

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 973 264**

51 Int. Cl.:

F02K 9/58 (2006.01)

B64G 1/40 (2006.01)

F16K 31/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.04.2021** **PCT/FI2021/050247**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.10.2021** **WO21198570**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.04.2021** **E 21723310 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.11.2023** **EP 4127443**

54 Título: **Conjunto de propulsión**

30 Prioridad:

02.04.2020 FI 20205344

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
19.06.2024

73 Titular/es:

AURORA PROPULSION TECHNOLOGIES OY
(100.0%)
c/o ESA BIC Finland, A-Grid Otakaari 5
02150 Espoo, FI

72 Inventor/es:

PIETIKÄINEN, PIHLA;
LAITINEN, JAAKKO;
YLI-OPAS, PERTTU;
VILENIUS, VILI;
TAKALA, ROOPE;
PEITSO, PYRY y
SIEVINEN, JANNE

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 973 264 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

Conjunto de propulsión

Campo de la invención

- 5 La presente invención se refiere a un motor de propulsión y, más concretamente, a un conjunto de propulsor electrotérmico.

Antecedentes de la invención

- 10 La tendencia actual en el tamaño de los satélites se ha dirigido hacia sistemas de propulsión altamente miniaturizados. Un CubeSat es un tipo de satélite miniaturizado de investigación espacial que está compuesto por múltiples unidades cúbicas de 10 cm X 10 cm X 10 cm. Los CubeSat y satélites más pequeños similares han originado una demanda de sistemas de propulsión en miniatura y una gran mayoría de los recientes y próximos lanzamientos se producen en las dimensiones del tamaño de los CubeSat. Los objetivos de las misiones van desde simples experimentos tecnológicos destinados a incrementar el conocimiento educativo acerca de la tecnología espacial sobre misiones científicas especializadas diseñadas concretamente para problemas de investigación diversos. Por ejemplo, los documentos DE 2054062 A1 y US 201367377 A1 divulgan un conjunto de propulsión para un sistema de propulsión.
- 15 Algunos de los problemas asociados con la miniaturización de un sistema de propulsión consisten en cómo controlar con precisión la posición de un satélite. Por ejemplo, determinadas misiones investigadoras típicamente requieren la exacta dirección de sus instrumentos en la Tierra, el Sol, o en algunos puntos fijos de la esfera terrestre. En muchos casos, el valor científico de la misión puede incluso depender críticamente de la exacta controlabilidad del satélite y de la información en tiempo real acerca de la posición del satélite.
- 20 Además de las necesidades obvias del objetivo instrumental, el control de la posición puede ser utilizado como una herramienta para prolongar la vida útil operativa del satélite en cuanto permita, por ejemplo, la aplicación óptima de los paneles solares para la generación de energía eléctrica y los ajustes de la posición del satélite para minimizar la resistencia del aire sobre la Órbita Terrestre Baja (LEO) que, en otro caso, conduciría a una salida de órbita prematura. Otro uso incluye la evitación de colisiones que pueden eficazmente conseguirse con un sistema de propulsión.
- 25 Diseñar y fabricar en serie una solución fiable y rentable en respuesta a la creciente demanda de sistemas de propulsión que doten a los pequeños satélites de las capacidades de control de la posición y de pequeños cambios de órbita requiere una gran capacidad en micromecánica y microelectrónica.

Breve descripción de la invención

- 30 Un Objetivo de la presente invención es proporcionar un conjunto para resolver los problemas anteriormente mencionados. Los objetivos de la invención se consiguen mediante una disposición la cual se caracteriza por lo indicado en la reivindicación independiente. Las formas de realización preferentes de la invención se divulgan en las reivindicaciones dependientes.
- La invención se basa en la idea de un propulsor que comprende un cuerpo de propulsor y un componente de válvula que presentan diferentes coeficientes de expansión térmica.
- 35 Las ventajas de la disposición consiste en proporcionar un sistema de propulsión adecuado para la producción en serie que sea fiable en cuanto a la miniaturización y a la controlabilidad.

Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describirá la invención con mayor detalle por medio de formas de realización preferentes con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:

- 40 La Figura 1 ilustra una forma de realización de un conjunto de propulsión;
- la Figura 2 ilustra una vista en sección transversal de una primera forma de realización de un propulsor;
- las Figuras 3A a 3D ilustran ejemplos adicionales de la primera forma de realización del propulsor;
- la Figura 4 ilustra una vista abierta de una segunda forma de realización de un propulsor;
- 45 la Figura 5A ilustra la forma de realización de la Figura 4 en una primera temperatura y la Figura 5 en una segunda temperatura.

