

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 303**

51 Int. Cl.:

B64D 39/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.04.2012** **E 12165221 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.06.2018** **EP 2517957**

54 Título: **Sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves**

30 Prioridad:

28.04.2011 GB 201107115

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

17.10.2018

73 Titular/es:

AIRBUS OPERATIONS LIMITED (100.0%)
Pegasus House Aerospace Avenue Filton
Bristol BS34 7PA, GB

72 Inventor/es:

TICHBORNE, FRANKLIN;
LAWSON, MARK;
FREEMAN, HUGH;
EPIFANIE, ARNAUD y
EDWARDS, ADRIAN

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 686 303 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

Sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves, y en particular se refiere a una bomba de combustible de suministro de alto caudal del sistema. La invención también se refiere a unos métodos de operación del sistema.

10

Antecedentes de la invención

Las aeronaves están diseñadas normalmente para contener combustible en sus alas. Este combustible se bombea entre los tanques y a los motores con bombas de potencia relativamente baja a una velocidad capaz de mantener el máximo consumo de combustible de los motores, con un margen de aproximadamente el 50 %.

15

Las aeronaves cisterna para reabastecimiento de combustible en vuelo también tienen normalmente unas bombas de combustible mucho más potentes diseñadas para garantizar que el combustible se suministra a una aeronave receptora dentro de un tiempo razonablemente corto. Las aeronaves cisterna normalmente almacenan combustible en tanques múltiples desde los que el combustible puede usarse para la operación normal de la aeronave o para repostar seguidamente la aeronave, por ejemplo, a través de una estación de suministro de manguera posterior. Para alcanzar velocidades de suministro rápidas, es deseable bombear combustible desde diversos tanques simultáneamente a una o más de una pluralidad de estaciones de suministro.

20

Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo convencional, tal como el descrito en el documento US 2006/0.278.761, tiene una pluralidad de bombas de combustible de una potencia nominal especificada y que se activan cada una selectivamente durante las operaciones de transferencia y de reabastecimiento de combustible. Las bombas de combustible están conectadas a través de una galería común a una pluralidad de estaciones de suministro.

25

30

En general, es deseable alcanzar una velocidad elevada a la que pueda suministrarse el combustible desde una aeronave cisterna hasta la siguiente aeronave. Sin embargo, simplemente aumentar la potencia de la tecnología de la bomba de combustible existente presenta desafíos en el diseño de otros sistemas de la aeronave.

35

Si una tubería de combustible se rompe en un tanque, tendrá lugar una transferencia inadvertida en ese tanque. Normalmente, el combustible llenará ese tanque y hará que su presión aumente.

40

Normalmente, cuando un tanque alcanza el nivel de rebose, se crea una alerta para que el personal que va a resolver la situación cierre la bomba(s) infractora. La sobrepresión provocada por este tipo de evento se atiende adecuadamente por la resistencia de diseño del ala y las vías de desbordamiento disponibles. Un intento de aumentar la velocidad de suministro de combustible usando la tecnología de bomba de combustible existente puede requerir el fortalecimiento de la estructura del ala y/o el sistema de desbordamiento, lo que podría agregar un peso inaceptable para la aeronave.

45

Una bomba capaz de suministrar combustible a una alta velocidad tiene normalmente una salida de alta presión cuando la bomba se enciende justo antes de comenzar una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo. Cuando el combustible comienza a fluir hacia la aeronave receptora, entonces la presión disminuye significativamente. Al desconectar la aeronave receptora, la presión vuelve a retroceder al máximo hasta que la bomba se apaga. Estos cambios escalonados en la presión pueden provocar un "martillo perforador" que puede contribuir a la ruptura de la tubería o del conector. Un intento de aumentar la velocidad de suministro de combustible usando la tecnología de la bomba de combustible existente puede exacerbar estos cambios de presión y podría aumentar el riesgo de un evento de ruptura de la tubería.

50

Si el combustible está suministrándose desde múltiples tanques simultáneamente entonces, el tanque más cercano a la estación de suministro activa se agotará normalmente más rápidamente que los que están más a lo largo de la galería de combustible debido a la resistencia de flujo que depende de la distancia a la que el combustible se desplaza a través de la red de tuberías y válvulas. Además, las bombas de combustible normalmente tienen una gran variación en el rendimiento, tal vez un 5-10 %, por lo tanto, no es posible confiar en que las bombas coincidan para flujos iguales. A altas velocidades de suministro, esto afectará el equilibrio de peso lateral y/o longitudinal de la aeronave debido a la diferencia entre la velocidad de agotamiento del volumen de combustible en los diversos tanques. Si una carga de combustible desequilibrada sigue a una operación de suministro, entonces la tripulación puede necesitar realizar alimentaciones cruzadas manuales antes del siguiente suministro, o reequilibrar el retorno al sector de vuelo base. Las cargas de combustible de las alas desequilibradas dan como resultado la intervención del sistema de control de vuelo que compensa el desequilibrio con la configuración de flaps, lo que resulta en un vuelo menos eficiente. Un intento de aumentar la velocidad de suministro de combustible usando la tecnología de la bomba de combustible existente puede aumentar el nivel de intervención de la tripulación necesario para reequilibrar

55

60

65

la aeronave, e incluso puede extenderse más allá de las capacidades de la tripulación dentro de la envolvente operacional de la aeronave.

El documento EP1731422 describe un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves que incluye una pluralidad de tanques de combustible, bombas de combustible y estaciones de suministro.

El documento US2944488 describe un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo que incluye una bomba de combustible y el control de la presión de salida de bomba.

Sumario de la invención

Un primer aspecto de la invención proporciona un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves que incluye una pluralidad de tanques de combustible conectados de manera fluidica a al menos una estación de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo, y una pluralidad de bombas de combustible, en el que al menos una de las bombas de combustible está asociada con cada uno de los tanques de combustible, caracterizado por que la pluralidad de bombas es una pluralidad de bombas de combustible controladas por presión, teniendo cada bomba un sistema de control adaptado para regular la presión de combustible de salida de bomba usando una señal de presión de combustible de salida de bomba como retroalimentación de control, y conteniendo un medio de almacenamiento legible por ordenador un conjunto de instrucciones para controlar las bombas de combustible controladas por presión individualmente, donde el conjunto de instrucciones incluye un conjunto de ajustes de presión de salida de bomba nominales para la pluralidad de bombas de combustible controladas por presión en función del estado de la estación(es) de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo, y el conjunto de instrucciones incluye además un conjunto de ajustes de configuración de presión de salida de bomba para la pluralidad de las bombas de combustible controladas por presión en función del volumen de combustible dentro de cada tanque.

Un segundo aspecto de la invención proporciona un método de operar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves que incluye una pluralidad de tanques de combustible conectados de manera fluidica a al menos una estación de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo, y una pluralidad de bombas de combustible, en el que al menos una de las bombas de combustible está asociada con cada uno de los tanques de combustible, caracterizado por que la pluralidad de bombas de combustible es una pluralidad de bombas de combustible controladas por presión, y el método se caracteriza por regular la presión de combustible de salida de bomba usando una señal de presión de combustible de salida como retroalimentación de control y estableciendo una presión de salida nominal para cada bomba de combustible en función del estado de la una o más estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo y monitorizando además el nivel de combustible dentro de cada tanque de combustible y ajustando la presión de salida para cada bomba de combustible en función de los niveles de combustible medidos.

La invención es ventajosa por que la bomba de combustible puede operarse para regular la presión de combustible de salida de bomba. Esto contrasta con la configuración de encendido/apagado binaria de las bombas de combustible suministrado de la técnica anterior usadas actualmente en las aeronaves cisterna.

Preferentemente, la presión de combustible de salida de bomba puede regularse a lo largo de un amplio intervalo de presiones. Por ejemplo, la presión de combustible de salida de bomba puede regularse a intervalos de menos de 1 psi (6,89 kPa) (preferentemente alrededor de 0,1 psi (0,689 kPa)) desde 0 psig (0 kPa) hasta alrededor de 30 psig (206,85 kPa). Esto permite que las bombas de combustible de suministro no solo cumplan con las altas velocidades de suministro requeridas para una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo, sino que también actúen como respaldo para las bombas de combustible de transferencia de caudal mucho más bajo para transferir el combustible entre tanques.

