

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 631 691**

51 Int. Cl.:

B64G 1/40 (2006.01)

F02K 9/60 (2006.01)

F17C 13/00 (2006.01)

G01F 23/288 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2014 PCT/EP2014/053745**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.09.2014 WO14131802**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2014 E 14706831 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017 EP 2961657**

54 Título: **Control de una distribución de propelente en un tanque de propelente de una nave espacial**

30 Prioridad:

26.02.2013 EP 13275043

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

04.09.2017

73 Titular/es:

**AIRBUS DEFENCE AND SPACE LIMITED (100.0%)
Gunnels Wood Road
Stevenage, Hertfordshire SG1 2AS, GB**

72 Inventor/es:

NYE, BENJAMIN JOHN SAPWELL

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 631 691 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

Control de una distribución de propelente en un tanque de propelente de una nave espacial

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere al control de una distribución de propelente en un tanque de propelente de una nave espacial. En particular, la presente invención se refiere al control de una distribución de propelente en el interior de un cuerpo del tanque de propelente usando una pluralidad de elementos de tomografía térmica dispuestos alrededor del cuerpo.

Antecedentes de la invención

Es una necesidad recurrente para las misiones espaciales proporcionar medios por los que los niveles de propelente se puedan calibrar y controlar a lo largo de la vida operativa de una nave espacial. Los procedimientos convencionales de calibración del propelente incluyen un procedimiento de estimación, y una técnica de calibración de propelente térmico (TPGT). En el procedimiento por estimación, el nivel real de propelente se estima mediante la sustracción de una masa estimada de propelente quemado durante los disparos de propulsores desde el inicio de la misión, a partir del nivel inicial de propelente. Este procedimiento se vuelve cada vez más impreciso hacia el final de la vida útil debido a los errores acumulados. En el procedimiento de la TPGT, se mide la respuesta térmica del tanque de propelente al calentamiento y se compara con los resultados de la simulación para niveles de propelente diferentes. Además, una combinación del procedimiento por estimación y la TPGT se puede usar para estimar el nivel de propelente restante. Sin embargo, estos procedimientos no siempre satisfacen los requisitos de precisión en la calibración a lo largo de la vida útil en órbita, que típicamente es de $\pm 10\%$ del propelente restante.

EP2103863 divulga el aparato para detectar la posición de una superficie líquida bajo un entorno de microgravedad y determinar el volumen del líquido. El aparato comprende medios de calentamiento proporcionados en una superficie mural de un recipiente para calentar el líquido, medios de medición de la temperatura para medir un cambio en la temperatura, y medios de procesamiento para calcular el volumen del líquido basado en el cambio de temperatura medida.

La invención se realiza en este contexto.

RESUMEN DE LA INVENCION

De acuerdo con la presente invención se proporciona un sistema para controlar una distribución de propelente en un conjunto de tanques de propelente de una nave espacial, el sistema comprende: un cuerpo para contener el propelente, una pluralidad de elementos de tomografía térmica, incluyendo una pluralidad de elementos de control de la temperatura, y una pluralidad de sensores de temperatura, dispuestos alrededor del cuerpo para detectar la distribución de propelente en el interior del cuerpo, y un módulo de control del elemento de tomografía dispuesto para controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente mediante calentamiento y/o enfriamiento del propelente.

El sistema puede comprender además: una salida de propelente, y un dispositivo de tratamiento del propelente en el interior del cuerpo, dispuesto para suministrar el propelente a la salida de propelente.

La pluralidad de sensores de temperatura puede estar dispuesta en proximidad al dispositivo de tratamiento de propelente.

La pluralidad de elementos de control de la temperatura puede incluir una pluralidad de refrigeradores, dispuestos en proximidad al dispositivo de tratamiento del propelente.

La pluralidad de elementos de control de la temperatura puede incluir una pluralidad de calentadores, dispuestos lejos del dispositivo de tratamiento del propelente.

El dispositivo de tratamiento del propelente puede comprender una o más paletas.

La pluralidad de los elementos de tomografía térmica puede estar dispuesta en una superficie exterior del cuerpo.

Además, el módulo de control del elemento de tomografía puede disponerse para controlar la pluralidad de

elementos de tomografía térmica para obtener los datos de tomografía, y el sistema puede comprender además: un módulo de análisis de datos de tomografía dispuesto para recibir los datos de tomografía obtenidos y determinar una distribución del propelente en el interior del tanque de propelente basada en los datos de tomografía obtenidos.

5 En una forma de realización, el sistema comprende además la nave espacial, y el conjunto de tanques de propelente, el módulo de control del elemento de tomografía y el módulo de análisis de los datos de tomografía se incluyen a bordo de la nave espacial.

10 En otra forma de realización, el sistema comprende además la nave espacial, y el conjunto de tanques de propelente y el módulo de control del elemento de tomografía se incluyen a bordo de la nave espacial, y el módulo de análisis de datos de tomografía es un módulo terrestre dispuesto para recibir los datos de tomografía obtenidos a partir de la nave espacial.

15 De acuerdo con la presente invención también se proporciona un procedimiento para controlar la distribución de propelente en un conjunto de tanques de propelente de una nave espacial, el conjunto de cuerpos de propelente comprende un cuerpo para contener el propelente y una pluralidad de elementos de tomografía térmica, incluyendo una pluralidad de elementos de control de la temperatura y una pluralidad de sensores de temperatura, dispuestos alrededor del cuerpo para detectar la distribución del propelente en el interior del cuerpo, comprendiendo el procedimiento: controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo de propelente mediante calentamiento y/o enfriamiento del propelente.

20 Antes de controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente, el procedimiento puede comprender además: obtener los datos de tomografía a partir de la pluralidad de elementos de tomografía térmica, y determinar una distribución de propelente en el interior del tanque de propelente basada en los datos de tomografía obtenidos.

El procedimiento puede comprender además: determinar una cantidad de propelente restante en el tanque de propelente basado en la distribución determinada y una densidad conocida del propelente.

30 Controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente puede comprender: comparar la distribución determinada con una distribución deseada de propelente para identificar una o más regiones dentro del cuerpo del tanque del propelente que tengan una concentración mayor de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada y controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para calentar la región identificada o más primeras regiones, y/o donde controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente comprende: comparar la distribución determinada con la distribución deseada de propelente para identificar una o más segundas regiones dentro del cuerpo del tanque de propelente que tenga una menor concentración de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada; y controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para enfriar la región identificada o más segundas regiones.

40 El procedimiento puede comprender además: obtener de los datos de tomografía actualizados a partir de la pluralidad de los elementos de tomografía térmica, después de controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente, y determinar una distribución actualizada del propelente en el interior del tanque de propelente basada en los datos de tomografía obtenidos.

