

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 046**

21 Número de solicitud: 201731374

51 Int. Cl.:

G01M 9/04 (2006.01)

F15D 1/02 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

30.11.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

09.05.2018

71 Solicitantes:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)**

**RAMIRO DE MAEZTU N° 7
28040 MADRID ES**

72 Inventor/es:

**TIZÓN PULIDO, Juan Manuel y
LÓPEZ JUSTE, Gregorio**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

54 Título: **INSTALACIÓN Y PROCEDIMIENTO PARA AUMENTAR EL ÁREA CRÍTICA DE UN CAUDAL GASEOSO**

57 Resumen:

Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso suministrado en un conducto (8), que comprende un depósito presurizado (1), para el suministro del gas, un regulador de presión (2) para controlar la presión de descarga del depósito (1) y una sección de ensayo (14) aguas abajo, incorporando, a la entrada de la sección de ensayo (14), un filtro poroso (5) fijado al conducto (8) de forma estanca y realizado en un material a seleccionar entre metálico, cerámico y compuesto. El procedimiento consiste en la incorporación a la instalación delante de la sección de ensayo (14) y después de la válvula de regulación (2) de un elemento disipativo que disminuye la presión total y, simultáneamente, mantiene o aumenta la temperatura total.

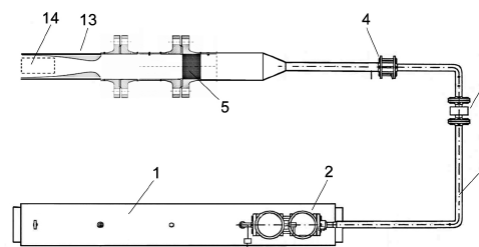


FIG. 7

DESCRIPCIÓN

Instalación y procedimiento para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso

OBJETO DE LA INVENCION

Uno de los tipos de instalación de ensayo aerodinámico adecuada para pruebas en régimen compresible son aquellas que constan, esquemáticamente, de un deposito a alta presión, una válvula de regulación de presión y una sección de ensayo. Una vez construida la instalación, el área crítica queda fijada por los límites geométricos de la instalación y no se puede aumentar, limitando el tamaño de los prototipos que se pueden ensayar en condiciones de número de Mach próximo a la unidad. La presente invención hace referencia al aumento de área crítica que se consigue mediante la instalación, aguas arriba de la sección de ensayo, de un elemento disipativo capaz de producir un descenso de la presión total mientras que mantiene o aumenta la temperatura total.

El elemento disipativo se concibe a tenor del efecto físico que se quiere conseguir y admite varias configuraciones geométricas de entre las que el uso de un filtro poroso metálico se considera como una adecuada realización práctica en términos de eficacia y economía.

La invención también hace referencia al método empleado para conseguir el aumento del área crítica del flujo gaseoso.

Encuentra especial aplicación en el sector técnico de los ensayos aerodinámicos de modelos en régimen compresible a alta velocidad.

PROBLEMA TÉCNICO A RESOLVER Y ANTECEDENTES DE LA INVENCION

El sector industrial aeroespacial diseña, modifica, mejora, fabrica y utiliza elementos cuya característica principal es la interacción mecánica con un fluido compresible, típicamente aire, aunque en numerosas ocasiones también se utilizan otros fluidos. Dicha interacción mecánica tiene lugar como resultado de las fuerzas de presión y fricción que el fluido ejerce sobre los distintos elementos y que tienen como consecuencia el adecuado funcionamiento de este. Por ejemplo, las fuerzas aerodinámicas sobre un ala de avión consiguen sostener a éste volando en las condiciones deseadas o el impulso que un alabe de compresor ejerce sobre el aire origina un aumento de la presión del aire para su utilización por parte de la máquina de la que el compresor forma parte.

Como quiera que el movimiento de los fluidos entorno a los elementos diseñados es muy complejo, no basta la sola intervención de herramientas teóricas en el diseño y análisis de estos sistemas, sino que es necesaria la experimentación en condiciones realistas tanto en lo que a la naturaleza del fluido atañe, como a la forma y actitud del modelo a ensayar. Para este tipo de experimentación se utilizan corrientes fluidas generadas en instalaciones denominadas genéricamente túneles aerodinámicos que se encargan de simular las condiciones que presenta el fluido en la operación normal del modelo. Por evidentes razones de costo se suele recurrir a experimentar con modelos a escala y, en ocasiones, con fluidos en condiciones (presión, temperatura, velocidad, etc.) distintas a la de referencia, mediante adecuadas reglas de semejanza basadas en conceptos de la Física. Cuando las condiciones requeridas del flujo gaseoso son transónicas o supersónicas no es posible establecer situaciones de ensayo más sencillas (a menor número de Mach) que permitan experimentar con instalaciones evidentemente más modestas (en precio, potencia instalada, etc.) y se debe reproducir un flujo en condiciones de velocidad cercanas o superiores a las del sonido. Por otra parte, no solo la velocidad es importante. El tamaño de la instalación y el tiempo de funcionamiento están en relación directa con su precio y es habitual recurrir al ensayo de modelos a escala. Con frecuencia, las reglas de semejanza física que hay que respetar se ven forzadas o no se pueden aplicar completamente. Si los modelos son demasiado pequeños, esto se agrava y los resultados obtenidos se desvirtúan hasta el punto de resultar poco o nada útiles. Por estos motivos, las dimensiones de las secciones de ensayo de los túneles aerodinámicos son una característica crucial, pareja a las condiciones de velocidad que proporcionan, para establecer la utilidad del túnel.

En la actualidad existen cuatro tipos de túneles aerodinámicos, según se representan en las figuras 1A a 1E. Las figuras 1A y 1B representan sistemas presurizados mediante compresores. La figura 1C representa sistemas de entalpia elevada con tubo de choque. La figura 1D representa sistemas de descarga de un deposito a presión y la figura 1E representa sistemas atmosféricos con succión por vacío.

