

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 977**

51 Int. Cl.:

B64D 37/32 (2006.01)

B01D 63/02 (2006.01)

B01D 69/02 (2006.01)

B01D 69/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.10.2013 PCT/US2013/064380**

87 Fecha y número de publicación internacional: **10.07.2014 WO14107207**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.10.2013 E 13852348 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019 EP 2914493**

54 Título: **Métodos y sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave y métodos de separación de aire utilizando membranas**

30 Prioridad:
31.10.2012 US 201213665767

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.03.2020

73 Titular/es:
**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:
**EVOSEVICH, BARBARA J. y
JOJIC, IVANA**

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 746 977 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

Métodos y sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave y métodos de separación de aire utilizando membranas.

Campo técnico

- 5 Las realizaciones se refieren a métodos y sistemas para reducir la inflamabilidad en depósitos de combustible de aeronaves utilizando membranas y métodos de separación de aire utilizando membranas.

Antecedentes

- 10 Existe una variedad de sistemas conocidos con el propósito de reducir la inflamabilidad en depósitos de combustible de una aeronave. Pueden conocerse sistemas de este tipo por una cantidad de denominaciones incluyendo, pero sin limitarse, Sistema de Generación de Gas Inerte A Bordo (OBIGGS), Sistema de Generación de Nitrógeno (NGS), Sistema de Reducción de la Inflamabilidad (FRS), Sistema de Inertización de los Depósitos de Combustible (FTIS), etc. Sin embargo, algo en común entre los sistemas implica reducir el contenido de oxígeno del espacio vacío del depósito de combustible alimentando gas inerte en el depósito de combustible. Con frecuencia, los sistemas producen aire enriquecido con nitrógeno (NEA) para el gas inerte. El aire con un menor porcentaje de oxígeno es menos inflamable.

- 15 Los sistemas de inertización utilizados para producir aire enriquecido con nitrógeno pueden depender de la absorción y desorción por oscilación de presión del medio como un mecanismo de separación o difusión mediante membranas poliméricas como otro mecanismo de separación para eliminar oxígeno. En sistemas con membranas de fibra hueca polimérica, el aire comprimido entra en el orificio del polímero de fibra hueca y el oxígeno penetra a través de las paredes de fibra hueca del polímero. El permeado de oxígeno se recoge y se expulsa a bordo. El retenido enriquecido con nitrógeno restante fluye a través del orificio y se recoge en la salida del producto gaseoso del módulo de separación de aire para su distribución en depósitos de combustible de una aeronave. Lamentablemente, la vida útil del módulo de separación de aire y las condiciones de funcionamiento del sistema pueden estar limitadas por los polímeros utilizados en la construcción del módulo de separación de gas. En consecuencia, es deseable una mayor fiabilidad de los módulos de separación de aire.

- 20 El documento WO 2006/079782 A2 da a conocer un método y un sistema para inertizar un depósito de combustible de una aeronave. Se proporciona un módulo de separación de gas que comprende una pluralidad de hebras de membrana de separación de fibra hueca enrolladas alrededor de un núcleo.

- 25 El documento US 2004/0000231 A1 da a conocer membranas de separación de gases compuestos de perfluoropolímeros. Las membranas se forman depositando una capa de separación ultrafina y densa de un perfluoropolímero amorfo soluble en la parte superior de un sustrato de polietersulfona poroso.

Sumario

- 30 En una realización, se da a conocer un método de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave según la reivindicación 1.

- 35 En una realización adicional, se da a conocer un sistema de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave según la reivindicación 7.

Las características, funciones y ventajas que se han tratado pueden lograrse independientemente en diversas realizaciones o pueden combinarse en detalles adicionales de todavía otras realizaciones que pueden observarse con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

40 Breve descripción de los dibujos

A continuación, se describen algunas realizaciones con referencia a los siguientes dibujos adjuntos.

Las figuras 1-3 muestran diagramas de sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible según varias realizaciones.

