

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 375 220**

51 Int. Cl.:

B01J 8/00 (2006.01)

B01J 8/06 (2006.01)

C01B 13/02 (2006.01)

C01B 3/38 (2006.01)

B01B 1/00 (2006.01)

B01D 53/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **01991097 .5**

96 Fecha de presentación: **18.12.2001**

97 Número de publicación de la solicitud: **1346176**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.09.2003**

54 Título: **APARATO DE SEPARACIÓN DE OXÍGENO Y COMBUSTIÓN Y MÉTODO.**

30 Prioridad:
19.12.2000 US 739281

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
27.02.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
27.02.2012

73 Titular/es:
**PRAXAIR TECHNOLOGY, INC.
39 OLD RIDGEBURY ROAD
DANBURY, CT 06810-5113, US**

72 Inventor/es:
**BOOL, Lawrence, E. y
KOBAYASHI, Hisashi**

74 Agente: **de Elizaburu Márquez, Alberto**

ES 2 375 220 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

Aparato de separación de oxígeno y combustión y método

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un aparato de separación de oxígeno y combustión y un método que se puede aplicar a tales dispositivos como una caldera o un generador de nitrógeno en que el oxígeno separado de un gas que contiene oxígeno por membranas de transporte de oxígeno soporta la combustión de un combustible en una
10 cámara de combustión y la temperatura de las membranas de transporte de oxígeno se controlan por fluido que circula en pasos de fluido que pasan por la cámara de combustión.

Fundamento de la invención

15 La creciente preocupación acerca de temas medioambientales, tales como el calentamiento global y las emisiones de contaminantes está llevando a las industrias a explorar nuevas formas de aumentar la eficacia y reducir las emisiones de los contaminantes. Esto es verdad en particular para sistemas de combustión de combustibles fósiles, que representa una de las fuentes más grandes de emisiones de dióxido de carbono y contaminantes al aire. Una manera eficaz de reducir las emisiones y aumentar la eficacia es usar oxígeno o aire enriquecido con oxígeno, en el
20 proceso de combustión. El uso de oxígeno o aire enriquecido en oxígeno reduce muchas pérdidas de calor, que aumenta la eficacia del sistema, mientras que se reducen al mismo tiempo las emisiones de NOx. Además, la concentración de dióxido de carbono en el gas de combustión es mayor puesto que hay poco o nada de nitrógeno que actúe como diluyente. La mayor concentración de dióxido de carbono aumenta las opciones de recuperación de dióxido de carbono.

25 El oxígeno usado en la técnica anterior ha estado limitado a los procesos con altas temperaturas de los gases de combustión, tales como los hornos de vidrio. En dichas aplicaciones, los ahorros de combustible y los beneficios conseguidos son mayores que el coste del oxígeno. En sistemas de baja temperatura de los gases de combustión, tales como calderas, la inversa es verdad. En estos sistemas, el coste de oxígeno producido con las tecnologías actuales es más caro que los ahorros de combustible disponibles. Esto hace que el uso de oxígeno en tales sistemas no sea económicamente atractivo. Por otra parte, cuando se tiene en cuenta la energía requerida para producir el oxígeno, la eficacia térmica total disminuye.

35 Se han utilizado ventajosamente membranas de transporte de oxígeno en la técnica anterior para producir oxígeno para aparatos y procedimientos de separación de oxígeno y de combustión que consumen calor de manera que resulta un ahorro de energía que de otro modo se gastaría en la separación de oxígeno. Las membranas de transporte de oxígeno se fabrican de materiales cerámicos de transporte de iones, selectivos de oxígeno en forma de conductos o placas que son por sí mismos impermeables al flujo de oxígeno y otros gases. Dichos materiales cerámicos, sin embargo, presentan una infinita selectividad por el oxígeno a altas temperaturas por transporte de
40 iones oxígeno por la membrana. En membranas de transporte de oxígeno, el oxígeno es ionizado en una superficie de la membrana para formar iones oxígeno que son transportados por la membrana. Los iones oxígeno en el lado opuesto de la membrana se recombinan para formar oxígeno con la producción de electrones. Dependiendo del tipo de material cerámico, los iones oxígeno o fluyen por la membrana para ionizar el oxígeno o por rutas eléctricas separadas en la membrana o por un potencial eléctrico aplicado. Tales membranas electrolíticas sólidas están
45 fabricadas de óxidos inorgánicos, tipificados por óxidos de zirconio estabilizados con calcio o itrio y análogos con estructuras de fluoruro o perovskita.