Descripción detallada de la invención

La Figura 1 ilustra una forma de realización de un conjunto de propulsión, que comprende un conmutador 1, un propulsor 2, un depósito de gas propulsor 3, una válvula principal 4 y un canal de gas propulsor 5. El conmutador 1 puede formar parte del sistema de control eléctrico, el cual está conectado a una fuente de alimentación, por ejemplo,

células fotovoltaicas. El depósito de gas propulsor 3 esté destinado a almacenar y a presurizar un gas propulsor. Un gas propulsor adecuado puede ser por ejemplo agua u otra sustancia gasificable o gaseosa o una mezcla como por ejemplo xenón. La válvula principal 4 está configurada para controlar el flujo de gas propulsor a través del canal de gas propulsor 5 que guía el gas propulsor hacia el propulsor 2, donde es calentado y expulsado, lo que genera la propulsión para desplazar el conjunto de propulsión y, en consecuencia, el satélite o la astronave fijada a él. La válvula principal 4 añade una seguridad adicional contra las fugas al operar en vacío. Un pequeño bit de impulso procedente de la válvula principal 2 permite el posicionamiento preciso y el control dinámico a la hora del desplazamiento de una astronave.

El depósito de gas propulsor 3 puede estar conectado a más de una válvula principal 4 y la válvula principal 4 puede controlar el flujo del gas propulsor hacia más de un propulsor 2. En algunas formas de realización del conjunto de propulsión, el canal de gas propulsor 5 puede estar directamente conectado al depósito 3 sin una válvula principal 4. El gas propulsor es alimentado al propulsor 2 mediante la presurización del gas propulsor en el depósito 3 con una estructura de diafragma o vesicular utilizando un agente presurizante o un resorte mecánico, o por medio de bombeo mecánico utilizando el propio gas propulsor como agente presurizante. En algunas formas de realización, un extremo del canal de gas propulsor 5 puede estar unido al propulsor 2 en una conexión fija, y en algunas formas de realización, el canal de gas propulsor 5 puede ser fabricado como parte del propulsor 2. En algunas formas de realización, el canal de gas propulsor 5 puede ser un tubo capilar. Mediante la utilización del tubo capilar, la presión en el depósito de gas propulsor 3 se puede mantener más baja en comparación con otros tipos de canales.

La Figura 2 ilustra una vista en sección transversal de una forma de realización del propulsor. El propulsor 2 comprende un cuerpo de propulsor 21, un componente de válvula 22, un espacio 20 entre el cuerpo de propulsor 21 y el componente de válvula 22, un elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 y una tobera 25. El espacio 20 está destinado a recibir el gas propulsor procedente del canal del gas propulsor 5 y el calentamiento del gas propulsor antes de que sea liberado a la tobera 25.

El cuerpo de propulsor 21 puede ser una carcasa hueca fabricada con un material con un primer coeficiente de expansión térmica, y puede ser por ejemplo titanio con el coeficiente de expansión térmica lineal de $9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$. El componente de válvula 22 está dispuesto dentro del cuerpo de propulsor 21 y puede ser una cápsula 22-1 que comprenda una sección cilíndrica con extremos semiesféricos. Este tipo de forma es sencilla de fabricar a escala microscópica, al diseñar satélites miniaturizados. En algunas formas de realización, pueden ser implantadas otras formas también, por ejemplo, una bola o una aguja con diferentes diámetros. El componente de válvula 22 está fabricado en un material con un segundo coeficiente de expansión térmica diferente de dicho primer coeficiente de expansión térmica, y puede ser, por ejemplo, silicio con un coeficiente de expansión térmica lineal de $3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$.

En esta forma de realización, el primer coeficiente de expansión térmica es superior al segundo coeficiente de expansión térmica. En otra forma de realización, el primer coeficiente de expansión térmica puede ser inferior al segundo coeficiente de expansión térmica. Diferentes materiales presentan diferentes coeficientes de expansión térmica y como máxima preferencia duos de materiales metálicos y cerámicos, por ejemplo, acero inoxidable y carburo de silicio, o metales con gran diferencia en coeficientes de expansión térmica, como por ejemplo, cobre o aluminio, u otros materiales con suficiente temperatura operativa y diferencia de coeficiente de expansión térmica. La diferencia de coeficiente de expansión térmica lineal se selecciona de acuerdo con la diferencia de temperatura deseada entre la temperatura nominal y la temperatura de trabajo y otros parámetros como por ejemplo el tamaño del propulsor y la tensión de instalación estática. Una diferencia de coeficiente de expansión térmica inferior requiere una mayor diferencia de temperatura.