Descripción detallada

- 45 Los sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave conocidos incluyen una fuente de aire comprimido, un módulo de separación de aire (ASM) configurado para recibir alimentación de aire de la fuente de aire comprimido y un depósito de combustible a bordo de la aeronave configurado para recibir aire enriquecido con nitrógeno del módulo de separación del aire. La observación y la evaluación cuidadosas han mostrado que las fuentes de aire comprimido conocidas disponibles en la aeronave, tales como aire de purga del motor, pueden estar contaminadas con diversos gases (incluyendo gases de hidrocarburos) y aerosoles líquidos o sólidos de diversos tamaños. También pueden estar presentes partículas de mayor tamaño. Más en concreto, se ha demostrado que el aire de purga del motor contiene residuos y productos de degradación de combustible para

reactores, aceite de lubricación de motores, líquido hidráulico, agentes anticongelantes y otros contaminantes presentes en la atmósfera, en el suelo y en altura. Los contaminantes predominantes son los hidrocarburos que contienen solo hidrógeno y carbono, pero pueden estar presentes otros hidrocarburos y otros contaminantes, tales como aldehídos, cetonas, ácidos y otros gases. Las membranas de separación de gas, en general, son muy susceptibles a grandes moléculas de hidrocarburo, productos de degradación de los que se demostró además que contienen seis o más átomos de carbono.

Los módulos de separación de aire (ASM), conocidos por su uso aeroespacial, contienen membranas de fibra hueca, que permean oxígeno a través de la membrana preferentemente a nitrógeno. Las moléculas que no permean son retenidas (retenido) y se las denomina aire enriquecido con nitrógeno. Sin embargo, en entornos de trabajo, los ASM muestran una pérdida de rendimiento debido a la contaminación y debido a la relajación natural para la fibra. En algunos casos, los ASM muestran una vida útil reducida. Los contaminantes pueden afectar negativamente al rendimiento y a la vida del polímero de diversas maneras. Los poros de fibra pueden taponarse por material particulado. Los líquidos pueden cubrir membranas (desde una capa límite), causar la inflamación del polímero o destruir la integridad de la membrana. Los disolventes de polímero pueden contribuir a la delaminación de la capa de separación del polímero o dentro de la capa de separación y podría llevar a una compactación (aumento del grosor de la capa de separación) o a una deformación de la fibra. Los gases pueden llenar un volumen libre o, en niveles importantes, acumularse lentamente en la superficie de la membrana, reduciendo la tasa de permeabilidad (especialmente hidrocarburos pesados con más de 15 átomos de carbono). Los gases pueden causar plastificación o antiplastificación en concentraciones elevadas o pueden reducir el peso molecular del polímero (romper cadenas de polímero). Adicionalmente, los materiales de polímero utilizados para formar membranas de fibra hueca y otras membranas pueden mostrar una susceptibilidad a la degradación debido a la exposición a los hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.

Los sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave conocidos pueden incluir un filtro de material particulado en un intento de eliminar partículas y/o incluir otro filtro, tal como un filtro de aerosoles líquidos. Sin embargo, no se conoce que los filtros aguas arriba conocidos de un ASM eliminen hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono o pequeños aerosoles líquidos o sólidos.

Para maximizar la presión disponible y minimizar el sistema de peso y mantenimiento, los sistemas aeroespaciales conocidos utilizan filtración de líquidos y material particulado y justifican la disminución del rendimiento debido a la contaminación gaseosa (aparte de ozono) en el diseño del sistema. En consecuencia, no se conoce que un filtro aguas arriba de un ASM elimine hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono o pequeñas partículas líquidas o sólidas y que muestre también una caída de presión de menos de 34 kPa (5 libras/pulgadas² (psi)). De manera relacionada, no se conoce que tal filtro muestre una alta permeabilidad.

Además, a pesar de que las membranas de fibra hueca se conocen para el uso en un ASM para la separación del oxígeno del aire, no se conocen para el uso en otros componentes de un sistema de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave, tal como en un filtro. De esto se deduce que una membrana de fibra hueca en el ASM susceptible a contaminantes recibidos de la fuente de aire comprimido también podría ser susceptible a contaminantes de la fuente de aire comprimido cuando funciona como un filtro. Tal membrana en un filtro puede mostrar la misma vida útil limitada observada en el ASM. Sin embargo, los avances en la ciencia de materiales para el funcionamiento de membranas en otras aplicaciones aparte de la aeroespacial resultan prometedores en la muestra de características adecuadas para el uso en el filtro aguas arriba de un ASM.

Específicamente, nuevos materiales pueden resistir la degradación debido a la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Aunque tales materiales podrían no funcionar para eliminar eficazmente el oxígeno del aire, podrían funcionar eficazmente como un filtro de membrana que elimina pequeñas partículas líquidas o sólidas e hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.

