

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 592 777**

51 Int. Cl.:

B64D 37/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.07.2013 PCT/US2013/052133**

87 Fecha y número de publicación internacional: **17.04.2014 WO14058515**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.07.2013 E 13826901 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.06.2016 EP 2888168**

54 Título: **Método y sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión**

30 Prioridad:

24.08.2012 US 201213594525

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

01.12.2016

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:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 592 777 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

Método y sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión

5 **CAMPO TÉCNICO**

Las realizaciones se refieren a métodos y sistemas para reducir la inflamabilidad en depósitos de combustible de avión.

ANTECEDENTES

10 Existe una variedad de sistemas conocidos con el propósito de reducir la inflamabilidad de depósitos de combustible de aviones. Tales sistemas pueden ser conocidos por un número de designaciones que incluyen pero no están limitadas a, Sistema de Generación de Gas Inerte A Bordo (OBIGGS), Sistema de Generación de Nitrógeno (NGS), Sistema de Reducción de Inflamabilidad (FRS). Sistema para Hacer Inerte un Depósito de Combustible (FTIS), etc. Sin embargo, una característica en común entre los sistemas implica reducir el contenido en oxígeno del espacio vacío del depósito de combustible alimentando gas inerte al depósito de combustible. A menudo, los sistemas producen aire enriquecido en nitrógeno (NEA) para el gas inerte. El aire con un menor porcentaje de oxígeno es menos inflamable.

15 Los sistemas para hacerlo inerte utilizados para producir aire enriquecido en oxígeno pueden basarse en una absorción y desorción de presión oscilante a partir de medios tanto un mecanismo de separación o difusión a través de membranas de polímero como otro mecanismo de separación para retirar oxígeno. En sistemas con membranas de fibra huecas de polímero, el aire comprimido entra en el ánima de la fibra hueca de polímero y el oxígeno penetra a través de las paredes de la fibra hueca de polímero. El oxígeno que penetra es recogido y evacuado hacia fuera. La fracción retenida enriquecida en nitrógeno restante fluye a través del ánima y es recogida en la salida de gas producido del módulo de separación de aire para distribución a los depósitos de combustible del avión. Desgraciadamente, la vida útil del módulo de separación de aire y las condiciones operativas del sistema pueden verse limitadas por los polímeros utilizados en la construcción del módulo de separación de gas.

20 El documento WO 2006/079782 A2 describe un método y sistema para hacer inerte un depósito de combustible de avión. Está previsto un módulo de separación de gas que comprende una pluralidad de hilos de la membrana de separación de fibra hueca enrollados alrededor de un núcleo. El aire de la cabina es aspirado a través del haz de la membrana y es separado en fracciones enriquecidas en nitrógeno y oxígeno por la diferencia de presión existente entre el aire de cabina y la atmósfera exterior del avión. El aire enriquecido en nitrógeno es a continuación suministrado a los depósitos de combustible para proporcionar una atmósfera inerte.

25 Por consiguiente, es deseable una fiabilidad incrementada de módulos de separación de aire.

35 **SUMARIO**

Un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una membrana de carbono, exhibiendo la alimentación de aire una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig) y conteniendo la membrana de carbono al menos 95 por ciento en peso de carbono. El método incluye poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, haciendo penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de eliminar el oxígeno de la alimentación de aire. El aire enriquecido en nitrógeno es alimentado al depósito de combustible a bordo del avión.

40 Un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una fibra hueca de polímero pirolizado, exhibiendo la alimentación de aire una temperatura de desde 120° C a 195° C (248° F a 383° F), conteniendo la fibra hueca al menos 95 por ciento de carbono, y exhibiendo la fibra hueca una relación de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 y una permeabilidad de al menos 80 unidades de penetración de gas cuando es medida a una temperatura operativa de 71° C (160° F). El método incluye poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, dejando penetrar el oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire es sustancialmente enfriado en un intercambiador de calor. El aire enriquecido en nitrógeno es alimentado al depósito de combustible a bordo del avión.

45 Un sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye una fuente para aire presurizado, un módulo de separación de aire configurado para recibir una alimentación de aire procedente de la fuente de aire presurizado, y una membrana de carbono que contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono en el módulo de separación de aire. La membrana de carbono está configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una temperatura de al menos 120° C (248° F) y para producir aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El sistema incluye un depósito de combustible a bordo del avión y configurado para recibir aire enriquecido en nitrógeno.

