

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 688 588**

21 Número de solicitud: 201700570

51 Int. Cl.:

C01B 13/02 (2006.01)

B01D 53/22 (2006.01)

F02B 45/08 (2006.01)

H02S 10/30 (2014.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

17.04.2017

43 Fecha de publicación de la solicitud:

05.11.2018

71 Solicitantes:

VALLS GUIRADO, Juan Francisco (90.0%)
Avda. de Andalucía nº 4
04200 Tabernas (Almería) ES y
VALLS GUIRADO, Emilio Antonio (10.0%)

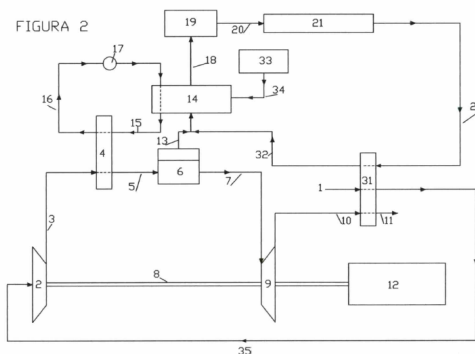
72 Inventor/es:

VALLS GUIRADO, Juan Francisco y
VALLS GUIRADO, Emilio Antonio

54 Título: **Dispositivo para suministro de oxígeno y evacuación de residuos sólidos a motor termofotovoltaico de combustible metálico**

57 Resumen:

La presente invención se refiere a un conjunto de mejoras al funcionamiento del motor descrito en la patente ES2608601. Concretamente la introducción de oxígeno en la cámara de combustión es resuelta mediante la tecnología de membrana cerámica de transporte iónico. El calor desprendido por las células fotovoltaicas de alta concentración es utilizado para calentar aire utilizando un intercambiador de calor. Un compresor impulsado, o bien por energía eléctrica o bien por una microturbina acoplada en su mismo eje, contribuyendo ésta última a la mejora de la eficiencia eléctrica, comprime el aire ya calentado por el calor captado en el intercambiador de calor hasta alcanzar condiciones adecuadas al transporte de oxígeno a través de la membrana cerámica. La evacuación del residuo sólido de óxido metálico consiste en un flujo vórtice de oxígeno puro, que estabiliza y confina la llama de combustión del magnesio y/o del aluminio y arrastra las partículas sólidas. Las nanopartículas forman aglomeraciones hasta alcanzar el tamaño micrométrico utilizando la tecnología de reactores de aerosol. El inicio de la combustión se produce mediante la luz concentrada aportada por un láser de CO₂.



ES 2 688 588 A1

DESCRIPCIÓN

Dispositivo para suministro de oxígeno y evacuación de residuos sólidos a motor termofotovoltaico de combustible metálico.

5

Objeto de la invención

La presente invención se refiere a un conjunto de mejoras al funcionamiento del motor descrito en la patente ES2608601 y con numero de solicitud P201631217 del mismo autor. Concretamente el abastecimiento de oxígeno a la cámara de combustión es resuelta mediante la tecnología de membrana cerámica de transporte iónico. El calor desprendido por las células fotovoltaicas de alta concentración es utilizado para calentar aire mediante un intercambiador de calor. Un compresor impulsado, o bien por energía eléctrica o bien por una microturbina acoplada en su mismo eje, contribuyendo esta última a la mejora de la eficiencia eléctrica, comprime el aire ya calentado por el calor captado en el intercambiador de calor hasta alcanzar condiciones adecuadas al transporte de oxígeno a través de la membrana cerámica. La evacuación del residuo sólido de óxido metálico consiste en un flujo vórtice de oxígeno puro, que estabiliza y confina la llama de combustión del magnesio y/o del aluminio y arrastra las partículas sólidas. Las nanopartículas forman aglomeraciones hasta alcanzar el tamaño micrométrico utilizando la tecnología de reactores de aerosol. El inicio de la combustión se produce mediante la luz concentrada aportada por un laser de CO₂.

20

Antecedentes y estado actual de la técnica.

En la citada patente ES2608601 se propone el uso de oxígeno licuado como medio de almacén comburente para aportar oxígeno gaseoso a un motor termofotovoltaico de combustible metálico, fundamentalmente quemando magnesio y/o aluminio. Sin embargo, el oxígeno licuado es sumamente peligroso por su fácil volatilidad. El rápido crecimiento de la presión en el interior del recipiente y el fácil sellado de las válvulas de las bombonas destinadas a su almacenamiento, por la congelación de vapor de agua en estas, con el consiguiente riesgo de explosión, supone un potencial peligro que lo inadecua para uso regular, especialmente cuando el motor pretende ser utilizado para el transporte.

25

30

Desde décadas pasadas, de entra las tipologías de sistemas de obtención de oxígeno a partir del aire, se conoce la técnica de membranas cerámicas de transporte iónico. Tienen la ventaja actualmente de obtener como resultado final un oxígeno de extrema pureza, superior a 99% del gas resultante, bajo consumo energético y como inconveniente bajas producciones, por lo que no se emplean masivamente en la industria.

35

Concretamente la patente US5035727A trata exactamente de la unificación de las tecnologías de turbina de combustión externa y compresor más la permeación de oxígeno a través de una membrana cerámica electrolítica. Previamente a la salida de aire ya empobrecido de oxígeno a través de la turbina, el aire adquiere condiciones de presión y temperaturas adecuadas a la permeación de oxígeno en el interior de cámara de calentamiento del turbocompresor.

40

Por otro lado, el empleo de radiación electromagnética para calentar un receptor solar, que a su vez calienta el aire que circula por los conductos internos de una microturbina de gas, es propuesto en la patente WO2013/034783A1 del inventor español Jonas Villarubia Ruiz. También la patente japonesa JPH0431669A demuestra que una microturbina de gas puede ser impulsada por radiación electromagnética, en este caso solar, sin el empleo de gases hidrocarburos.

45

50

Un dispositivo que combina células termofotovoltaicas, membrana cerámica y turbina de gas es resuelto en la patente US2011027673, sin embargo incorpora el uso de una célula de combustible, lo que difiere profundamente del esquema propuesto en la presente patente.

- 5 También en CN103997281B y CN203911839 (U), se propone el funcionamiento conjunto de cámara termofotovoltaica y turbina de gas. No obstante, los gases de escape del quemador son incorporados a la turbina de gas, lo que implica una radical diferencia con el motor no contaminante propuesto en ES2608601 y que trata de mejorar la presente patente.
- 10 La acción conjunta del quemado de metales y la oxicomustión se emplea a veces en el llamado proceso Chemical Looping Combustion.

15 El uso de reactores de aerosol para el crecimiento y aglomeración de partículas nanoestructuradas es conocido desde décadas pasadas. Se consigue así pasar de monómeros de tamaños moleculares a partículas en el rango de las micras. En particular son empleados actualmente para el crecimiento de nanopartículas de óxidos metálicos. Algunos óxidos obtenidos son los de Zinc, Estaño, Magnesio, etc. Se utiliza el quemado mediante llama difusa, si bien se emplea metano como gas combustible y se proyectan partículas metálicas sobre la llama. La termoforesis o transporte por gradiente térmico es un procedimiento empleado en

20 reactores de aerosol para precipitación y crecimiento de nanopartículas sobre sustratos o superficies refrigeradas.

Se han superado los 200 W/cm² de concentración lumínica en células fotovoltaicas receptoras de radiación solar utilizando refrigeración mediante metales líquidos. Es propuesto por IBM en

25 la patente US6665186 B1 para refrigeración de semiconductores y según dicha entidad expuesto en 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference. Se consigue así hacer pasar la célula de 1600 °C a 85 °C.

30 Descripción de la invención.

Se pretenden introducir cuatro avances o mejoras al motor termofotovoltaico de combustible metálico.

35 - Introducción de oxígeno al reactor.

En primer lugar, el uso de membrana cerámica de transporte iónico aporta como principal ventaja, la innecesidad del empleo de depósito de almacenamiento de oxígeno para llevar a cabo la oxicomustión del magnesio o del aluminio. Esto supone una sustancial ventaja dado que una bombona para el almacenamiento de oxígeno gaseoso fabricada de acero es pesada

40 y está sometida a alta presión (200 Kg/cm²) lo que supone un cierto riesgo en el transporte, cuando el motor se emplea para mover un vehículo. Aun más acentuada es la anterior afirmación cuando se trata de almacenar oxígeno licuado.