El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 está configurado para calentar el propulsor 2 en respuesta al accionamiento del conmutador 1 desde una primera temperatura hasta una segunda temperatura. Por ejemplo, la primera temperatura puede ser la temperatura corporal regulada de la astronave la cual es típicamente de $-5 \dots 20^\circ \text{C}$, y la segunda temperatura puede ser de $600 \dots 1000^\circ \text{C}$ donde la expansión térmica provocada por el cuerpo de propulsor 21 y el componente de válvula 22 que comprende una superficie de estanqueidad 24 cierre la tobera 25. El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 puede comprender, por ejemplo, un alambre resistivo enrollado alrededor del cuerpo de propulsor 21 o cualquier otro elemento de calentamiento para calentar el propulsor 2 a la segunda temperatura, como por ejemplo, un calentador de inducción o una capa resistiva chapada selectivamente sobre un material no conductor. Por ejemplo, una diferencia de coeficiente de expansión térmica de $5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ con un componente de válvula de 10 mm de largo y una diferencia de temperatura de 800°C desde la primera temperatura hasta la segunda temperatura, produce un espacio de 0,04 mm en la superficie de estanqueidad 24 que es adecuada para posibilitar el flujo de gas propulsor en el propulsor 2. Cuando el propulsor es calentado a la segunda temperatura, la presión aumenta debido a la energía cinética y provoca que el conjunto de propulsión se desplace del espacio cuando el gas calentado es expulsado desde la tobera 25. Cuando el elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 se enfría, la temperatura del propulsor 2 vuelve a disminuir hasta la primera temperatura y la superficie de estanqueidad 24 cierra de nuevo la tobera 25. El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 permite un rápido control eléctrico del propulsor mediante el control tanto del componente de válvula 22 como del calentamiento del gas propulsor. Es una solución sencilla y eficaz para activar y desactivar el propulsor 2.

Como se muestra en la Figura 2, en la primera temperatura, el componente de válvula 22 es comprimido entre el cuerpo de propulsor 21 y el canal de gas propulsor 5 y el componente de válvula 22 que presenta una superficie de

estanqueidad 24 donde el canal de gas propulsor 5 contacta con dicho componente de válvula 22. El cuerpo de propulsor 21 y el canal de gas propulsor 5 están en la conexión fija mediante soldadura por láser, por ejemplo. La superficie de estanqueidad de la Figura 2 se refiere a la superficie del componente de válvula 22 que contacta con el canal de gas propulsor 5. Sin embargo, en otra forma de realización, (por ejemplo, Figuras 3A – 3D), puede referirse a la superficie del componente de válvula 22 que contacta con el cuerpo de propulsor 21. Al contactar, la tobera 25 se cierra e impide que el gas propulsor sea expulsado. Esta estructura permite de manera simultánea el calentamiento del gas propulsor y las operaciones de la válvula. El componente de válvula 22 se enfriará más rápido después de que la potencia de calentamiento se haya apagado y aumenta la velocidad de reacción del propulsor 2.

Cuando es calentado a la segunda temperatura, el cuerpo de propulsor 21 se expande más que el componente de válvula liberando con ello la superficie de estanqueidad 24 respecto del canal de gas propulsor 5. La liberación en este contexto se refiere a la separación del componente de válvula 22 y del canal de gas propulsor 5 o del cuerpo de propulsor 21, y la formación del espacio en la superficie de estanqueidad 24 y, de esta manera, la abertura de la tobera 25. Cuando la superficie de estanqueidad es liberada, el componente de válvula 22 puede desplazarse por dentro del espacio 20 y es empujado hacia la tobera 25 por la presión del gas propulsor. En algunas formas de realización, el extremo delantero del componente de válvula 2 comprende además unos canales 28 de forma que el flujo del gas propulsor no resulte restringido cuando el componente de válvula 22 sea presionado hacia la tobera 25. En este contexto, el extremo delantero se refiere al extremo más próximo a la tobera 25.

La superficie de estanqueidad 24 está configurada para ser contactada cuando el cuerpo de propulsor 21 y el componente de válvula 22 estén a la misma primera temperatura lo cual impide que el gas propulsor se fugue hacia la tobera 25. La superficie de estanqueidad 24 está configurada para ser liberada cuando el cuerpo de propulsor 21 y el componente de válvula 22 estén a la segunda temperatura, lo que permite que el gas propulsor pase hacia la tobera 25. En algunas formas de realización, un extremo del componente de válvula 22 está en conexión fija con el cuerpo de propulsor 21, lo que se puede conseguir mediante soldadura láser o con el componente de válvula 22 y el cuerpo de propulsor 21 enroscados conjuntamente, por ejemplo. La fijación del componente de válvula 22 con el cuerpo de propulsor 21 hace posible la diferencia de temperatura requerida para liberar la superficie de estanqueidad 24 de forma que sea ajustada por la temperatura y la fuerza cambiantes con las cuales el componente de válvula 22 es insertado en el cuerpo de propulsor 21 durante el montaje para inducir una tensión en los materiales. El componente de válvula 22 o el cuerpo de propulsor 21 pueden comprender unos canales de flujo similares a los canales 28 anteriormente mencionados para que pasen el gas propulsor hacia la tobera 25 cuando el componente de válvula 22 esté en conexión fija con el cuerpo de propulsor 21. Dichos canales de flujo pueden estar en un emplazamiento de la conexión