50 De acuerdo con un aspecto de la presente exposición se ha proporcionado un método de reducción de inflamabilidad de

- 5 depósito de combustible de avión que comprende alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una membrana de carbono, exhibiendo la alimentación de aire una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig) y conteniendo la membrana de carbono al menos 95 por ciento en peso de carbono, poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, dejando penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire, y alimentar el aire enriquecido en nitrógeno al depósito de combustible a bordo del avión.
- 10 Opcionalmente, la membrana de carbono comprende una fibra hueca de carbono, una lámina de fibra de carbono enrollada en espiral, una lámina de nanotubos de carbono, o combinaciones de las mismas.
- Opcionalmente la membrana de carbono comprende una fibra hueca de polímero pirolizado.
- 15 Opcionalmente, la alimentación de aire exhibe una temperatura de al menos 120° C (248° F).
- Opcionalmente la alimentación de aire exhibe una temperatura de desde 120 ° C a 195° C (248° F a 383° F).
- 20 Opcionalmente, el método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión comprende además alimentar el aire presurizado desde una fuente para el aire presurizado al módulo de separación de aire sin enfriar sustancialmente la alimentación de aire en un intercambiador de calor.
- Opcionalmente, el método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión comprende además enfriar sustancialmente el aire enriquecido en nitrógeno en un intercambiador de calor antes de alimentar el aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire al depósito de combustible.
- 25 De acuerdo con otro aspecto del presente invento se ha proporcionado un método de reducción de inflamabilidad del depósito de combustible de avión que comprende alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una fibra hueca de polímero pirolizado, exhibiendo el aire una temperatura de 120° C a 195° C (248° F a 383° F), conteniendo la fibra hueca al menos un 95 por ciento en peso de carbono, y exhibiendo la fibra hueca una relación de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 y una permeabilidad de al menos 80 unidades de permeabilidad de gas cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F), haciendo contacto la fibra hueca con la alimentación de aire, dejando penetrar el oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la fibra hueca, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire enfriando sustancialmente el aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire en un intercambiador de calor, y alimentando el aire enriquecido en nitrógeno enfriado al depósito de combustible a bordo del avión.
- 30 del módulo de separación de aire en un intercambiador de calor, y alimentando el aire enriquecido en nitrógeno enfriado al depósito de combustible a bordo del avión.
- 35 Opcionalmente, la alimentación de aire exhibe una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig).
- 40 De acuerdo aún con otro aspecto del presente invento se ha proporcionado un sistema de reducción de inflamabilidad del depósito de combustible de avión que comprende una fuente para aire presurizado, un módulo de separación de aire configurado para recibir una alimentación de aire procedente de la fuente de aire presurizado, y una membrana de carbono que contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono en el módulo de separación de aire, estando configurada la membrana de carbono para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una temperatura de al menos 120° C (248° F) y para producir aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire, y un depósito de combustible a bordo del avión y configurado para recibir el aire enriquecido en nitrógeno.
- 45 Opcionalmente, la membrana de carbono comprende una fibra hueca de carbono, una lámina de fibra de carbono enrollada en espiral, una lámina de nanotubos de carbono, o combinaciones de las mismas.
- 50 Opcionalmente la membrana de carbono comprende una fibra hueca de polímero pirolizado.
- Opcionalmente la membrana de carbono está configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una temperatura de desde 120 ° C a 195° C (248° F a 383° F).
- 55 Opcionalmente, la membrana de carbono está configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig).
- 60 Opcionalmente, el sistema carece de un intercambiador de calor de refrigeración aguas abajo de la fuente de aire presurizado antes del módulo de separación de aire.
- Opcionalmente, el sistema de reducción de inflamabilidad del depósito de combustible de avión comprende además un intercambiador de calor configurado para enfriar sustancialmente el aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire y proporcionar aire enriquecido en nitrógeno al depósito de combustible del avión.
- 65

Opcionalmente, la membrana de carbono exhibe una relación de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F).

5 Opcionalmente, la membrana de carbono exhibe una permeabilidad de al menos 80 unidades de permeabilidad de gas cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F).

Opcionalmente, la membrana de carbono tiene un área operativa que es al menos un 50% menor que un área operativa de una membrana de fibra hueca de polímero que opera en las mismas condiciones y que produce la misma salida de aire enriquecido en nitrógeno.

10 Opcionalmente, la membrana de carbono tiene una vida útil que es al menos 1,5 veces una vida útil de una membrana de fibra hueca de polímero que opera en las mismas condiciones y que produce la misma salida de aire enriquecido en nitrógeno.

15 Las características, funciones, y ventajas que han sido descritas pueden ser conseguidas independientemente en distintas realizaciones o pueden ser combinadas aún en otras realizaciones de las que pueden verse más detalles con referencia a la siguiente descripción y dibujos.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

20 Algunas realizaciones están descritas a continuación con referencia a los siguientes dibujos adjuntos. Las figuras 1 a 4 muestran diagramas de sistemas de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de acuerdo con varias realizaciones.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

25 La observación indica que el rendimiento y vida útil del módulo de separación de aire y del sistema completo utilizando membranas de fibra hueca de polímero pueden ser limitados por la temperatura de funcionamiento del sistema, presión de funcionamiento, diferencia de presión y relación de presión a través de las fibras, propiedades del material de láminas tubular a temperaturas de funcionamiento, relajación natural de la fibra, y sensibilidad a los contaminantes.

30 Con más detalle, los materiales utilizados para membranas de fibra hueca de polímero y láminas tubulares que soportan el haz de fibras son compuestos orgánicos polimerizados que contienen carbono, hidrógeno, oxígeno y posiblemente otros elementos. Para una fibra de polímero dada, el rango de temperatura de funcionamiento está limitado por las prestaciones de la fibra (selectividad y permeabilidad para un par de separación de gases dado) y por los materiales (especialmente los materiales de lámina tubular) utilizados para fabricar el módulo de separación. La selectividad es una relación de permeabilidades de un par de gases. Para un par de separación de gases dado, existe una compensación entre permeabilidad y selectividad. En particular, la membrana de polímero tiene un límite superior, conocido entre los expertos en la técnica como un Límite Superior de Robeson. Para un polímero, la permeabilidad aumenta con la temperatura, mientras la selectividad disminuye.