50 En la patente de EE.UU. 5.888.272 las membranas de transporte de oxígeno están integradas en un propio procedimiento de combustión, yendo todo el oxígeno producido directamente al combustor. Los gases de combustión calentados se pueden conducir después a un procedimiento en el que se puede usar la energía térmica para calentar un fluido o realizar trabajo útil. En una realización, los gases de combustión se reciclan por un banco de conductos de membranas de transporte de oxígeno y se enriquecen con oxígeno. Típicamente, el gas de combustión entra al banco conteniendo en cualquier parte de 1 a aproximadamente 3 por ciento de oxígeno y sale del banco conteniendo de aproximadamente 10 a aproximadamente 30 por ciento de oxígeno en volumen. El gas de
55 combustión enriquecido se envía después a un espacio de combustión donde se usa para quemar el combustible. En otra realización, denominada purga reactiva, los conductos de membranas de transporte de oxígeno se ponen directamente en el espacio de combustión. Un combustible diluido con gas de combustión se hace pasar por los conductos y se quema con el oxígeno a medida que pasa por los conductos. Así, la producción de oxígeno y la combustión tienen lugar simultáneamente.

60 La patente europea EP 0 984 500 A2 se refiere a un reactor de gas de síntesis que comprende una disposición coaxial de conductos de membranas de transporte de oxígeno, en los que un primer conducto de membrana de transporte de oxígeno rodea un conducto de combustible para formar una cámara de combustión. Un segundo conducto de membrana de transporte de oxígeno rodea el primer conducto de membrana de transporte de oxígeno para formar un paso de aire para suministrar oxígeno a la cámara de combustión. Una sección de reacción que contiene un catalizador para realizar reacciones de reformado rodea el segundo conducto de membrana de
65

transporte de oxígeno. Se conocen reactores de transporte de iones a partir de la patente europea EP 0 875 285 A1 y la patente de EE.UU. 6.139.810.

5 Como se discutirá, la presente invención utiliza membranas de transporte de oxígeno para producir oxígeno para soportar la combustión en un aparato de separación de oxígeno y combustión tal como una caldera de una manera que se reducen inherentemente los gastos de energía implicados en comprimir una alimentación que contiene oxígeno que entra en las membranas. Las ventajas de la presente invención llegarán a ser evidentes a partir de la siguiente discusión.

10 Sumario de la invención

En un aspecto, la presente invención proporciona un aparato de separación de oxígeno y combustión que comprende una pluralidad de membranas de transporte de oxígeno paralelas situadas en una cámara de combustión. La pluralidad de membranas de transporte de oxígeno paralelas sirve para separar oxígeno de un gas que contiene oxígeno, para proporcionar según lo cual el oxígeno en la cámara de combustión para soportar la combustión de un combustible y generar calor. Se hace pasar una pluralidad de pasos de fluido por la cámara de combustión y se colocan de manera que se transfiera una porción del calor de combustión de la combustión a las membranas de transporte de oxígeno para calentar las membranas de transporte de oxígeno a una temperatura de funcionamiento y una porción más del calor es transferida de la combustión a los pasos de fluido para proporcionar calor para calentar el fluido y favorecer la estabilización de la temperatura de funcionamiento de las membranas de transporte de oxígeno. Al menos se proporciona una entrada para introducir al menos el combustible en la cámara de combustión y un escape de la cámara de combustión descarga productos de combustión que surgen de la combustión del combustible. El escape y al menos una entrada están separados entre sí de manera que los productos de combustión fluyen en una dirección predominantemente paralela a las membranas de transporte de oxígeno.

Las membranas de transporte de oxígeno y los pasos de fluido pueden ser de configuración tubular. La dirección de flujo de los productos de combustión puede ser o de contracorriente o a favor de la corriente para el flujo de gas del gas que contiene oxígeno en las membranas de transporte de oxígeno. Preferiblemente, las membranas de transporte de oxígeno están cerradas en un extremo y abiertas en el extremo para descargar un concentrado reducido en oxígeno y una pluralidad de conductos de unión coaxiales sobresalen en extremos abiertos de las membranas de transporte de oxígeno para suministrar el gas que contiene oxígeno a las mismas. Al menos una entrada puede comprender una entrada a la cámara de combustión para introducir una mezcla del combustible y un gas de combustión, si se requiere gas de combustión, a la cámara de combustión. Alternativamente, en caso de unidades de membrana de transporte de oxígeno tubulares, de extremo abierto, al menos una entrada puede comprender toberas de combustible situadas adyacentes a los extremos abiertos de las membranas de transporte de oxígeno.