La tobera 25 está fabricada como UNA parte del cuerpo de propulsor 21 y comprende un taladro de tobera de propulsor como por ejemplo una tobera convergente – divergente. La tobera convergente – divergente está conformada como un tubo que se estrecha o se pellizca la parte media que está dispuesta adoptando la forma de un reloj de arena asimétrico. Se utiliza para acelerar un gas propulsor presurizado caliente que pase a través de ella a una mayor velocidad supersónica en la dirección de propulsión, mediante la conversión de la energía de calor del flujo en la energía cinética, lo que se traduce en una presión de sobrealimentación turbo. En el taladro de tobera de gas propulsor, donde el área en sección transversal está en el mínimo, la velocidad del gas propulsor se convierte localmente en sónica. Cuando el área en sección transversal de la tobera convergente – divergente aumenta, el gas propulsor comienza a expandirse, y el flujo de gas propulsor se incrementa a velocidades supersónicas. Cuando el gas propulsor sale del taladro tobera de gas propulsor, el incremento del área permite que experimente una expansión de Joule-Thompson, en la que el gas propulsor se expande a velocidades supersónicas desde la alta a la baja presión empujando la velocidad del flujo de masa más allá de la velocidad sónica. Esto reduce el consumo de potencia, incrementa la propulsión, así como permite la integración del sistema en sistemas de gas propulsor múltiples y la utilización de diferentes gases propulsores.

La fabricación de la tobera 25 como parte del cuerpo de propulsor 21 se refiere a una pieza maciza en la que la tobera 25 está integrada con el cuerpo de propulsor 21. La estructura integrada puede conseguir un sistema de gas frío con un simple cambio de la punta del propulsor. Esto incrementa las aplicaciones utilizables del propulsor 2 cuando el sistema de gas frío pueda convertirse en un sistema de gas caliente con la presión de sobrealimentación turbo mediante el calentamiento no solo del componente de válvula 22 sino también como gas propulsor.

El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 puede estar aislado con el aislador 26, de manera que la fibra de vidrio u otro material no conductor alrededor del elemento de calentamiento 22 lo aisle eléctricamente de sí mismo y del cuerpo de propulsor 21. El cuerpo de propulsor 21 y el elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 pueden estar también rodeados por un manguito 29 para mantener el elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 en posición y reflejar parte del calor radiado solo por el cuerpo de propulsor 21 y el elemento de calentamiento 23 hacia atrás del cuerpo de propulsor 21. El manguito 29 en este contexto se refiere a una capa exterior del propulsor 2 y puede estar fabricado con el mismo o diferente material que el cuerpo de propulsor 21. El elemento de calentamiento 23 puede afectar especialmente a la sección de tobera, con su temperatura específica así como con el coeficiente de expansión térmica, que es diferente del de la sección precedente del propulsor 2.

Las Figuras 3A – 3D ilustran ejemplos adicionales de la forma en que el cuerpo de propulsor 21, el componente de válvula 22, el espacio 20, la superficie de estanqueidad 24 y la tobera 25 pueden estar diseñados. La superficie de

estanqueidad 24 del componente de válvula 22 de las Figuras 3A – 3D es la superficie que pone en contacto el cuerpo de propulsor 21. Todos ellos siguen el mismo principio en el que el cuerpo de propulsor 21 presenta un coeficiente de expansión térmica diferente en comparación con el coeficiente de expansión térmica del componente de válvula 22. Por ejemplo, en las Figuras 3A y 3B, el componente de válvula 22 presenta un coeficiente de expansión térmica inferior en comparación con el coeficiente de expansión térmica del cuerpo de propulsor 21, y en las Figuras 3C y 3D, el componente de válvula 22 presenta un coeficiente de expansión térmica más alto en comparación con el coeficiente de expansión térmica del cuerpo de propulsor 21. En los casos de los elementos 3C y 3D, la expansión térmica permite que el componente de válvula 22 se alargue más que el cuerpo de propulsor 21 y, de esta manera, liberar la superficie de estanqueidad 24. La superficie de estanqueidad 24 puede situarse más próxima a la tobera 25 de lo que se muestra en las Figuras 3A y 3C, o puede situarse más próxima al canal de gas propulsor 5, como se muestra en las Figuras 3B y 3D.