Se ha propuesto el uso de membranas cerámicas para abastecer de oxígeno a un motor de

45 combustión de gasolina, pero dicho uso ha sido rechazado por su inviabilidad económica. Aceptando un consumo energético de 0,5 Kwh/Kg de oxígeno. Un motor de gasolina necesitaría para consumir 40 kg de combustible, aproximadamente 140 kg de oxígeno. Lo que supondría un gasto energético útil de 70 Kwh. Aceptando una eficiencia del motor de gasolina de 30 %, la energía bruta necesaria para obtener el oxígeno sería de aproximadamente 230

50 Kwh. Atribuyendo 13Kwh/Kg a la densidad energética de la gasolina, se necesitarían 17,69 Kg para disponer del oxígeno necesario para realizar la combustión. Es decir, 44% del peso inicial de gasolina. Casi la mitad de la energía del combustible se destinaria en obtener oxígeno puro para la reacción.

Para el magnesio y el aluminio, los números son muy ventajosos en relación a la gasolina. Si cada partícula -H-C-H- de la cadena de hidrocarburos pesa 14 unidades de masa atómica, que van a enlazar con 3 átomos de oxígeno para formar finalmente $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$, se impone una necesidad de oxígeno en peso total de 48 unidades de masa atómica. Por el contrario, para el caso del óxido de magnesio, cada partícula de Mg pesa 24 u.m.a. y tan solo necesita los 16 u.m.a. del átomo de oxígeno para la reacción. Por tanto por cada kilogramo de magnesio solo se necesitan 0,67 Kg de oxígeno. Cada 40 kg de magnesio van a necesitar para completar su combustión 26,66 Kg de oxígeno. Suponiendo una necesidad energética de 0,5 Kwh/kg para que el oxígeno cruce la membrana, esto implica 13,33 Kwh en energía útil. Atribuyendo una eficiencia energética a un conjunto motor termofotovoltaico+turbina de gas mínima de 35-40%, la necesidad energética bruta requerida es de 35 Kwh. Dado que la densidad energética bruta del Magnesio es aproximadamente de 7 Kwh/kg, esto supone una necesidad de tan solo 5 kg de magnesio para quemar los 40 kg iniciales. Es decir, 12,5% del peso inicial frente al 44% que requiere la gasolina. El cálculo es aun más favorable si se tiene cuenta que, en la presente invención, la energía perdida en mover el turbocompresor y calentar el aire no es necesariamente energía eléctrica producida, sino energía térmica.

Viene a ocurrir que el magnesio y el aluminio tienen una densidad energética referida al peso de comburente de oxígeno empleado durante la combustión, muy superior a los hidrocarburos e incluso respecto a otros metales.

Metal	Óxido	Energía (KJ/mol de O_2)	Metal	Óxido	Energía (KJ/mol de O_2)
Berilio	BeO	1182	Hierro	Fe ₃ O ₄	508
Magnesio	MgO	1162	Estaño	Son	500
Aluminio	Al ₂ O ₃	1045	Níquel	NiO	439
Zirconio	ZrO ₂	1028	Cobalto	CoO	422
Silicio	SiO ₂	836	Plomo	Pb ₃ O ₄	309
Cromo	Cr ₂ O ₅	701	Cobre	CuO	254
Zinc	ZnO	636	Plata	Ag ₂ O	5
Molibdeno	MoO ₂	534	Wolframio	WO ₃	510

En la tabla anterior se comparan las densidades energéticas en función del peso de oxígeno. Tan solo el magnesio y el aluminio se ven superados por el berilio. Teniendo este la desventaja de una excesiva densidad energética que hace peligrosa su manipulación, es venenoso y poco abundante.

La oxicomustión tiene además las ventajas de evitar la formación de óxidos de nitrógeno, y al no haber nitrógeno presente en la reacción de oxidación, el calor perdido por salida de gas calentado del quemador o cámara de calentamiento es sustancialmente menor a quemar en presencia de aire a presión atmosférica, lo que redundará en una ganancia en eficiencia energética.

Para centrales energéticas otros métodos de obtención de oxígeno tales como la licuación del aire también son de aplicación. Esta alternativa es también adoptada en la presente patente. El motivo es que las membranas cerámicas son aptas para pequeñas producciones tales como suministro de oxígeno a un vehículo, pero para grandes producciones son más apropiados otros métodos tal como la licuación del aire. Por consiguiente para una central energética, donde se incluye el motor termofotovoltaico más turbina de combustión externa y ciclo de Rankine asociado, o ciclo con turbina de vapor, es de mejor aplicación esta alternativa.

Actualmente se emplea oxicomustión en quemadores de hidrocarburos tales como gas metano y la presión de trabajo que se necesita para permear una membrana cerámica de

transporte iónico está entre 10 y 15 atm y la temperatura se encuentra en el rango de 800-1150°C. Las membranas cerámicas resisten temperaturas por encima de 1100°C.

5 Para la presente invención el intervalo de presiones de trabajo del compresor está entre 4,5 y 15 atm. La temperatura del aire alcanzada en la cámara o conducción de calentamiento previa al paso por la membrana cerámica y a la expansión del aire en la turbina está entre 1000 y 1150°C. Esta temperatura puede ser alcanzada a través de un intercambiador de calor cuyos conductos por donde circula el aire hacen las veces de cámara de calentamiento.

10 A continuación el aire pasa por conductos en cuyas paredes se sitúa la membrana cerámica.

El flujo de oxígeno a través de una membrana cerámica de transporte iónico viene dado por la ecuación de Wagner,

15
$$J_{O_2} = K(T) \cdot \ln \left(\frac{p'_{O_2}}{p''_{O_2}} \right)$$

Donde K es un parámetro que depende de la temperatura en el aire de alimentación. P'_{O_2} es la presión del lado de la superficie de alimentación y P''_{O_2} es la presión de oxígeno en la superficie del permeado de la membrana.

20 Trabajando el motor termofotovoltaico a presión inferior a la atmosférica, se consiguen reducir sustancialmente las presiones del lado de la superficie de alimentación, lo que supone una ventaja respecto a quemadores de hidrocarburos que trabajan del lado del permeado a 1 atm y del lado de la alimentación a 15 atm. El flujo de oxígeno depende del cociente entre presiones y no de la diferencia de presiones, por tanto trabajar en vado parcial en el interior del reactor termofotovoltaico de combustible metálico implica un ahorro energético pues se necesitan menores presiones de trabajo a la entrada a la membrana, y representa una sustancial ventaja respecto a la tecnología actual donde se utilice la membrana cerámica en quemadores de hidrocarburos.

30 La temperatura del aire en el interior de la cámara de calentamiento de la microturbina de combustión externa propuesta, se obtiene del calor desprendido por las células fotovoltaicas de concentración.

35 La ventaja de obtener más de 200 W/cm² de concentración lumínica sobre las células respecto a hacerlo a 100 W/cm², es elemental, se reduce el número de células a la mitad. Para un motor de 40.000 Watios de emisión lumínica de reacción de oxicombustión recepcionados por las células, la superficie en células se reduce a 200 cm² frente a los 400 cm² que requiere trabajar a 100 W/cm². A 20 €/cm², el coste en células del motor termofotovoltaico es de 4.000 euros y está dentro de un orden de magnitud aceptable y vuelve la tecnología competitiva frente a la batería eléctrica y frente a las células de combustible de hidrogeno aplicables en automoción.

45 Como ya se ha indicado se alcanzan temperaturas máximas, previas a la refrigeración de las células, de 1600°C cuando se trabaja con concentración lumínica sobre las células de 200 W/cm². Con un eficiente sistema de refrigeración, el calor captado por un metal líquido refrigerante de alta transmisividad térmica, que actúa en un intercambiador de calor, es transferido a la corriente de aire en el interior de la cámara de calentamiento de la microturbina.

50 Para concentraciones inferiores, las exigencias a la refrigeración decrecen pero se incrementa la superficie de células fotovoltaicas.

5 Un compresor actúa acoplado a la microturbina haciendo uso del mismo eje y proporciona la presión necesaria al aire circulante del lado de la superficie de alimentación de la membrana cerámica. Opcionalmente se puede prescindir del uso de turbina y utilizar el compresor impulsado solo por energía eléctrica, el motor se simplifica pero el conjunto reduce su eficiencia energética.

Las condiciones de presión y temperatura en el turbocompresor son compatibles con su propio funcionamiento y con el funcionamiento de la membrana cerámica.

10 - Mejora de la eficiencia.