El fluido puede ser agua y así, el calentador del fluido puede ser una caldera. En tal caso, los pasos de fluido se intercalan entre las membranas de transporte de oxígeno y los pasos de fluido y las membranas de transporte de oxígeno son paralelas entre sí. Preferiblemente, los pasos de fluido se comunican entre los colectores de entrada y salida de fluido para suministrar el fluido a los pasos de fluido y descargar vapor de allí, respectivamente. En tal caso, las membranas de transporte de oxígeno sobresalen, del extremo abierto de las mismas, desde un colector de salida de concentrado para descargar aire reducido de oxígeno y los conductos de unión sobresalen de un colector de entrada de aire.

En otro aspecto, la presente invención proporciona un método de separación de oxígeno y combustión en que se introduce un gas que contiene oxígeno en una pluralidad de membranas de transporte de oxígeno paralelas situadas en una cámara de combustión. Se separa oxígeno del gas que contiene oxígeno en la pluralidad de membranas de transporte de oxígeno paralelas, para proporcionar de ese modo oxígeno en la cámara de combustión. Se introduce un combustible a la cámara de combustión y se quema el combustible en la cámara de combustión en presencia del oxígeno para generar calor. Se hace pasar el fluido por una pluralidad de pasos de fluido situados también en la cámara de combustión y se descargan los productos de combustión de la cámara de combustión. Los productos de combustión se descargan de la cámara de combustión y se introduce el combustible de manera que los productos de combustión fluyan en una dirección predominantemente paralela a las membranas de transporte de oxígeno para proporcionar una purga reactiva para favorecer la separación del oxígeno del gas que contiene oxígeno. Los pasos de fluido se colocan de manera que una porción del calor se transfiera de la combustión a las membranas de transporte de oxígeno para calentar las membranas de transporte de oxígeno a una temperatura de funcionamiento y una porción más del calor se transfiere de la combustión a los pasos de fluido para proporcionar calor para calentar el fluido y favorecer la estabilización de la temperatura de funcionamiento de las membranas de transporte de oxígeno. El fluido puede ser agua que es calentada.

En cualquiera de los aspectos anteriores de la presente invención y como se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, el término "calentado" significa calor transferido al fluido y elevación de ese modo de su temperatura. Además, el término, "agua" incluye tanto agua en forma líquida como vapor o una mezcla de dos fases de agua y vapor. Así, como se usa en la presente memoria y en las reivindicaciones, el término, "calentado" cuando

se usa junto con agua significa elevar la temperatura del agua por cualquier cantidad. Como tal, la elevación de temperatura del agua puede ser suficiente o no para elevar la del vapor y si el agua entra en los pasos de transferencia de calor como vapor, el vapor llegará a estar sobrecalentado.

5 La integración de las membranas de transporte de oxígeno y el sistema de combustión descrito anteriormente reduce espectacularmente el requerimiento de energía para producción de oxígeno. El flujo de oxígeno por una membrana de transporte de oxígeno es aproximadamente proporcional al logaritmo de la relación de la presión parcial entre el lado de la fuente y el lado del producto, si es controlada la velocidad de transferencia de masa por la propia membrana. Por ejemplo, para producir oxígeno puro a una atmósfera absoluta, el aire debe ser comprimido a
10 aproximadamente quince atmósferas. Esto da como resultado un requerimiento de energía neto de aproximadamente 160 kw/Tm asumiendo expansión del aire reducido de oxígeno. Aunque este requerimiento de energía es menor que el equipo convencional, que está próximo a 200 kw/Tm, integrada la unidad de membrana de transporte de oxígeno con el sistema de combustión de la caldera, reduce este requerimiento de energía aún más proporcionando una purga reactiva para consumir el oxígeno a medida que pasa por la membrana. Tal consumo de oxígeno produce una concentración de oxígeno en el lado del producto de la membrana de transporte de oxígeno que está por lo tanto siempre cerca de cero. Esto proporciona un gradiente de potencial tan grande que sólo se requiere una compresión mínima, típicamente justo la suficiente para mover el aire por la membrana de transporte de oxígeno. Esto se puede llevar a cabo con un ventilador en vez de un compresor más caro.

20 En una membrana tubular, como tiene lugar el gradiente de potencial más grande para la separación de oxígeno en el punto de entrada del aire u otro gas que contiene oxígeno a la membrana, un flujo en contracorriente de productos de combustión proporciona unas condiciones más ricas en combustible y por lo tanto pobres en oxígeno en el lado opuesto de la membrana, donde hay menos gradiente de potencial, para favorecer más el efecto de la purga reactiva.