Todos los túneles aerodinámicos destinados a ensayos subsónicos pueden ser de circuito abierto, según la figura 1A, o de circuito cerrado, según la figura 1B. Estos túneles están fundamentalmente constituidos por un ventilador funcionando en compresión o aspiración y todos los elementos necesarios para obtener un flujo uniforme y con los niveles de

turbulencia adecuados en la sección de ensayos. Los túneles de entalpía elevada con tubo de choque, según la figura 1C, se utilizan fundamentalmente para el desarrollo de vehículos hipersónicos. Estos dispositivos funcionan liberando, mediante uno o varios diafragmas, un gas previamente presurizado y calentado que se expande alcanzando la sección de ensayo con condiciones supersónicas. La mayoría de los túneles para régimen transónico-supersónico corresponden a los esquemas representados en las figuras 1D y 1E. En estos túneles, bien mediante un depósito presurizado situado delante de la sección de ensayos o mediante un depósito de vacío situado detrás de la sección de ensayos consigue flujo supersónico en la sección de ensayos. El elemento característico de este tipo de instalación es que las condiciones supersónicas se consiguen mediante la utilización de una tobera convergente-divergente con la garganta en condiciones críticas. La idea novedosa a la que se refiere la presente invención corresponde fundamentalmente a estos dos tipos de túneles, en los que el tamaño de la sección de ensayos está relacionado con el número de Mach y limitada al tamaño de la garganta de la tobera convergente-divergente. Es precisamente esta limitación la que hace que el desarrollo y mantenimiento de estos túneles sea muy costoso, limitando el número existente de los mismos, de forma que la mayoría sea propiedad de instituciones gubernamentales o de grandes empresas del sector aeronáutico.

En este tipo de túneles, una vez establecida una corriente fluida en un conducto, la mera variación de la sección del conducto cambia las condiciones de presión y velocidad y es posible ajustar las que se deseen mediante un adecuado diseño geométrico del conducto en combinación con el sistema que impulsa la corriente. Sin embargo, el cambio de sección del conducto no puede ser arbitrario y el área de la sección no se puede disminuir por debajo de un valor mínimo que corresponde con condiciones de funcionamiento sónicas. Esta sección se denomina "área crítica" y es una propiedad del flujo determinada por el gasto másico y las condiciones de remanso locales (presión y temperatura totales). Por otra parte, si de una forma activa se va disminuyendo una sección de paso de un conducto el funcionamiento de la instalación no se ve afectado hasta que se alcanza el valor del área crítica, momento en el que una subsiguiente disminución de la sección tiene como resultado la disminución del gasto por el conducto con la consiguiente respuesta por parte del sistema de alimentación. En estas circunstancias, el área crítica de la instalación se modifica y queda determinada por la sección mínima alcanzada. Es decir, cuando en un conducto se alcanzan condiciones críticas en alguna sección, no es posible obtener condiciones sónicas en ninguna otra sección de mayor tamaño.

Una instalación en la que se suministra un caudal de gas mediante la descarga controlada por una válvula reguladora de un depósito a presión tiene limitada su área crítica a la máxima sección de apertura de la válvula de regulación. Las válvulas de regulación son elementos de alto precio cuyo coste está ligado al tamaño (caudal) de la instalación. La aplicación habitual de estas válvulas de regulación es para alimentar instalaciones de baja velocidad en las que el área crítica puede ser muy pequeña. Si una instalación de este tipo se quiere utilizar para generar una corriente sónica o supersónica la sección máxima que se puede obtener está limitada por la de la válvula de regulación y para aumentarla o se rehace la instalación y se aumenta el tamaño de la válvula de regulación y los conductos o hay que modificar alguno de los parámetros relevantes de la física del problema.

El flujo de un gasto másico $\dot{m}$ de fluido compresible en el interior de un conducto de sección A está gobernado por la ecuación de continuidad que se puede expresar mediante la relación del parámetro de gasto y el número de Mach

$$\frac{\dot{m}\sqrt{RT_t}}{Ap_t} = F(M, \gamma)$$

en la que T_t es la temperatura total, p_t es la presión total y R es la constante del gas. En esta expresión al término a la izquierda de la igualdad se le denomina “parámetro de gasto” y es una magnitud adimensional que depende del número de Mach, M , y de la relación de calores específicos del fluido, γ , mediante la función $F(M, \gamma)$ dada por la ecuación

$$F(M, \gamma) = \sqrt{\gamma} M \left(1 + \frac{\gamma - 1}{2} M^2 \right)^{-\frac{\gamma + 1}{2(\gamma - 1)}}$$

donde, M el número de Mach y γ es el cociente de calores específicos del gas. La función de gasto $F(M, \gamma)$ se representa en la figura 2 y, como puede observarse en ella, su valor es nulo cuando la velocidad es cero ($M = 0$ implica $F(0, \gamma) = 0$), crece con el número de Mach hasta alcanzar un máximo relativo en condiciones sónicas, es decir, para $M = 1$ y luego decrece continuamente hasta cero, manteniéndose siempre positiva, a medida que el número de Mach aumenta. Los argumentos mostrados hasta ahora respecto al

comportamiento de un conducto gaseoso al variar el área de la sección se justifican plenamente mediante la ecuación de la función de gasto. Bajo ciertas circunstancias muy habituales, al mantenerse el gasto constante, la temperatura total y la presión total permanece aproximadamente constantes, de forma que, en particular, hay una sección mínima A^* para la que la función de gasto es máxima

$$\left(\frac{\dot{m} \sqrt{RT_t}}{A^* p_t} \right)_{\text{máximo}} = \sqrt{\gamma} \left(\frac{\gamma + 1}{2} \right)^{-\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}}$$

la cual se obtiene haciendo el número de Mach igual a 1. De la misma manera que cuando $A > A^*$ hay dos posibilidades de funcionamiento del conducto, una con flujo subsónico y otra con flujo supersónico, cuando $A < A^*$ no hay solución posible, tratándose una situación que físicamente no se puede alcanzar.