La salida de bomba incluye preferentemente un sensor de presión configurado para transmitir la señal de presión de combustible de salida. El sistema de control de bomba está preferentemente adaptado para recibir una señal de presión de combustible de demanda.

El sistema de control de bomba puede estar adaptado para comparar la señal de presión de combustible de demanda con la señal de presión de combustible de salida, y para proporcionar una señal de accionamiento de bomba a la bomba basándose en la señal de entrada de presión de combustible de demanda y cualquier diferencia entre la señal de presión de combustible de demanda y la señal de presión de combustible de salida.

El sistema de control de bomba puede incluir un controlador proporcional-integral-diferencial (PID) para comparar la señal de entrada de presión de combustible de demanda con la señal de presión de combustible de salida.

El sistema de control de bomba de combustible está integrado preferentemente con la bomba de combustible y puede operarse para controlar automáticamente la presión de combustible de salida de bomba en función de la señal de presión de combustible de demanda. El control de retroalimentación permite que el sistema de control integrado monitorice continuamente la presión de combustible de salida de bomba, de tal manera que pueda

reaccionar instantáneamente para cambiar situaciones sin la intervención de la tripulación de la aeronave.

Por ejemplo, en el caso de una explosión de la tubería dentro de un tanque de combustible, la presión de salida se mantiene a la presión de demanda de la bomba de combustible que normalmente se establece como la presión de seguridad para un tanque de combustible. El sistema de control integrado reacciona automáticamente ajustando la potencia de la bomba de tal manera que la presión de salida de bomba no supere la presión de demanda, garantizando de este modo que el tanque no experimente una oleada de alta presión. De esta manera, la presión en la tubería de combustible nunca alcanza la capacidad máxima de la bomba y por lo tanto la estructura del tanque de combustible puede diseñarse para un nivel de presión controlado más bajo, ahorrando de este modo peso en la aeronave mientras que aumenta el caudal de suministro máximo de la bomba en comparación con la tecnología de bomba existente.

Además, se hace posible regular la presión de salida de bomba máxima de acuerdo con la presión atmosférica ambiente fuera de la aeronave. Mientras que la presión ambiente disminuye al aumentar la altitud, la presión de salida máxima relativa de la bomba para una operación de reabastecimiento de combustible a baja altitud puede regularse para que sea la misma que para una operación de reabastecimiento de combustible a gran altitud. Además, esto proporciona la capacidad de mantener la máxima presión diferencial segura para el caso donde se rompe una tubería dentro de un tanque de combustible. Sin un control de presión de salida variable, el caudal máximo de suministro se reduciría a altitudes más bajas, lo que llevaría a un aumento en el tiempo necesario para completar una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo. La invención permite optimizar el tiempo de reabastecimiento de combustible en vuelo para que sea lo más corto posible para todas las altitudes.

El sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves puede comprender además un sistema de gestión y cantidad de combustible (FQMS) adaptado para proporcionar la señal de presión de combustible de demanda al sistema de control de bomba. La señal de presión de combustible de demanda puede depender de la presión del aire ambiente fuera de la aeronave. El FQMS puede estar adaptado para recibir una señal de presión de aire ambiente y para modificar la señal de presión de combustible de demanda de acuerdo con el valor de presión de aire ambiente. El sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves puede comprender además un sistema de datos aéreos (ADS) que está adaptado para proporcionar la señal de presión del aire ambiente al FQMS. En algunas aeronaves, esto se combina con otras funciones, por ejemplo, un sistema de referencia inercial & de datos aéreos & de GPS (GADIRS).

La bomba puede incluir un motor adaptado para recibir una señal de accionamiento de bomba desde el sistema de control. La bomba puede ser una bomba centrífuga con un impulsor.

Las estaciones de suministro pueden estar conectadas a través de una galería de combustible común a la pluralidad de tanques de combustible.

La tecnología de bomba de combustible controlada por presión, junto con una capacidad de medir con precisión el nivel de combustible dentro de cada tanque permite unos aspectos adicionales de la invención para equilibrar el nivel de combustible entre diversos tanques de combustible y/o para equilibrar la aeronave durante una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo de alta velocidad.

El método de operar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves puede comprender además mantener sustancialmente de manera automática el equilibrio de combustible entre los tanques durante un suministro de combustible de alto caudal desde la pluralidad de tanques de combustible de manera simultánea a través de una o más de las estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo controlando la presión de salida de cada bomba de combustible.

El método de operar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves puede comprender además mantener sustancialmente de manera automática el equilibrio en peso lateral y/o longitudinal de la aeronave durante un suministro de combustible de alto caudal desde la pluralidad de tanques de combustible de manera simultánea a través de una o más de las estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo controlando la presión de salida de cada bomba de combustible.

Las bombas de combustible pueden establecerse a una configuración inicial nominal al comienzo de una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo en función de qué estaciones de suministro están activas. Por ejemplo, si una estación de suministro de ala izquierda está activamente comprometida para comenzar una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo, entonces las bombas de combustible de suministro de ala izquierda pueden establecerse inicialmente a una presión de demanda menor que las bombas de combustible de suministro de ala derecha para compensar la resistencia pronosticada de la tubería de la aeronave. Durante la operación de reabastecimiento de combustible en vuelo, tanto los tanques de combustible de ala izquierda como derecha deberían agotarse a una velocidad aproximadamente igual.

Monitorizando de manera continua los niveles de combustible del tanque se hace posible ajustar iterativamente las presiones de demanda de la bomba para mantener unas cantidades de combustible residuales equilibradas en cada

tanque con independencia de la bomba, el rendimiento de la tubería y la válvula o las variaciones de resistencia del flujo. Si una diferencia en el nivel de combustible entre los tanques de combustible de ala izquierda y derecha alcanza, por ejemplo, una diferencia máxima predeterminada, entonces las presiones de la bomba pueden ajustarse en consecuencia para que los niveles de combustible en los tanques de combustible de ala izquierda y derecha vuelvan a ser aproximadamente del mismo nivel. Todo esto puede ocurrir sin la intervención de la tripulación.

Mantener de manera automática el equilibrio de combustible y/o el equilibrio lateral/longitudinal de la aeronave durante una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo de alto caudal proporciona varias ventajas. La velocidad de suministro puede optimizarse y hacerse más alta de lo que de otro modo podría lograrse. Sin el sistema, un tanque de combustible podría agotarse preferentemente y, cuando esté casi vacío, la velocidad de suministro reducirse en aproximadamente la mitad si el suministro continúa desde menos de, o incluso solo de, un tanque de combustible. Además, la tripulación de la aeronave no necesita realizar una operación de transferencia de combustible prolongada después del reabastecimiento de combustible en vuelo, de tal manera que la aeronave pueda prepararse para un reabastecimiento de combustible en vuelo posterior o regresar al sector de vuelo base mucho más rápido. Las demandas de la tripulación de la aeronave para mantener el equilibrio de la aeronave y del combustible durante el reabastecimiento de combustible se reducen e incluso pueden ser nulas. Ya que la aeronave puede permanecer equilibrada en todo momento, se mejora la eficacia del vuelo, reduciendo de este modo el consumo de combustible.

El sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves puede comprender además, un sistema de gestión y cantidad de combustible (FQMS) configurado para medir el nivel de combustible dentro de cada tanque de combustible. La etapa de controlar la presión de salida de cada bomba de combustible puede incluir monitorizar un nivel de combustible dentro de cada tanque de combustible y ajustar la presión de salida para cada bomba de combustible en función de los niveles de combustible medidos.

El conjunto de ajustes de configuración de presión de salida de bomba puede estar configurado para ajustar automáticamente, por ejemplo, el equilibrio de peso de la aeronave dentro de los límites predeterminados.

