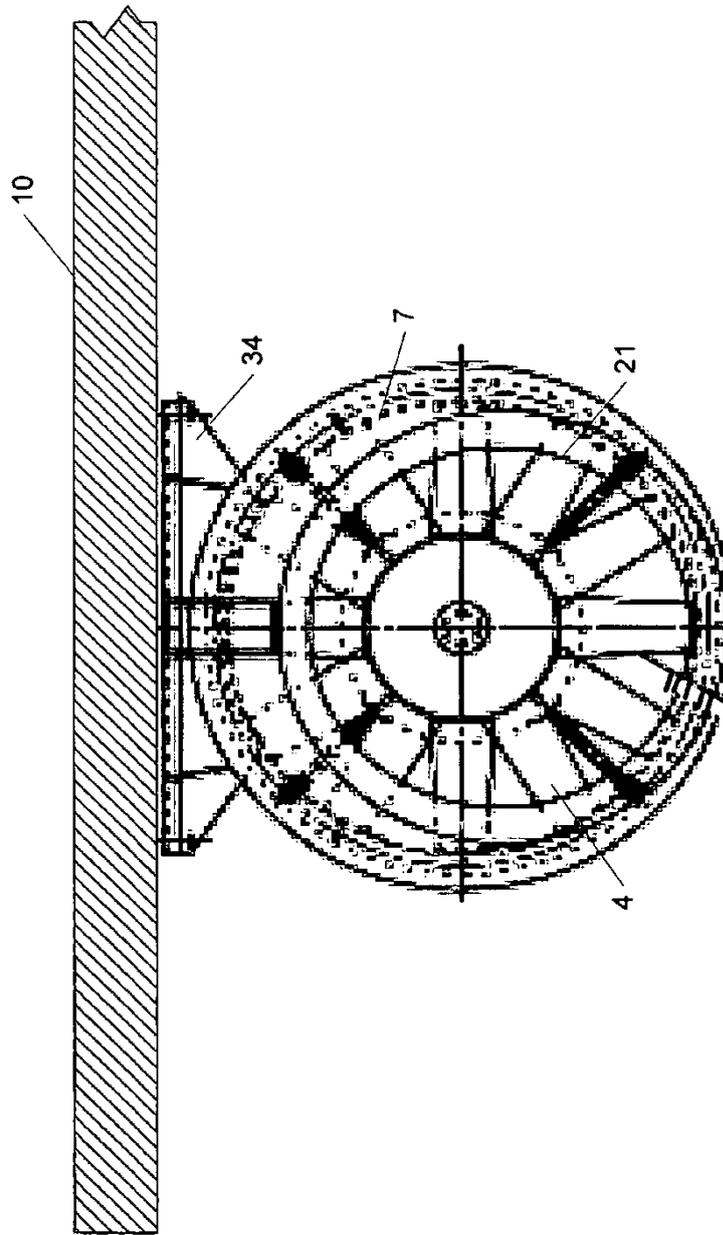


Fig. 17

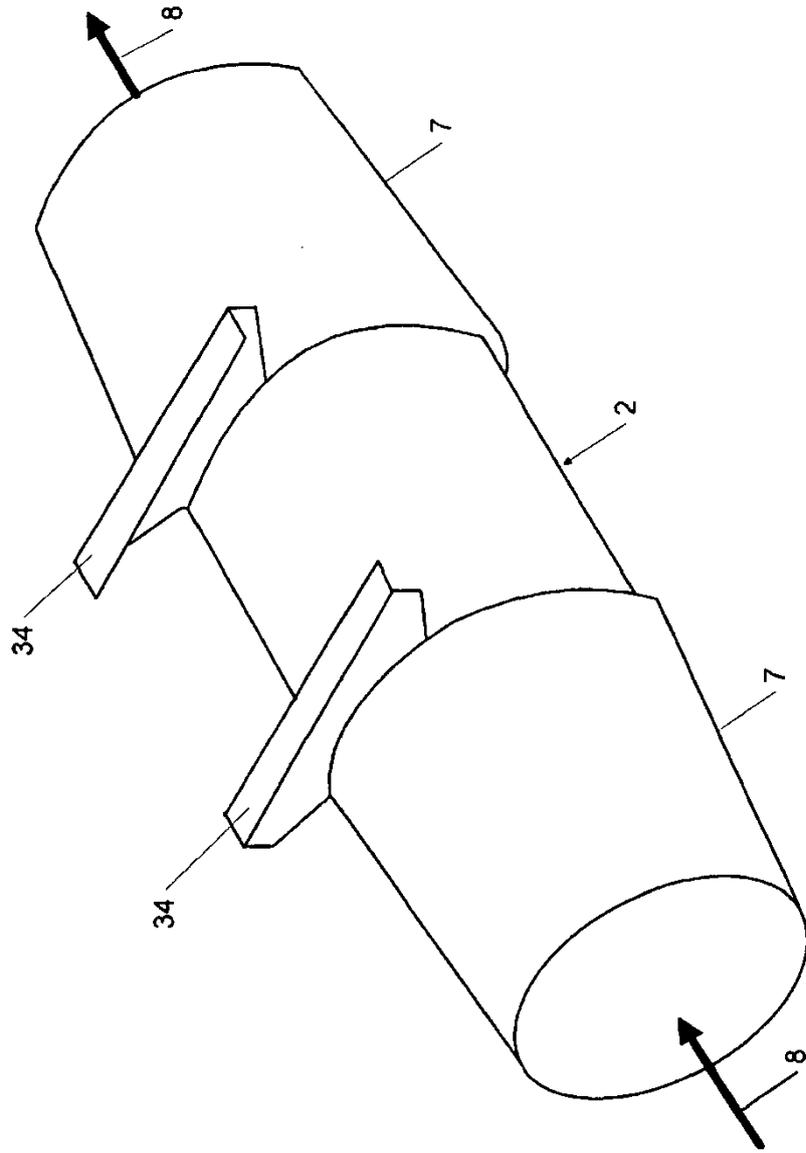