40 Para membranas de polímero conocidas en aplicaciones aeroespaciales, la temperatura de funcionamiento es a menudo menor de 96° C (205° F). El flujo de gas a través de la capa de separación dentro de la membrana depende del grosor de la capa de separación (dependiente de la fabricación), propiedades de polímero (permeabilidad), y condiciones de funcionamiento. Cuando mayor es la permeabilidad, menor es el área de membrana utilizada para producir un flujo dado a una diferencia dada en presiones parciales de un gas a través de la membrana. Como la permeabilidad aumenta con la temperatura, el límite de la temperatura de funcionamiento para conseguir la vida útil deseada impone efectivamente un límite sobre la permeabilidad.

50 El flujo de la membrana está también afectado por la diferencia de presión a través de la capa de separación de fibra. El flujo de permeabilidad (J) para un tubo hueco puede ser descrito por la siguiente ecuación:

$$J = f = 2 * \pi * L * P ((p_1 - p_2) / \ln (ID/OD))$$

55 donde L es la longitud del tubo, P es la permeabilidad, p1 y p2 son presiones parciales sobre el interior y exterior respectivos del tubo e ID y OD son los diámetros interior y exterior respectivamente de la fibra. El flujo puede, por ello, ser incrementado aumentando la presión de entrada. Sin embargo, cuanto mayor es la presión utilizada por un sistema, mayores son las demandas de potencia y/o de suministro de aire impuestas sobre un avión, reduciendo la eficiencia del combustible.

60 Los polímeros termoendurecibles, tales como los epoxi, son a menudo utilizados para materiales de lámina tubular de módulos de separación de gas conocidos. El material de lámina tubular asegura un haz de fibras huecas de polímero y permite el empaquetado y sellado del haz en un recipiente. La temperatura de funcionamiento máxima en membranas de polímero conocidas está limitada por la temperatura de fabricación (tal como curado) del material de lámina tubular. Incluso aunque existan materiales de temperatura más elevada, la elección de materiales que pueden ser fabricados con las membranas de fibra hueca y que son prácticos en aplicaciones aeroespaciales está limitada en que su temperatura de funcionamiento a largo plazo sea menor de 96° C (205° F). Un sistema que excede del límite de la temperatura da como resultado una degradación del material de lámina tubular y, en último término una vida útil más corta del módulo de

separación de gas. Si se utiliza un termoendurecible de temperatura más elevada, las fibras pueden ser dañadas durante la fabricación.

La pérdida de permeabilidad también ocurre a lo largo de la vida útil de un módulo de separación de aire que utiliza membranas de fibra hueca de polímero. Como con la mayor parte de los polímeros, el envejecimiento físico (relajación natural de las cadenas de polímero) conduce a una reducción del volumen libre y de la pérdida de permeabilidad y, por tanto, pérdida de flujo. Este cambio en el rendimiento durante la vida útil del módulo afecta al dimensionamiento de los componentes del sistema (tal como un intercambiador de calor). Los polímeros con elevada permeabilidad tienen mayor volumen libre y exhiben más envejecimiento físico (a menos que sean de morfología semi-cristalina). La mayor permeabilidad implica menos área de fibra necesaria. Por ello, se desea una membrana con permeabilidad elevada y menos envejecimiento físico.

Además, las fibras huecas de polímero son susceptibles a los contaminantes. A menudo se utiliza el filtrado para retirar aerosoles líquidos y en partículas. Ciertos contaminantes gaseosos pueden reducir además la permeabilidad y, por consiguiente, el rendimiento y, en concentración suficiente, afectar en último término a la vida útil. Los gases condensables, dependiendo de su presión parcial en la corriente alimentada y de su punto de rocío a la temperatura funcionamiento, pueden también deteriorar el rendimiento y reducir la vida útil. Debido a que la permeabilidad de los contaminantes gaseosos en general también depende de la temperatura (con la excepción de los contaminantes que reaccionan químicamente con polímeros y cadenas de polímeros rotas, tales como ozono) y que el punto de rocío lo hace también, se desea una mayor temperatura de funcionamiento. Aumentar la temperatura de funcionamiento del sistema disminuye el deseo de reducir la temperatura de la alimentación de aire y, por tanto, también tiene efectos positivos sobre el dimensionamiento de los componentes del sistema (intercambiadores de calor menores y demandas de aire RAM menores reduciendo el peso y la resistencia aerodinámica). Una mayor permeabilidad, sin embargo, a menudo aumenta el flujo alimentado utilizado para alcanzar las condiciones de fracción retenida deseadas. Para desplazar eso, se desea una membrana como una mayor selectividad. Más nitrógeno es por ello retenidos en la fracción retenida (NEA) y disminuye el caudal alimentado utilizado.