Breve descripción de los dibujos

A continuación se describirán las realizaciones de la invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 ilustra una vista en planta de una aeronave cisterna que tiene dos estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo de ala y una de cola con los embudos de reabastecimiento de combustible mostrados extendidos;

la figura 2 ilustra una vista lateral de la aeronave cisterna;

la figura 3 ilustra una vista en sección esquemática a través del ala de la aeronave que ilustra el sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves que incluye unas bombas de combustible controladas por presión dispuestas en el tanque de combustible de ala lateral y conectadas al compartimento de suministro de reabastecimiento de combustible de combustible de ala izquierda a través de una galería común.

la figura 4 ilustra esquemáticamente la bomba de combustible controlada por presión que tiene un sistema de control integrado;

la figura 5 ilustra esquemáticamente el sistema de control de bomba de combustible controlada por presión;

la figura 6 ilustra gráficamente la diferencia en la salida de presión entre una bomba de combustible controlada por presión y una bomba de combustible no controlada en todo el intervalo de salida de caudal;

la figura 7a ilustra esquemáticamente los niveles de combustible en el ala y los tanques auxiliares de una aeronave equilibrada al comienzo de una operación de reabastecimiento de combustible a través de la estación de suministro de ala izquierda, la figura 7b ilustra esquemáticamente los niveles de combustible en el ala y los tanques auxiliares al final de la operación de suministro sin un equilibrio de suministro de combustible; y la figura 7c ilustra esquemáticamente los niveles de combustible en el ala y los tanques auxiliares al final de la operación de suministro con un equilibrio de suministro de combustible.

Descripción detallada de la(s) realización(es)

La figura 1 ilustra una vista en planta superior de una aeronave cisterna de reabastecimiento de combustible en vuelo 1. La aeronave 1 está equipada con múltiples tanques de combustible incluyendo un tanque de ala izquierda 3 dentro del ala izquierda 2, un tanque de combustible de ala derecha 4 dentro del ala derecha 5, y dos tanques de combustible de retención de carga auxiliares 6, 7, uno dispuesto hacia atrás de los tanques de combustible de ala 3, 4 y otro dispuesto hacia delante de los tanques de combustible de ala 3, 4 dentro del fuselaje de la aeronave.

La aeronave 1 está equipada con múltiples estaciones de suministro de combustible, incluyendo una estación de suministro montada debajo de los compartimentos de las alas de tanto las alas izquierda como derecha 2, 5 y una estación de suministro adicional localizada en la cola de la aeronave 1. Cada estación de suministro incluye una manguera de reabastecimiento de combustible posterior retráctil 8, 9, 10 que tiene un embudo de reabastecimiento de combustible 11, 12, 13 en su extremo distal.

La figura 2 ilustra una vista lateral de la aeronave 1 con el fin de ilustrar más claramente las mangueras de reabastecimiento de combustible posteriores 9, 10. El número y la localización de los tanques de combustible y el número y la localización de las estaciones de suministro de combustible pueden variar entre las variantes de aeronave y aeronave.

La figura 3 ilustra una vista en sección esquemática a través del ala izquierda 2 con el fin de ilustrar algunos componentes clave del sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves. El volumen interior del ala de aeronave 2 se usa como el tanque de combustible del ala izquierda 3 que está dividido en tres compartimentos 3a, 3b, 3c. La punta exterior del ala 2 aloja un tanque de ventilación 14 para ventilar el tanque de combustible 3 e incluye una abertura de ventilación 15 en el lado inferior del ala 2. Una tubería de ventilación 16 conecta el tanque de ventilación 14 con el espacio vacío del tanque de ala izquierda 3.

La estación de suministro de combustible de ala izquierda 17 comprende un compartimento de suministro 18, y el sistema de reabastecimiento de combustible de manguera y embudo retráctil 8, 11. Una tubería de combustible 19 conecta de manera fluidica la estación de suministro de combustible izquierda 17 con los diversos tanques de combustible 3, 4, 6, 7. La tubería de combustible 19 forma parte de una galería de combustible común que conecta cada uno de los tanques de combustible con cada una de las estaciones de suministro de combustible. Cada uno de los tanques de combustible incluye dos bombas de combustible controladas por presión de alto caudal 20 adaptadas para bombear combustible desde sus respectivos tanques de combustible a la galería de combustible común. Como puede verse en la figura 3, cada una de las bombas de combustible controladas por presión 20 tiene una salida 21 acoplada a la tubería de combustible 19.

Las bombas de combustible controladas por presión 20 están conectadas eléctricamente de manera individual al sistema de gestión y cantidad de combustible (FQMS) 22. En la realización ilustrada en la figura 3, el FQMS 22 está acoplado a las bombas de combustible controladas por presión 20 a través de un bus aislado 23. El FQMS 22 también está acoplado a un sensor de nivel de combustible dentro de cada uno de los tanques de combustible. El sensor de nivel de combustible 24 dentro del tanque de combustible izquierdo 3 es visible en la figura 3. El FQMS 22 usa los sensores de nivel de combustible para determinar el nivel de combustible dentro de cada uno de los tanques de combustible.

El FQMS 22 está acoplado al sistema de referencia inercial & de datos aéreos & de GPS (GADIRS) 24. El GADIRS 24 está conectado a un sensor de presión del aire ambiente para determinar la presión del aire ambiente exterior de la aeronave 1. El FQMS 22 y el GADIRS 25 están conectados de la manera habitual al monitor de aeronave centralizado electrónico (ECAM) de cabina de la aeronave (no mostrado) para transmitir información a la tripulación de la aeronave. El ECAM puede mostrar, por ejemplo, el volumen de combustible residual dentro de cada uno de los tanques de combustible 3, 4, 6, 7. El FQMS 22 está acoplado al GADIRS 25 a través de la red de datos de aeronave 27.

Ya que las bombas de combustible 20 están localizadas dentro de la partición interior 3a del tanque de combustible 3, las bombas de combustible controladas por presión 20 están reguladas de tal manera que en el caso de una ruptura en la tubería de combustible 19 dentro de cualquiera de las particiones exteriores 3b o 3c, las bombas de combustible 20 no pueden provocar una situación de sobrepresión dentro de las particiones exteriores 3b, 3c del tanque de combustible 3.

La figura 4 ilustra esquemáticamente una de las bombas de combustible controladas por presión 20. La bomba de combustible 20 es del tipo centrífugo e incluye una carcasa de impulsor 28 que aloja un impulsor, un recogedor de combustible 29, una carcasa de motor 30 que aloja un motor para accionar el impulsor, y una salida 31 adaptada para expulsar combustible a presión en la red de tuberías dentro del sistema de combustible de aeronave. La base de la carcasa de impulsor 28 incluye un reborde 32 para ajustar la bomba de combustible 20 al fondo de los tanques de combustible respectivos.

La bomba de combustible 20 incluye un sistema de control integrado 33 montado en la base de la bomba de combustible 20. Un conector de encendido 34 conecta la bomba a la fuente de alimentación eléctrica de la aeronave y un conector de entrada 35 recibe una señal de entrada de demanda de presión desde el FQMS 22 a través del bus aislado óptico 23.

La figura 5 ilustra esquemáticamente la topografía de control de la bomba de combustible controlado por presión 20. El sistema de control integrado 33 incluye un controlador proporcional-integral-diferencial (PID) 36 acoplado al motor de bomba 37 para accionar el impulsor 38. Cuando se recibe una señal de demanda de presión de combustible desde el FQMS 22 a través del conector de entrada 35, un circuito aislado óptico 39 convierte una señal PWM en una señal de presión de demanda en la entrada de punto de establecimiento 40 del controlador PID 36. El controlador 36 dirige el motor 37 para hacer rotar el impulsor con el fin de bombear el combustible desde el recogedor de combustible 29 y aumentar la presión del cabezal en la salida de combustible 31. Un sensor de presión de flujo de salida 41 dispuesto dentro de la salida 31 se usa para detectar la presión de combustible en la salida 31 y una señal de presión de salida se usa como la entrada de variable de proceso 42 del controlador PID 36.