La distribución actualizada determinada del propelente se puede comparar a la distribución deseada para determinar si se ha alcanzado la distribución deseada. De acuerdo con la presente invención, también se proporciona una nave espacial que incluye el conjunto de tanques de propelente.

50

Breve descripción de los dibujos

Las formas de realización de la presente invención se describirán ahora, solo a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

55

La figura 1 ilustra un conjunto de tanques de propelente de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La figura 2 ilustra una posible distribución del propelente en el compartimento inferior del conjunto de tanques de propelente de la fig. 1 de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

60 La figura 3 ilustra una matriz de elementos de tomografía dispuesta alrededor del conjunto de un tanque de

propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La figura 4 ilustra la recogida de los datos de tomografía a partir de una matriz de elementos de tomografía dispuesta alrededor del conjunto de un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

5 La figura 5 ilustra una matriz de elementos de tomografía térmica dispuesta alrededor del conjunto de un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La figura 6 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para determinar una cantidad de propelente restante en un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

10 La figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de uso de los elementos de tomografía térmica para controlar la distribución de propelente en un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención;

La figura 8 ilustra un sistema para determinar una distribución de propelente en un conjunto de tanques de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención, y

15 La figura 9 ilustra un sistema para determinar una distribución de propelente en un conjunto de tanques de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención.

Descripción detallada

20 Haciendo referencia ahora a la fig. 1, se ilustra un conjunto de tanques de propelente de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El conjunto de tanques de propelente 100 comprende un cuerpo 101, que es un recipiente hueco para contener el propelente. El conjunto de tanques de propelente comprende además una membrana 102 dispuesta en el interior del cuerpo 101 para dividir el cuerpo 101 en un compartimiento superior 103 y un compartimiento inferior 104, y un tubo de comunicación 105 alrededor del perímetro de la membrana 102. El tubo de comunicación 105 incluye una primera abertura 106 en el compartimiento superior 103 y una segunda abertura 25 107 en el compartimiento inferior 104. El tubo de comunicación 105 permite la comunicación de un líquido entre el compartimiento superior 103 y el compartimiento inferior 104.

El conjunto de tanques de propelente 100 comprende además una entrada de gas 108 en comunicación fluida con el compartimiento superior 103, y una salida de propelente 109 en comunicación fluida con el compartimiento inferior 30 104. El depósito de presión dentro del cuerpo 101 proporciona la fuerza motriz para expulsar el propelente desde la salida de propelente 109 siempre que el sistema de propulsión descendente lo demande.

Además, como se indica en la fig. 1, el conjunto de tanques de propelente 100 puede comprender además uno o más dispositivos de tratamiento de propelente (PMD) en el interior del cuerpo 101. En la presente forma de 35 realización, el conjunto de tanques de propelente 100 incluye un PMD de control 110, que es una estructura de área de gran superficie en comunicación fluida con la salida de propelente 109, y que incluye además un PMD de comunicación en la forma de cuatro paletas dispuestas en la superficie interior del cuerpo 101. En la presente forma de realización las cuatro paletas están dispuestas en ángulos de 0, 90, 80 y 270 grados alrededor del eje central del tanque de propelente 100, aunque solo tres de estas paletas 111, 112, 113 son visibles en el dibujo en corte 40 ilustrado en la fig. 1. El PMD de comunicación 111, 112, 113 y el PMD de control 110 están dispuestos para encaminar el propelente hacia la salida de propelente 109 por capilaridad, para proporcionar propelente sin gas a la salida de propelente 109.

Aunque en la presente forma de realización se proporciona un PMD de comunicación que incluye cuatro paletas, en 45 otras formas de realización se puede usar cualquier número paletas, es decir, una o más paletas. Además, los PMD de comunicación no están limitados a las paletas, y en otras formas de realización diferentes se puede proporcionar el PMD de comunicación en vez de, o además de, una o más paletas. Por ejemplo, en vez de paletas un PMD de comunicación puede comprender una o más galerías cada una proporcionando una vía de flujo cubierta para la salida del propelente.

50 Se entenderá que el conjunto de tanques de propelente 100 se puede usar en un entorno de microgravedad, y que aquí los términos "superior" e "inferior" se refieren meramente al tanque de propelente en la orientación que se muestra en la fig. 1 y no implican una orientación particular del conjunto de tanques de propelente 100 durante el uso.

55 Haciendo referencia ahora a la fig. 2, se ilustra una posible distribución del propelente en el compartimiento inferior del conjunto de tanques de propelente de la fig. 1, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. Como se indica en la fig. 2 el conjunto de tanques de propelente 100 comprende además una matriz de elementos de tomografía térmica 201 dispuesta alrededor del cuerpo 101, que se puede usar para determinar la 60 distribución de propelente 202 en el tanque de propelente. En el ejemplo de la fig. 2 el propelente líquido 202 está

situado hacia los laterales del compartimento inferior, y rodea una burbuja de gas presurizado 203. Esta es una distribución de propelente que podría esperarse en un entorno de microgravedad, en el que la distribución de líquido está en gran medida gobernada por las fuerzas de la tensión de superficie. A medida que la nave espacial consume el propelente 202, el volumen del propelente 202 restante en el conjunto del tanque de propelente 100 disminuirá y el volumen de la burbuja de gas presurizado 203 aumentará.

Los elementos de la tomografía térmica 201 se pueden usar para recoger los datos de tomografía que se pueden analizar para determinar la distribución del propelente 202 dentro del conjunto de tanques de propelente 100. Los elementos de tomografía térmica 201 incluyen una pluralidad de emisores y una pluralidad de receptores, que permiten la distribución interna del líquido a determinar a partir de la modificación en la atenuación experimentada por las ondas que viajan a lo largo de diferentes rutas del cuerpo del tanque de propelente 101, entre los distintos emisores y receptores.

Permitiendo la distribución de propelente en el tanque de propelente 100 a determinar, las formas de realización de la presente invención pueden proporcionar un procedimiento mejorado de determinación de los niveles de propelente restantes. Ser capaces de determinar con precisión la cantidad de propelente restante puede permitir aumentar la duración de la misión.

En la presente forma de realización se usa un procedimiento de tomografía térmica, y la pluralidad de elementos de tomografía 201 incluye una pluralidad de calentadores y una pluralidad de sensores de temperatura. Los calentadores pueden, por ejemplo ser resistentes a los elementos calefactores o a los calentadores Peltier. Los sensores de temperatura pueden, por ejemplo, ser termistores o termopares. Se pueden usar otros tipos de calentadores y sensores de temperatura.

Un beneficio adicional del uso de la tomografía térmica es que los calentadores en la matriz de los elementos de tomografía se pueden controlar para aplicar gradientes térmicos para influir en la distribución del propelente dentro de un tanque, por ejemplo para mover el propelente hacia unas características de colección en el cuerpo del tanque de propelente 101 como por ejemplo el PMD de control 110 y las paletas guía 111, 112, 113. Controlar el propelente de esta forma puede aumentar la cantidad de propelente que se recupera a partir del tanque para el final de la vida útil.