Como resultado de las limitaciones antes descritas de las fibras huecas de polímero utilizadas como membranas en módulos de separación de aire, pueden obtenerse beneficios significativos prolongando la vida útil y también aumentando la temperatura de funcionamiento y/o reduciendo las presiones de funcionamiento del sistema. Una membrana con mayor permeabilidad y mayor selectividad es también deseada. Además de una mayor selectividad, se desea una mayor sensibilidad de selectividad a la temperatura y/o una menor sensibilidad de la selectividad a la contaminación. Como se ha descrito aquí, las realizaciones proporcionan beneficios significativos adicionales. Los módulos de separación de aire que utilizan membranas de carbono pueden proporcionar estos beneficios. La membrana de carbono pueden incluir una fibra hueca de carbono, una lámina de fibra de carbono enrollada en espiral, una lámina de nanotubos de carbono, o combinaciones de las mismas.

Las membranas de carbono pueden ser producidas de acuerdo con métodos conocidos por los expertos en la técnica. Por ejemplo, las fibras huecas de carbono pueden contener al menos un 95% en peso (tanto por ciento en peso) de carbono y ser obtenidas pirolizando fibras huecas de polímeros. La pirólisis retira mucho del hidrógeno, oxígeno, y de otros elementos y produce una estructura microporosa, amorfa que, si se utilizan ciertas condiciones de pirólisis, puede producir una estructura que permite la separación del oxígeno comparado con el nitrógeno a partir de aire con un rendimiento superior a los módulos de separación de aire conocidos. Las membranas de fibra hueca de carbono tienen una estructura y mecanismos de transporte diferentes de las membranas de fibra hueca de polímero. Las membranas de carbono para separación de gases pueden ser fabricadas de diferentes formas - como membranas de fibras huecas, capas de fibras de carbono (láminas de fibra de carbono enrolladas en espiral), o en forma de nanotubos de carbono.

S.M. Saufi y col., Fabrication of Carbon Membranes for Gas Separation - A Review, ("Fabricación de Membranas de Carbono para Separación de Gases - Una Revista"), Carbono 42, 241 -259 (2004), describe consideraciones en la formación de membranas de fibras huecas de carbono y de otras membranas de carbono que pueden ser adecuadas para utilizar en las realizaciones de este documento. De Q. Vu y col., Mixed matrix membranes using carbon molecular sieves ("Membranas de matriz mezclada que utilizan tamices moleculares de carbono"), I. Preparation and experimental results ("Preparación de resultados experimentales"), 211 J. Membrane Science 311-314 (2003), describe preparación de membranas de tamiz molecular de carbono para separaciones de gases. A.F. Ismail y col., A Review on the Latest Development of Carbon Membranes for Gas Separation ("Una Revista sobre el Último Desarrollo de Membranas de Carbono para Separación de Gases") 193 J. Membrane Science 1-18 (2001), describe mecanismos de transporte a través de las membranas de carbono, incluyendo fibras huecas de carbono. P. Jason Williams y col., Gas Separation by Carbon Membranes ("Separación de gases por membranas de carbono") en Advanced Membranes Technology and Applications ("Tecnología y Aplicaciones de Membranas Avanzadas") 599-631 (Norman N. Li y col., eds., 2008), describe además consideraciones en la formación de fibras huecas de carbono y mecanismos de transporte a través de membranas de carbono. Los expertos en la técnica apreciarán a partir de las referencias recogidas y adicionales que las membranas de carbono pueden ser adaptadas para utilizar en las realizaciones de este documento produciendo aire enriquecido en nitrógeno.

En una realización, un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una membrana de carbono. La alimentación de aire exhibe

una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig) y la membrana de carbono contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono. El método incluye poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, dejando penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El aire enriquecido en nitrógeno es alimentado al depósito de combustible a bordo del avión.

La alimentación de aire que exhibe una presión normal no mayor de 380kPa (manómetro) (55 psig) distingue el método de los métodos de separación de aire conocidos que utilizan membranas de fibra hueca de polímero y que funcionan a una presión mayor para proporcionar suficiente penetración de oxígeno a través de las paredes de la fibra. Aunque la baja presión puede ser beneficiosa, otras realizaciones de este documento pueden ser también utilizadas cuando la alimentación de aire exhibe una presión superior, tal como en un sistema actualizado que proporciona ya la alimentación de aire a mayor presión. Tal método es distinguido de los métodos conocidos porque puede utilizarse menos área activa de la fibra para la misma presión de entrada. Es decir, una presión más elevada puede permitir un flujo incrementado y, así, permitir reducir el número de los ASM utilizados.

"Presión normal" se refiere a la presión durante la navegación; la presión durante el ascenso puede ser algo mayor. Para la realización actual y otras realizaciones de este documento, la alimentación de aire puede en su lugar exhibir una presión no mayor de 282 kPa (manómetro) (41 psig) como un beneficio adicional.

En otra realización, un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una membrana de carbono. La alimentación de aire exhibe una temperatura de al menos 120° C (248° F), y la membrana de carbono contiene al menos el 95 por ciento en peso de carbono. El método incluye poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, dejando penetrar el oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El aire enriquecido en nitrógeno es alimentado al depósito de combustible a bordo del avión. La alimentación de aire que exhibe una temperatura de al menos 120° C (248° F) distingue el método de los métodos de separación de aire conocidos que utilizan membranas de fibra hueca de polímero, que funcionan a una temperatura inferior para reducir el daño térmico al material de polímero de la membrana y/o al material de la lámina tubular.