El controlador PID calcula el error en la entrada de variable de proceso 42 en comparación con el punto de establecimiento de presión de demanda 40 y el controlador PID ajusta la potencia del motor 37 hasta que la presión de combustible de salida, que se detecta por el sensor de presión 41, es igual a la presión de demanda instruida por el FQMS 22. El controlador PID 36 se usa para minimizar el error entre la presión de salida real en 31 y la presión de

5 demanda instruida por el FQMS 22 basándose en errores pasados, presentes y futuros predichos sobre una base temporal ponderada. Los expertos en la materia apreciarán que el controlador PID 36 es un ejemplo de un mecanismo de realimentación de bucle de control y, como alternativa, pueden usarse otros mecanismos de realimentación de control en el sistema de control de bomba.

10 La figura 6 ilustra gráficamente la diferencia entre una presión controlada, o la presión regulada, la bomba de combustible y una bomba de combustible típica no regulada. Una bomba de combustible de alta potencia convencional con un rendimiento incontrolado tiene una relación, en general, lineal entre la presión de salida y el caudal de salida, y alcanza una presión de salida máxima a caudal cero. Con un rendimiento regulado o controlado por presión, la presión de salida máxima alcanzable está limitada a la presión de demanda de tal manera que la

15 presión de salida nunca alcanza la capacidad máxima de la bomba. En consecuencia, la estructura del tanque de combustible y las trayectorias de sobre flujo pueden diseñarse para una condición de fallo de ruptura de tubería predeterminada en lugar de para una presión de salida máxima teórica que la bomba de combustible sería capaz de alcanzar sin el sistema de control integrado.

20 El rendimiento controlado por presión de la bomba de combustible 20 provoca varias ventajas en comparación con una bomba de combustible de suministro no regulado. A medida que la altitud de la aeronave aumenta, la presión del aire ambiental disminuye. Usando una bomba de combustible convencional con un rendimiento no controlado, el rendimiento de suministro de combustible se deteriorará a altitudes más bajas. Sin embargo, con la bomba controlada por presión 20 se hace posible variar el rendimiento regulado de las bombas de combustible de acuerdo con la presión del aire ambiente fuera de la aeronave. En consecuencia, es posible maximizar el rendimiento de

25 suministro de combustible independientemente de la altitud de la aeronave, al tiempo que se garantiza que la presión máxima del tanque en el caso de una rotura de la tubería está dentro de los límites de diseño.

La presión atmosférica ambiente se mide para su uso por otros sistemas de la aeronave usando el sensor de presión de aire 26 acoplado al GADIRS 25. Como se muestra en la figura 3, ya que el FQMS 22 está acoplado a través de la red de datos de aeronave 27 al GADIRS 25, el FQMS 22 puede hacer uso de la presión atmosférica ambiental fuera de la aeronave de acuerdo con lo que determine el sensor de presión de aire 26. El FQMS 22 puede

30 operarse para establecer la presión de salida de demanda máxima para cada bomba 20 en un diferencial fijo para la presión atmosférica ambiental medida fuera de la aeronave. A medida que la aeronave asciende a mayores altitudes, la presión de demanda máxima necesaria de las bombas de combustible 20 se reduce correspondientemente. A medida que la aeronave desciende a altitudes más bajas, el aumento de la presión atmosférica fuera de la aeronave provoca un aumento correspondiente en la presión de demanda máxima que puede requerirse de las bombas de combustible 20. Esto garantiza que puede lograrse el rendimiento de suministro de combustible máximo incluso durante una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo a baja altitud.

40 Otra beneficio importante de la bomba de combustible controlado por presión 20 es que se hace posible ajustar las presiones de bombeo individuales con el fin de proporcionar una velocidad de agotamiento deseada para cada uno de los tanques de combustible dentro de la aeronave 1. La figura 7a ilustra esquemáticamente los volúmenes de combustible en el tanque de ala izquierda 3 y el tanque de ala derecha 4 al comienzo de una operación de suministro para el reabastecimiento de combustible en vuelo a través de la estación de suministro de ala izquierda 17.

La figura 7b ilustra esquemáticamente los niveles de combustible dentro de los tanques de combustible de ala izquierda y derecha 3, 4 (y también el tanque de combustible central interconectado) que puede observarse en el extremo de la operación de reabastecimiento de combustible en vuelo desde el compartimento de suministro izquierdo 17 si el FQMS 22 demandase el máximo rendimiento de cada una de las bombas de combustible 20 localizadas en los tanques de combustible izquierdo y derecho 3, 4. Debido a la resistencia al flujo transversal de la aeronave en la tubería de combustible 19 (la galería de combustible común) el tanque de combustible izquierdo 3 se agotará mucho más rápido que el tanque de combustible derecho 4.

50 En las velocidades de flujo de alto volumen alcanzables con las bombas de combustible 20, la diferencia de volumen de combustible entre los tanques de combustible de ala izquierda y derecha 3, 4 podría convertirse rápidamente en sustancial durante una tarea de suministro, y requeriría una operación de equilibrio de combustible posterior. Esto sería necesario para equilibrar la aeronave ya sea para una operación de reabastecimiento de combustible en vuelo posterior o para regresar al sector de vuelo base. Las cargas de combustible de las alas no equilibradas dan como resultado una intervención del sistema de control de vuelo que compensa el desequilibrio con la configuración de flaps, lo que resulta en un vuelo menos eficiente.

La figura 7c ilustra una realización de la presente invención en la que las bombas de combustible controladas por presión 20 están dirigidas por el FQMS 22 para garantizar unos flujos sustancialmente iguales de cada una de las bombas de combustible 20 durante la operación de suministro de ala izquierda de tal manera que al final de la

65

operación de suministro permanecen unos volúmenes de combustible residuales similares en los tanques de combustible de ala izquierda y derecha 3, 4. No se requiere la intervención posterior de la tripulación para equilibrar la aeronave.

El FQMS 22 determina una presión de demanda máxima nominal para cada una de las bombas 20, en función de la presión del aire ambiente. Cuando una o más aeronaves siguientes se conectan a las respectivas estaciones de suministro de combustible, el FQMS 22 usa un algoritmo para establecer una presión de demanda nominal para cada una de las bombas de combustible 20 en función de cuál de las diversas estaciones de suministro están activas justo antes de comenzar la operación de reabastecimiento de combustible en vuelo. El algoritmo incluye una estimación de las presiones de demanda requeridas de cada bomba 20 para lograr caudales iguales desde cada bomba 20 de acuerdo con la arquitectura del sistema de combustible. Una vez que la operación de suministro está en marcha, el algoritmo monitoriza los niveles de combustible instantáneos dentro de cada tanque de combustible usando los sensores de nivel de combustible (véase el sensor de nivel de combustible 24 en la figura 3) y el FQMS 22 ajusta iterativamente la presión de demanda para cada una de las bombas 20 con el fin de proporcionar unos flujos de combustible aproximadamente iguales de cada bomba.

El siguiente ejemplo práctico es estrictamente a modo de ejemplo y se usa para ilustrar cómo el algoritmo maneja el escenario representado en la figura 7a. Basándose en la presión atmosférica ambiental según lo juzgado por el sensor de presión de aire 26, la presión de bomba nominal máxima para cada bomba 20 es de 25 psig (172,37 kPa). Antes de comenzar la operación de suministro, el algoritmo detecta que la estación de suministro de ala izquierda 17 es la única estación de suministro activa y por lo tanto disminuye las bombas de combustible 20 del tanque de combustible de ala izquierda 3 a una presión de bomba nominal de 20 psig (137,9 kPa), mientras que las bombas 20 del tanque de combustible de ala derecha 4 se ajustan a la presión de bomba nominal de 25 psig (172,37 kPa) con el fin de compensar la resistencia a la tubería transversal de la aeronave.

Volviendo ahora a la figura 7c, a medida que se pone en marcha la operación de suministro a través de la estación de suministro de ala izquierda 17, se monitorizan las cantidades de combustible dentro de los tanques de combustible 3 y 4 a intervalos regulares (por ejemplo cada 10 segundos para dar tiempo a que el sistema se estabilice) y se calcula cualquier diferencia entre el peso del combustible en el tanque de ala izquierda 3 y el tanque de ala derecha 4.