En la presente forma de realización los elementos de tomografía térmica 201 están dispuestos en una matriz regular de tiras, de las que solo una es visible en la fig. 2. Cada tira 201 incluye una pluralidad de elementos conectados a una superficie exterior del cuerpo. Sin embargo, la invención no está limitada a una matriz de tomografía en las que los elementos están dispuestos en tiras. En general para la matriz de elementos de tomografía térmica se puede usar cualquier geometría, por ejemplo los elementos pueden separarse regular o irregularmente en cualquier dirección. Además, en otras formas de realización la pluralidad de los elementos de tomografía térmica puede disponerse alrededor del cuerpo 101 en una superficie interior del cuerpo 101, o en cavidades dentro de la pared del cuerpo 101. Cuando los elementos de tomografía térmica están dispuestos en una superficie interior del cuerpo 101, los elementos pueden estar en contacto fluido directo con el propelente, permitiendo el uso de técnicas como por ejemplo la tomografía de resistencia eléctrica. En dichas formas de realización, los elementos de tomografía térmica deben estar formados a partir de materiales que sean químicamente compatibles con el propelente.

Haciendo referencia ahora a la fig. 3 se ilustra una matriz de elementos de tomografía térmica dispuesta alrededor del cuerpo de un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. La figura 3 muestra una sección transversal a través de un conjunto de tanques de propelente 300 que comprende un cuerpo 301 y cuatro paletas guía 311, 312, 313, 314 en el interior del cuerpo 301. Los elementos de tomografía térmica 302, 303 están dispuestos en la superficie exterior del cuerpo 301 en proximidad a cada una de las paletas guía 311, 312, 313, 314. En la presente forma de realización los elementos de tomografía térmica están dispuestos en tiras, de forma similar a la forma de realización de las figs. 1 y 2, con dos tiras de sensores 302, 303 dispuestas en proximidad a cada paleta guía 311.

Cuando un conjunto de tanques de propelente incluye uno o más PMD, por ejemplo las paletas guía como se muestra en la fig. 3, la distribución de propelente se concentrará alrededor de las paletas guía, particularmente cuando el tanque se aproxime al agotamiento. Proporcionar elementos de tomografía térmica que estén dispuestos en proximidad a los PMD tiene la ventaja de que la resolución que se obtiene mediante la matriz de tomografía mejora en las áreas críticas, donde existe una mayor variación del perfil de la superficie de propelente.

Haciendo referencia ahora a la fig. 4, se ilustra la recogida de datos de tomografía a partir de una matriz de elementos de tomografía térmica dispuesta alrededor del cuerpo de un tanque de propelente, de acuerdo con una

forma de realización de la presente invención. El diagrama de la izquierda en la fig. 4 ilustra una sección transversal vertical a través de un conjunto de tanques de propelente 400 y el diagrama de la derecha ilustra una sección transversal horizontal a través del conjunto de tanques de propelente 400, cuando el conjunto de tanques de propelente 400 está en una posición vertical.

5

Como se indica en la fig. 4 el conjunto de tanques de propelente 400 de la presente forma de realización comprende una matriz de elementos de tomografía térmica dispuesta en seis tiras verticales 402, 403 alrededor del cuerpo del tanque de propelente 401, cada tira incluyendo cinco elementos de tomografía. Estos números son simplemente ilustrativos, y en otras formas de realización se pueden usar diferentes números de elementos de tomografía térmica y/o se puede usar una geometría diferente para la matriz de tomografía. Cada elemento de tomografía térmica puede ser emisor o receptor, o puede ser los dos, un emisor y un receptor.

En el ejemplo que se muestra en la fig. 4, un emisor en una tira 402 de elementos de tomografía térmica emite una señal térmica mediante calentamiento o enfriamiento local, que es detectada por los receptores en otra tira 403. Esto permite la atenuación de la señal térmica a determinar a lo largo de distintas rutas a través del cuerpo 401. La matriz de tomografía de los emisores y receptores puede medir la atenuación de la señal térmica entre distintos puntos alrededor del cuerpo 401 de un conjunto de tanques de propelente 400, y la atenuación depende de la composición que atraviese. La matriz de tomografía se puede usar para obtener datos de tomografía que incluyen información sobre la atenuación entre diferentes puntos alrededor del cuerpo 401. Un algoritmo de tomografía se puede usar para reconstruir un mapa tridimensional del contenido del tanque de propelente a partir de los datos de tomografía obtenidos.

Permitiendo la distribución de propelente dentro del conjunto de tanques de propelente a determinar, las formas de realización de la presente invención ofrecen varias ventajas sobre los procedimientos convencionales de calibración de propelente. Por ejemplo, la masa del propelente restante en el cuerpo del tanque de propelente se puede determinar calculando el volumen de propelente a partir del mapa tridimensional obtenido de los contenidos del tanque de propelente, y multiplicando el volumen de propelente por una densidad conocida del propelente. Esto puede proporcionar una medición más precisa de la masa de propelente que con los procedimientos convencionales.

30

Otra ventaja de la detección de la distribución de propelente puede ser la validación de un diseño de tanques de propelente, confirmando que el propelente está distribuido en las localizaciones previstas dentro del cuerpo del tanque de propelente. Además, las formas de realización de la presente invención pueden proporcionar una visualización de los residuos estáticos hacia el final de la vida útil, que es propelente que no se puede eliminar de las superficies del tanque.

Otra ventaja más ofrecida por las formas de realización de la presente invención es la capacidad de proporcionar monitorización en tiempo real de la distribución de propelente durante las maniobras de la nave espacial. En particular, durante maniobras de la nave espacial de larga duración los dispositivos de tratamiento de propelente (PMD) dentro del cuerpo del tanque de propelente pueden agotarse o secarse. Cuando se usan procedimientos de calibración de propelente, es una práctica normal aplicar un margen de seguridad significativo en la duración de la maniobra para permitir las incertidumbres en la distribución de propelente. Sin embargo, mediante el uso de tomografía para detectar la distribución de propelente, las formas de realización de la presente invención pueden proporcionar confirmación en tiempo real de que los PMD permanecen húmedos. Esto puede permitir maniobras de larga duración sin tener que incorporar dichos márgenes de seguridad, ahorrando así tiempo en las operaciones programadas de la nave espacial.

Haciendo referencia ahora a la fig. 5, se ilustra una matriz de elementos de tomografía térmica dispuesta alrededor del cuerpo del tanque de propelente, de acuerdo a una forma de realización de la presente invención. Como en la fig. 3, la fig. 5 muestra una sección transversal a través de un conjunto de tanques de propelente 500 que comprende un cuerpo 501 y cuatro paletas guía 511, 512, 513, 514 en el interior del cuerpo 501. Los elementos de tomografía térmica 502, 503 están dispuestos en la superficie exterior del cuerpo 501 en proximidad a cada una de las paletas guía 511, 512, 513, 514. En la presente forma de realización los elementos de tomografía térmica 502, 503 están dispuestos en tiras, de forma similar a la forma de realización de las figs. 1 y 4 con dos tiras dispuestas en proximidad a cada paleta guía 511, 512, 513, 514.