15 En la patente ES2608601 se propone el uso de turbina de vapor o ciclo de Rankine en simbiosis con el motor termofotovoltaico. Dicho dispositivo es adecuado al funcionamiento de una central eléctrica donde el ciclo de Rankine asociado al uso de turbinas de vapor alcanza rendimientos que superan el 30% y mediante regeneración alcanzan el 40% (en este caso este rendimiento sería calculado respecto al calor que desprenden las células fotovoltaicas). Sumado al rendimiento del motor termofotovoltaico, en dicha patente se predice un rendimiento global que alcanza el 50%. Es lo que se conoce en ingeniería solar con los términos High Concentration Photovoltaic Thermal system (HCPVT).

20 Para una central energética, en la presente invención se establece el dispositivo conjunto de motor termofotovoltaico de combustible metálico sin emisor opaco intermediario, microturbina de gas y circuito de Rankine asociado, para aprovechar el nitrógeno calentado a la salida de la microturbina. Se dispone así de 3 elementos produciendo electricidad: motor termofotovoltaico + turbina de nitrógeno calentado (turbina de combustión externa) + turbina de vapor de agua.

30 Para un vehículo automóvil resulta más adecuada una microturbina de combustión externa en combinación con un motor termofotovoltaico por ser la microturbina indicada más compacta y por tanto, ocupar menos espacio que una turbina de vapor. En vehículos de competición, utilizando turbinas de gas se esta también alcanzando rendimientos que superan el 40%, empleando reciclaje de energía durante las frenadas.

35 En la actual patente el aire que obtiene energía térmica de un intercambiador de calor de metal líquido que refrigera las células fotovoltaicas, eleva su temperatura entre 1000°C y 1150°C, lo que permite el funcionamiento de la turbina y por consiguiente del compresor asociado.

40 La tecnología de turbina de gas de combustión externa existe y se conoce con los términos ingleses de EFGT- cycle (the Externally Fired Gas Turbine). La presente patente propone un motor termofotovoltaico que alimenta de calor a una turbina de combustión externa, realizándose la combustión por tanto dentro del motor termofotovoltaico de combustible metálico. La combustión es una oxidación ultrarrápida de metal.

45 El aire a la salida de la turbina de gas es captado por un segundo intercambiador de calor y este es cedido para el precalentamiento del aire antes de la entrada de este al compresor de la turbina.

50 En parte de los conductos por donde circula el aire calentado, en el interior de la cámara de calentamiento de aire de la turbina, se dispone de membrana cerámica de transporte iónico, al objeto de captar y permear el oxígeno hacia la conducción que introduce a este en la cámara de combustión del motor termofotovoltaico.

Las diferencias respecto al esquema planteado en la figura B de la patente US5035727 consisten en:

- 5
1. Al quemador termofotovoltaico no entra aire externo en la presente patente y si el oxígeno que atraviesa la membrana cerámica. Por el contrario, a la cámara de combustión o quemador de la patente norteamericana se entrega el aire de salida de la turbina.
 2. El aire de salida de la turbina de gas es empleado en la presente invención en:
 - a.- Precalentar el aire de entrada al compresor de la turbina de gas mediante un intercambiador de calor.
 - 10 b.- Calentar el oxígeno utilizado como gas de arrastre antes de su recirculación al interior de la cámara de combustión. La patente US5035727 no utiliza oxicomcombustión en el quemador.
 - 15 c.- Calentar el agua del circuito de Rankine. Si realizado en US5035727.
 3. En la presente invención el material output del quemador resultante de la combustión es sólido (el oxígeno de salida es reciclado y reintroducido en el quemador). En la patente americana si existe gas de salida del quemador, que va a ceder calor a un ciclo de Rankine además de entregar calor en el intercambiador que abastece de energía al turbocompresor del ciclo Brayton.

25 - Evacuación de residuo sólido. La principal problemática asociada al motor termofotovoltaico de combustible metálico es la evacuación de humo y el polvo de oxido metálico de la cámara de calentamiento o quemador. Al prescindirse de emisor opaco como intermediario entre la zona de combustión y las células fotovoltaicas, elemento este que tradicionalmente ha existido en energía termofotovoltaica, por un lado se cuenta con la ventaja de una reacción a temperatura superior a 3000°C, lo que se traduce en una curva de emisión espectral que alcanza su máximo en la frontera entre la radiación visible e infrarroja cercana, excelente emisión electromagnética a captar por las células fotovoltaicas de concentración y con un gran parecido a la forma de la curva espectral de la radiación solar. Pero por otro lado, se cuenta con el problema asociado de evitar que el humo de óxido metálico se adhiera a las paredes de la cámara de combustión, que inutilizaría el reactor en pocos segundos, de ocurrir esto. Es imprescindible evacuar el residuo sólido, humo y polvo que se va formando.

35 Para un vehículo automóvil y tras un desplazamiento de más de 500 km se supera la producción de 70 kg en polvo y humo de oxido metálico.

40 Si bien la magnesia dispone de una elevada densidad volumétrica, 3,58Kg/L, el humo de magnesia no densificado tiene un comportamiento similar al humo de sílice, su densidad es tan baja que casi flota a presión atmosférica. Para implementación del motor descrito en ES2608601 en un vehículo automóvil es necesario proceder a la densificación del humo, aunque se trabaje por debajo de la presión atmosférica, de lo contrario los 70 kg de peso ocuparían volúmenes de cientos de litros. También ocurre lo mismo para el almacenamiento de óxido metálico en una central energética, si bien aquí las disponibilidades de espacio son mucho mayores.

50 Las medidas adoptadas para evacuación del polvo y humo de la cámara de combustión se comentan a continuación y se enumeran así:

- a.- Confinamiento magnético. Indicado en ES2608601.
- b.- Caída y segregación por gravedad. Indicado en ES2608601.

c.- Arrastre fluido dinámico por diferencias térmicas y de presión.

d.- Superficie antiadherente en las paredes de la cámara de combustión y de los conductos de densificación de humo.

5 e.- Distancia entre placas fotovoltaicas y centro de combustión proporcional a la potencia a recibir.

10 f.- Partículas a modo de núcleos de hierro rodeados de aluminio, magnesio o aleación de ambos. El hierro actúa como sustancia sólida portadora que guía la trayectoria de partículas en combustión.

g.- Limpieza mecánica de superficies internas del motor.

15 Para resolver el problema de la evacuación en ES2608601 se propone hacer uso de la evacuación por gravedad y confinamiento magnético. El magnesio es pobremente paramagnético y para el aluminio, aunque su paramagnetismo es mayor que el del magnesio, es aún insuficiente para el fin propuesto. Además sus óxidos respectivos tienen un paramagnetismo aun más débil. El confinamiento magnético de una partícula de óxido de
20 magnesio o aluminio solidificada y en movimiento es insignificante. No obstante, cuando la combustión se está llevando a cabo y las partículas implicadas en ella se colocan en estado de plasma, estas se ven afectadas por campos magnéticos siguiendo un movimiento descrito por la ley de Lorentz. Para imanes o electroimanes cilíndricos rodeando los conductos de
25 introducción de combustible y salida de residuos, de eje común y caras enfrentadas, las líneas de flujo de campo magnético adquieren forma de botella magnética. En esta situación las partículas en proceso de combustión se moverán siguiendo una hélice alrededor de las líneas de flujo magnético y siendo tendentes a salir del reactor por el eje de los imanes. Dicho hecho es previsible con altas presiones de oxígeno que producen pequeñas explosiones que hacen salir las partículas ionizadas inicialmente con trayectorias radiales, tras lo cual describen
30 el movimiento helicoidal indicado.

Para reforzar el comportamiento magnético durante la combustión, en la presente patente se adopta la medida de utilizar como combustible partículas de hierro micrométricas, en una
35 matriz de aluminio, magnesio o ambos conjuntamente aleados, presentada esta en forma de cinta o lamina. Polvos micrométricos constituida cada partícula de aluminio o magnesio o aleación de ambos rodeando un núcleo o zona interna de hierro dopado de cromo o zinc incrementa el carácter paramagnético del movimiento del metal en combustión, medida también adoptada en la presente invención. Esto no contradice el fundamento de la patente ES2608601 que es utilizar los espectros de emisión del aluminio, del magnesio o de aleación
40 de ambos, dado que las partículas de hierro, sin ser importante su propia combustión pues tienen una pobre densidad energética, son usadas solamente como portadoras y guadoras de los metales energéticos indicados. Las partículas de hierro que también se oxidan mantienen el comportamiento magnético dado que los óxidos de hierro son paramagnéticos. Además la presencia de zinc y/o cromo evita la oxidación del hierro impidiendo su combustión y por tanto
45 su calentamiento excesivo. Evitando la oxidación del hierro también se reduce el consumo de oxígeno lo que tiene transcendencia de cara a la implementación del motor en un vehículo automóvil. En una central energética opcionalmente se puede prescindir del dopaje de cromo y zinc.