Si el tanque de ala izquierda 3 tiene al menos 500 kg más combustible que el tanque de ala derecha 4 entonces el algoritmo aumenta la presión de la bomba izquierda en 1 psi (6,89 kPa). Si el tanque derecho 4 tiene al menos 500 kg más de combustible que el tanque izquierdo 3, entonces el algoritmo disminuye la presión de la bomba izquierda en 1 psi (6,89 kPa). Si el tanque izquierdo 3 tiene al menos 200 kg más de combustible que el tanque derecho 4, entonces el algoritmo aumenta la presión de la bomba izquierda en 0,1 psi (0,689 kPa). Si el tanque derecho 4 tiene al menos 200 kg más de combustible que el tanque izquierdo 3, entonces el algoritmo disminuye la presión de la bomba izquierda en 0,1 psi (0,689 kPa). Si la diferencia de peso del combustible entre los tanques de combustible de ala izquierda y derecha 3, 4 es inferior a 200 kg, entonces el algoritmo mantiene las presiones de demanda de las bombas izquierda y derecha. Al final de la operación de suministro, el algoritmo mantiene las presiones de demanda de las bombas izquierda y derecha hasta que se apagan.

Si tanto las bombas izquierda como derecha están operando a la presión de bomba nominal máxima de 25 psig (172,37 kPa) y se desarrolla una situación de peso de combustible no equilibrada, entonces el algoritmo ajusta la presión de la bomba derecha más baja. Esto es probable que solo ocurra cuando el suministro proviene de la estación de suministro de cola, donde no está claro cuál de las bombas izquierda y derecha dominará.

Los ajustes incrementales iterativos para las presiones de demanda expuestas anteriormente son estrictamente a modo de ejemplo y el intervalo puede configurarse como se desee. De manera similar, los deltas de ala de diferencia de peso de combustible expuestos anteriormente son estrictamente a modo de ejemplo y, como alternativa, pueden usarse otros deltas de ala como se desee.

Mientras que en el ejemplo anterior, el algoritmo se usa para el peso de combustible lateral/el equilibrio de la aeronave, se apreciará que, ya que la aeronave 1 incluye dos tanques auxiliares de carga 6, 7, uno dispuesto hacia atrás de los tanques de combustible de ala 3, 4 y otro dispuesto hacia delante de los tanques de combustible de ala 3, 4, puede usarse también un algoritmo similar para equilibrar longitudinalmente el peso del combustible de la aeronave/el centro de gravedad de la aeronave.

Aunque la invención se ha descrito anteriormente haciendo referencia a una o más realizaciones preferidas, se apreciará que pueden hacerse diversos cambios o modificaciones sin alejarse del alcance de la invención como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves que incluye una pluralidad de tanques de combustible (3, 4), conectados de manera fluidica a al menos una estación de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo (17), y una pluralidad de bombas de combustible (20, 20), en el que al menos una de las bombas de combustible está asociada a cada uno de los tanques de combustible,
caracterizado por que la pluralidad de bombas de combustible es una pluralidad de bombas de combustible controladas por presión, teniendo cada bomba un sistema de control (33) adaptado para regular la presión de combustible de salida de bomba usando una señal de presión de combustible de salida de bomba como retroalimentación de control, y **por que** el sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves comprende además unos medios de almacenamiento legibles por ordenador que contienen un conjunto de instrucciones para controlar las bombas de combustible controladas por presión individualmente, donde el conjunto de instrucciones incluye un conjunto de configuraciones de presión nominal de salida de bomba para la pluralidad de bombas de combustible controladas por presión en función del estado de la(s) estación(es) de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo, y el conjunto de instrucciones incluye además un conjunto de ajustes de configuración de presión de salida de bomba para la pluralidad de bombas de combustible controladas por presión en función de un volumen de combustible dentro de cada tanque.
2. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la salida de bomba incluye un sensor de presión (41) configurado para transmitir la señal de presión de combustible de salida.
3. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde el sistema de control de bomba está adaptado para recibir una señal de presión de combustible de demanda.
4. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 3, en el que el sistema de control de bomba está adaptado para comparar la señal de presión de combustible de demanda con la señal de presión de combustible de salida y para proporcionar una señal de accionamiento de bomba a la bomba basándose en la señal de entrada de presión de combustible de demanda y en cualquier diferencia entre la señal de presión de combustible de demanda y la señal de presión de combustible de salida.
5. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 4, en el que el sistema de control de bomba incluye un controlador proporcional-integral-diferencial (PID) (36) para comparar la señal de entrada de presión de combustible de demanda con la señal de presión de combustible de salida.
6. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, que comprende además un sistema de gestión y de cantidad de combustible, FQMS (22), adaptado para proporcionar la señal de presión de combustible de demanda al sistema de control de bomba y/o configurado para medir el nivel de combustible dentro de cada tanque.
7. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la señal de presión de combustible de demanda depende de la presión del aire ambiente fuera de la aeronave.
8. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con las reivindicaciones 6 y 7, en el que el FQMS (22) está adaptado para recibir una señal de presión de aire ambiente y para modificar la señal de presión de combustible de demanda de acuerdo con la presión del aire ambiente.
9. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 8, que comprende además un sistema de datos aéreos, ADS, en donde el ADS está adaptado para proporcionar la señal de presión de aire ambiente al FQMS.
10. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que la bomba incluye un motor (37) adaptado para recibir una señal de accionamiento de bomba desde el sistema de control.
11. Un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con cualquier reivindicación anterior, en el que el conjunto de ajustes de configuración de presión de salida de bomba están configurados para ajustar automáticamente el equilibrio de peso de la aeronave dentro de unos límites predeterminados.
12. Un método para manejar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por** regular la presión del combustible de salida de bomba usando una señal de presión de combustible de salida de bomba como retroalimentación de control y estableciendo una presión de salida nominal para cada bomba de combustible en función del estado de la una o más estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo y monitorizando además el nivel de combustible dentro de cada tanque de

combustible y ajustando la presión de salida para cada bomba de combustible en función de los niveles de combustible medidos.

- 5 13. Un método para manejar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 12, en el que la etapa de regulación incluye comparar una señal de presión de combustible de demanda con la señal de presión de combustible de salida y controlar automáticamente la bomba para garantizar que la presión de combustible de salida no supere la presión de combustible de demanda.
- 10 14. Un método de acuerdo con las reivindicaciones 12 o 13, que comprende además regular automáticamente la presión máxima de combustible de salida de bomba en función de la presión del aire ambiente fuera de la aeronave.
- 15 15. Un método para manejar un sistema de reabastecimiento de combustible en vuelo de aeronaves de acuerdo con la reivindicación 14, y que comprende además i) mantener sustancialmente de manera automática el equilibrio de combustible entre los tanques durante un suministro de combustible de alto caudal desde la pluralidad de tanques de combustible simultáneamente a través de una o más de las estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo controlando la presión de salida de cada bomba de combustible, y/o ii) mantener sustancialmente de manera automática el equilibrio de peso lateral y/o longitudinal de la aeronave durante un suministro de combustible de alto caudal desde la pluralidad de tanques de combustible simultáneamente a través de una o más de las estaciones de suministro de reabastecimiento de combustible en vuelo controlando la presión de salida de cada bomba de combustible.
- 20