Los elementos de tomografía térmica incluyen una pluralidad de refrigeradores 502, dispuesta en proximidad a los PMD 511, 512, 513, 514, que en la presente invención son paletas guía. Los elementos de tomografía térmica también incluyen una pluralidad de calentadores 503, dispuesta alrededor del cuerpo 501 en localizaciones remotas de los PMD 511, 512, 513, 514. Esto es, la pluralidad de refrigeradores 502 está localizada más cerca de los PMD

60

que la pluralidad de calentadores 503. La pluralidad de refrigeradores puede ser refrigeradores Peltier. Los calentadores y refrigeradores pueden denominarse elementos de control de la temperatura.

En la presente forma de realización, la pluralidad de elementos de tomografía térmica 502, 503 se puede controlar para redistribuir el propelente a una distribución deseada en la que el propelente se concentra en los PMD 511, 512, 513, 514. Específicamente, enfriando el refrigerador 502 localizado cerca de los PMD 511, 512, 513, 514 se puede controlar la pluralidad de los elementos de tomografía térmica 502, 503 mientras que se calientan los calentadores 503 localizados más lejos de los PMD 511, 512, 513, 514. Esto reduce la temperatura de los PMD relativa a otras regiones en el conjunto de tanques de propelente 500, causando la condensación de cualquier propelente restante en los PMD 511, 512, 513, 514 y aumentando la cantidad de propelente que se puede extraer a medida que el tanque se vacía.

En otras formas de realización una pluralidad de elementos de tomografía térmica puede incluir solo una pluralidad de calentadores o puede incluir solo una pluralidad de refrigeradores. En dichas formas de realización los elementos de tomografía aún pueden disponerse para que la pluralidad de los primeros elementos de tomografía térmica 502 esté dispuesta en proximidad a uno o más PMD y una pluralidad de segundos elementos de tomografía térmica 503 esté dispuesta en localizaciones remotas de los PMD, de forma similar a la disposición que se muestra en la fig. 5. Esto es, los primeros elementos de tomografía térmica 502 se pueden localizar más cerca de los PMD que los segundos elementos de tomografía térmica 503. Cuando el primer y el segundo elemento de tomografía térmica 502, 503 son calentadores, los elementos de tomografía térmica se pueden controlar para redistribuir el propelente para que esté más cerca de los PMD solo calentando los segundos elementos de tomografía térmica 503, o calentando los segundos elementos de tomografía 503 a una temperatura mayor que los primeros elementos de tomografía térmica 502. Por otra parte, cuando el primer y el segundo elemento de tomografía térmica 502, 503 son refrigeradores, los elementos de tomografía térmica se pueden controlar para redistribuir el propelente para que esté más cerca de los PMD solo enfriando los primeros elementos de tomografía térmica 502, o enfriando los segundos elementos de tomografía 503 a una temperatura menor que los primeros elementos de tomografía térmica 502. Ambos procedimientos de control pueden generar gradientes térmicos dentro del conjunto de tanque de propelente 500 que causarán que se condense el propelente en los PMD, bajando la temperatura cerca de los PMD relativa a otras regiones en el conjunto de tanques de propelente 500.

La figura 6 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento para determinar una cantidad de propelente restante en un tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. En el primer paso S601, los datos de tomografía se obtienen a partir de una pluralidad de elementos de tomografía térmica dispuesta en una superficie exterior de un cuerpo de un tanque de propelente de una nave espacial, por ejemplo un conjunto de tanques de propelente como se muestra en cualquiera de las figs. de la 1 a la 5.

Después, en el paso S602, la distribución de propelente en el interior del tanque de propelente se determina basándose en los datos de tomografía obtenidos. Aquí, el paso S602 de determinar la distribución de propelente se puede realizar procesando los datos de tomografía a bordo de la nave espacial usando un algoritmo de tomografía. De forma alternativa, los datos de tomografía sin procesar se pueden transmitir desde la nave espacial hasta otro aparato, por ejemplo un módulo terrestre de análisis de datos de tomografía, para su procesamiento.

Una vez se ha determinado la distribución de propelente, la cantidad de propelente restante se puede determinar opcionalmente en el paso S603 basado en la distribución determinada y una densidad conocida del propelente. Específicamente, el volumen de propelente se puede calcular a partir de la distribución determinada y se puede multiplicar mediante la densidad del propelente para dar la masa del propelente restante.

La figura 7 es un diagrama de flujo que muestra un procedimiento de uso de elementos de tomografía térmica para redistribuir propelente en un cuerpo del tanque de propelente, de acuerdo a una forma de realización de la presente invención. El procedimiento se puede implementar usando cualquier conjunto de tanques de propelente que incluya una pluralidad de elementos de tomografía térmica. El procedimiento aprovecha una pluralidad de calentadores y/o una pluralidad de refrigeradores incluidas en los elementos de tomografía térmica como emisores, usando los calentadores para calentar localmente las regiones del conjunto de tanques de propelente y/o usando los refrigeradores para enfriar localmente las regiones del conjunto de tanques de propelente, para redistribuir el propelente.

Primero, en el paso S701, los datos de tomografía se obtienen a partir de la pluralidad de elementos de tomografía térmica, y en el paso S702 la distribución de propelente en el interior del tanque de propelente se determina basándose en los datos de tomografía obtenidos. Estos pasos pueden ser similares a los pasos S601 y S602 de la fig. 6. Después, en el paso S703, los calentadores y/o refrigeradores se controlan para redistribuir el propelente en el

interior del cuerpo del tanque de propelente mediante calentamiento y/o enfriamiento del propelente.

Para controlar los calentadores y/o refrigeradores para redistribuir el propelente, son posibles varias estrategias, como se describe anteriormente con referencia a la fig. 5. En la presente forma de realización, para una distribución deseada del propelente una pluralidad de calentadores se controla comparando la distribución determinada en el paso S702, para identificar una o más primeras regiones dentro del cuerpo del tanque de propelente que tiene una concentración mayor de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada. Después la pluralidad de calentadores se controla para calentar la región identificada o más primeras regiones, mediante la activación de los calentadores localizados más cerca de la región identificada o del resto de las primeras regiones.

10 En lugar de, o mediante el control de una pluralidad de calentadores, se puede controlar una pluralidad de refrigeradores comparando la distribución determinada en el paso S702 con la distribución deseada de propelente, para identificar una o más segundas regiones dentro del cuerpo del tanque de propelente que tiene una menor concentración de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada. Después la pluralidad de refrigeradores se controla para enfriar la región identificada o más segundas regiones, mediante la activación de los refrigeradores localizados más cerca de la región identificada o del resto de las segundas regiones.