Por consiguiente, puede seleccionarse un material conocido para utilizarse como una membrana en un ASM y diseñarse para eliminar eficazmente oxígeno del aire. Ejemplos de polímeros conocidos potencialmente adecuados para tales materiales incluyen óxido de polifenileno (PPO), poliimida, polisulfona, policarbonato y otros, tales como los descritos en las patentes estadounidenses n.º 8.245.978 emitida a Beers y 7.699.911 emitida a Zhou. Además, puede utilizarse un material diferente del de la membrana ASM en un filtro aguas arriba al de ASM como una membrana para eliminar eficazmente contaminantes. En consecuencia, la membrana en el filtro puede ser menos susceptible a la degradación por la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono en comparación con la membrana en el ASM. Aun así, la membrana en el ASM puede ser más efectiva eliminando oxígeno del aire en comparación con la membrana en el filtro. El material diferente en el filtro de la membrana podría no conocerse anteriormente para tal uso. Los contaminantes restantes en el retenido del filtro de la membrana pueden recogerse para algún uso posterior o ventilarse, bien solos o bien junto con el permeado (oxígeno) del ASM.

Aunque las realizaciones en el presente documento se tratan como importantes en uso junto con una membrana de fibra hueca ASM, también pueden tener aplicabilidad a otras tecnologías de separación de gas. También, aunque en el presente documento se tratan en el contexto de sistemas de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave, otros sistemas de separación de gas pueden beneficiarse de los conceptos en las realizaciones descritas.

El filtro de la membrana descrito puede colocarse aguas abajo de un filtro conocido. El filtro de la membrana descrito puede beneficiarse de la eliminación de partículas y/o aerosoles líquidos llevada a cabo por un filtro conocido. La vida útil del filtro de la membrana puede por tanto incrementarse si se sitúa aguas abajo de un filtro de material particulado y/o de aerosoles líquidos conocido. Adicionalmente, o en lugar de utilizar un filtro conocido, el filtro de la membrana puede incorporar una característica de barrido de gas para ayudar en la limpieza de la membrana de contaminantes acumulados, tal como se conoce generalmente.

Utilizando una o más de las realizaciones descritas en el presente documento, la vida útil de un ASM puede ampliarse y el rendimiento del sistema puede aumentar limitando la degradación del rendimiento de la membrana debido a contaminación gaseosa. En consecuencia, los ASM tienen que dimensionarse más pequeños, reduciendo peso y espacio. Actualmente, un ASM a menudo se dimensiona basándose en un rendimiento al final de la vida útil que justifica la degradación del rendimiento a lo largo del tiempo. Con la reducción de la degradación de la membrana debido a contaminantes descritos en el presente documento, un área de superficie dada disponible para permear oxígeno puede mantenerse durante más tiempo. La vida más larga puede disminuir el área de superficie necesaria para alcanzar la misma vida útil como se desea sin las realizaciones del presente documento. Alternativamente, puede utilizarse la misma área de superficie y realizarse una prolongación de vida útil.

En aplicaciones no aeroespaciales conocidas, pueden situarse varios filtros para proporcionar una eliminación eficaz de contaminantes aguas arriba de un sistema de separación de aire. Los múltiples filtros aumentan el coste del sistema y el tiempo de mantenimiento y pueden eliminarse o reducirse en número confiando en las realizaciones del presente documento. En aplicaciones no aeroespaciales, el carbón activado se conoce por su utilización como absorbente para eliminar hidrocarburos no deseados de una fuente de aire. Sin embargo, el carbón activado se considera inadecuado para su utilización en aplicaciones aeroespaciales dada la necesidad de regeneración y/o el coste adicional de mantenimiento del avión de reemplazo de la filtración de carbón activado. Adicionalmente, la presión de la alimentación de la membrana puede descender debido a la caída de presión a lo largo del filtro de carbón activado, que impacta negativamente en el rendimiento de la membrana de separación de gas. Se puede utilizar más peso y volumen de carbón activado para permitir la eliminación de hidrocarburo sin regeneración frecuente y/o reemplazo. En consecuencia, a menos que se proporcione un gran volumen de carbón activado, el mantenimiento y la utilidad del carbón activado como un medio de eliminación de hidrocarburo es muy limitado.