25 Como el combustible, el gas de combustión y los productos de combustión salen como una mezcla en la cámara de combustión, el combustible se diluye de manera que se reduce el gradiente de potencial de la difusión del combustible a la superficie de la membrana de transporte de oxígeno. Al mismo tiempo, el flujo de oxígeno por la membrana es tan bajo que en general se encuentra en condiciones ricas en combustible. Por lo tanto, se puede decir que la combustión del combustible tiene lugar en o cerca de la superficie de la membrana. Esto depende por supuesto del grado de dilución.

30 El resultado de la posición de la combustión en el aparato y los métodos según la presente invención produce un calor de combustión que puede causar una fuga térmica de la membrana de transporte de oxígeno dando como resultado daño y fallo prematuro. En la presente invención, los pasos de transferencia de calor, que pueden ser conductos de vapor intercalados, actúan retirando el calor y ayudando de ese modo a estabilizar la temperatura de funcionamiento de las membranas de transporte de oxígeno.

35 Una ventaja más que se puede obtener de la presente invención es un potencial para un alto grado de integración. Como el oxígeno se produce en el punto de uso, no se requiere un sistema de tuberías seguro de oxígeno. Además la energía requerida para calentar el aire y la mezcla de combustible-gas de combustión a la temperatura de funcionamiento óptima de la membrana de transporte de oxígeno viene directamente de la membrana de transporte de oxígeno sin pérdidas de calor concomitantes que tendrían lugar de otro modo con un sistema de tuberías externo. La integración también minimizó el tamaño de la caldera/calentador y la complejidad. Como se produce oxígeno en la unidad, no se requiere otro espacio para un sistema de separación de aire convencional in situ. La posición de las membranas de transporte de oxígeno y los pasos de transferencia de calor en una cámara de combustión también ayuda a minimizar el impacto total de un calentador de fluido de la presente invención.

40 Otro beneficio mayor que se puede obtener de la presente invención es que se puede producir nitrógeno de alta pureza como subproducto. Los altos gradientes de potencial para transporte de oxígeno permiten la producción de dicho nitrógeno con poco o ningún oxígeno. Además, un calentador de fluido según la presente invención producirá muy poco NOx puesto que la combustión tiene lugar en presencia de oxígeno en vez de aire. Puesto que el oxígeno se añade gradualmente a la mezcla de combustible-gas de combustión a medida que pasa por la cámara de combustión, la combustión tiene lugar bajo condiciones ricas en combustible. Por lo tanto, la combustión está
45 inherentemente escalonada con un tiempo de contacto prolongado en el régimen rico en combustible y con transición lenta de combustión rica en combustible a pobre en combustible para disminuir también la posibilidad de formación de NOx.

60 Breve descripción de los dibujos

Aunque la presente invención concluye con reivindicaciones que señalan claramente el objeto que los Solicitantes consideran como su invención, se cree que la invención se entenderá mejor cuando se tengan en cuenta los dibujos que se adjuntan en que:

65 La Figura 1 es una ilustración esquemática de una caldera según la presente invención;

La Figura 2 es una ilustración esquemática de una realización alternativa de una caldera según la presente invención;

La Figura 3 es una ilustración esquemática de una realización alternativa más de una caldera según la presente invención y

La Figura 4 es una ilustración gráfica de un ejemplo según la presente invención que muestra la relación requerida de área de membrana de transporte de oxígeno a área de conducto de vapor para control térmico de las membranas.

Para evitar la repetición de la explicación de elementos que realizan la misma función en las diversas realizaciones de la presente invención, se usan los mismos números de referencia en las figuras en que se ilustran tales elementos.

15 Descripción detallada

Con referencia a la Figura 1 se ilustra una caldera 1 según la presente invención. Hay que señalar que aunque la presente invención se discute en relación con una caldera, la presente invención no está tan limitada. Una caldera no es más que una aplicación única de un aparato de separación de oxígeno y combustión según la presente invención. Se podían calentar otros fluidos tales como productos del petróleo o los pasos de fluido podían contener metano, vapor y un catalizador de reformado de vapor adecuado. El objeto de un aparato de separación de oxígeno y combustión de la presente invención podría no ser calentar un fluido, sino más bien generar un producto de nitrógeno. En tal caso se podría utilizar cualquier fluido de transferencia de calor adecuado.

Se proporciona la caldera 1 con una cámara 10 de combustión y una pluralidad de membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno paralelas situadas en la cámara 10 de combustión. Una pluralidad de pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido paralelos pasan por la cámara 10 de combustión. La combustión de combustible, por ejemplo, metano o gas natural, en presencia de oxígeno producido por las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno produce calor para calentar el agua que circula en los pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido.