En otras formas de realización se pueden usar procedimientos de control alternativos. Por ejemplo, se puede almacenar una pluralidad de calentadores predeterminados y/o esquemas de control del refrigerador, cada uno correspondiente a uno de una pluralidad de distribuciones predeterminadas distintas. Se puede seleccionar una de la pluralidad de las distribuciones predeterminadas cercanas a la distribución actual, como se determinó en el paso S702, y se puede usar el esquema de control del calentador y/o refrigerador predeterminado con la distribución seleccionada predeterminada para controlar los calentadores y/o refrigeradores. El esquema de control del calentador y/o refrigerador predeterminado puede, por ejemplo, identificar qué calentador y/o refrigerador se debe encender, y a qué temperatura cada calefactor o refrigerador se debe ajustar.

Después de controlar los calentadores y/o refrigeradores, se obtienen los datos de tomografía actualizados en el paso S704 y se determina una distribución de propelente actualizado en el paso S705. Estos pasos pueden ser similares a los pasos S701 y S702. Después, en el paso S706 se compara la distribución de propelente actualizada a la distribución deseada. Si la distribución de propelente actualizada coincide con la distribución deseada, ya sea exactamente o dentro de un margen de error aceptable predeterminado, el procedimiento finaliza. Por otra parte, si se determina que no se ha alcanzado la distribución deseada, el procedimiento vuelve al paso S703 y de nuevo controla selectivamente los calefactores para redistribuir más el propelente.

Aquí, la distribución deseada puede ser una distribución en la que el propelente se distribuye en las localizaciones previstas, por ejemplo en y alrededor de cualquier PMD incluido el interior del cuerpo del tanque de propelente. Además, aunque en la presente forma de realización se comprueba si se ha alcanzado la distribución deseada, en otras formas de realización se puede asumir que el calentamiento selectivo del tanque de propelente ha tenido el efecto deseado, y los pasos S704 y S706 se pueden omitir.

Haciendo referencia ahora a la fig. 8, se ilustra un sistema para determinar una distribución de propelente en un conjunto de tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El sistema comprende un conjunto de tanques de propelente incluyendo una pluralidad de elementos de tomografía térmica 801, por ejemplo un conjunto de tanques de propelente como se indica en cualquiera de las figs. de la 1 a la 5. El sistema comprende además un módulo de control del elemento de tomografía 802 dispuesto para controlar la pluralidad de elementos de tomografía térmica 801 para obtener los datos de tomografía, y un módulo de análisis de datos de tomografía 803 dispuesto para recibir los datos de tomografía obtenidos y para determinar una distribución del propelente en el interior del tanque de propelente basado en los datos de tomografía obtenidos. El conjunto de tanques de propelente incluyendo los elementos de tomografía térmica 801, el módulo de control del elemento de tomografía 802 y el módulo de análisis de los datos de tomografía 803 se incluyen a bordo de la misma nave espacial 800. Se puede preferir esta disposición cuando, por ejemplo, la nave espacial es tripulada y la tripulación necesita acceso a los datos de tomografía procesada, es decir, el mapa en 3 dimensiones determinado muestra una distribución de propelente dentro del tanque de propelente.

Haciendo referencia ahora a la fig. 9, se ilustra un sistema para determinar una distribución de propelente en un conjunto de tanque de propelente, de acuerdo con una forma de realización de la presente invención. El sistema es similar al de la fig. 8 excepto que en la presente forma de realización el conjunto de tanques de propelente incluye los elementos de tomografía térmica 901, y el módulo de control del elemento de tomografía 902 se incluyen a bordo de la nave espacial 900, mientras que el módulo de análisis de datos de tomografía 903 es un módulo terrestre para recibir los datos de tomografía obtenidos a partir de la nave espacial 900.

60

Además, en el sistema de las figs. 8 y 9, el módulo de control del elemento de tomografía 802, 902 se puede disponer para controlar la pluralidad de calentadores y/o refrigeradores para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente mediante calentamiento del propelente, usando procedimientos como por ejemplo los que se describen anteriormente con referencia a las fig. 5 y 7.

5

Se entenderá que la presente invención se pueden aplicar a cualquier tipo de conjunto de tanques de propelente, y las formas de realización de la presente invención no están limitadas al diseño del tanque de propelente que se muestra en las figs. de la 1 a la 5.

10 Mientras que ciertas formas de realización de la presente invención se han descrito anteriormente, se entenderá que muchas variaciones y modificaciones son posibles sin alejarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para controlar una distribución de propelente (202) en un conjunto de tanques de propelente (100; 300; 400; 500) para una nave espacial (900), comprendiendo el sistema:
- 5 un cuerpo (101; 301; 401; 501) para contener el propelente; y una pluralidad de elementos de tomografía térmica (201; 302, 303; 402, 403; 502, 503), incluyendo una pluralidad de elementos de control de la temperatura y una pluralidad de sensores de la temperatura, dispuestas alrededor del cuerpo para detectar la distribución del propelente en el interior del cuerpo;
- 10 **Caracterizado por que el sistema comprende además:** un módulo de control del elemento de tomografía (802) dispuesto para controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente mediante calentamiento y/o enfriamiento del propelente.
- 15 2. El sistema de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además:
- una salida de propelente (109); y un dispositivo de tratamiento del propelente (110, 111, 112, 113; 311, 312, 313, 314; 511, 512, 513, 514) en el interior del cuerpo, dispuesto para suministrar el propelente a la salida del propelente.
- 20 3. El sistema de acuerdo con la reivindicación 2, donde la pluralidad de sensores de temperatura está dispuesta en proximidad al dispositivo de tratamiento del propelente.
- 25 4. El sistema de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, donde la pluralidad de los elementos de control de la temperatura incluye una pluralidad de enfriadores (502) dispuesta en proximidad al dispositivo de tratamiento del propelente.
5. El sistema de acuerdo con la reivindicación 2, 3 o 4, donde la pluralidad de los elementos de control de la temperatura incluye una pluralidad de calentadores (503) dispuesta lejos del dispositivo de tratamiento del propelente.
- 30 6. El sistema de cualquiera de cualquiera de las reivindicaciones de las reivindicaciones 2 a 5, donde el dispositivo de tratamiento de propelente comprende una o más paletas (111, 112, 113; 311, 312, 313, 314; 511, 512, 513, 514).
- 35 7. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la pluralidad de los elementos de tomografía térmica está dispuesta en una superficie exterior del cuerpo.
- 40 8. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, donde el módulo de control del elemento de tomografía está además dispuesto para controlar la pluralidad de elementos de tomografía térmica para obtener datos de tomografía, y el sistema comprende además:
- un módulo de análisis de datos de tomografía (803) dispuesto para recibir los datos de tomografía obtenidos y determinar una distribución del propelente en el interior del tanque de propelente basado en los datos de tomografía obtenidos.
- 45 9. El sistema de la reivindicación 8, comprendiendo la nave espacial, donde el conjunto de tanques de propelente, el módulo de control del elemento de tomografía y el módulo de análisis de los datos de tomografía se incluyen a bordo de la nave espacial.
- 50 10. El sistema de la reivindicación 8, comprendiendo la nave espacial, donde el conjunto de tanques de propelente y el módulo de control del elemento de tomografía se incluyen a bordo de la nave espacial, y el módulo de análisis de datos de tomografía es un módulo terrestre dispuesto para recibir los datos de tomografía obtenidos a partir de la nave espacial.
- 55 11. Un procedimiento para controlar la distribución del propelente (202) en un conjunto de tanques de propelente (100; 300; 400; 500) para una nave espacial (900), el conjunto de tanques de propelente comprende un cuerpo (101; 301; 401; 501) para contener el propelente y una pluralidad de elementos de tomografía térmica (201; 302, 303; 402, 403; 502, 503), incluyendo una pluralidad de elementos de control de la temperatura y una pluralidad
- 60