50 Cuando se tiene una llama de difusión estable, lo que ocurre a bajas presiones de oxígeno, esto es, del orden de 20.000 Pascales o menos, la llama de aluminio o magnesio o aleación de ambos, en su conjunto se ve pobremente afectada por campos magnéticos, a menos que estos sean muy intensos, del orden de varias Teslas. En particular el confinamiento conseguible con

imanes permanentes, menos de 2 Teslas es débil y solo visible a cortas distancias y en la raíz de la llama.

5 Por tanto para reforzar el confinamiento, a la acción magnética se incorpora en la presente patente, la acción fluidodinámica, existiendo por tanto un flujo magnetohidrodinámico, debido tanto a la presencia de fluido en movimiento como de campos magnéticos.

10 Utilizando un reactor con simetría de revolución, e incorporando el oxígeno de tal forma que su movimiento constituya un flujo vórtice con eje en el propio eje de revolución del reactor, se consigue el confinamiento de la llama y se evita así que el humo nanométrico se adhiera a las paredes internas de la cámara. Esta medida no supone necesariamente que se pierda la presión de vacío parcial, condición establecida en ES2608601. Se puede incorporar el oxígeno aun a presión por debajo de la atmosférica. La salida de oxígeno como gas portador y a baja presión de la cámara de combustión no implica grandes pérdidas energéticas, en todo caso inferiores a trabajar a presión atmosférica.

20 Desde la zona de la cámara donde se encuentran las células fotovoltaicas, se colocan desembocaduras de conducciones inyectoras de oxígeno, garantizando el arrastre del humo y del polvo desde la periferia de la cámara hacia el centro y hacia el/los conducto/s de salida, sin perjuicio de colocar otras conducciones que proyecten directamente oxígeno sobre el metal a quemar tal y como se establece en ES2608601.

25 El fluido en movimiento arrastra el polvo nanométrico hacia la desembocadura/s de salida del reactor situada en el eje de revolución del reactor con simetría de revolución.

30 Las impurezas presentes en el magnesio o en el aluminio, u otros metales minoritarios, no suponen un problema adicional. Las fichas técnicas de los fabricantes informan que las impurezas principales son hierro, plomo, cobre, manganeso y silicio. Limitando el tamaño máximo a diámetros inferiores a 0,1 micras, las partículas no magnéticas y no aluminicas son oxidadas antes de alcanzar las paredes de la cámara y arrastradas por el flujo de oxígeno. Además las partículas de óxido de hierro y manganeso se ven afectadas por el campo magnético aun cuando este es creado por imanes permanentes, esto es, incluso para campos inferiores a 2 Teslas.

35 El óxido de magnesio, de alcanzar las paredes de la cámara, su adherencia es baja y opcionalmente puede ser limpiado por medios mecánicos. No reacciona con las paredes del reactor. Existen en el mercado superficies antiadherentes al polvo ya patentadas, incluso para su uso en placas fotovoltaicas a la intemperie, en particular los materiales fluorocarbonados evitan la formación de enlaces que adhieren el polvo. Como desventaja tienen su bajo punto de fusión.

45 Tan solo las paredes de la cámara se verán dañadas de ser alcanzadas por metal líquido, que al solidificar formaría fuertes enlaces con el material constituyente de la pared, no pudiendo ser limpiada esta por métodos mecánicos. Para evitar esta posibilidad, debe garantizarse el trabajo a presión de oxígeno por encima de un valor mínimo. A presión de 20.000 Pa si la superficie del magnesio no está suficientemente pulida de óxido superficial antes de entrar en la cámara de reacción, la tendencia es a cortarse la reacción autosostenida y a caer gotas ardiendo de magnesio líquido desde la llama que dañan el reactor, cuando se quema cinta de magnesio.

50 En la patente ES2608601, se establece un solo conducto de evacuación de residuo sólido, entendiendo que la evacuación de gases (no existencia ni de nitrógeno ni de vapor de agua) va a ser prácticamente nula, no se dispone de conducto de evacuación de gases. Si bien sí se indica que de superarse la presión de trabajo actúa una bomba de purga para aliviar la presión del reactor, reconocida dicha necesidad también en la presente patente.

5 En la actual propuesta de patente la evacuación del residuo sólido, ya sea en forma de humo o de polvo, se da la doble alternativa de realizarse hacia abajo hacia un depósito situado debajo de la cámara de combustión, o bien mediante un doble conducto, uno acometiendo superiormente y otro inferiormente el quemador. Pero al objeto de favorecer el flujo de gas, se coloca en el interior del depósito de residuos una bomba de succión que tiene por fin incrementar la diferencia de presiones entre el quemador y el depósito. El oxígeno se mueve del reactor al depósito con un fuerte gradiente de temperaturas. En condiciones de vacío parcial en la cámara de combustión, se produce el fenómeno de arrastre térmico, en inglés denominado thermal creep, la velocidad y fuerza de arrastre de la corriente o flujo son suficientes para evacuar el humo. Además el peso del humo, mayor que el peso del oxígeno gaseoso, no actúa como fuerza opuesta o en contracorriente al flujo de oxígeno, lo que facilita la evacuación de ambos para el caso particular de una sola embocadura de evacuación en la parte inferior.

15 Las dimensiones del quemador o cámara de combustión vienen determinadas por la presión de oxígeno dentro del reactor y por los caudales masivos de combustible y comburente introducidos.

20 El depósito de residuos prácticamente no recibe radiación, en tanto que la cámara de combustión está permanentemente iluminada lo que implica el fuerte gradiente de temperaturas. Al crearse una depresión en la zona del depósito de residuos, la llama se vuelve invertida o hacia abajo, para el caso de una sola conducción de evacuación situada inferiormente y depósito inferior.

25 Cuando se quema cinta de magnesio mediante presiones no muy superiores a 20.000 Pascales, superando la presencia de oxígeno la proporciones estequiométricas de la reacción, a menor espesor de cinta de magnesio, mayor es la proporción de residuo sólido cohesivo a modo de "casquilla" de óxido de magnesio resultante. Este es el producto del paso de magnesio en estado líquido a óxido de magnesio sólido tras reaccionar con el oxígeno. Se trata de una proporción que oscila del 25% al 35% del peso total de óxido de magnesio producido. El restante 65-75% se produce en forma de humo nanométrico. Este humo nanométrico no se puede captar eficientemente mediante procedimientos convencionales, filtros, ciclones, etc.

35 Para resolver este problema es necesario previamente densificarlo, haciendo crecer el tamaño de las partículas, pasando del orden de los nanómetros al orden de las micras, evolucionando así de humo a polvo. Existen reactores conocidos desde décadas pasadas con el fin de densificar el humo nanométrico, empleados en electrónica, farmacia, etc. Se trata de reactores de aerosol, estos son en particular utilizados para la oxidación de metales y posterior crecimiento de estructuras nanométricas. Se trata de tecnología para el crecimiento de películas delgadas.

40 Cuando el humo recorre una trayectoria a través de un tubo de sección de diámetro reducido, las partículas de humo se adaptan al diámetro por el que circulan incrementando su densidad o cuantía por unidad de volumen. A mayor recorrido y menor sección más crece la probabilidad de impacto entre las partículas. Los óxidos de aluminio y magnesio disponen de enlace iónico, que es tendente a hacer crecer agregados o aglomeraciones de partículas, formando enlaces por fuerzas de Van der Waals entre las partículas interaccionantes o impactantes. Es decir, se pasa del comportamiento casi gaseoso de los monómeros y de las partículas nanométricas al comportamiento propio del estado sólido de las partículas micrométricas.

50 Otro dispositivo de densificación de las partículas inicialmente nanométricas consiste en acelerar el flujo del gas portador del humo y por arrastre también de este, haciéndolo pasar por una o varias toberas o estrechamientos. Tras el paso por la tobera, la velocidad crece y las partículas son proyectadas o lanzadas finalmente hacia una superficie fría refrigerada

denominada sustrato, donde precipitan y crecen, en tanto que el gas de arrastre esquivando la superficie. Es la técnica conocida crecimiento por termoforesis.