Las Figuras 4, 5A y 5B ilustran una vista abierta de otra forma de realización del propulsor 2. El principio de toma de contacto y de liberación de la superficie de estanqueidad 24 es similar en comparación con la descrita en relación con la Figura 2. Sin embargo, en esta forma de realización, el entero propulsor 2 puede estar fabricado como una parte laminar con materiales cerámicos laminaos o como una parte de sistemas microelectromecánicos (MEMS). Las tecnologías laminar y de litografía MEMS permiten la construcción de un solo bloque de materia prima lo que reduce el montaje y las costuras del producto final. La utilización de la tecnología permite que el propulsor resulte aún más miniaturizado en una estructura nanotecnológica. Esto puede hacer posible una triple integración en la que la tobera 25, el componente de válvula 22 y el elemento de calentamiento 23 estén integrados en el mismo sistema. El componente de válvula 22 en esta forma de realización está dispuesto como una banda de válvula 22-2 con un coeficiente de expansión térmica más alto que el cuerpo de propulsor 21. En algunas formas de realización, la estructura laminar puede posibilitar que el canal de gas propulsor 5 y que la tobera 25 sean fabricados directamente sobre la misma parte con el cuerpo de propulsor 21. La capacidad para fabricar el canal de gas propulsor 5 sobre la misma parte con el cuerpo de propulsor mejora la manufacturabilidad del entero propulsor 2.

La banda de válvula 22-2 puede estar fabricada a partir de un o más materiales, como por ejemplo titanio o biometal de cobre – titanio. La banda de válvula 22-2 puede estar fabricada a partir de un diseño de material funcional único. Comprende al menos una abertura 27 u otra característica para hacer posible el flujo, y una superficie que contacte con una entrada de la tobera 25 y del cuerpo de propulsor 21, formando la superficie de estanqueidad 24, cuando el propulsor 2 esté en la primera temperatura, como se muestra en la Figura 5A y abra la tobera 25 cuando el propulsor 2 sea calentado a la segunda temperatura, como se muestra en la Figura 5B. Ambos extremos de la banda de válvula 22-2 están constreñidos por el cuerpo de propulsor 21 de tal manera que impida que la banda de válvula 22-2 se desplace por dentro del cuerpo de propulsor 21. Esto se puede conseguir, por ejemplo, mediante determinadas características tales como entallas dispuestas en el cuerpo de propulsor 21 o como una conexión maciza entre los dos, como por ejemplo una soldadura.

Cuando se sitúe en la primera temperatura, la banda de válvula 22-2 es recta y presenta la misma anchura que el espacio 20 más próximo a la tobera 25 y el lado hacia la tobera 25 está en contacto con la pared del cuerpo de propulsor 21 de tal manera que la superficie de estanqueidad 24 esté en contacto debido a que las aberturas 27, la superficie de estanqueidad 24 o ambas están bloqueadas por dicha pared. Debido a que la expansión térmica de la banda de válvula 22-2 es mayor que la del cuerpo de propulsor 21, o en el caso de que una banda bimetálica, la expansión térmica del lado hacia la tobera es menor, ello permite que la banda de válvula 22-2 se doble hacia dentro en dirección al espacio 20. El plegado libera la superficie de estanqueidad 24 y abre la tobera 25 y hace posible que el gas propulsor fluya a través de las aberturas 27 que ya no están bloqueadas por dicha pared.

El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 puede comprender un elemento resistivo situado dentro del cuerpo de propulsor 21 que puede, por ejemplo, estar selectivamente chapado sobre el cuerpo de propulsor 21. El elemento de calentamiento eléctricamente controlado 23 puede, como alternativa, estar situado por fuera del cuerpo de propulsor 21.

Con los diseños de propulsor anteriormente mencionados, puede conseguirse un número limitado de componentes y la miniaturización. El propulsor 2 puede tener menos de 5 mm de largo. En algunas formas de realización, solo se necesitan 2 partes para ensamblar el entero propulsor 2. La reducción del número de los componentes también reduce el número de posibles causas de fallos, lo que se traduce en una fiabilidad del producto más elevada y en una reducción del peso y el tiempo de montaje del sistema. El diseño permite la manufacturabilidad en serie de la producción incrementando al tiempo la calidad y la repetibilidad de los componentes incluidos en la producción. Permite también la capacidad de crecimiento o escalabilidad de la propulsión y el impulso máximos, lo que hace posible que el mismo diseño básico se aplique a una amplia gama de niveles de propulsión

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de propulsión, que comprende:

un conmutador (1) conectado a una fuente de alimentación,

un propulsor (2),

5 un depósito de gas propulsor (3) para almacenar y presurizar un gas propulsor, y

un canal de gas propulsor (5) para guiar el gas propulsor hacia el propulsor (2), en el que el propulsor (2) comprende:

un espacio (20) para recibir el gas propulsor procedente del canal de gas propulsor (5),

un elemento de calentamiento eléctricamente controlado (23),

10 un cuerpo de propulsor (21) que presenta un primer coeficiente de expansión térmica,

un componente de válvula (22) que presenta un segundo coeficiente de expansión térmica, que es diferente del primer coeficiente de expansión térmica, dentro del cuerpo de propulsor (21),

una tobera convergente – divergente (25) que comprende un taladro de tobera de propulsión,

15 en el que el componente de válvula (22) comprende una superficie de estanqueidad (24) que cierra la tobera convergente – divergente (25) a una primera temperatura, y

el elemento de calentamiento eléctricamente controlado (22) en respuesta a la activación del conmutador (1), calienta el propulsor (2) a una segunda temperatura donde la expansión térmica del propulsor (2) abre la tobera convergente – divergente (25), **caracterizado porque** la tobera convergente – divergente (25) está fabricada sobre una misma parte con el cuerpo de propulsor (21).