Las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno son en forma de conductos de extremos abiertos unidos a un colector 24 de salida de concentrado con una salida 26. Los conductos 28, 30 y 32 de unión sobresalen a extremos abiertos de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno, respectivamente, para suministrar el gas que contiene oxígeno a las mismas. Con respecto a esto, los conductos 28, 30 y 32 de unión están unidos a un colector 34 de entrada de aire con una entrada 36. Entra aire calentado en la entrada 36 y el colector 34 de entrada de aire distribuye después el aire a los conductos 28, 30 y 32 de unión. El aire fluye desde los extremos cerrados de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno hacia los extremos abiertos de las mismas como se indica por la cabeza de flecha A. El oxígeno en forma de iones oxígeno permea por las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno y se descarga a la cámara 10 de combustión.

Aunque se ilustran las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno tubulares se podían sustituir por elementos de tipo placa. Adicionalmente, aunque se ilustran también los pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido paralelos entre sí y a las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno, son posibles otras configuraciones. Por ejemplo, los pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido podían estar en ángulos rectos a la orientación ilustrada o posiblemente espirales alrededor de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno respectivas.

Se introduce una mezcla de combustible y gas de combustión en la cámara 10 de combustión mediante la entrada 38 de combustible. El combustible se quema en las superficies de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno para producir calor y productos de combustión para formar el gas de combustión. El calor resultante, calienta los elementos 12, 14 y 16 de la membrana de transporte de oxígeno a su temperatura de funcionamiento mientras al mismo tiempo también se suministra calor a los pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido que están unidos en extremos opuestos a los colectores 46 y 48 de entrada y salida de fluido. Se introduce agua caliente en una entrada 50 de un colector 40 de entrada de fluido. Después se hace pasar agua por los pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido para generar vapor que es expulsado de una salida 52 del colector 48 de salida de fluido.

El gas de combustión se descarga de la cámara 10 de combustión por una salida 54 de gas de combustión. Aunque no esté ilustrado, parte del gas de combustión descarga de la salida 54 de gases de combustión es enfriada, circula por un ventilador y después se mezcla con el combustible. Después se introduce la mezcla en la entrada 38. El espaciamiento entre la entrada 38 y la salida 54 de gases de combustión hace que el gas de combustión y por lo tanto los productos de combustión pasen en cualquier dirección paralela a las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno.

Aunque sólo se ilustra una única fila de pasos 18, 20, 22 y 23 de fluido y una única fila de membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno, es ventajoso en particular que se suministre una pluralidad de tales filas de manera que cada una de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno está rodeada por pasos de fluido tales como 18, 20, 22 y 23 para conducir la combustión calentada a los pasos de fluido y ayudar a estabilizar la temperatura de

funcionamiento de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno.

Con referencia a la Figura 2, se ilustra una caldera 2 según la presente invención. La diferencia entre la caldera 2 y la caldera 1 es que la entrada 38 a la cámara de combustión y el escape 54 han sido invertidas como entrada 38' y escape 54' de manera que ahora el gas de combustión se mueva predominantemente en una dirección indicada por la cabeza de flecha "B", que está en contracorriente a la dirección del aire (cabeza de la flecha "A") en los elementos 12, 14 y 16 de membrana de transporte de oxígeno. Como tal, en el extremo cerrado de los elementos 12, 14 y 16 de la membrana de transporte de oxígeno existe la concentración de oxígeno mayor y por lo tanto el mayor gradiente de potencial en el propio aire. Como el aire se traslada en la dirección de la cabeza de flecha "A", hacia el colector 26 de salida de concentrado, la concentración de oxígeno en cada unidad 12, 14 y 16 de membrana de transporte de oxígeno es progresivamente menor. Sin embargo, el combustible entra en el extremo abierto de las membranas 12, 14 y 16 de transporte de oxígeno donde se proporciona al menos gradiente de potencial. Sin embargo, en tal punto, la combustión es rica en combustible y por lo tanto se proporciona el mayor gradiente de potencial por la purga reactiva en tal posición.