5 En la presente invención se hace uso de estos dispositivos de densificación y evacuación de humos, de una bomba de succión situada en el depósito de residuos sólidos para incrementar la diferencia de presiones y, de medios de captación de polvo, o bien mediante filtro o bien mediante ciclón o ambos simultáneamente. El oxígeno portador, una vez depurado de residuos sólidos es recirculado a la cámara de combustión por una bomba adicional.

10 El método de agregación y compactación consta de los siguientes pasos:

1. Transporte o arrastre de las partículas sólidas por una corriente fluida gaseosa a presión.

2. Proyección de las partículas a alta velocidad contra un sólido.

15

3. Finalmente al mismo tiempo ocurren:

3.1 Evacuación y filtrado y/o ciclonado del gas de arrastre.

20

3.2 Compactación de las partículas sólidas depositadas sobre el sólido del paso 2.

Por otro lado, el residuo sólido cohesivo resultante de la condensación de la zona líquida de la llama, aquí denominada "cascarilla" o cinta de óxido de magnesio es abrazado o rodeado por la llama invertida, para el caso de un único conducto de evacuación inferior. El lugar donde se forman las partículas nanométricas que constituye el humo, que en el caso de llama invertida se sitúa en la zona inferior de la llama difusa, abraza o envuelve el residuo sólido "cascarilla" que va produciendo el quemado de la cinta de magnesio. La ventaja de quemar cinta es que este residuo, que es por sí mismo una cinta de óxido de magnesio, constituye un sustrato de precipitación y aglomeración del propio humo. Por tanto, la producción de humo se ve drásticamente disminuida por esta causa. No obstante, la succión hacia abajo para crear la llama invertida tracciona la cinta de óxido de magnesio, y dado que en el frente de combustión hay una fase líquida, la tendencia es a desprender la zona de cinta ya quemada e incluso a la caída de gotas líquidas que detienen el avance de la combustión. El método de agregación del humo a la cinta de óxido metálico funciona bien con altas presiones de oxígeno y pequeños espesores de cinta.

Para el caso de un motor destinado al transporte, dada la baja disponibilidad de espacio en el vehículo, el polvo micrométrico una vez captado es densificado mediante compactación mecánica directa aplicando simplemente un prensado en el depósito de decantación. Si bien se han dibujado brazos hidráulicos para impulsar la prensa, el movimiento de prensado puede hacerse por otros dispositivos alternativos: rodillos lisos o vibratorios, émbolos accionados por bielas, etc.

Finalmente, las dificultades indicadas referentes a la evacuación del humo nanométrico quedan muy disminuidas de producirse una combustión por incandescencia y casi sin emisión de humo. Es posible si se quema aluminio en forma de macropartículas de tamaño inferior a las 10 micras y mayor de 0,01 micras. Dejar caer polvo de aluminio desde una embocadura vertical que conecta con la parte superior del quemador, permitiendo que después la corriente ciclónica en forma de torbellino o vórtice de oxígeno, arrastre las partículas una vez quemadas hacia la tobera inferior disminuye drásticamente las cantidades de humo. Las chispas incandescentes aceleran su velocidad cuando entran en combustión. Con una lámina microperforada de espesor entre 0,1 y 5 micras de aluminio o aleación de aluminio y magnesio se previene la impulsión de chispas de recorridos decimétricos hacia las paredes del reactor.

50

Una aleación de litio y aluminio aumenta notablemente la densidad energética del combustible y puede compensar la disminución de la densidad energética por presencia de partículas de hierro.

- 5 - Medio de calentamiento iniciador de la combustión. Se propone en ES2608601 el uso de corrientes inducidas mediante bobinas de inducción eléctrica. Como alternativa, el uso de un pequeño laser de CO₂ permite un calentamiento muy localizado en el extremo de una cinta de magnesio situada exactamente en el centro de la cámara de combustión. A partir de ahí la reacción es autosostenida. Se evita de esta forma que se puedan calentar mediante el empleo del medio de iniciación, zonas no deseadas fuera de la cámara de combustión, al margen que la elevada transmisividad térmica del magnesio pueda calentar la totalidad de la cinta de metal fuera de la cámara de combustión. Por ejemplo el empleo de corrientes inducidas puede calentar partes metálicas tales como superficies reflectantes, conducciones metálicas, etc.
- 10
- 15 Además el láser tiene la ventaja respecto a usar otros medios de iniciación tales como descarga directa mediante electrodos, situar este todo lo alejado que se desee del área de inicio de la combustión. No ocurre así con el calentamiento por inducción, donde la distancia entre la bobina y el metal de magnesio influye opuestamente a la capacidad de calentamiento.

20 **Realización preferente de la invención**

En la figura 1 puede verse el esquema de funcionamiento previsto en lo que respecta a las transferencias de masas y de energía. El aire frío procedente del exterior (0) pasa a través del intercambiador de calor (31) que eleva su temperatura a 400°C. Posteriormente es enviado a través de una conducción (1) al compresor (2) que eleva su presión entre 4,5 y 15 atm (3) dependiendo de la presión final del lado del permeado que se pretende alcanzar. Pasa a través del intercambiador de calor (4) donde capta el calor procedente del motor termofotovoltaico (14) que está cediendo en dicho intercambiador (4) el circuito de refrigeración de las células fotovoltaicas (15)-(16)-(17). El aire eleva entonces su temperatura hasta alcanzar entre 1000 y 1150°C. El aire comprimido y calentado (5) cuando circula camino de la turbina (9) para su expansión ha adquirido condiciones apropiadas a la permeación de oxígeno a través de la membrana cerámica de transporte iónico (6) que encuentra en las paredes de la conducción por donde fluye. Una vez cedido un alto porcentaje de oxígeno, el aire empobrecido en oxígeno, calentado y comprimido (7) llega a la turbina (9), expande moviendo sus alabes, a la vez que esta mueve el eje común (8) con el compresor (2).

25

30

35

A continuación el aire semifrío a valores por encima de 1 atm y 500°C (10), presiones y temperaturas propias del trabajo del intercambiador de calor de un ciclo combinado, pasa por el intercambiador de calor (31), denominado en la literatura técnica, caldera de recuperación, cediendo calor. Finalmente el aire empobrecido en oxígeno, enfriado y a presión atmosférica (11) es expulsado al exterior.

40

Entre tanto, el generador eléctrico (12) de la turbina de aire calentado, acoplado al eje de la turbina, produce potencia eléctrica.

45

El oxígeno calentado (13) atraviesa la membrana, a presión preferentemente inferior a la atmosférica y entra en la cámara de combustión del motor termofotovoltaico. Opcionalmente se puede preparar el dispositivo para trabajar a presión igual a la atmosférica del lado del permeado, haciendo crecer la presión de lado de la alimentación a 15 atm, pero con el inconveniente de disponer de atmosfera explosiva en la cámara de combustión del reactor termofotovoltaico (14). Las células termofotovoltaicas reciben luz de combustión de los metales hasta una concentración máxima de 200 W/cm² y para evitar que se quemen un circuito de refrigeración, preferentemente con fluido de metal líquido (15) refrigera las células y descarga o cede calor en el intercambiador (4). El fluido de refrigeración, una vez enfriado (16) pasa por

50

una electrobomba de impulsión (17) que lo envía de vuelta a las placas de alta transmisividad térmica donde apoyan las células fotovoltaicas de concentración. El fluido de refrigeración debe mantenerse líquido en un amplio rango de temperaturas.

5 Durante la combustión se generan partículas sólidas que es necesario evacuar de la cámara de reacción del motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo el metal preferentemente o bien magnesio, o bien aluminio o aleación de ambos. Para ello, el propio oxígeno que no ha reaccionado actúa de fluido portador o gas de arrastre, transportando las partículas de óxido metálico (18) fuera del reactor. Para poder captar el humo nanométrico es preciso permitir su
10 nucleación a aglomeración. Para ello, en (19), como se describirá con detalle más adelante, elementos designados como (48), (49), (51) y (52), se disponen de medios de concentración del humo y del polvo. Oxígeno y polvo micrométrico (20) son transportados a otra cámara (21) de grandes dimensiones, donde el oxígeno expande por una fuerte caída de presión y el polvo cae por gravedad hacia el fondo, donde es compactado mediante medios mecánicos (53). El
15 oxígeno en la parte alta de la cámara (21), limpio y libre de polvo, es impulsado (22) por una bomba (57), haciéndolo pasar por el intercambiador de calor (31), donde se calienta y posteriormente enlaza con las conducciones de aprovisionamiento de oxígeno a la cámara de combustión del reactor termofotovoltaico, de (32) a (13).