20 2. Un conjunto de propulsión de acuerdo con la reivindicación 1, en el que un extremo del componente de válvula (22) está en conexión fija con el cuerpo de propulsor (21).

3. Un conjunto de propulsión de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el componente de válvula (22) es una cápsula (22-1) que comprende una sección cilíndrica.

25 4. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el cuerpo de propulsor (21) presenta un coeficiente de expansión térmica más elevada que el componente de válvula (22).

5. Un conjunto de propulsión de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el cuerpo de propulsor (21) comprende una estructura laminar con materiales cerámicos laminados o MEMS.

6. Un conjunto de propulsión de acuerdo con la reivindicación 5, en el que el componente de válvula (22) es una banda de válvula (22-2) que comprende al menos una abertura (27).

30 7. Un conjunto de propulsión de acuerdo con la reivindicación 6, en el que la banda de válvula (22-2) presenta un coeficiente de expansión térmica superior que el cuerpo de propulsor (21), y ambos extremos de la banda de válvula (22-2) está en conexión fija con el cuerpo de propulsor (21), de manera que cuando es calentada a la segunda temperatura, la banda de válvula (22-2) está configurada para plegarse hacia dentro debido a la expansión térmica.

35 8. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7, en el que la estructura laminar permite que el canal de gas propulsor (5) sea fabricado sobre la misma parte con el cuerpo de propulsor (21).

9. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la superficie de estanqueidad (24) es una superficie del componente de válvula (22) que contacta con el cuerpo de propulsor (21), o una superficie del componente de válvula (22) que contacta con el canal de gas propulsor (5).

40 10. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el cuerpo de propulsor (21) está rodeado por un manguito (29).

11. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el conjunto comprende además una válvula principal (4) para controlar el flujo de gas propulsor hacia el propulsor (2).

45 12. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el elemento de calentamiento eléctricamente controlado (23) comprende un alambre resistivo enrollado alrededor del cuerpo de propulsor (21) o situado dentro del cuerpo de propulsor (21).

13. Un conjunto de propulsión de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el propulsor (2) tiene una longitud inferior a 5 mm.