A consecuencia de las ecuaciones anteriores, cuando se considera un fluido de composición inalterada ($\gamma = \text{cte.}$ y $R = \text{cte.}$) la única manera de tener un área crítica mayor para un caudal determinado es mediante algún procedimiento que aumente T_t , disminuya p_t o ambos, simultáneamente.

El aumento de la temperatura total, o de remanso, T_t se acomete mediante cámaras de combustión o cambiadores de calor y se incorpora en las instalaciones de ensayo cuando es prioritario acondicionar la temperatura en la sección de ensayo porque así lo requiere la prueba a realizar. No obstante, se considera que el aumento de temperatura de la corriente se puede incorporar como efecto potenciador del dispositivo que se instale, sobre todo si la realización practica es sencilla y económica, sin la inclusión de elementos adicionales a los propuestos en la instalación básica, como se explicara más adelante.

La otra alternativa es la de disminuir la presión total p_t de la corriente. La única manera de producir una disminución de presión total en un sistema adiabático es mediante una degradación de la energía mecánica, es decir, eliminando parte o toda la componente dinámica de la presión total mediante disipación viscosa. Este tipo de procesos tienen lugar en las paredes del conducto pero su efecto es muy tenue y solo se nota después de recorrer longitudes que son impracticables en una instalación industrial. Desde un punto de vista

conceptual, se podría aumentar la longitud del conducto mediante un sistema laberíntico, según se representa en la figura 3A, pero inmediatamente surgen ciertas limitaciones. Para proceder a la disminución de la presión total se puede actuar sobre la parte dinámica de la presión. Efectivamente, a través de un orificio el proceso de descarga desplaza la magnitud de la presión total a la dinámica en la energía cinética transferida al chorro que se disipa por efectos viscosos (mezcla y cortadura) en la cámara de remanso. Esta configuración se representa en la figura 3B en la que se multiplica el efecto mediante un sistema de múltiples orificios practicados en cámaras de remanso dispuestas secuencialmente. Es decir, es posible proceder a sucesivas disminuciones de presión total encadenando una secuencia de uno o varios orificios de descarga que pueden organizarse, por ejemplo, mediante la interposición de varios mamparos múltiplemente perforados como los representados en la figura 3B.

Los efectos descritos se pueden conseguir de forma simple mediante el empleo de filtros industriales originalmente concebidos como elementos de filtrado cuya principal virtud es la retención de partículas de un tamaño superior a uno dado, con el mínimo posible de pérdida de carga, es decir, con la disminución menor posible de presión total. Este tipo de elementos se pueden obtener mediante diferentes técnicas de empaquetado de partículas llegando a una configuración como la de la figura 3C en la que el fluido discurre por los canales intersticiales que se crean entra las partículas. El proceso por el que la presión total disminuye combina los mecanismos mencionados representados en las figuras 3A y 3B: por una parte la fricción sobre las paredes, aumentada por la alta superficie de contacto del fluido con la pared debida a la porosidad del medio, con otros mecanismos de disipación por cortadura y mezcla originada en el interior de la compleja geometría microscópica que puede presentar el filtro con posibles altas velocidades intersticiales. No obstante las placas con múltiples orificios son una opción o complemento plausible que no se descartan en la realización de la instalación. Aunque, desde un punto de vista práctico, la utilización de un tapón poroso que obture el conducto se considera que es una solución óptima a la necesidad de originar una caída de la presión total importante en un espacio razonable.

Tal y como se ha propuesto, es posible potenciar el efecto de la caída de presión de remanso calentando la corriente. En este caso, el sistema ya no es adiabático, como se menciona antes, pero cuando se incorpora calor en una corriente compresible se obtiene como respuesta una caída de la presión de remanso por efectos de compresibilidad que se

añade a los efectos buscados. Si la solución técnica a originar una importante caída de la presión de remanso es un filtro poroso metálico, es posible incorporar un sistema de calefacción del filtro (por ejemplo, mediante una resistencia eléctrica) que potencie el efecto de la caída de presión.

5

Este tipo de materiales porosos ha sido estudiado ampliamente desde que Darcy en 1896, mediante experimentos y consideraciones teóricas, observara que el caudal que atraviesa un tapón poroso es directamente proporcional a la diferencia de presión e inversamente proporcional al espesor del material. La variable que caracteriza el material poroso es el empaquetamiento $\varepsilon = V_v/V_d$, donde V_v es el volumen vacío y V_d el ocupado por las partículas y, como el fenómeno está controlado por la disipación viscosa, juega un papel importante el número de Reynolds cuya expresión es $Re = \rho U d / \mu$, donde ρ es la densidad el fluido, U la velocidad intersticial, d el diámetro de las partículas y μ la viscosidad molecular. La expresión que expresa la dependencia entre los distintos parámetros es, en primera aproximación, la ecuación de Carman-Kozeny

10

15

$$\frac{\Delta p_t}{L} = 180 \frac{\mu U (1 - \varepsilon)^2}{d^2 \varepsilon^3}$$

válida para número de Reynolds de orden unidad ($Re \sim 1$) lo que implícitamente sugiere que el mecanismo de disipación es laminar. Posteriormente, Ergun (1952) utilizando un gran número de experimentos que comprendían distintos tamaños de partículas y regímenes de operación propone la siguiente expresión

20

$$\frac{\Delta p_t}{L} = 150 \frac{\mu U (1 - \varepsilon)^2}{d^2 \varepsilon^3} + 1.75 \frac{\rho U^2 (1 - \varepsilon)}{d \varepsilon^3}$$

25

válida para un rango de números de Reynolds más amplio ($1 < Re < 2000$). La ecuación de Ergun reproduce la original de Carman-Kozeny para valores pequeños del número de Reynolds y amplía su validez hasta situaciones de alta velocidad.