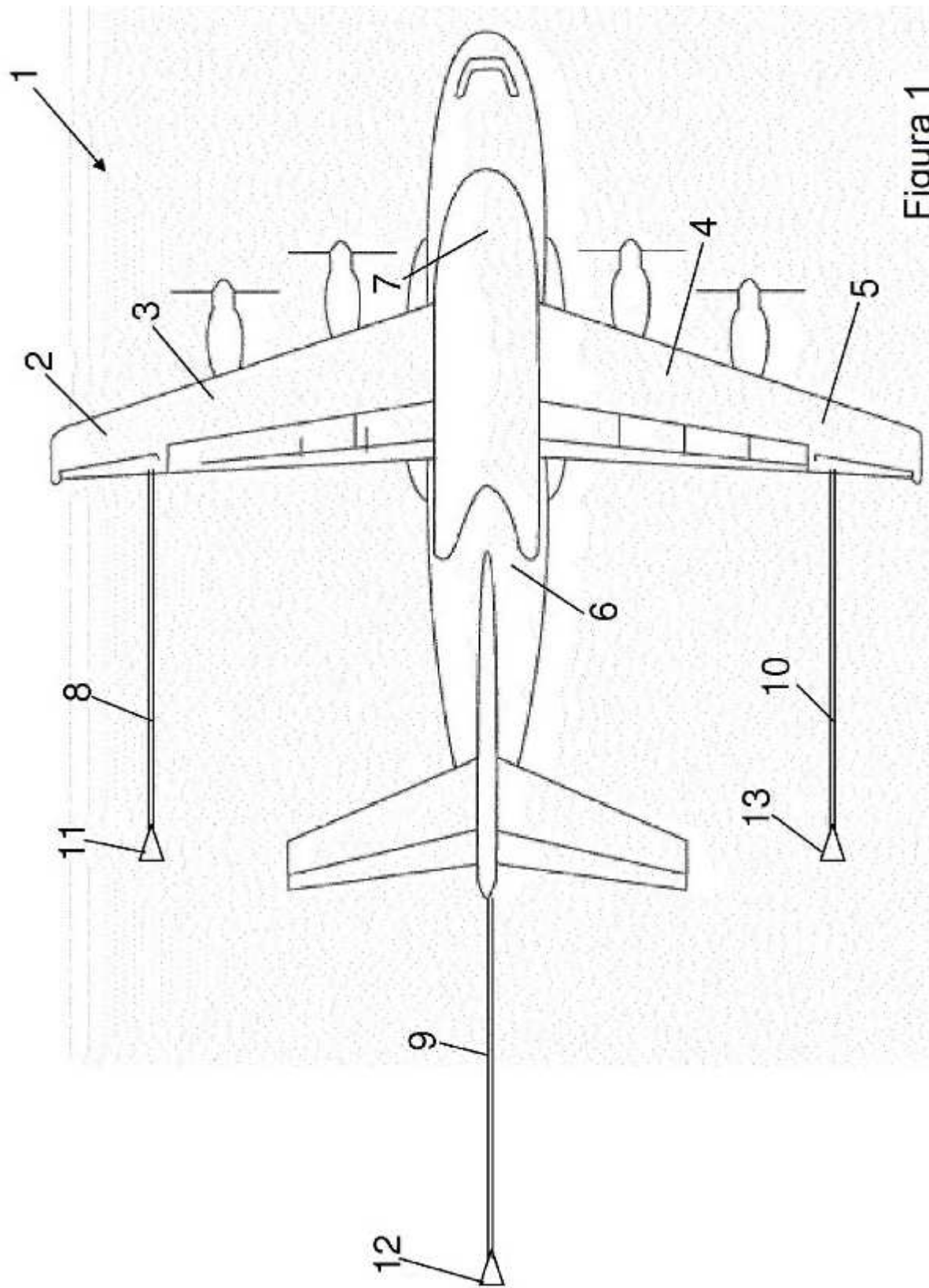


Figura 1

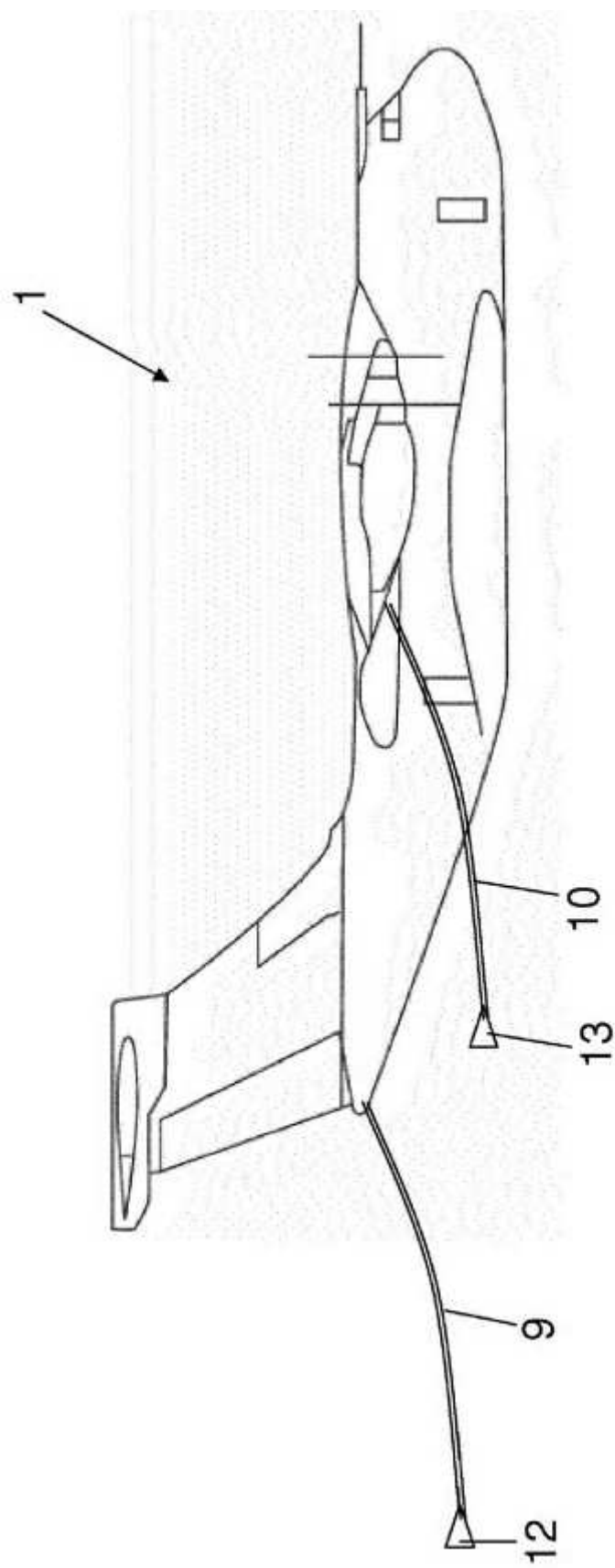