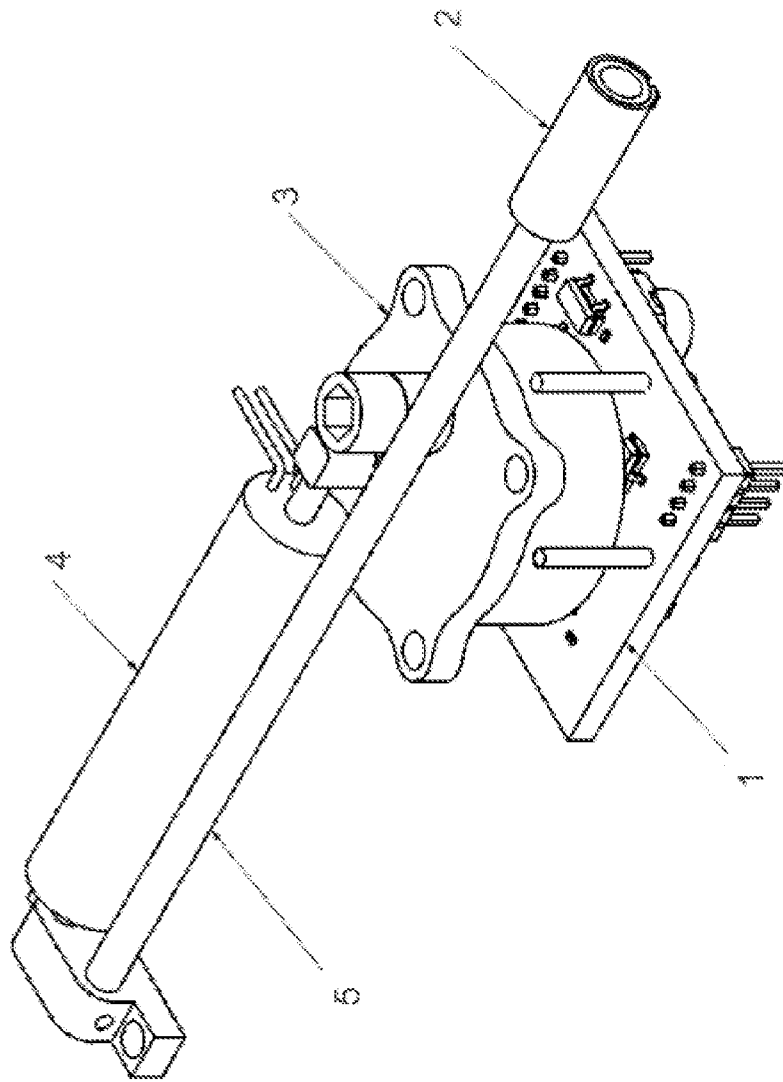


Figure 1

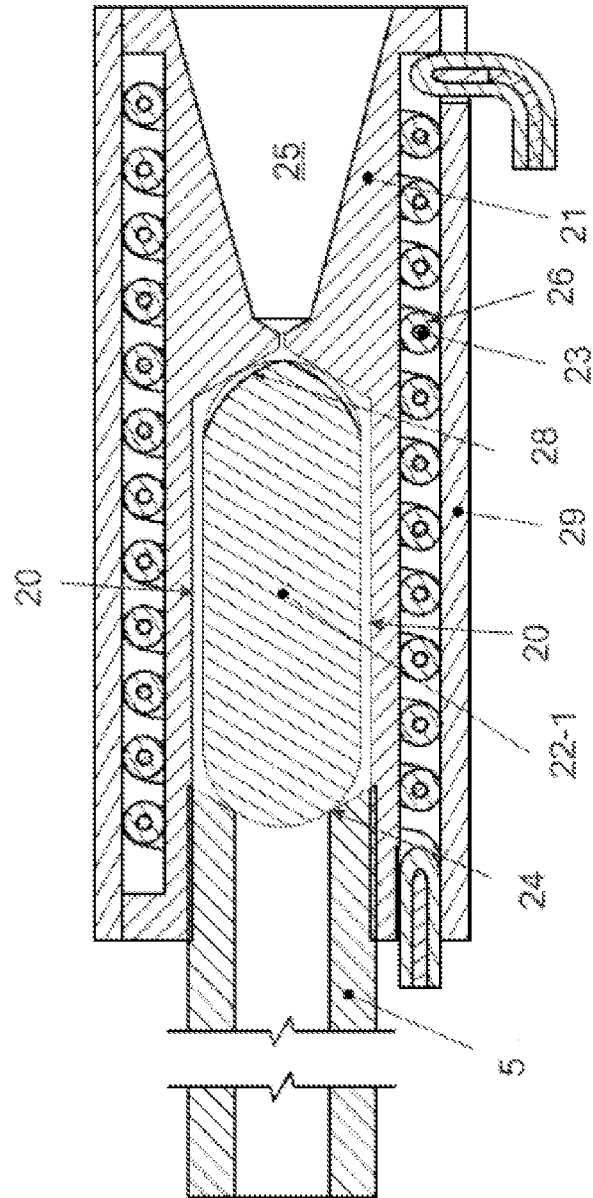


Figura 2

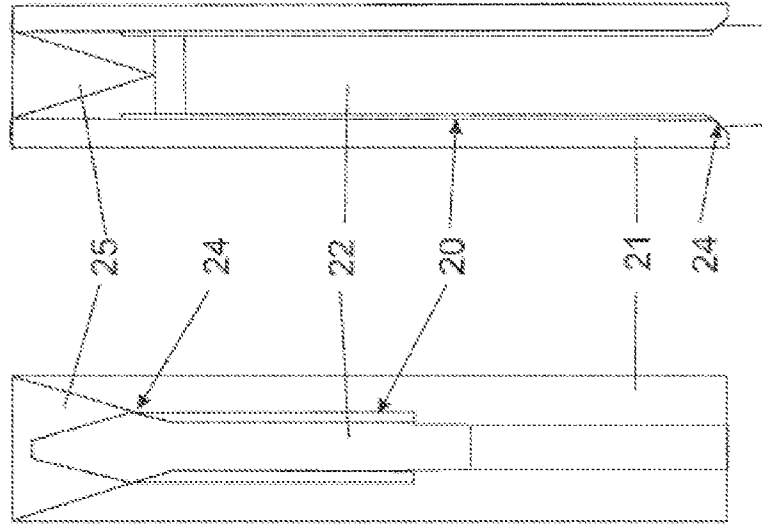


Figure 3D

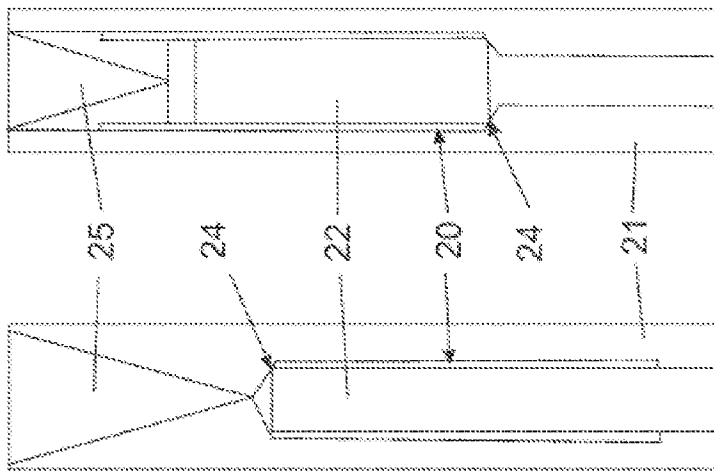


Figure 3B