A modo de ejemplo, la alimentación de aire puede exhibir una temperatura de desde 120° C a 195° C (248° F a 383° F). La permeabilidad de la membrana de carbono puede ser más elevada a tales temperaturas superiores, mientras se retiene aún una selectividad de 3 o mayor. La estabilidad térmica de la membrana de carbono también permite el uso de diferentes materiales de lamina tubular que no limitan la temperatura de funcionamiento del módulo de separación de aire.

El método puede además incluir alimentar el aire presurizado procedente de una fuente para el aire presurizado al módulo de separación de aire sin enfriar sustancialmente la alimentación de aire en un intercambiador de calor. El enfriamiento insustancial, si lo hay, es de un grado que puede ocurrir incidentalmente a partir de la pérdida de calor durante la simple transmisión del aire presurizado procedente de la fuente al módulo de separación de aire. La pérdida de calor puede ocurrir en dispositivos intermedios entre la fuente y el módulo de separación de aire, tales como un filtro, pero es menor que la que ocurriría en un intercambiador de calor diseñado para enfriar sustancialmente la alimentación de aire. En sistemas conocidos, una fuente de aire presurizado proporciona generalmente una alimentación de aire a una temperatura elevada y es enfriado en un intercambiador de calor a menos de una temperatura de funcionamiento normal de 96° C (205° F) para reducir el daño térmico a las fibras huecas de polímero y/o al material de lámina tubular. Bajo una "temperatura de funcionamiento normal" permitida por los mecanismos de cierre conocidos, pueden ocurrir excursiones transitorias a mayor temperatura.

En los métodos de este documento, un intercambiador de calor puede ser reducido en capacidad de enfriamiento (y así de tamaño reducido), si se garantiza algún enfriamiento. O bien el intercambiador de calor puede ser eliminado, si la temperatura de la alimentación de aire está dentro de la tolerancia de la estabilidad térmica para una membrana de carbón dada. Reducir o eliminar el enfriamiento puede aumentar beneficiosamente la permeabilidad debido a la energía térmica incrementada del oxígeno.

Aunque puede haber beneficios de que la alimentación de aire que exhibe una temperatura de hasta 195° C (383° F), puede desearse enfriar el aire enriquecido en nitrógeno. Por consiguiente, el método puede incluir además enfriar el aire enriquecido en nitrógeno en un intercambiador de calor antes de alimentar el aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire al depósito de combustible para cumplir con los criterios estructurales del depósito de combustible y del elemento de transporte.

En una realización, un sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye una fuente para aire presurizado y un módulo de separación de aire configurado para recibir una alimentación de aire procedente de la fuente de aire presurizado. Una membrana de carbono que contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono está en el módulo de separación de aire. La membrana de carbono está configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una temperatura de al menos 120° C (248° F) y para producir aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la

alimentación de aire. El sistema incluye un depósito de combustible a bordo del avión y configurado para recibir el aire enriquecido en nitrógeno.

En otra realización, un sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye una fuente de aire presurizado y un módulo de separación de aire configurado para recibir una alimentación de aire procedente de la fuente de aire presurizado. Una membrana de carbono que contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono está en el módulo de separación de aire. La membrana de carbono está configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig) para producir aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El sistema incluye un depósito de combustible a bordo del avión y configurado para recibir el aire enriquecido en nitrógeno.

A modo de ejemplo, la membrana de carbono puede estar configurada para dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono a una temperatura de desde 120° C a 195° C (248° F a 383° F). El sistema puede carecer de un intercambiador de calor de refrigeración aguas abajo de la fuente de aire presurizado antes del módulo de separación de aire. El sistema puede además incluir un intercambiador de calor configurado para enfriar sustancialmente el aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire y proporcionar aire enriquecido en nitrógeno al depósito de combustible del avión. El control de temperatura de la alimentación de aire y/o del aire enriquecido en nitrógeno puede proporcionar beneficios descritos anteriormente.

La membrana de carbono puede exhibir una relación de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F). También, la membrana de carbono puede exhibir una permeabilidad de al menos 80 unidades de permeabilidad de gas cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F). Incluso aunque algunas de las realizaciones de este documento funcionan a una temperatura superior a 71° C (160° F), tal temperatura proporciona una temperatura de ensayo conveniente para comparar los parámetros dependientes de la temperatura de relación de selectividad y permeabilidad. Además, la membrana de carbono puede tener un área operativa que es al menos un 50% menor que un área operativa de una membrana de fibra hueca de polímero que opera en las mismas condiciones y que produce la misma salida de aire enriquecido en nitrógeno. Aún más, la membrana de carbono puede exhibir una vida útil que es al menos 1,5 veces una vida útil de una membrana de fibra hueca de polímero que opera en las mismas condiciones y que produce la misma salida de aire enriquecido en nitrógeno. El uso de una membrana de carbono, tal como una membrana de fibra hueca de carbono, puede proporcionar beneficiosamente las características descritas. En lugar de las propiedades de la membrana de carbono sola que proporciona las características descritas, pueden resultar del funcionamiento a una temperatura más elevada permitida por la membrana de carbono comparada con la temperatura de funcionamiento límite de una membrana de fibra hueca de polímero, de acuerdo con las descripciones anteriores.