de sensores de temperatura, dispuestas alrededor del cuerpo para detectar la distribución del propelente en el interior del cuerpo, el procedimiento **caracterizado por**:

5 controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente mediante calentamiento y/o enfriamiento del propelente.

12. El procedimiento de la reivindicación 11, donde antes de controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente, el procedimiento comprende además:

10 obtener los datos de tomografía a partir de la pluralidad de los elementos de tomografía térmica, y determinar la distribución de propelente en el interior del tanque de propelente basada en los datos de tomografía obtenidos.

13. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 12 que comprende además:

15 determinar una cantidad de propelente restante en el tanque de propelente basada en la distribución determinada y una densidad conocida del propelente.

14. El procedimiento de la reivindicación 11, 12 o 13 donde controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente comprende:

comparar la distribución determinada en una distribución deseada de propelente para identificar una o más primeras regiones dentro del cuerpo del tanque de propelente que tiene una concentración mayor de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada; y

25 controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para calentar la región identificada o más primeras regiones, y/o donde controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente comprende:

30 comparar la distribución determinada en una distribución deseada de propelente para identificar una o más segunda regiones dentro del cuerpo del tanque de propelente que tiene una concentración menor de propelente en la distribución determinada que en la distribución deseada; y

controlar la pluralidad de elementos de control de la temperatura para enfriar la región identificada o más segundas regiones.

35 15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, que comprende además:

obtener los datos de tomografía actualizados a partir de la pluralidad de elementos de tomografía térmica, después de controlar la pluralidad de los elementos de control de la temperatura para redistribuir el propelente en el interior del cuerpo del tanque de propelente; y

40 determinar una distribución actualizada del propelente en el interior del tanque de propelente basada en los datos de tomografía obtenidos.