20 Un circuito de turbina de vapor completa la central. El vapor de agua calentado (23) en el intercambiador de calor (31) expande en la turbina de vapor (24), el vapor semienfriado (26) condensa en la cámara de condensación (27) y el agua líquida (28) es hecha pasar por una bomba (29) e impulsada (30) nuevamente al intercambiador de calor (31). El generador (25) produce potencia eléctrica. No se han dibujado circuitos de regeneración del ciclo de vapor, estos son ya conocidos en el estado actual de la técnica, ni tampoco por simplicidad de dibujo,
25 medios de captación de calor en el depósito de expansión de oxígeno (21). Exteriormente a ellos es de aplicación la colocación de placas fotovoltaicas.

30 Para medios de transporte, vehículos terrestres, dada la limitación de espacio, se prescinde del circuito de vapor debido a que este precisa una cámara de condensación que ocupa un gran volumen y el esquema de funcionamiento se organiza como se representa en Figura 2.

35 En lo referente a la captación de humos nanométricos y evacuación del residuo sólido del reactor, en figuras 3, 4 y 5, se presentan dibujos esquemáticos sobre el modo de incorporar el oxígeno al reactor con el fin de arrastrar dicho residuo. Como se indico anteriormente, se trata de confinar el área de combustión mediante un flujo vortex. Es posible hacerlo siempre que la cámara de combustión presente una forma geométrica aproximada a una simetría de revolución. La forma de la cámara determina la forma de la llama. En la parte superior de la
40 figura 3, se representa un alzado y en la inferior una planta. Las bocas de los tubos que abastecen de oxígeno al reactor termofotovoltaico están colocadas con simetría respecto al eje de revolución o con periodicidad angular. Estas embocaduras o acometidas (37) se sitúan en las proximidades de ubicación de las células fotovoltaicas.

45 Se coloca a modo de realización preferente un elipsoide de revolución (36), sobre el que desembarcan en dos planos paralelos, dos grupos de cuatro conductos cada uno, dispuestos, un grupo de cuatro por cada plano paralelo, con periodicidad angular de 90 grados hexagesimales. Estos conductos (37), también dibujados en planta en figura 4, representan tubos por donde penetra el oxígeno en el interior de la cámara. Las células fotovoltaicas se disponen con forma de prisma de planta octogonal (38). Se ha representado en planta la hélice que describe la trayectoria del fluido (39). La llama invertida evacua sus residuos (40) a través
50 la tobera (41). Para incrementar la presión desde la cara superior hacia abajo, se colocan acometiendo la cámara desde la cara superior otros conductos (42) direccionados hacia el centro de la cámara.

5 Conseguir confinar el bulbo incandescente se puede hacer también mediante otras formas geométricas de cámara de reacción: esfera, cilindro, paraboloides de revolución intersectantes, conos intersectantes, etc, si las conducciones acometen la cámara con periodicidad angular respecto al centro de rotación o revolución, la geometría de revolución del bulbo incandescente esta entonces garantizada.

10 En figura (5) se ha representado un esquema que simboliza la presencia de un campo con forma de botella magnética, que corresponde a la presencia de imanes cilíndricos (43), en la embocadura de entrada de combustible metálico (63) y en la desembocadura de residuos sólidos (41). El movimiento de las partículas ionizadas durante la combustión sigue una trayectoria de hélice (45) alrededor de las líneas de flujo de campo magnético (44). El movimiento fluidodinámico se ve reforzado por el confinamiento magnético, al tener las dos trayectorias forma de hélice. El confinamiento de la zona de combustión se realiza por acción conjunta del flujo vórtice (39) aerodinámico y por la actuación de los campos magnéticos que crean una botella magnética. Los imanes o electroimanes (43) están enfrentados y simétricos respecto al centro de combustión y situados sobre el eje de revolución de la cámara de combustión.

20 En figura 6 se esquematiza el dispositivo para la aglomeración y densificación del residuo sólido, miniaturizado para ser implementada en un vehículo. Si bien se han dibujado adyacentes las cámaras (21) y (64), se pueden disponer separadas, una en la parte delantera del coche y la otra en la trasera. La conducción (51) transcurre de una cámara a la otra.

25 Todas las paredes de las cámaras, tanto de combustión como de captación están cubiertas internamente por material antiadherente al polvo, también la conducción (51) y los revestimientos de la bomba (49). La superficie de la cámara (14) debe ser además transparente e inoxidable para proteger a los espejos subyacentes, como ya se indicó en ES2608601.

30 Al salir el gas portador a alta velocidad a través de la tobera (46), el residuo sólido impacta contra el recipiente (48) que actúa a modo de sustrato. Quedan incorporadas a él las partículas más gruesas y precipitan partículas nanométricas quedando adheridas. Mientras la bomba (49) realiza succión manteniendo el recinto (64) a presión inferior a la existente en la cámara de combustión (14). Cuando esto ocurre la válvula (47) se encuentra abierta.

35 Aquel humo nanométrico aun arrastrado por la corriente de oxígeno, pasa a través de la bomba (49) y penetra en la conducción flexible de paredes antiadherentes (51) o conducción de impulsión de la bomba. El polvo nanométrico se densifica a lo largo de la longitud de la conducción (51). Cuanto mayor longitud tenga la conducción (51) y menos diámetro, mayor será el crecimiento del tamaño de partícula transportada, es decir, crece la aglomeración, pero por el contrario mayores serán las pérdidas de carga o pérdidas energéticas del fluido y por consiguiente, pérdida de rendimiento global por consumo eléctrico en las bombas. Existe una fuerte disminución de sección en la boca de salida (52), lo que densifica aun más el humo y lo proyecta al exterior a alta velocidad.

45 El humo, transformado ya en polvo, cuando sale por la boca (52) adquiere tamaño superior a 1 micra, es lanzado contra el sustrato horizontal adyacente de los cajones (55) de la cámara de vacío (21), precipitando sobre él. El extremo (52) del tubo (51) es guiado por un minipunte grúa que responde a movimientos x-y en un plano horizontal, detalle visualizable en figura 8.

50 El polvo micrométrico, aun no suficientemente densificado entra en la cámara (21) donde existe vacío, lo que acentúa el efecto de caída por gravedad. La tendencia a la flotación es muy baja en condiciones de vacío, por esto el polvo tiene predisposición a descender. La bomba (57) mantiene un caudal de salida de oxígeno de la cámara (50) igual al que introduce la bomba

(49), de esta forma se mantienen las condiciones de vacío en la cámara. El fondo del recipiente está compartimentado en recintos independientes (55) divididos por tabicas (54).

5 La figura 8 esquematiza el vertido y prensado del detritus. Una prensa de ascenso y descenso vertical (53) constituida por una placa (66) suspensa en el extremo de un brazo telescópico hidráulico que desliza en el pórtico (67) de un minipunte grúa, que se mueve en planta según direcciones horizontales "x"- "y", va prensando el polvo para compactarlo y hacer decrecer su volumen. Las deslizaderas (68) del puente grúa tienen coaccionado el movimiento vertical "z" pero no el horizontal "x". Idénticamente las deslizaderas de los apoyos de las vigas (67) de los
10 puente grúa tienen permitido el desplazamiento horizontal "y" e coaccionado el desplazamiento vertical "z". El piano horizontal de soporte del minipunte grúa (69) correspondiente al prensado, esta a menor altura o nivel que el que sustenta la boca (52) correspondiente al vertido, designado (70). Un dispositivo de prensado semejante pero de dimensiones mucho menores existe en el recinto (64) para compactar el polvo del cajón (48), no dibujado por
15 simplicidad de dibujo. Un forro plegable o camisa de lona, protege los cilindros hidráulicos de los brazos telescópicos, de la abrasión de la magnesia o alumina, no dibujado.

Los movimientos de los puentes grúa son guiados por computadora.

20 La bomba (57) succiona el oxígeno de la cámara (21) ya casi libre de partículas. Las pocas que estén aun presentes en el gas de evacuación, quedan adheridas al filtro (56). Finalmente el oxígeno libre de partículas (22) es enviado hacia el intercambiador de calor (31).

En figura (7) se esquematiza el modo de vaciado de los depósitos de detritus.

- 25
- El conjunto de los depósitos (55) constituye un solo bloque (58) con libertad de movimiento de ascenso y descenso, tras abrir los cierres estancos designados como (59).
 - 30 - Del mismo modo, el depósito (48) permite el movimiento de deslizamiento horizontal (60) mediante ruedas o deslizaderas, no dibujadas, cuando se abre la compuerta estanca (61).
 - El filtro (56) permite ser sustituido abriendo la compuerta (62).