Como resultado, en lugar de centrarse en nuevos materiales para reemplazar membranas en ASM, las realizaciones del presente documento adoptan el enfoque de conservar la tecnología conocida con materiales de membrana susceptibles a contaminantes, pero efectivos para la separación del aire. La tecnología conocida puede combinarse con materiales como un filtro de membrana inadecuado para la separación O₂/N₂ (tales como alta permeabilidad de O₂ y N₂ y baja selectividad), pero enfocado en no permear contaminantes con mayor peso molecular. Se pueden lograr beneficios de la tecnología de membranas en ambos aspectos.

En una realización, un método de reducción de inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave incluye alimentar aire comprimido en un filtro que contiene una membrana, estando en contacto la membrana con la alimentación del aire, permear oxígeno y nitrógeno de la alimentación de aire a través de la membrana y producir aire filtrado del filtro. Los contaminantes en el aire comprimido incluyen hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. El aire filtrado se produce del filtro como resultado de la membrana que elimina cualesquiera hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg (partes por millón en peso/peso (ppm p/p)) o menos. El método incluye la alimentación de aire filtrado en un módulo de separación de aire y la producción de aire enriquecido con nitrógeno del módulo de separación de aire. El aire enriquecido con nitrógeno se alimenta en el depósito de combustible a bordo de la aeronave.

A modo de ejemplo, el filtro puede mostrar una pérdida de la presión a través de la membrana de menos de 34 kPa (5 psi). La membrana puede mostrar la propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Como una opción, la membrana puede incluir una membrana de fibra hueca, que puede estar basada en polímeros. El ASM también puede incluir una membrana de fibra hueca. La membrana de fibra hueca del ASM puede mostrar susceptibilidad a la degradación debido a la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. El método puede además incluir el funcionamiento de un filtro de material particulado que carece de una membrana aguas arriba del filtro que contiene la membrana.

La susceptibilidad a la degradación puede disminuir la permeabilidad debido a la contaminación gaseosa (aparte de ozono) y puede variar según el polímero. Cuanto más grande sea el volumen libre del polímero, más alto será el rendimiento, pero también más grande será la caída de permeabilidad debido a contaminantes porque esto incluye más volumen libre para ocupar. La utilización de filtración por membrana puede aumentar la viabilidad de ciertos polímeros en el ASM que, de lo contrario, experimentarían una caída de la permeabilidad de aproximadamente un 20% o más debido a la relajación natural de la fibra y a la contaminación gaseosa. Sin las realizaciones descritas que incluyen la filtración por membrana, tales polímeros pueden mostrar una caída de rendimiento suficientemente alta sobre la vida útil que puede no ser práctica para explicar la pérdida de permeabilidad en el dimensionado del sistema. Los polímeros de membrana con una caída de permeabilidad que puede explicarse prácticamente en el diseño del sistema todavía pueden beneficiarse de la filtración de la membrana como se ha tratado en el presente documento porque la caída más baja puede afectar positivamente al dimensionado del componente del sistema.

En otra realización, un método de separación de aire incluye alimentar aire comprimido en un filtro que contiene una membrana de fibra hueca, estando en contacto la membrana de fibra hueca con la alimentación del aire, permeando oxígeno y nitrógeno de la alimentación de aire a través de la membrana y produciendo aire filtrado del filtro. Los contaminantes en el aire comprimido incluyen hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. La membrana de fibra hueca muestra la propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a hidrocarburos. El aire filtrado se produce a partir del filtro como resultado de la membrana que elimina hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Además, el filtro muestra una caída de presión a lo largo de la membrana de menos de 34 kPa (5 psi). El método incluye la alimentación de aire filtrado en un módulo de separación de aire que contiene una membrana de fibra hueca y que produce aire enriquecido con nitrógeno del módulo de separación de aire. La membrana de fibra hueca del ASM muestra una susceptibilidad a la degradación por la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.

A modo de ejemplo, la membrana del filtro elimina cualesquiera hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg (ppm p/p) o menos. También, el método puede incluir la reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave utilizando aire enriquecido con nitrógeno.