30

En la industria se emplean toda clase de filtros en tareas muy diversas, como son, por ejemplo, la captura de partículas de un determinado tamaño, como parallamas en sistemas de generación de energía, para homogeneizar corrientes fluidas en la manipulación de

materiales pulverulentos en sistemas de fluidificación, como elemento catalizador en la industria química. En definitiva, es un elemento muy versátil y utilizado. En general, la misión del filtro es independiente de la caída de presión originada, que se asume es un efecto indeseado y se valora la eficacia del elemento en la medida que cumple su cometido con el mínimo valor posible de la pérdida de presión total. En esta invención la función del filtro es, precisamente, lo que se trata de evitar, en la utilización de estos filtros, en instalaciones convencionales, que es una importante caída de presión.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 10 Como se ha puesto de manifiesto en el análisis de los antecedentes los túneles aerodinámicos supersónicos que funcionan mediante la descarga de un depósito a presión tienen limitado el tamaño de la sección de ensayo por el área crítica de la instalación. Es físicamente imposible en un conducto en el que los fenómenos de transmisión de calor o disipación viscosa sean pequeños (lo que corresponde a una instalación de características
- 15 normales en la industria) conseguir una sección en la que la velocidad sea sónica (número de Mach unidad) de mayor tamaño al área crítica. Como usualmente estas instalaciones están controladas por un regulador de presión, es este elemento el que limita el área crítica de la instalación.
- 20 Por razones de semejanza física, manipulación, robotización o fabricación de los modelos y coste de ensayo puede interesar agrandar el área crítica de una instalación existente o diseñar una instalación de reducido tamaño con la posibilidad de ampliación que ofrece esta invención.
- 25 La presente invención describe una instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso suministrado en un conducto a través de un depósito presurizado que incluye un regulador de presión para controlar la presión de descarga del depósito y una sección de ensayo aguas abajo. La instalación incorpora, a la entrada de la sección de ensayo, un filtro poroso fijado al conducto de forma estanca y realizado en un material a seleccionar entre
- 30 metálico, cerámico y compuesto, para provocar una caída de presión total que, debido a la constancia del parámetro de gasto crítico, determina un incremento del área crítica del caudal con respecto a la sección de la válvula del regulador de presión.

El filtro poroso incorpora un sistema de calefacción para potenciar la caída de presión.

El filtro poroso está conformado por partículas metálicas de un tamaño comprendido entre 20 y 200 micrómetros.

- 5 El filtro poroso puede estar compuesto por una pluralidad de láminas perforadas dispuestas perpendicularmente al eje del conducto.

La instalación comprende un anillo de unión ubicado entre el filtro poroso y el conducto que proporciona estanqueidad a la instalación y unas bridas de unión para la fijación de unas
10 pestañas destinadas a retener al filtro poroso

La presente invención tiene como resultado el aumento de la sección mínima (área crítica) de un conducto por el que fluye un caudal de gas obtenido mediante un depósito a presión y una válvula de regulación de presión. El procedimiento consiste en modificar las condiciones
15 de remanso establecidas detrás de la válvula de regulación mediante la interposición de un sistema que disminuya la presión de remanso. Hay varias opciones, pero este sistema puede consistir en un material poroso que consigue la caída de presión en un espacio muy reducido. De esta forma, el procedimiento queda definido por las siguientes etapas:

- 20 a) Suministrar un caudal gaseoso en el conducto (8);
b) Mantener uniforme la presión de descarga suministrada mediante el regulador de presión (2);
c) Conducir el caudal gaseoso hasta la sección de ensayo (14) pasando a través del filtro poroso (5).

25

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para completar la descripción de la invención y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de sus características, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización de
30 la misma, se acompaña un conjunto de dibujos en donde, con carácter ilustrativo y no limitativo, se han representado las siguientes figuras:

- La figura 1A representa un esquema de una configuración básica de un túnel de ensayo aerodinámico de circuito cerrado.

- La figura 1B representa un esquema de una configuración básica de un túnel de ensayo aerodinámico de circuito abierto.
- La figura 1C representa un esquema de una configuración básica de un túnel de alta entalpía.
- 5 - La figura 1D representa un esquema de una configuración básica de un túnel de ensayo supersónico de descarga.
- La figura 1E representa un esquema de una configuración básica de un túnel de ensayo supersónico de vacío.
- La figura 2 representa la función de gasto, $F(M, \gamma)$ en función del número de Mach, para dos valores típicos de la relación de calores específicos.
- 10 - La figura 3A representa un esquema de múltiples canales de paso que incrementan el área de contacto aumentando la disipación viscosa, en el centro
- La figura 3B representa un esquema de múltiples cámaras de remanso comunicadas por orificios por los que se descarga el fluido y en la derecha
- 15 - La figura 3C representa un esquema con la analogía que se establece con un material poroso formado por empaquetamiento de partículas.
- La figura 4 representa esquemáticamente los elementos de la instalación objeto de invención en una forma de realización.
- La figura 5 representa en detalle la instalación mostrada en la figura 4.
- 20 - La figura 6A representa una configuración de la sección de ensayo para ensayos subsónicos.
- La figura 6B representa una configuración de la sección de ensayo para ensayos supersónicos.
- La figura 7 representa una instalación completa para ensayo aerodinámico mostrando elementos de control y elementos de medida relacionados con el acondicionamiento del flujo.
- 25 - La figura 8 representa un esquema de una forma de realización del montaje de un filtro en una instalación de ensayo.
- La figura 9 representa una ampliación microscópica de un filtro metálico.

30

A continuación se facilita un listado de las referencias empleadas en las figuras:

1. Depósito a alta presión.
2. Regulador de presión.
3. Válvula de cierre.

4. Medidor de gasto.

5. Filtro poroso.

6. Pestañas.

7. Bridas de unión.

5 8. Conducto.