Con referencia a la Figura 3, se ilustra una caldera 3 según la presente invención en que se introduce el combustible en la cámara 10 de combustión, por separado del gas de combustible, se proporciona por una serie de entradas de combustible por un colector 56 de entrada de combustible con una entrada 57 de combustible e inyectores 58, 60, 62, 64, 66 y 68 de combustible unido al mismo. Se pulveriza combustible en la cámara 10 de combustión en la dirección contracorriente (cabeza de flecha "B") para proporcionar el mayor efecto de purga reactiva en el extremo abierto de los elementos 12, 14 y 16 de membrana de transporte de oxígeno donde existe la menor cantidad de gradiente de potencial hacia la separación dentro de las membranas particulares. Se introduce gas de combustión en la cámara 10 de combustión por la entrada 38 de gas de combustión y se descarga desde el escape 54". Aunque no se ilustra, parte del gas de combustión descargado del escape 54" se puede recircular a la entrada 38" de gas de combustión por uso de un ventilador de alta temperatura.

En muchos tipos de membranas de transporte de oxígeno, el flujo de oxígeno por la membrana aumenta a medida que aumenta la temperatura de la membrana. La reacción de combustión en la superficie, y por lo tanto la liberación de calor en la superficie, está limitada por lo tanto por el flujo de oxígeno por la membrana. Sin embargo, el deficiente control de la temperatura puede conducir a la fuga térmica catastrófica de la membrana. A medida que aumenta la temperatura pasa más oxígeno por la membrana que conduce a mayores velocidades de combustión en la superficie y aún mayores temperaturas de la membrana hasta que se exceden las limitaciones de temperatura de la membrana.

En cualquier configuración de membranas de transporte de oxígeno, que implique la combustión de combustible en o cerca de la superficie de una membrana, la forma dominante de transferencia de calor que resulta de la combustión será por radiación. La disposición de pasos de fluido y membranas de transporte de oxígeno debe diseñarse y emplearse de manera que los pasos de fluido puedan absorber de manera suficiente el calor radiante que se evite la fuga térmica y por lo tanto se mantenga la temperatura de funcionamiento de la membrana deseada.

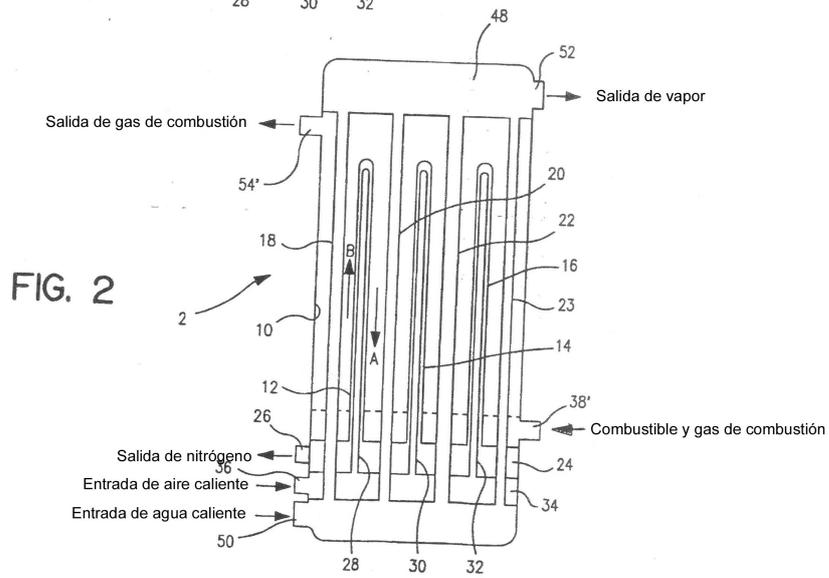
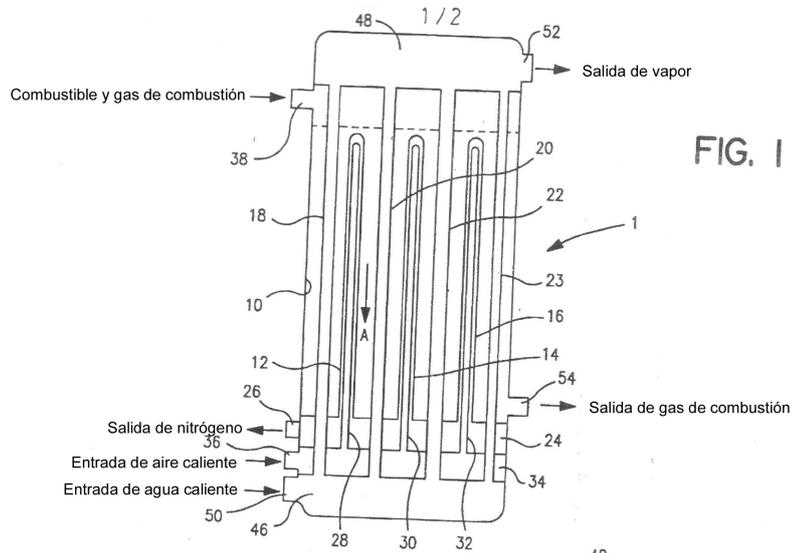
Con referencia a la Figura 4, se muestra un ejemplo calculado de una membrana de transporte de oxígeno de forma tubular rodeada por seis pasos de fluido que contienen agua. Para los fines del ejemplo, se asume que la membrana de transporte de oxígeno tiene un flujo de oxígeno de $65,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}/\text{m}^2$ ($20 \text{ pie}^3 \cdot \text{h}/\text{pie}^2$) por el intervalo de operación óptimo. Tanto los pasos de fluido como la membrana de transporte de oxígeno actúan como cuerpos negros con el campo de vista entre las membranas de transporte de oxígeno y los pasos de fluido circundantes estimados por el método de la cinta cruzada. El flujo de combustión para la membrana fue fijado a $102,2 \text{ MJ}/\text{m}^2$ ($9.000 \text{ BTU}/\text{pie}^2$) y la temperatura del paso de fluido se fijó a 204°C (400°F). El límite superior del intervalo de funcionamiento de la membrana es la temperatura a la que fallará la membrana. El límite inferior es la temperatura a la que dejará de funcionar la membrana. Como se ilustra, los pasos de fluido deben constituir al menos aproximadamente 58% del área total de las membranas y los pasos de fluido para evitar el sobrecalentamiento de la membrana. En el otro extremo, una relación de más e aproximadamente 85% conduce a enfriamiento excesivo de las membranas.