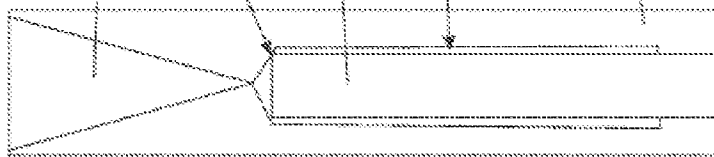


Figure 3A

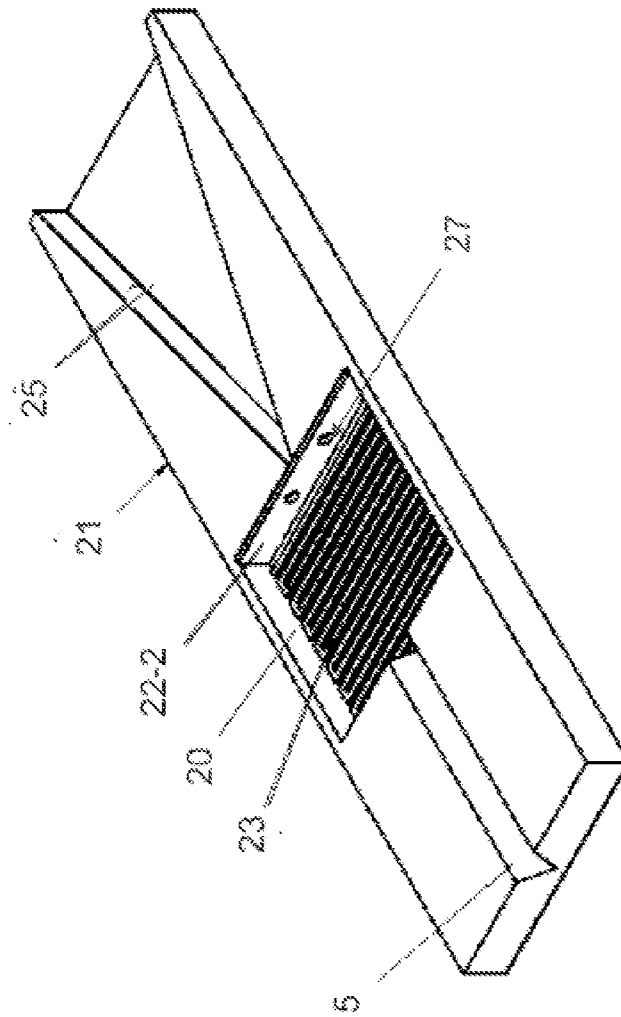


Figura 4

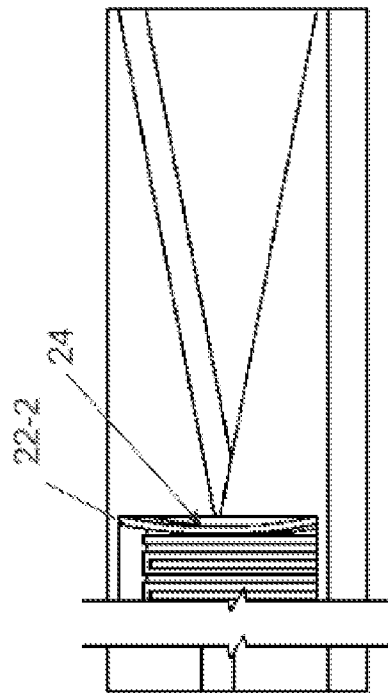


Figure 5B

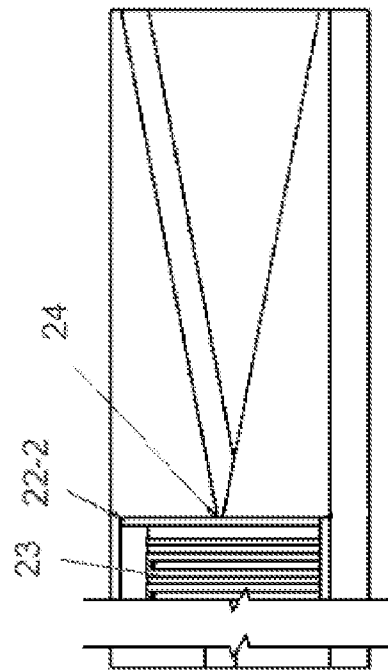


Figure 5A