Figura 2

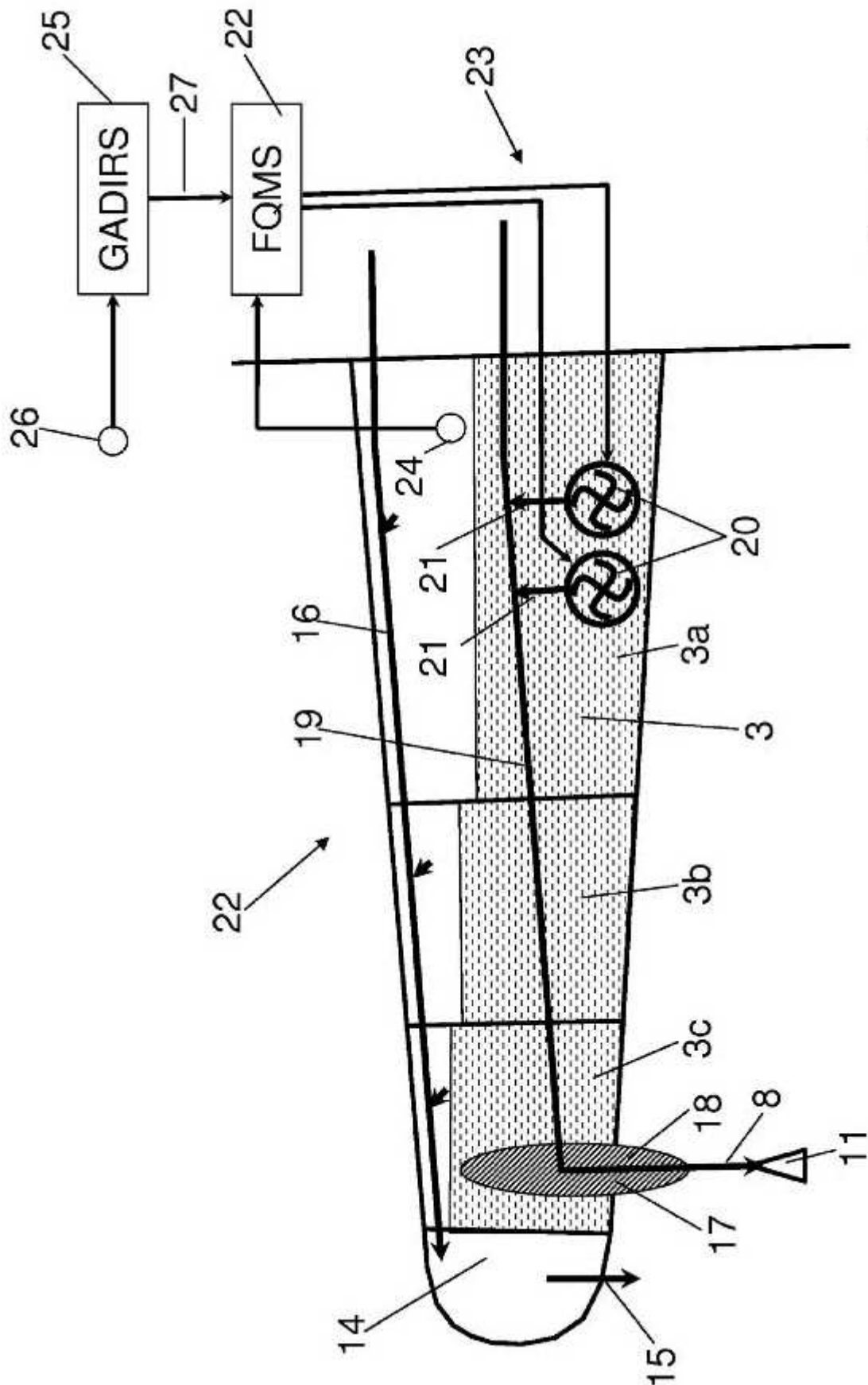
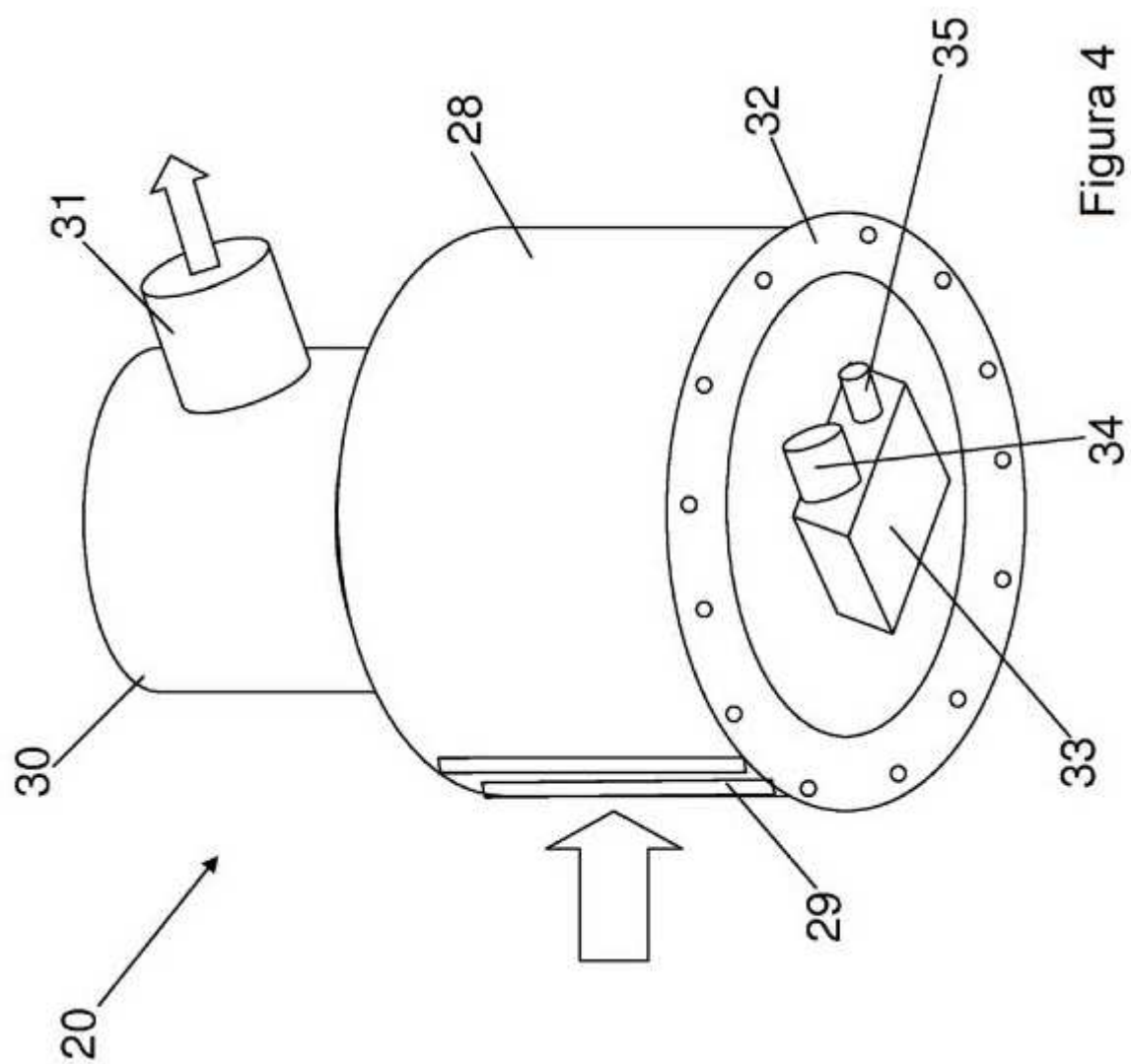