Aunque se ha descrito la presente invención con referencia a realizaciones preferidas, como ocurrirá para los expertos en la materia, se pueden hacer numerosos cambios y omisiones sin apartarse del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato de separación de oxígeno y combustión (1; 2; 3) que comprende:
- 5 una cámara de combustión (10);
- una pluralidad de membranas (12,14,16) de transporte de oxígeno paralelas situadas en dicha cámara (10) de combustión para separar oxígeno de un gas que contiene oxígeno, para proporcionar de ese modo el oxígeno en la cámara (10) de combustión para soportar la combustión de un combustible y generar de ese modo calor;
- 10 una pluralidad de pasos (18, 20, 22, 23) de fluido que pasa por dicha cámara (10) de combustión;
- situados dichos pasos (18, 20, 22, 23) de fluido de manera que se transfiere una porción del calor de la combustión a dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno para calentar dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno a una temperatura de funcionamiento y una porción adicional del calor se transfiere de la combustión a dichos pasos (18, 20, 22, 23) de fluido para proporcionar calor para calentar fluido y favorecer la estabilización de la temperatura de funcionamiento de dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno;
- 15 al menos una entrada (38; 38'; 57) para introducir al menos el combustible en dicha cámara (10) de combustión y
- 20 un escape (54 ;54'; 54") de dicha cámara (10) de combustión para descargar productos de combustión que surgen de la combustión del combustible;
- el escape (54; 54'; 54") y al menos dicha entrada (38; 38'; 57) separados entre sí de manera que dicho flujo de productos de combustión en una dirección predominantemente paralela a dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno.
- 25
2. El aparato (1; 2; 3) según la reivindicación 1, en el que dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno y dichos pasos (18, 20, 22, 23) de fluido son de configuración tubular.
- 30
3. El aparato (1; 2; 3) según la reivindicación 2, en el que: las membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno están cerradas en un extremo y abiertas en el otro extremo para descargar un concentrado reducido en oxígeno y
- 35 una pluralidad de conductos (28, 30, 32) de unión coaxiales sobresalen en extremos abiertos de dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno para suministrar el gas que contiene oxígeno a los mismos.
4. El aparato (1; 2) según la reivindicación 3, en el que al menos dicha entrada (38; 38') comprende una entrada (38; 38') a dicha cámara (10) de combustión para introducir una mezcla del combustible y un gas de combustión en dicha cámara (10) de combustión.
- 40
5. El aparato (3) según la reivindicación 3, en el que el combustible se introduce en la cámara (10) de combustión por toberas (58, 60, 62, 64, 66, 68) situadas adyacentes a los extremos abiertos de dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno.
- 45
6. Un método de separación de oxígeno y combustión que comprende:
- introducir un gas que contiene oxígeno en una pluralidad de membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno paralelas situadas en una cámara (10) de combustión;
- 50 separar oxígeno del gas que contiene oxígeno en la pluralidad de membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno, paralelas, para proporcionar de ese modo oxígeno a la cámara (10) de combustión;
- introducir combustible en la cámara (10) de combustión y quemar el combustible en la cámara (10) de combustión en presencia del oxígeno para generar calor;
- 55 hacer pasar un fluido por una pluralidad de pasos (18, 20, 22, 23) de fluido situados en la cámara (10) de combustión;
- 60 descargar productos de combustión de la cámara (10) de combustión;
- descargándose los productos de combustión de la cámara (10) de combustión e introduciéndose el combustible de manera que los productos de combustión fluyan en una dirección predominantemente paralela a dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno para proporcionar una purga reactiva para favorecer la separación del oxígeno del gas que contiene oxígeno y
- 65