Por consiguiente, en otra realización, un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión incluye alimentar aire presurizado a un módulo de separación de aire que contiene una membrana hueca de polímero pirolizado. La alimentación de aire exhibe una temperatura de desde 120° C a 195° C (248° F a 383° F). La fibra hueca contiene al menos el 95 por ciento en peso de carbono. La fibra hueca exhibe una relación de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 y una permeabilidad de al menos 80 unidades de penetración de gas cuando es medida a una temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F).

El método incluye poner en contacto la membrana de carbono con la alimentación de aire, dejando penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono, y produciendo aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire como resultado de retirar oxígeno de la alimentación de aire. El aire enriquecido en nitrógeno a partir del módulo de separación de aire es sustancialmente enfriado en un intercambiador de calor. El aire enriquecido en nitrógeno enfriado es alimentado al depósito de combustible a bordo del avión. A modo de ejemplo, la alimentación de aire puede exhibir una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig).

La figura 1 muestra un diagrama de una parte de un sistema 10 de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión. El sistema 10 incluye un módulo 12 de separación de aire que incluye una membrana de carbono que recibe una alimentación de aire 17 procedente de una fuente 16 de aire presurizado. El módulo 12 produce un gas 18 capaz de penetrar que contiene en su mayor parte oxígeno y un gas de fracción de retención (aire 19 enriquecido en nitrógeno). Un depósito 14 de combustible recibe aire 19 enriquecido en nitrógeno para proporcionar una reducción de inflamabilidad.

La figura 2 muestra un diagrama de una parte de un sistema 20 de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión. El sistema 20 incluye los componentes del sistema 10 mostrado en la figura 1 e incluye además un intercambiador de calor 22 que proporciona aire 24 enriquecido en nitrógeno enfriado. El sistema 20 puede ser utilizado en la circunstancia en que no se garantiza un enfriamiento sustancial de la alimentación de aire 17 aguas arriba del módulo 12 de separación de aire, pero existe un deseo de reducir el calentamiento del depósito 14 de combustible con aire 24 enriquecido en nitrógeno enfriado.

La figura 3 muestra un diagrama de una parte de un sistema 30 de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión de acuerdo con una realización adicional. El sistema 30 incluye los componentes del sistema 10

mostrado en la figura 1 e incluye además un intercambiador de calor 32 que proporciona una alimentación de aire 34 enfriado. El sistema 30 puede ser utilizado en la circunstancia en que se garantiza algún enfriamiento de la alimentación de aire 17 aguas arriba del módulo 12 de separación de aire. Como se ha descrito antes, el intercambiador de calor 32 puede exhibir una capacidad de enfriamiento menor que una capacidad de enfriamiento utilizada para intercambiadores de calor conocidos que proporcionan una alimentación de aire enfriado a un módulo de separación de aire utilizando una membrana de fibra hueca de polímero en lugar de la membrana de carbono 13 del módulo 12.

La figura 4 muestra un diagrama de una parte de un sistema 40 de reducción de inflamabilidad en un depósito de combustible de avión de acuerdo con otra realización. El sistema 40 incluye los componentes del sistema 10 mostrado en la figura 1 e incluye además el intercambiador de calor 22 de la figura 2 y el intercambiador de calor 32 de la figura 3. Por consiguiente el sistema 40 puede ser utilizado para enfriar la alimentación de aire 17 a una temperatura deseada para el módulo 12 y también para enfriar aire 19 enriquecido en nitrógeno para el depósito 14 de combustible. El sistema 40 también incluye un filtro 42 que proporciona una alimentación de aire filtrado 44. Incluso aunque el módulo 12 incluye una membrana de carbono 13 que es menos susceptible a los contaminantes comparada con las membranas de fibra hueca de polímero, el filtro 42 puede estar previsto o bien aguas abajo (como se ha mostrado) o bien aguas arriba del intercambiador de calor 32 para retirar contaminantes potencialmente perjudiciales para el módulo 12.

Aunque las figuras 1 - 4 muestran distintas realizaciones posibles de sistemas descritos en este documento, se apreciará que se han contemplado más combinaciones de las características en las figuras 1 - 4 y otras características descritas en este documento.

Funcionar a una presión de entrada inferior puede permitir el uso de aire de sangrado del motor sin presurización adicional. Una presión de entrada inferior puede eliminar o reducir el uso conocido de turbocompresores o compresores accionados eléctricamente aguas arriba del módulo de separación de aire. Alternativamente existe la opción de utilizar aire alimentado alternativo procedente de una fuente de baja presión y un compresor accionado eléctricamente. Las propiedades de la membrana de carbono pueden permitir el uso de una fuente de presión inferior y/o un compresor de relación de presión inferior (menor tamaño y/o menor potencia, por ejemplo).

La eficiencia incrementada en la separación de oxígeno del aire da como resultado menos aire alimentado para obtener la misma cantidad de aire enriquecido en nitrógeno. Menor cantidad de aire alimentado produce una eficiencia incrementada de combustible del avión. Una separación más eficiente también permite que el módulo de separación de aire sea de menor tamaño y más ligero de peso.