9. Anillo de unión.

10. Compresor.

11. Diafragma.

12. Tubo de choque.

10 13. Tobera convergente-divergente.

14. Sección de ensayo.

15. Depósito presurizado.

16. Depósito de vacío.

15 DESCRIPCIÓN DE UNA REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

- La figura 4 representa esquemáticamente los elementos de la instalación objeto de invención en una forma de realización.

- La figura 5 representa en detalle la instalación mostrada en la figura 4.

20 La figura 4 muestra una disposición propuesta para la instalación objeto de la presente invención de forma esquemática. Una batería de depósitos (1) de descarga a una presión predeterminada, de forma controlada mediante un regulador de presión (2) formado por un sistema de control con válvulas de regulación, un caudal de aire que se hace pasar por un filtro poroso (5) en el que la presión total disminuye de forma acusada. A continuación se
25 sitúa la sección de ensayo (14) que, conceptualmente, consiste en una sección de medida y una sección de control de gasto que fija el área crítica. La instalación termina implementando una válvula de cierre (3).

La figura 5 representa la instalación más en detalle.

30

En las figuras 6A y 6B se muestran respectivos esquemas para modalidades subsónica y supersónica, respectivamente. En este tipo de instalaciones es importante controlar el valor del número de Mach. Para ello, basta con establecer una sección con número de Mach igual a la unidad, o área crítica, de área conocida. En los esquemas de las figuras 6A y 6B, este

área crítica se corresponde con las secciones mínimas de paso. Como el número de Mach alcanzado en cualquier otra sección es función exclusivamente de la relación de áreas, basta diseñar adecuadamente el contorno del conducto para obtener el valor deseado de número de Mach.

5

Efectivamente, asumiendo que el cociente de calores específicos permanece constante cuando el fluido atraviesa el filtro, las áreas críticas antes de pasar por el filtro (subíndice 1) y después de atravesarlo (subíndice 2) tienen igual parámetro de gasto

10
$$\frac{\dot{m}\sqrt{RT_{t1}}}{A_1^*p_{t1}} = \frac{\dot{m}\sqrt{RT_{t2}}}{A_2^*p_{t2}} = F(1, \gamma)$$

es decir, simplificando términos iguales,

15
$$\frac{A_2^*}{A_1^*} = \frac{p_{t1}}{p_{t2}} \sqrt{\theta}$$

donde, $\theta = T_{t2}/T_{t1}$. En la anterior expresión, llamando $\Delta p_t = p_{t1} - p_{t2}$ resulta

$$\frac{A_2^*}{A_1^*} = \left(1 + \frac{\Delta p_t}{p_{t2}}\right) \sqrt{\theta}$$

20 Con lo que, siendo la dimensión transversal del conducto $D_{1,2}^* = \sqrt{4 A_{1,2}^* / \pi}$, las secciones quedan relacionadas mediante

$$\frac{D_2^*}{D_1^*} = \sqrt{\sqrt{\theta} \left(1 + \frac{\Delta p_t}{p_{t2}}\right)}$$

25 La anterior expresión pone de manifiesto la importancia de que la caída de presión en el filtro sea alta, para conseguir aumentos sustanciales del tamaño del área crítica. También muestra que el efecto de la temperatura es menor (exponente 1/4) y consume potencia adicional. Si además se supone que la caída de presión es muy importante $\Delta p_t / p_{t2} \gg 1$, se puede estimar el incremento de presión necesario para producir un aumento dado de la
30 sección de ensayo

$$\frac{\Delta p_t}{p_{t2}} \sqrt{\theta} \sim \left(\frac{D_2^*}{D_1^*} \right)^2$$

Por ejemplo, para conseguir multiplicar por diez el tamaño de la sección ($D_2^* = 10D_1^*$) es necesario que la caída de presión sea $\Delta p_t \approx 100p_{t2}$, es decir, para obtener efectos significativos hay que utilizar una gama de presión muy amplia, con lo que la disposición de un sistema de descarga alimentado por un depósito a alta presión es muy adecuada.

La sollicitación mecánica sobre el filtro sometido a una diferencia de presión muy grande debe ser un aspecto a tener en cuenta. Antes de llevar a cabo un diseño estructural en detalle de la instalación, se pueden hacer unas consideraciones preliminares que avalen la realización práctica de la instalación. Desde el punto de vista de esfuerzos de trabajo, el filtro funciona como un mamparo sometido a una diferencia de presión dada, es decir, es una placa circular sometida a flexión que presenta el esfuerzo máximo en el centro de la placa. El esfuerzo máximo de un mamparo es proporcional a la carga distribuida, diferencia de presión, y al cuadrado de la relación entre el diámetro y el espesor del filtro, es decir,

$$\sigma_{max} \propto \Delta p_t (D/L)^2$$

mientras que la diferencia de presión se ha mostrado que es función de la velocidad y, por lo tanto, se puede poner en función del gasto G que debe transcurrir por la instalación

$$\frac{\Delta p_t}{L} = c_1 \frac{G}{D^2} + c_2 \left(\frac{G}{D^2} \right)^2$$

La instalación se caracteriza por el valor del gasto y de la caída de presión que se quiere conseguir con lo que, eliminando el espesor del filtro, se obtiene el esfuerzo de trabajo en función de las características de la instalación

$$\sigma_{max} \propto \frac{1}{\Delta p_t} \left[c_1 \frac{G}{D} + c_2 \frac{G^2}{D^3} \right]$$

Esto indica que, dimensionando adecuadamente el diámetro del filtro, es posible ajustar el nivel de esfuerzo aunque, naturalmente, los filtros que se pueden emplear deben tener características estructurales similares a los materiales empleados en el resto de la instalación presurizada.