- situándose los pasos (18, 20, 22, 23) de fluido de manera que se transfiere una porción del calor de la combustión a dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno para calentar dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno a una temperatura de funcionamiento y una porción adicional del calor se transfiere de la combustión a dichos pasos (18, 20, 22, 23) de fluido para proporcionar calor para calentar el fluido y favorecer la estabilización de la temperatura de funcionamiento de dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno.
- 5
7. El método según la reivindicación 6, en el que dicha dirección es a contracorriente al flujo de gas del gas que contiene oxígeno en dichas membranas (12, 14, 16) de transporte de oxígeno.
- 10
8. El método según la reivindicación 6, en el que dicha dirección es a favor de la corriente del flujo de gas del gas que contiene oxígeno en dichas membranas (12,14,16) de transporte de oxígeno.
9. El método según la reivindicación 6, en el que dicho fluido es agua.



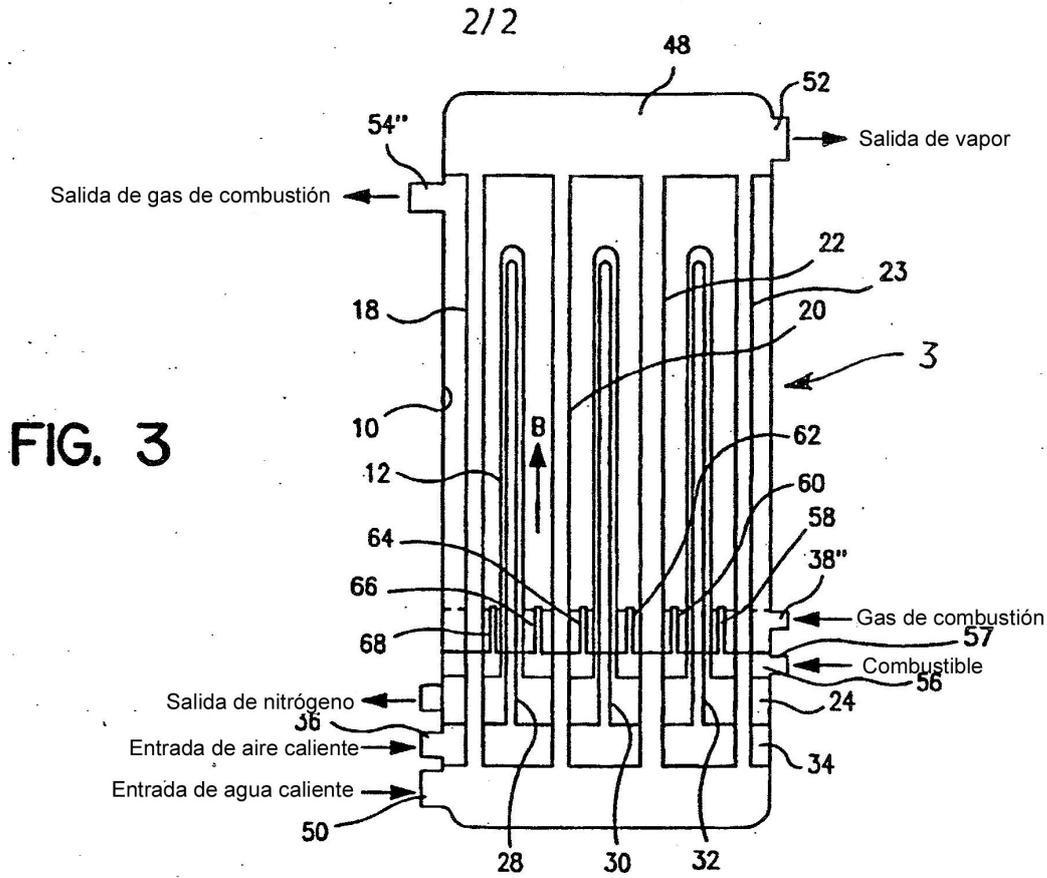


FIG. 3