En otra realización, un sistema de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave incluye una fuente para aire, un filtro configurado para recibir alimentación de aire de la fuente de aire y una membrana en el filtro. La membrana está configurada para permear oxígeno y nitrógeno del aire alimentado a través de la membrana a una caída de presión a lo largo de la membrana de menos de 34 kPa (5 psi) y para producir aire filtrado a partir del filtro como resultado de la membrana que elimina hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. El sistema incluye un módulo de separación de aire configurado para recibir aire filtrado del filtro y para producir aire enriquecido con nitrógeno del módulo de separación de aire. Un depósito de combustible a bordo de la aeronave está configurado para recibir el aire enriquecido con nitrógeno.

A modo de ejemplo, la fuente de aire puede estar configurada para proporcionar aire comprimido. La membrana puede estar configurada para eliminar cualquier hidrocarburo que contiene seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg (ppm p/p) o menos. La membrana puede mostrar la propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a los hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Como una opción, la membrana puede incluir una membrana de fibra hueca, que puede estar basada en polímeros. El ASM puede incluir también una membrana de fibra hueca. El módulo de separación de aire puede incluir una membrana de fibra hueca que muestra una susceptibilidad a la degradación por la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. El sistema puede además incluir un filtro de material particulado que carece de una membrana aguas arriba del filtro que contiene la membrana.

La figura 1 muestra un diagrama de un sistema 10 de reducción de la inflamabilidad de un depósito de combustible. En el sistema 10, una fuente 16 de aire comprimido proporciona alimentación 17 de aire a un filtro 22 de membrana. El filtro 22 de membrana produce aire 21 filtrado y gas 24 retenido que contiene contaminantes eliminados de la alimentación 17 de aire. El filtro 22 de membrana puede eliminar cualquier hidrocarburo que contiene seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg (ppm p/p) o menos. También, el filtro 22 de membrana puede mostrar una caída de presión a lo largo de su membrana de menos de 34 kPa (5 psi). Además, su membrana puede mostrar la propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Como ejemplo, la membrana puede ser una membrana de fibra hueca.

Un módulo 12 de separación de aire aguas abajo recibe aire 21 filtrado y produce aire 19 enriquecido con nitrógeno junto con gas 18 permeado. El módulo 12 de separación de aire puede incluir una membrana de fibra hueca. La membrana puede mostrar una susceptibilidad a la degradación por la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono. Dada la eliminación de contaminantes en gas 24 retenido por un filtro 22 de membrana, el módulo 12 de separación de aire está habilitado para permear oxígeno más eficazmente a través de una membrana (no mostrado) y en gas 18 permeado. El aire 19 enriquecido con nitrógeno se proporciona a un depósito 14 de combustible para reducir la inflamabilidad.

La figura 2 muestra un diagrama de un sistema 20 de reducción de la inflamabilidad de un depósito de combustible que incluye todos los elementos del sistema 10, pero además incluye un filtro 26 de particulado. Aunque no se muestra, el filtro 26 de material particulado puede funcionar además como un filtro de aerosoles líquidos o puede añadirse un filtro de aerosoles líquidos separado al sistema 20 aguas arriba o aguas abajo de un filtro 26 de material particulado. El filtro 26 de material particulado proporciona aire 23 filtrado a un filtro 22 de membrana. En el sistema 20, el filtro 26 de material particulado puede alargar la vida útil del filtro 22 de membrana eliminando contaminantes tales como partículas grandes y aerosoles líquidos que pueden limitar el área de superficie eficaz de la membrana (no mostrado) en el filtro 22 de membrana.

La figura 3 muestra un diagrama de un sistema 30 de reducción de la inflamabilidad de un depósito de combustible de una aeronave que incluye todos los elementos del sistema 10 mostrados en la figura 1 pero además incluye un intercambiador 32 de calor. Con frecuencia, las fuentes conocidas para fuente 16 de aire comprimido proporcionan alimentación 17 de aire a una temperatura elevada que puede ser inadecuada para la membrana en el módulo 12 de separación de aire y/o la membrana en el filtro 22 de membrana. El intercambiador 32 de calor puede utilizarse para producir una alimentación 34 de aire enfriado para reducir el daño térmico a membranas en componentes aguas