La permeabilidad tanto de las fibras huecas de carbono como de las fibras huecas de polímero conocidas aumenta con una mayor temperatura. Las fibras de carbono son capaces de resistir mayores temperaturas de funcionamiento durante la fabricación, lo que permite el uso de materiales de lámina tubular de mayor temperatura con mayor estabilidad térmica que los materiales de lámina tubular conocidos (a menudo epoxis) utilizados en la industria de separación de gases. Una mayor temperatura de funcionamiento permite un diseño de un sistema más ligero de peso a través de dos medios: (1) un mayor rendimiento permite menos área de fibra activa (módulo de separación de aire menor o menos módulos por avión) y (2) menos capacidad de intercambiador de calor de entrada (uso de un intercambiador de calor de entrada menor o sin intercambiador de calor de entrada). La reducción de peso comparada con sistemas de membrana de fibra hueca de polímero puede ser tanto como del 30%.

Además, pueden ser utilizados materiales de mayor estabilidad térmica con propiedades mecánicas beneficiosas en el diseño del módulo de separación de aire y la vida de la unidad puede ser prolongada más que en los módulos conocidos, lo que aumenta la fiabilidad y disminuye el coste de mantenimiento del sistema.

Las membranas de fibra hueca de carbono ofrecen un rendimiento incrementado sobre las membranas de fibra hueca de polímero a una relación de presión de entrada-salida del módulo dada (donde la salida es la salida de penetración para el oxígeno que penetra a través de las paredes de la membrana, que es generalmente evacuada fuera en aplicaciones de aeroplanos). Esto se espera que de cómo resultado un ahorro de peso más uniforme, mayor economía de combustible, y más fiabilidad.

En cumplimiento con el estatuto, las realizaciones han sido descritas en lenguaje más o menos específico en cuanto a características estructurales y metódicas. Ha de comprenderse, sin embargo, que las realizaciones no están limitadas a las características específicas mostradas y descritas. Las realizaciones son por ello, reivindicadas en cualquiera de sus formas o modificaciones dentro del marco propio de las reivindicaciones adjuntas interpretadas apropiadamente de acuerdo con la doctrina de equivalentes.

TABLA DE NÚMEROS DE REFERENCIA PARA LAS FIGURAS

10	sistema
12	módulo de separación de aire
13	membrana de carbono
14	depósito de combustible
16	fuentes de aire presurizado
17	alimentación de aire

	18	fracción de aire que ha penetrado
	19	aire enriquecido en nitrógeno
	20	sistema
	22	intercambiador de calor
5	24	aire enriquecido en nitrógeno enfriado
	30	sistema
	32	intercambiador de calor
	34	alimentación de aire enfriado
	40	sistema
10	42	filtro
	44	alimentación de aire filtrado

REIVINDICACIONES

1. Un método de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de avión que comprende:

5 alimentar aire presurizado a un módulo (12) de separación de aire que contiene una membrana de carbono (13),
 exhibiendo la alimentación de aire (17) una presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig) y
 conteniendo la membrana de carbono (13) al menos 95 por ciento en peso de carbono;
 poner en contacto la membrana de carbono (13) con la alimentación de aire (17), hacer penetrar oxígeno
 10 procedente de la alimentación de aire a través de la membrana de carbono (13), y producir aire enriquecido en
 nitrógeno procedente del módulo (12) de separación de aire como resultado de la retirada de oxígeno de la
 alimentación de aire (17), y
 alimentar el aire enriquecido en nitrógeno al depósito (14) de combustible a bordo del avión.

15 2. El método de la reivindicación 1, en el que la membrana de carbono (13) comprende una cualquiera de entre una fibra
 hueca de carbono, una lámina de fibra de carbono enrollada en espiral, una lámina de nanotubos de carbono, o
 combinaciones de las mismas.

20 3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que la membrana de carbono comprende una fibra hueca de polímero
 pirolizada.

4. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 3, en el que la alimentación de aire (17) exhibe una temperatura de
 al menos 120° C (248° F).

25 5. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 4, en el que la alimentación de aire (17) exhibe una temperatura de
 desde 120 ° C a 195° C (248° F a 383° F).

30 6. El método de cualquier reivindicación precedente, que comprende además alimentar aire presurizado desde una
 fuente para el aire presurizado (16) al módulo (12) de separación de aire sin enfriar sustancialmente la alimentación de
 aire en un intercambiador de calor.

7. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 6, que comprende además enfriar sustancialmente el aire
 enriquecido en nitrógeno en un intercambiador de calor (22) antes de alimentar el aire enriquecido en nitrógeno
 procedente del módulo (12) de separación de aire al depósito (14) de combustible.

35 8. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1 - 7, en el que la alimentación de aire (17) exhibe una presión normal
 no mayor de 380 kPa (55 psig).

9. Un sistema de reducción de inflamabilidad de depósito de combustible de un avión que comprende:

40 una fuente para aire presurizado (16),
 un módulo (12) de separación de aire configurado para recibir aire alimentado (17) procedente de la fuente (16)
 de aire presurizado,
 una membrana de carbono (13) que contiene al menos 95 por ciento en peso de carbono en el módulo (12) de
 separación de aire, estando configurada la membrana de carbono (13) para dejar penetrar oxígeno procedente
 45 de la alimentación de aire (17) a través de la membrana de carbono (13) a una temperatura de al menos 120° C
 (248° F) y para producir aire enriquecido en nitrógeno procedente del módulo (12) de separación de aire como
 resultado de la retirada de oxígeno de la alimentación de aire (17), y
 un depósito (14) de combustible a bordo del avión y configurado para recibir el aire enriquecido en nitrógeno.