Figura 3



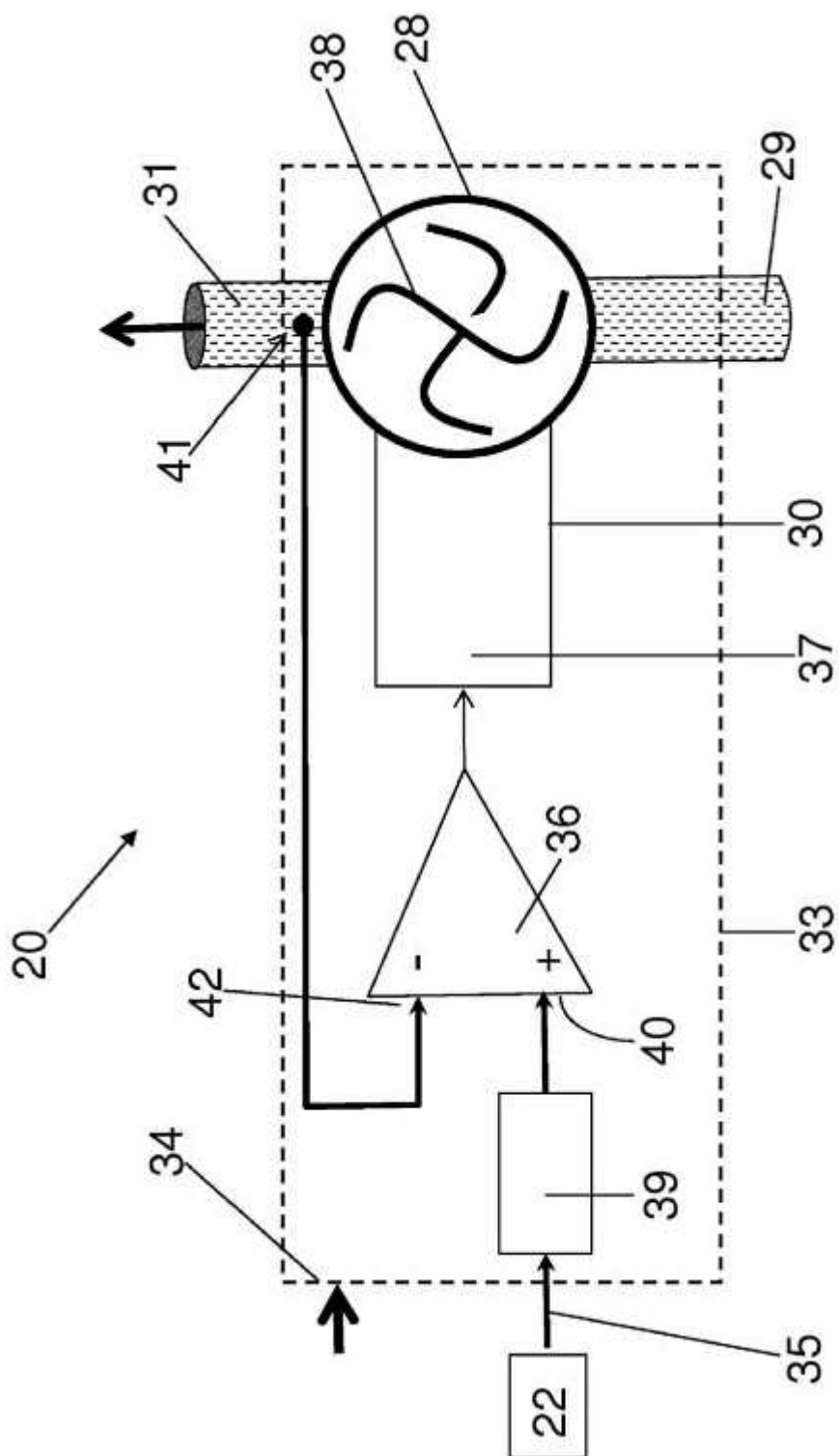


Figura 5

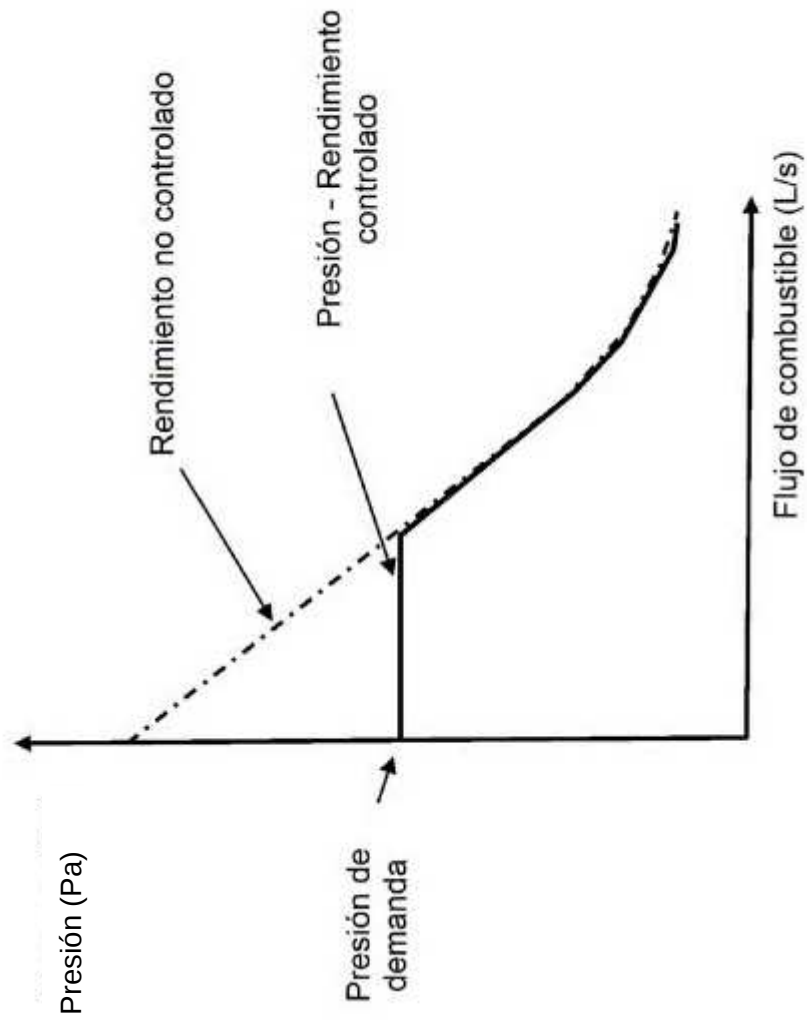


Figura 6

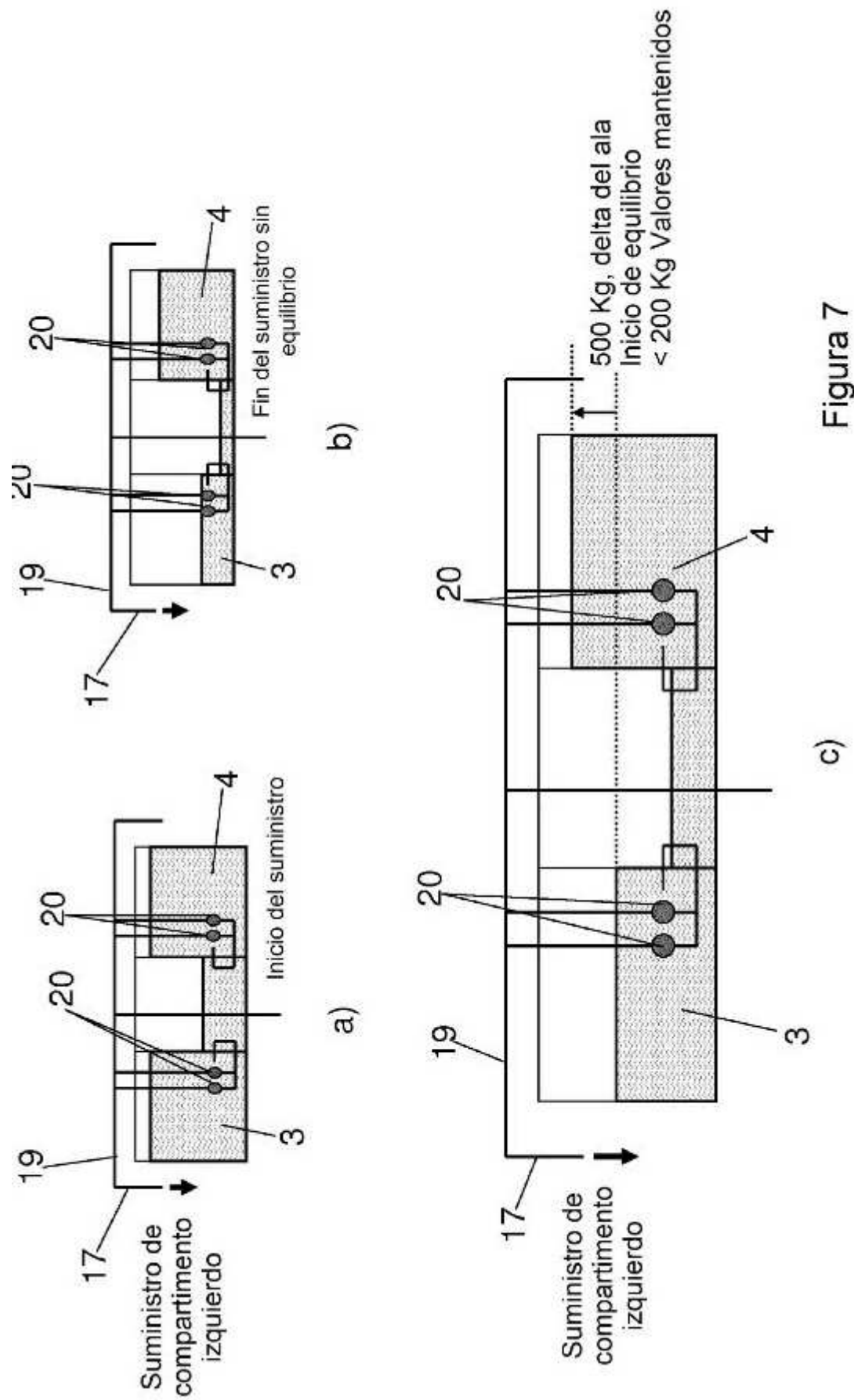


Figura 7