5 abajo. Alternativamente, es concebible que una fuente 16 de aire comprimido puede proporcionar alimentación 17 de
 10 aire a una temperatura que limita el rendimiento de membranas en componentes aguas abajo porque es demasiado
 fría. En tal caso, el intercambiador 32 de calor puede en cambio producir una alimentación de aire caliente (no
 mostrado). Además, es concebible que la membrana en el filtro 22 de membrana y la membrana en el módulo 12 de
 separación de aire puedan operar lo más eficazmente posible en diferentes intervalos de temperatura. En
 consecuencia, el intercambiador 32 de calor puede situarse, en cambio, entre el filtro 22 de membrana y el módulo
 12 de separación de aire o puede proporcionarse un intercambiador de calor adicional para satisfacer los intervalos
 de temperatura de las respectivas membranas. Aún más, posiblemente el filtro 22 de membrana y el módulo 12 de
 separación de aire pueden incluir membranas manejables a tales temperaturas que el intercambiador 32 de calor
 puede situarse, en cambio, aguas abajo del módulo de separación de aire para enfriar aire 19 enriquecido con
 nitrógeno antes de proporcionarse al depósito 14 de combustible.

15 Aunque los sistemas 10, 20 y 30 tratados anteriormente incluyen cada uno un depósito 14 de combustible, se ha
 observado de acuerdo con la discusión anterior, que el aire 19 enriquecido con nitrógeno puede proporcionarse, en
 cambio, a un componente diferente de un sistema diferente, tal como un sistema de separación de aire. Aunque las
 figuras 1-3 muestran diversas realizaciones posibles de los sistemas descritos en el presente documento, se puede
 apreciar que se pueden contemplar combinaciones adicionales de las características en las figuras 1-3 y otras
 características descritas en el presente documento.

20 Conforme al estatuto, las realizaciones se han descrito en un lenguaje más o menos específico en cuanto a las
 características estructurales y metódicas. Se entiende, sin embargo, que las realizaciones no están limitadas a las
 características específicas mostradas y descritas. Las realizaciones, por tanto, se reivindican en cualquiera de sus
 formas o modificaciones dentro del ámbito propio de las reivindicaciones adjuntas interpretadas adecuadamente de
 conformidad con la doctrina de los equivalentes.

TABLA DE NÚMEROS DE REFERENCIA PARA LAS FIGURAS

- 10 sistema
- 25 12 módulo de separación de aire
- 14 depósito de combustible
- 16 fuente de aire comprimido
- 17 alimentación de aire
- 18 gas permeado
- 30 19 aire enriquecido con nitrógeno
- 20 sistema
- 21 aire filtrado
- 22 filtro de membrana
- 23 aire filtrado
- 35 24 gas retenido
- 26 filtro de material particulado
- 30 sistema
- 32 intercambiador de calor
- 34 alimentación de aire enfriado
- 40

REIVINDICACIONES

1. Método de reducción de la inflamabilidad del depósito (14) de combustible de una aeronave, que comprende:
alimentar aire comprimido a partir de una alimentación (17) de aire en un filtro (22) que contiene una membrana, incluyendo los contaminantes en el aire comprimido hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono;
- 5 poner en contacto la membrana con la alimentación (17) de aire, permeando oxígeno y nitrógeno de la alimentación de aire a través de la membrana a una caída de presión a lo largo de la membrana de menos de 34 kPa (5 libras/pulgadas² (psi)) y produciendo aire (21) filtrado a partir del filtro (22) como resultado de la membrana que elimina cualquier hidrocarburo que contiene seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg o menos;
- 10 alimentar el aire (21) filtrado en un módulo (12) de separación de aire (ASM) y producir aire (19) enriquecido con nitrógeno a partir del módulo (12) de separación de aire; y
alimentar el aire (19) enriquecido con nitrógeno en el depósito (14) de combustible a bordo de la aeronave.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la membrana muestra una propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a los hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.
- 15 3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la membrana comprende una membrana de fibra hueca.
4. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el ASM (12) comprende una membrana de fibra hueca.
- 20 5. Método según la reivindicación 4, en el que la membrana de fibra hueca del ASM muestra una susceptibilidad a la degradación a partir de la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.
6. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende, además, el funcionamiento de un filtro (26) de material particulado que carece de una membrana aguas arriba del filtro (22) que contiene una membrana.
7. Sistema (14) de reducción de la inflamabilidad del depósito de combustible de una aeronave, que comprende:
una fuente (16) de aire;
- 25 un filtro (22) configurado para recibir una alimentación (17) de aire de la fuente (16) de aire;
una membrana en el filtro (22), estando la membrana configurada para permear oxígeno y nitrógeno a partir de la alimentación de aire a través de la membrana a una caída de presión a lo largo de la membrana de menos de 34 kPa (5 libras/pulgadas² (psi)) y para producir aire (21) filtrado a partir del filtro (22) como resultado de la membrana que elimina hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono;
- 30 un módulo (12) de separación de aire (ASM) configurado para recibir aire (21) filtrado del filtro (22) y para producir aire (19) enriquecido con nitrógeno del módulo (12) de separación de aire; y
un depósito (14) de combustible a bordo de la aeronave y configurado para recibir el aire (19) enriquecido con nitrógeno.
- 35 8. Sistema según la reivindicación 7 en el que la fuente (16) de aire está configurada para proporcionar aire comprimido.
9. Sistema según las reivindicaciones 7 u 8, en el que la membrana está configurada para eliminar cualquier hidrocarburo que contiene seis o más átomos de carbono para producir un total de 0,001 mg/kg o menos.
- 40 10. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 9, en el que la membrana muestra una propiedad de resistencia a la degradación debido a la exposición a los hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.
11. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que la membrana comprende una membrana de fibra hueca.
12. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 10, en el que el ASM (12) comprende una membrana de fibra hueca.
- 45 13. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 12, en el que la membrana de fibra hueca del ASM (12) muestra una susceptibilidad a la degradación por la exposición a hidrocarburos que contienen seis o más átomos de carbono.