5

En la figura 7 se representa un esquema con los elementos de una instalación para ensayo aerodinámico según la invención en una forma de representación. Consta de una batería de depósitos a alta presión (1) cuyo volumen debe ser suficiente para soportar el tiempo de funcionamiento que se desee. Los depósitos (1) se descargan en el conducto (8) de una
10 instalación mediante un regulador de presión (2) cuya misión es mantener un nivel de presión, aguas abajo del conducto (8), predeterminado de antemano. Esta tarea se realiza por elementos industriales estándar que únicamente necesitan que la presión aguas arriba sea suficientemente elevada y que no caiga por debajo de un cierto valor. Como la presión de los depósitos (1) va disminuyendo a medida que se vacían, el funcionamiento del sistema
15 está limitado en el tiempo. La instalación incluye elementos habituales de medida del caudal y de control como la válvula de cierre (3). A continuación, en la línea de la instalación se debe incluir un elemento poroso como, por ejemplo, un filtro poroso (5), encargado de disminuir la presión total en la línea para conseguir el aumento de área crítica de la instalación. En la figura 8 se representa una forma de realización de una instalación con el
20 filtro poroso (5). En este tipo de instalación, con una caída de presión muy importante, el material del filtro (5) debe proporcionar resistencia mecánica suficiente para que no necesite elementos estructurales adicionales y se puede instalar de forma limpia, es decir, con paso diáfano del aire por la mayor parte posible de la superficie del filtro (5). En el caso representado en la figura, el filtro (5) se soporta en unas pestañas (6) alojadas en bridas de
25 unión (7). Un aspecto importante de la instalación del filtro (5) es la estanqueidad que debe existir entre el filtro (5) y las paredes del conducto (8) de la instalación. Esta estanqueidad debe ser lo más perfecta posible para asegurar el correcto funcionamiento del filtro (5). Para ello, el conducto (8) incorpora un anillo de unión (9) ubicado entre el filtro (5) y las paredes del conducto (8) de la instalación. Dado que para que la instalación sea efectiva las caídas
30 de presión total deben ser muy importantes, el filtro poroso (5) debe soportar una diferencia de presión muy elevada entre la entrada y la salida, lo que necesariamente conduce a que solamente sea posible instalar filtros (5) de alta resistencia, lo que descarta en la mayoría de los casos los filtros (5) de materiales no-metálicos.

Para que la aplicación propuesta funcione correctamente, la caída de presión total debe ser muy importante. Esto solo se consigue con materiales de baja porosidad, fabricados empaquetando partículas de pequeño tamaño. Un tamaño de partículas aceptable es el comprendido entre 20 y 200 micrómetros. De esta forma, el resultado no es completamente compacto. En la figura 9 se representa microscópicamente un filtro (5) de estas características construido empleado partículas de bronce. Existe una amplia variedad de métodos de fabricación y materiales constitutivos. Es la combinación de ambos la que confiere las características que distinguen a unos de otros. Por ejemplo, se puede emplear acero, aunque en este caso las partículas no sean perfectamente esféricas ni de tamaño tan homogéneo, considerándose estas características especialmente útiles si se necesita mayor resistencia mecánica o resistencia a la temperatura. Todos estos materiales metálicos permiten el funcionamiento seguro de la instalación debido a su alta resistencia mecánica pues el nivel de empaquetamiento es muy alto y la rigidez elevada comparable a materiales estructurales habituales en la industria.

Una vez que se decide utilizar un filtro compuesto por partículas metálicas, es posible incorporar un sistema calefactor consistente en una resistencia eléctrica embebida en el filtro para aumentar la temperatura de remanso, potenciando el efecto de la caída de presión.

Una instalación como la propuesta en la invención se puede utilizar para generar las condiciones adecuadas de ensayo aerodinámico de modelos en régimen transónico o supersónico. Como se ha conseguido un aumento del área crítica, la escala de los modelos no tiene que ser elevada.

Otra aplicación posible, dado que su funcionamiento tiene un contenido científico importante, es como sistema didáctico que muestre conceptos físicos relacionados con la compresibilidad de los fluidos y con la casuística que se presenta en el movimiento de fluidos ideales en amplios rangos de número de Mach.

Por otra parte, la instalación descrita permite la modificación de instalaciones industriales aumentando el área crítica de diseño mediante la interposición del elemento que provoca la pérdida de carga.

Por último, hay que tener en cuenta que la presente invención no debe verse limitada a la forma de realización aquí descrita. Otras configuraciones pueden ser realizadas por los expertos en la materia a la vista de la presente descripción. En consecuencia, el ámbito de la invención queda definido por las siguientes reivindicaciones.

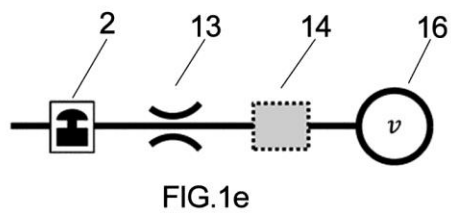
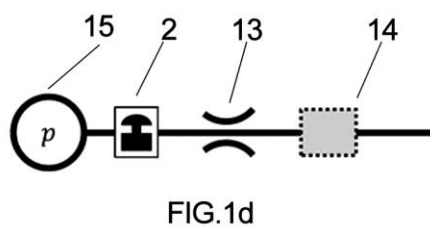
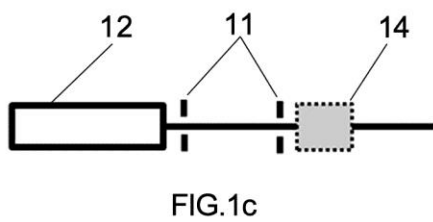
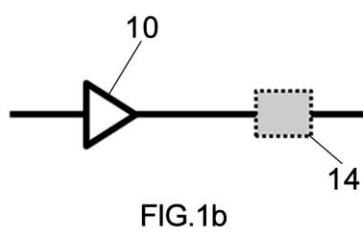
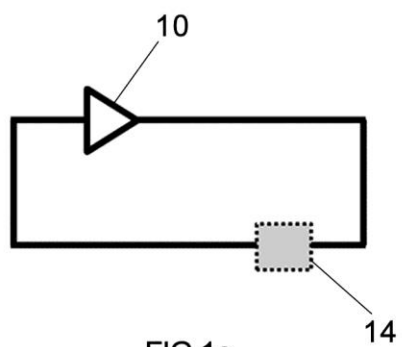
REIVINDICACIONES