50 10. El sistema de la reivindicación 9, en el que la membrana de carbono (13) comprende una fibra hueca de carbono,
 una fibra hueca de polímero pirolizada, una lámina de fibra de carbono enrollada en espiral, una lámina de nanotubos de
 carbono, o combinaciones de las mismas.

55 11. El sistema de la reivindicación 9 o 10, en el que la membrana de carbono (13) está configurada para dejar penetrar
 oxígeno procedente de la alimentación de aire (17) a través de la membrana de carbono (13) a una temperatura de
 desde 120 ° C a 195° C (248° F a 383° F).

60 12. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9 - 10, en el que la membrana de carbono (13) está configurada para
 dejar penetrar oxígeno procedente de la alimentación de aire (17) a través de la membrana de carbono (13) a una
 presión normal no mayor de 380 kPa (manómetro) (55 psig).

13. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9 - 12, en el que el sistema (10) carece de un intercambiador de
 calor de refrigeración aguas abajo de la fuente (16) de aire presurizado antes del módulo (12) de separación de aire.

65 14. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones 9 - 13, en el que la membrana de carbono (13) exhibe una relación
 de selectividad de permeabilidad al oxígeno a permeabilidad al nitrógeno de al menos 9 cuando es medida a una

temperatura de funcionamiento de 71° C (160° F).

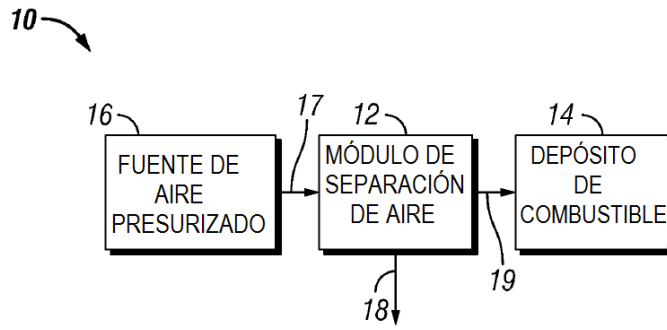


FIG. 1

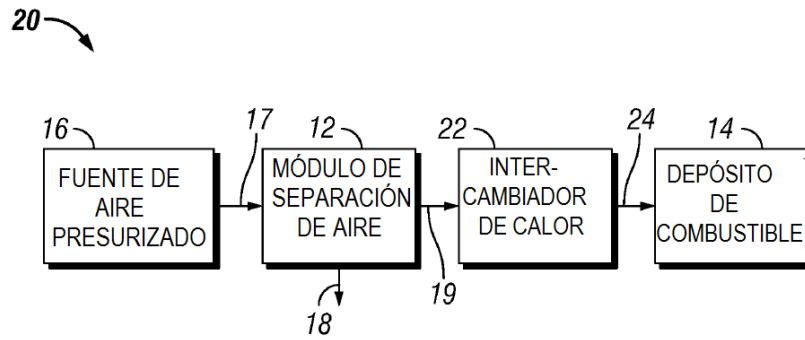


FIG. 2

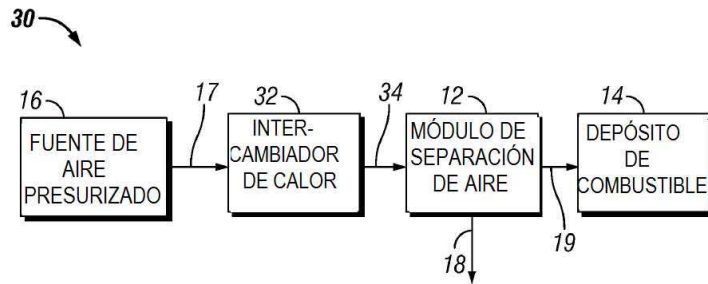


FIG. 3

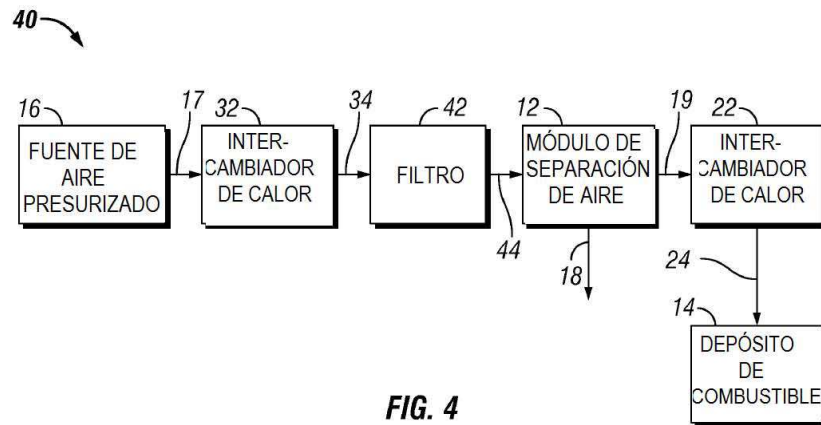


FIG. 4