35 Cuando se realizan las operaciones de sustitución las válvulas (65) y (47) permanecen cerradas para no perder el vacío en el resto del reactor. Una bomba no dibujada coloca a las cámaras (50) y (64), una vez restituidos depósitos vaciados, otra vez en condiciones de presión negativa y ausencia de aire.

40 En figura 9 se muestra el reactor cuando dispone de doble conducto de evacuación, uno en la parte superior de la cámara y otra en la parte inferior, habiendo dos electrobombas neumáticas colocadas de forma simétrica. En este caso, la alimentación de combustible (no dibujada) es lateral.

45 En lo referente al uso de partículas de hierro revestidas de aluminio o aleación aluminio-magnesio, estas entran en el reactor a partir de un conducto (63) situado en posición superior en el reactor. Caen por gravedad y por atracción magnética hacia el conducto (41). Es entonces adecuado prescindir de los imanes (43) y colocar un único imán en la parte inferior
50 del depósito (48) con el fin de direccionar las partículas.

Finalmente, en lo referente al láser de iniciación de la combustión, la luz infrarroja, coherente y monocromática del laser de CO₂ es transportada a la cámara de combustión mediante espejos

reflectantes, y entra en dicha cámara mediante una compuerta que se cierra cuando se inicia la combustión. No dibujado en los esquemas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Dispositivo para abastecimiento de oxígeno a motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque el oxígeno para ser introducido en la cámara de combustión del metal es obtenido permeando una membrana cerámica de transporte iónico a partir de:
- Un compresor que eleva la presión del aire hasta valores entre 4,5 y 15 atm.
 - 10 – Una cámara o conducción de calentamiento que eleva la temperatura del aire hasta alcanzar entre 1000 y 1150°C.

15 Estando ambos elementos, compresor y cámara de calentamiento situados con anterioridad a la membrana cerámica citada, en el trayecto de circulación del aire.

- 20 2. Según reivindicación 1, un dispositivo para abastecimiento de oxígeno a motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque el calor de refrigeración de las células fotovoltaicas de concentración es empleado en calentar el aire que abastece de oxígeno la membrana cerámica de transporte iónico citada en reivindicación 1, mediante un intercambiador de calor y un circuito de refrigeración de las células fotovoltaicas, que introduce y evacua fluido de alta transmisividad térmica tanto en el citado intercambiador de calor como en las células fotovoltaicas siguiendo un circuito cerrado. El intercambiador de calor indicado proporciona la cámara o conducción de calentamiento citada en reivindicación 1.

- 25 3. Según reivindicación 2, un dispositivo para abastecimiento de oxígeno a motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque el aire residual tras ceder oxígeno a la membrana cerámica de transporte iónico indicada anteriormente y por tanto empobrecido de oxígeno, expande moviendo una turbina que a su vez mueve el compresor indicado en reivindicación 1 por disponer de eje común, siendo necesario este para otorgar condiciones de presión adecuadas al paso de oxígeno a través de la membrana cerámica de transporte iónico. El conjunto turbina y compresor mueven un generador de electricidad situado en su mismo eje. La turbina se caracteriza por pertenecer a la tipología de turbinas de combustión externa.

- 35 4. Según reivindicación 3, un dispositivo para abastecimiento de oxígeno y mejora de la eficiencia de motor termofotovoltaico de combustible iónico situado en central energética, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, en el que el calor residual del aire que sale de la turbina de aire calentado es captado por un intercambiador de calor que a su vez alimenta de potencia un circuito de Rankine o de turbina de vapor.

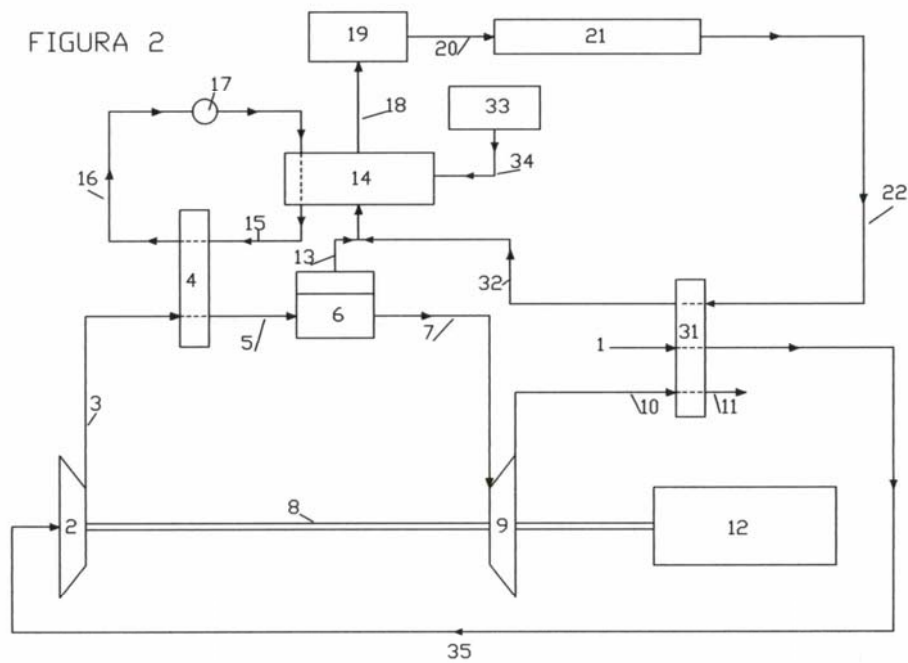
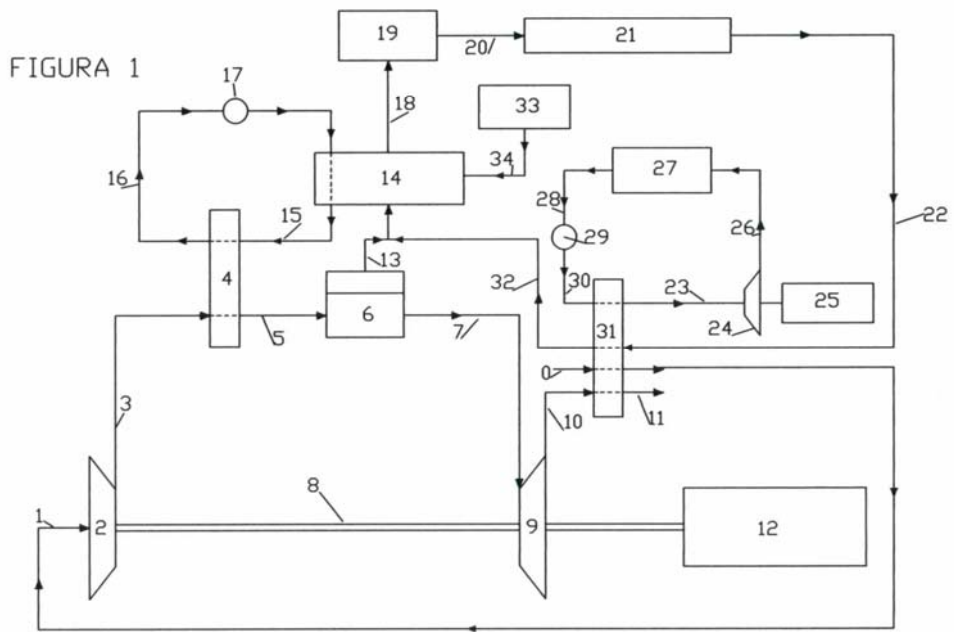
- 40 5. Un dispositivo para abastecimiento de oxígeno y mejora de la eficiencia de motor termofotovoltaico de combustible iónico situado en central energética, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, en el que el calor de refrigeración de las células termofotovoltaicas es empleado en abastecer de energía a un turbocompresor mediante un intercambiador de calor y un circuito de refrigeración de las células fotovoltaicas siendo la generación de oxígeno para abastecimiento del motor termofotovoltaico producida mediante licuación del aire en una central energética.