- 5 1.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso suministrado en un conducto (8), que comprende un depósito presurizado (1), un regulador de presión (2) para controlar la presión de descarga del depósito (1) y una sección de ensayo (14) aguas abajo, estando la instalación **caracterizada** por que, a la entrada de la sección de ensayo (14), incorpora un filtro poroso (5) fijado al conducto (8) de forma estanca y realizado en un material a seleccionar entre metálico, cerámico y compuesto, para provocar una caída de
- 10 presión total que, debido a la constancia del parámetro de gasto crítico, determina un incremento del área crítica del caudal con respecto a la sección de la válvula del regulador de presión (2).
- 15 2.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso, según la reivindicación 1, **caracterizada** por que el filtro poroso (5) incorpora un sistema de calefacción, de forma que se potencia la caída de presión.
- 20 3.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el filtro poroso (5) está conformado por partículas metálicas de un tamaño comprendido entre 20 y 200 micrómetros.
- 25 4.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizada** por que el filtro poroso (5) está compuesto por una pluralidad de láminas perforadas dispuestas perpendicularmente al eje del conducto (8).
- 5.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso, según la reivindicación 1, **caracterizada** por que comprende un anillo de unión (9) ubicado entre el filtro poroso (5) y el conducto (8) que proporciona estanqueidad a la instalación.
- 30 6.- Instalación para aumentar el área crítica de un caudal gaseoso, según la reivindicación 1, **caracterizada** por que comprende unas bridas de unión (7) para la fijación de unas pestañas (6) destinadas a retener al filtro poroso (5).

7.- Procedimiento de aumento del área crítica de un caudal gaseoso suministrado en un conducto (8) según las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende las siguientes fases:

- 5 a) Suministrar un caudal gaseoso en el conducto (8);
- b) Mantener controlada la presión de descarga suministrada mediante el regulador de presión (2);
- c) Conducir el caudal gaseoso hasta la sección de ensayo (14) pasando a través del filtro poroso (5).