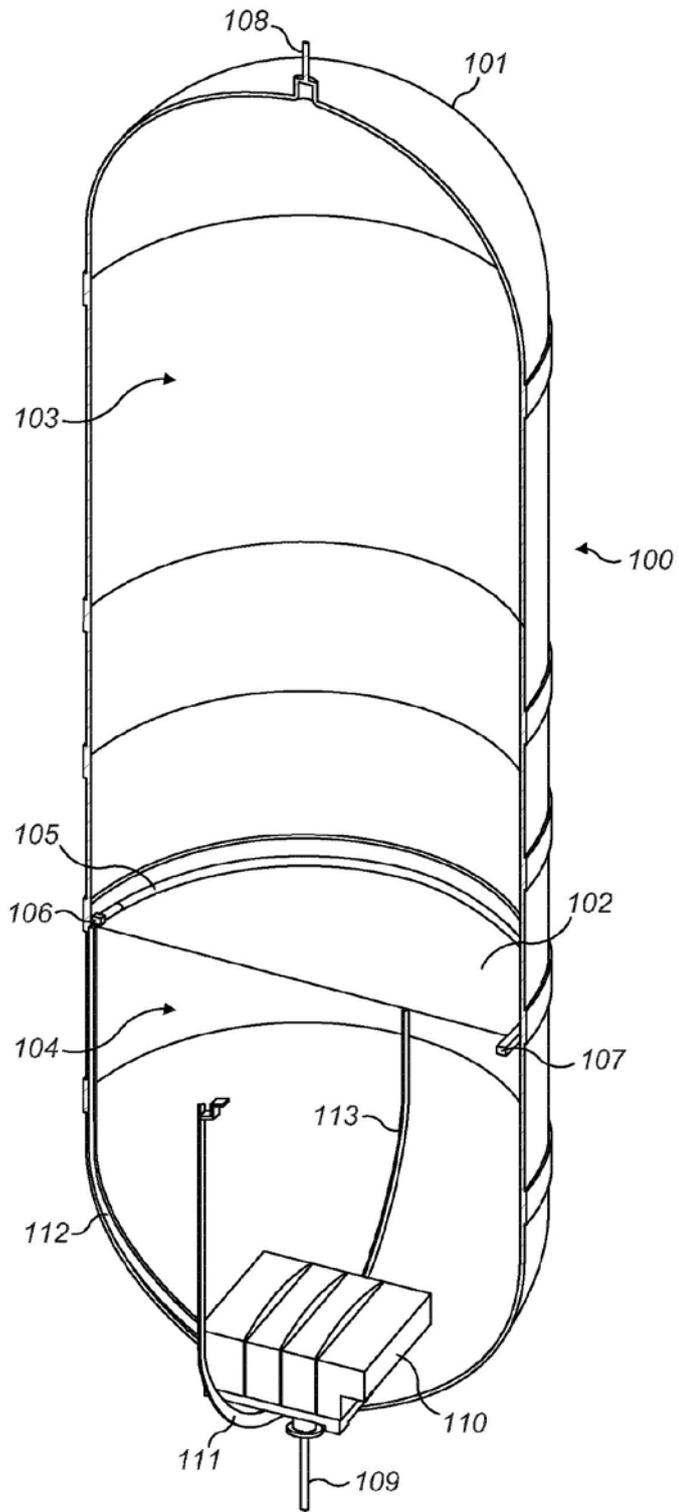


FIG. 1

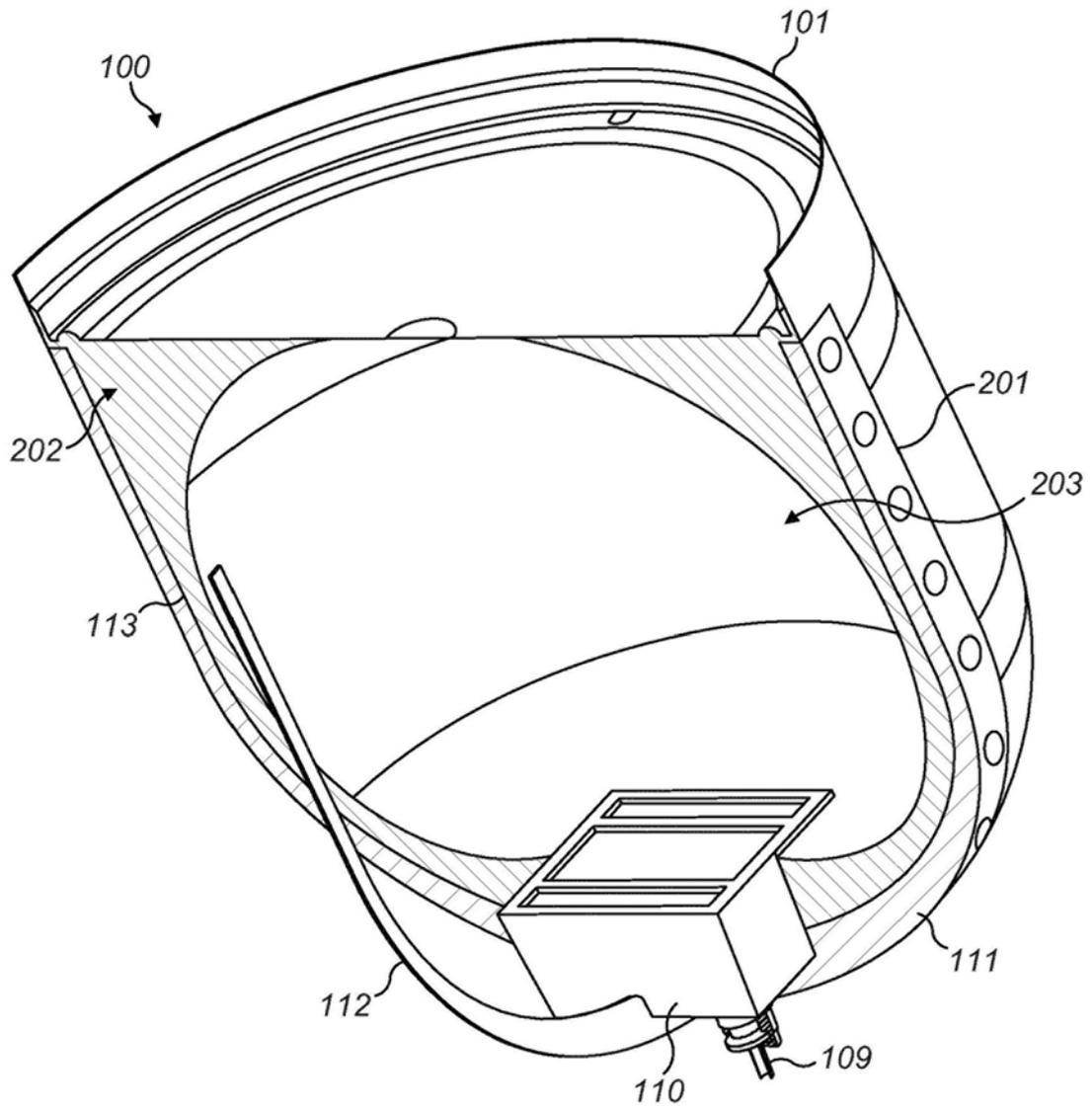


FIG. 2

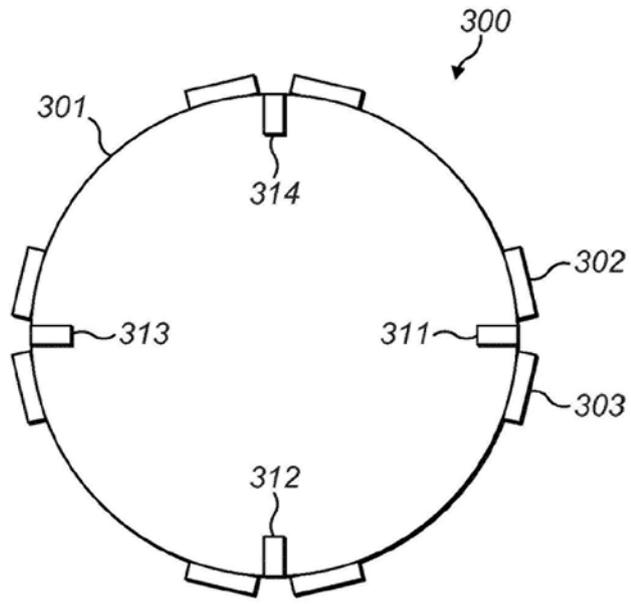


FIG. 3

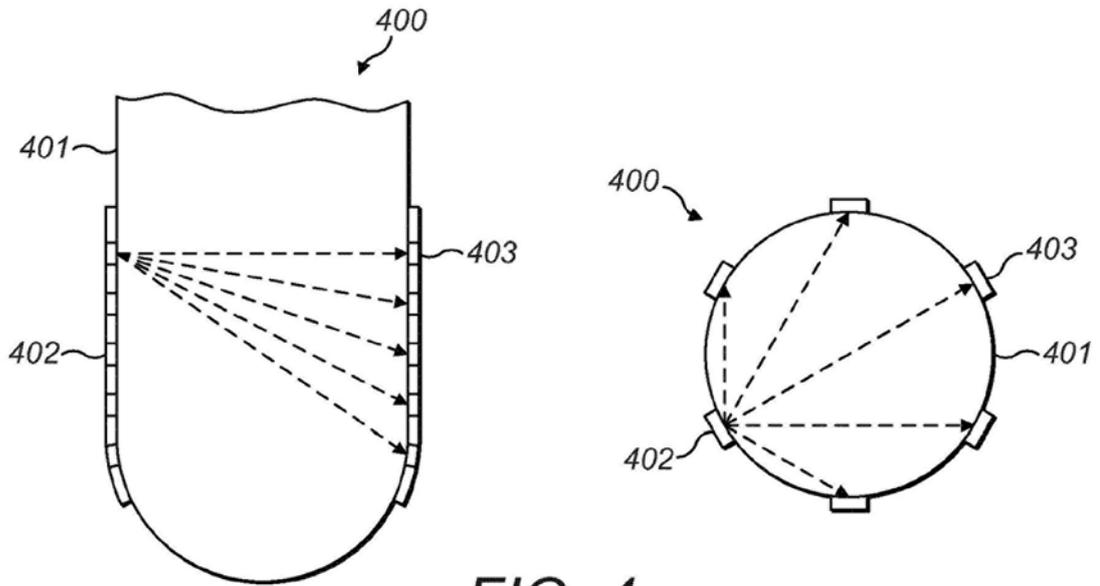


FIG. 4

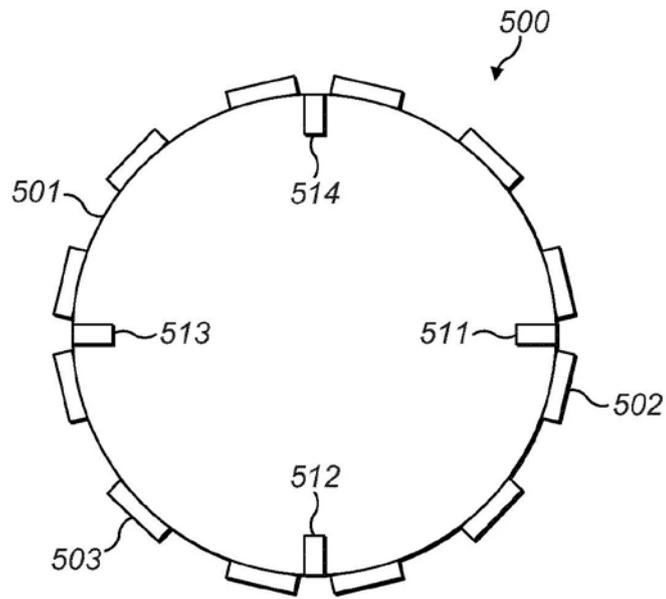