Fig. 18

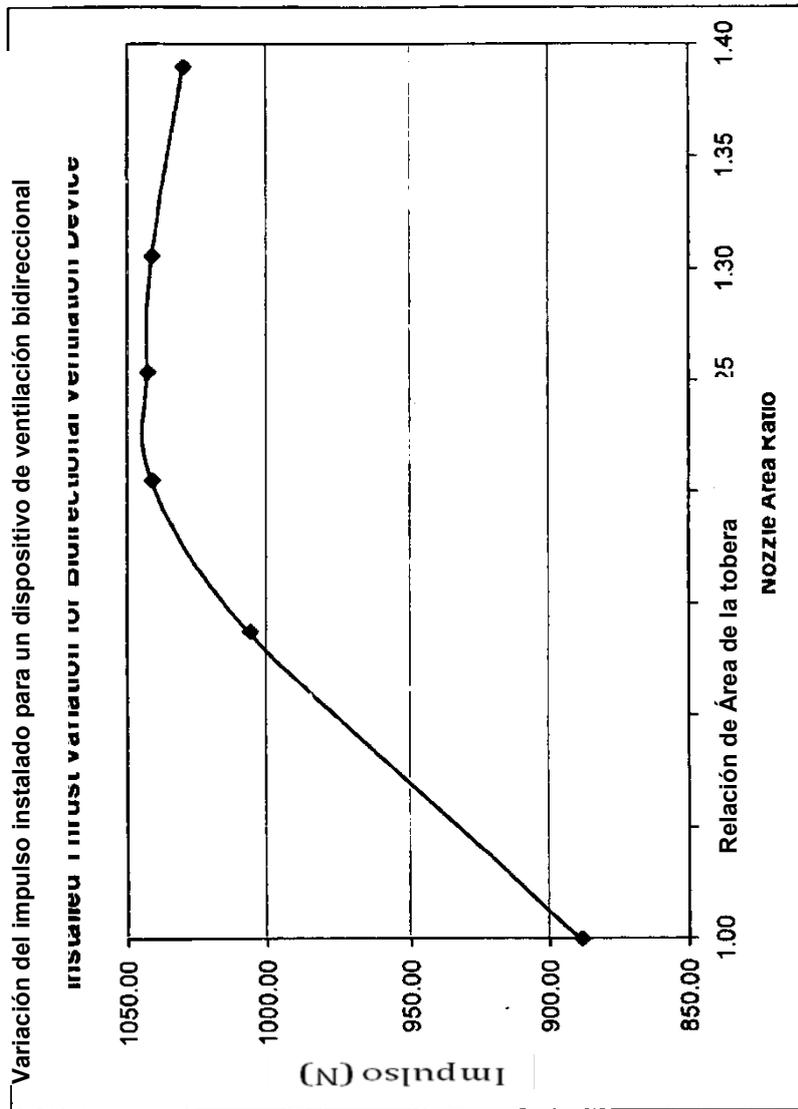


Fig. 19