10



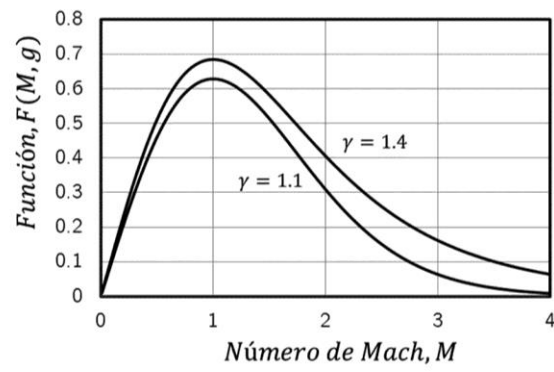


FIG.2

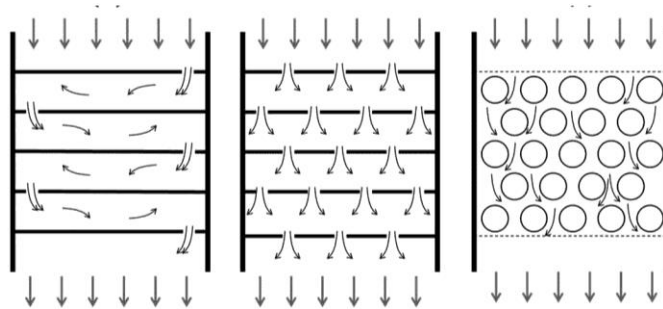


FIG.3a

FIG.3b

FIG.3c

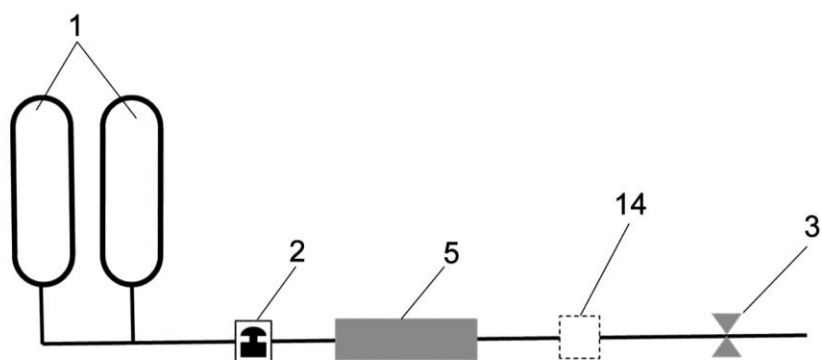


FIG. 4

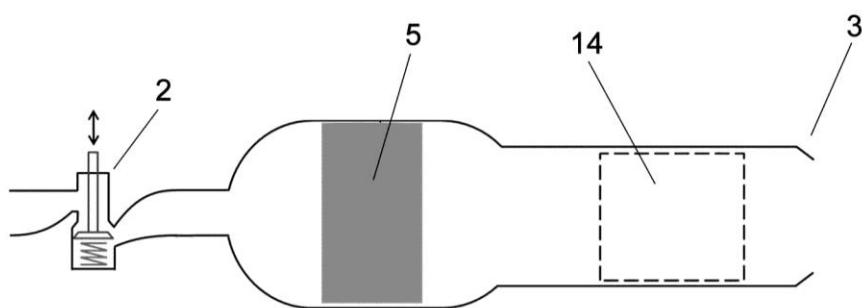


FIG. 5

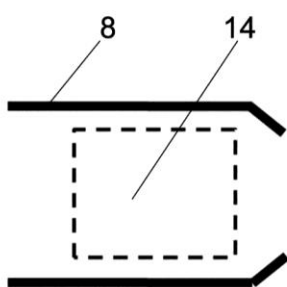


FIG. 6a

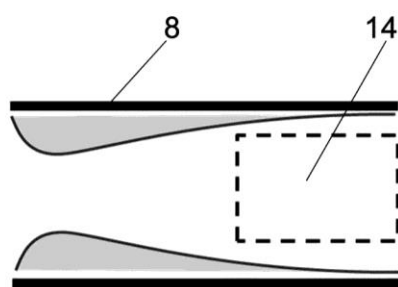


FIG. 6b

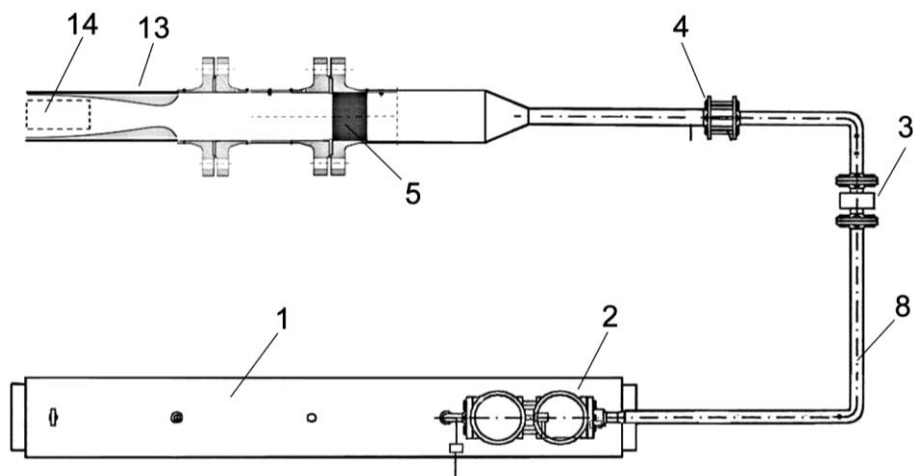


FIG. 7

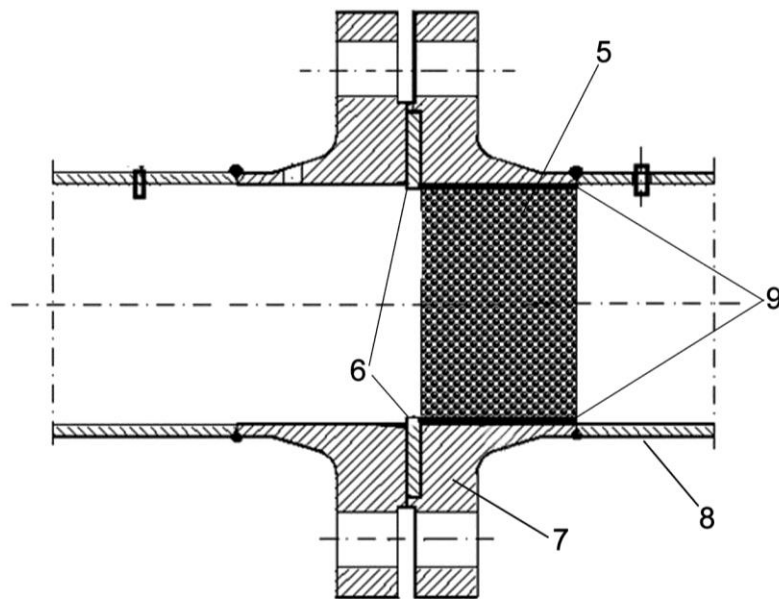


FIG. 8

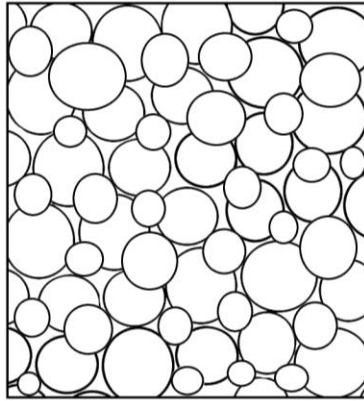


FIG.9



OFICINA ESPAÑOLA
DE PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA

- ②① N.º solicitud: 201731374
②② Fecha de presentación de la solicitud: 30.11.2017
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑤① Int. Cl.: **G01M9/04** (2006.01)
F15D1/02 (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicacion es afectadas
Y	US 4130173 A (COOKSEY) 19/12/1978, columna 2, líneas 9 - 12; columna 2, líneas;57 - 65; columna 3, líneas 5 - 11; columna 3, líneas 29 - 51; columna 4, líneas 49 - 60; columna 5, líneas 16 - 41; columna 6, líneas 5-7; columna 6, líneas 35-39; columna 6, líneas 49,50; figuras 1-3	1-7
Y	WO 2017192976 A1 (FROHNAPFEL et al.) 09/11/2017, párrafos [5, 15, 16, 19, 22-26, 31, 33, 39-41]; figuras 1a-1c, 2a, 4c	1-7
A	(MATSUMOTO et al.) "Development of a Subscale Supersonic Aeropropulsion Wind Tunnel". Páginas 2-4. Junio/1998 DOI 10.2514/6.1998-2868	1-7
A	US 2016012159 A1 (FERRAR et al.) 14/01/2016, párrafos [4, 5, 11, 14, 37, 38]; figuras 3, 4	1-7
A	(NASA). "Wind Tunnel Design". 18/11/2016 https://web.archive.org/web/20161118100659/http://www.grc.nasa.gov:80/WWW/K-12/airplane/tunnoz.html	1, 7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la
misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación
de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha
de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
26.04.2018

Examinador
F. J. Olalde Sánchez

Página
1/2

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

G01M, F15D

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC, WPÎ,