14. Sistema según cualquiera de las reivindicaciones 7 a 13 que comprende, además, un filtro (26) de material particulado que carece de una membrana aguas arriba del filtro (22) que contiene la membrana.

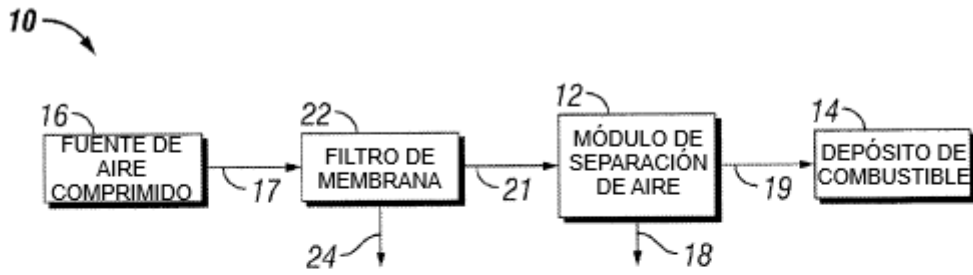


FIG. 1

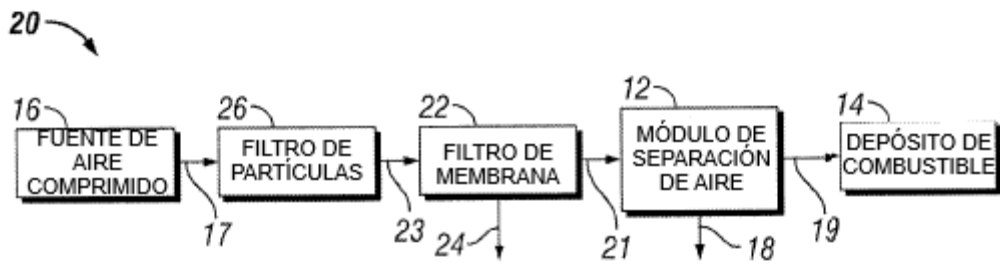


FIG. 2

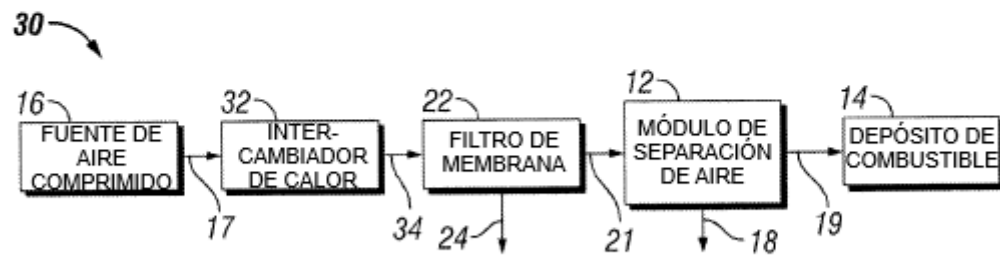


FIG. 3