FIG. 5

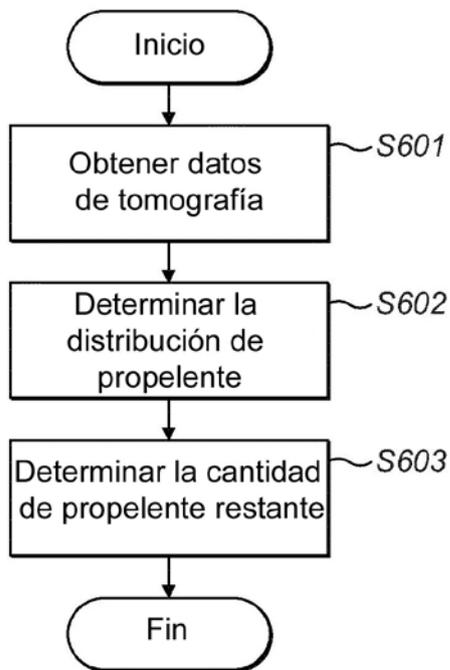


FIG. 6

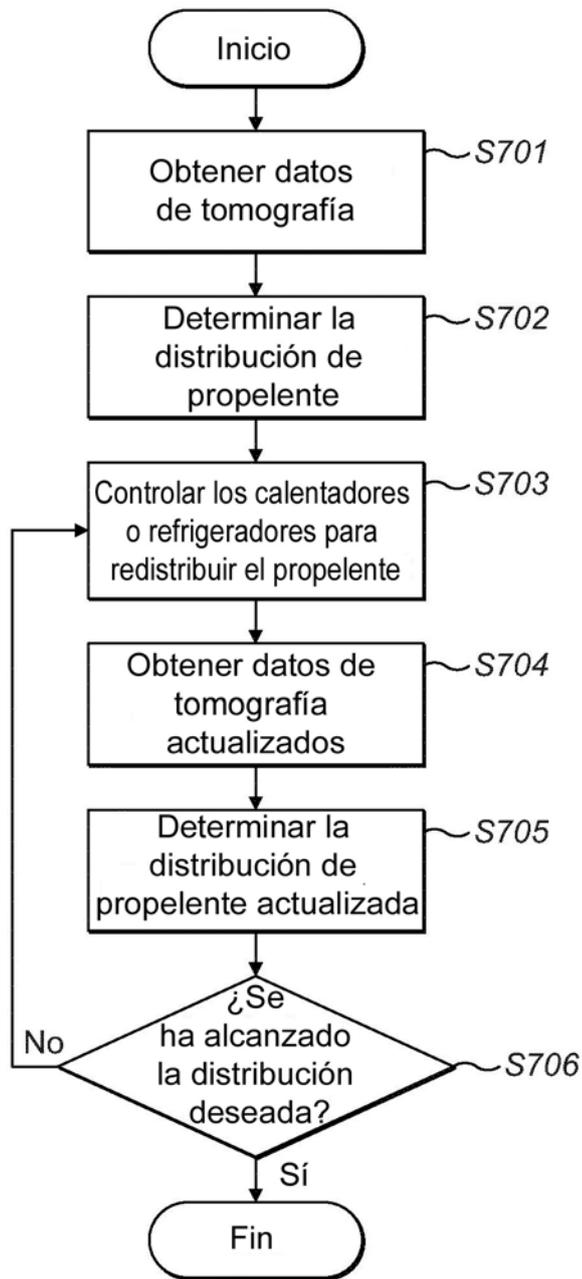


FIG. 7

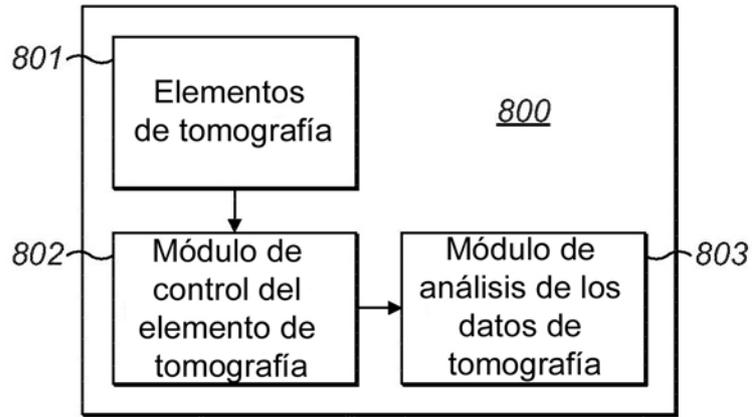


FIG. 8

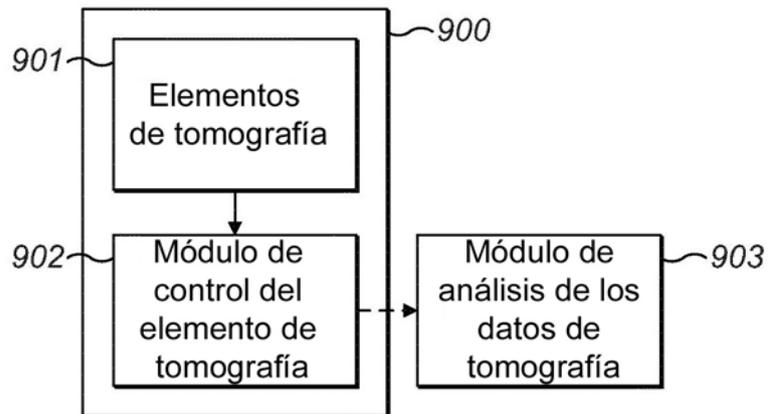


FIG. 9