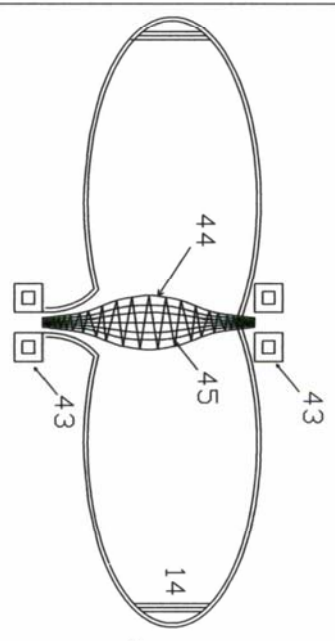
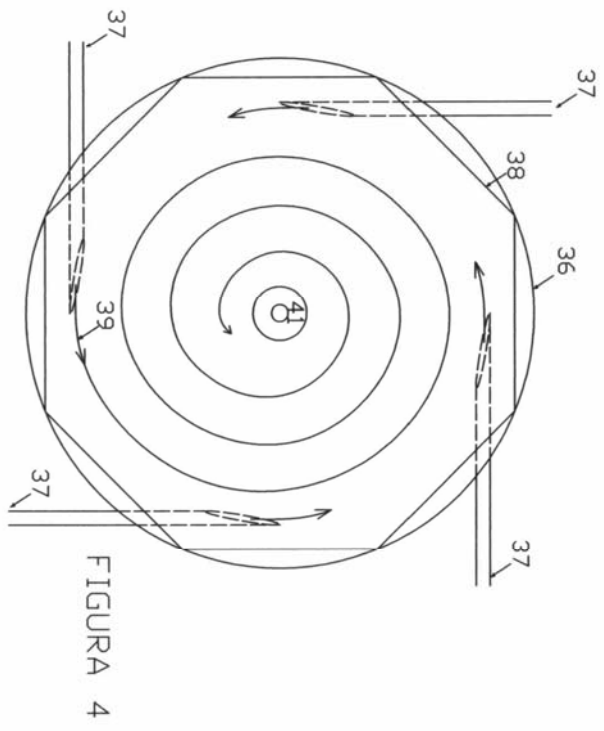
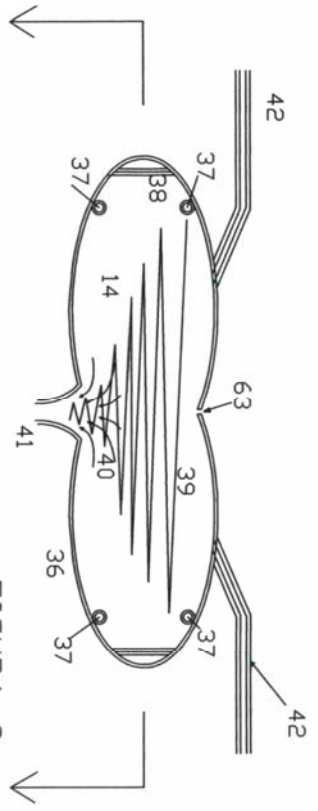
- 50 6. Según reivindicaciones 5, un dispositivo para abastecimiento de oxígeno a motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado por utilizar el calor residual del aire expulsado de la turbina de combustión externa en hacerlo circular por un intercambiador de calor que abastece de energía un ciclo de Rankine en el que es movida una turbina de vapor para producir energía

eléctrica a través de un generador eléctrico acoplado al eje de la turbina de vapor de agua. Dicho intercambiador de calor también precalienta el aire que entra al compresor de la turbina de aire calentado.

- 5 7. Según reivindicación 2, un dispositivo para abastecimiento de oxígeno a motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque el fluido de refrigeración es un metal líquido de alta transmisividad térmica.
- 10 8. Un dispositivo de introducción del oxígeno en la cámara de combustión de motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque las bocas de las conducciones que abastecen de oxígeno al motor termofotovoltaico acometen a su cámara de combustión en las proximidades de las células fotovoltaicas, estando situadas estas bocas con simetría respecto
15 al eje de revolución o con periodicidad angular. El oxígeno describe una trayectoria vórtice hacia la desembocadura de salida de la citada cámara estando esta situada en la zona central e inferior de la cámara.
- 20 9. Según reivindicación 8, un dispositivo de introducción del oxígeno en la cámara de combustión de motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque el confinamiento del bulbo incandescente o volumen de combustión es materializado a través de la acción conjunta de flujo de oxígeno vórtice y botella magnética creada por imanes o electroimanes cilíndricos enfrentados y simétricos respecto al centro de combustión y situados
25 en el eje de revolución de la cámara de combustión.
10. Método para agregación y compactación de residuos sólidos de motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio, o magnesio o aleación de ambos, que consta de los siguientes pasos:
30
- 1º.- Transporte o arrastre de partículas sólidas por una corriente fluida gaseosa a presión.
 - 35 2º.- Proyección de las partículas a alta velocidad contra un sólido.
 - 3º.- Evacuación y filtrado y/o ciclonado del gas de arrastre.
 - 40 4º.- Compactación de las partículas depositadas sobre el sólido del paso 2º.
- 40 11. Según reivindicación 10, un dispositivo de evacuación del oxígeno y de residuo sólido en la cámara de combustión de motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque una bomba de aspiración (49) situada en la cámara contigua e inferior (64) a la cámara de combustión (14) crea una diferencia de presión respecto a la existente en la cámara de combustión que motiva
45 el arrastre por el oxígeno de partículas sólidas de óxidos metálicos (40) de la cámara de combustión (14) hacia la cámara contigua e inferior. Un plato o superficie (48) obstaculiza el avance de las partículas sólidas permitiendo su depósito y precipitación sobre sí mismo.
- 50 12. Según reivindicación 10 y 11, un dispositivo de captación de partículas sólidas para motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque la bomba (49) impulsa la corriente de oxígeno y humo a través de una conducción flexible (51) de paredes de material antiadherente, terminando dicha conducción en un estrechamiento o disminución de sección (52), vertiendo la corriente a una cámara de vacío (21).

- 5 13. Según reivindicación 10,11 y 12, un dispositivo de captación de partículas sólidas para motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque la cámara de vacío (21) está compartimentada y dotada de minipuentes grúa que disponen de brazos telescópicos deslizables a través de los pórticos (67) de los minipuentes grúa que permiten el vertido y prensado en compartimentos de agregación de polvo. Así mismo, la cámara está dotada una bomba de aspiración (57) con el fin de mantener condiciones de vacío y de un filtro (56) en la conducción de impulsión de la bomba. La bomba impulsa el oxígeno (22) a un intercambiador de calor (31), cerrando el circuito con su incorporación nuevamente a la cámara de combustión del reactor termofotovoltaico (14).
- 10
- 15 14. Según reivindicación 11 y 12, un dispositivo de captación de partículas sólidas para motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles o aluminio o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque los recipientes de depósito del polvo densificado (48) y (58) pueden extraerse y reponerse vacíos mediante la apertura de compuertas (61), (62) y cierres herméticos (59).
- 20 15. Dispositivo para iniciar la combustión en motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado porque un láser de CO₂ proyecta radiación infrarroja desde la periferia de la cámara de combustión sobre el metal a quemar situado en el centro de la cámara de combustión hasta colocarlo a temperatura de combustión, siendo transportada la luz desde el láser a la cámara de combustión mediante espejos reflectantes.
- 25 16. Según reivindicación 9, dispositivo de combustión en motor termofotovoltaico de combustible metálico, siendo los metales combustibles aluminio, o magnesio o aleación de ambos, caracterizado por realizar la combustión de hilo metálico o lamina metálica con la llama invertida y confinada abrazando el residuo sólido dotado de cohesión a modo de hilo o cinta de óxido de magnesio resultante de la combustión.
- 30 17. Dispositivo para motor termofotovoltaico de combustible metálico, consistente en presentarse el combustible en forma de polvo de aluminio y magnesio de tamaño inferior a 10 micras y mayores de 0,01 micras, o una lámina microperforada de espesor inferior a 5 micras y mayor de 0,1 micra, de magnesio o aluminio o aleación de ambos.
- 35 18. Dispositivo para motor termofotovoltaico de combustible metálico, consistente en presentarse el combustible en forma de granos de hierro micrométricos dopados de cromo o zinc, embutidos en una matriz de aluminio, o magnesio o aleación de ambos, a modo de cinta o lámina. O bien partículas micrométricas de aluminio, o magnesio o aleación de ambos rodeando un núcleo o zona interna de hierro dopado de cromo y/o zinc, a modo de polvo. Para uso en una central energética se puede prescindir del dopaje de cromo y/o zinc.
- 40 19. Dispositivo para motor termofotovoltaico de combustible metálico, consistente en presentar el combustible de aluminio dopando este con partículas de litio.
- 45





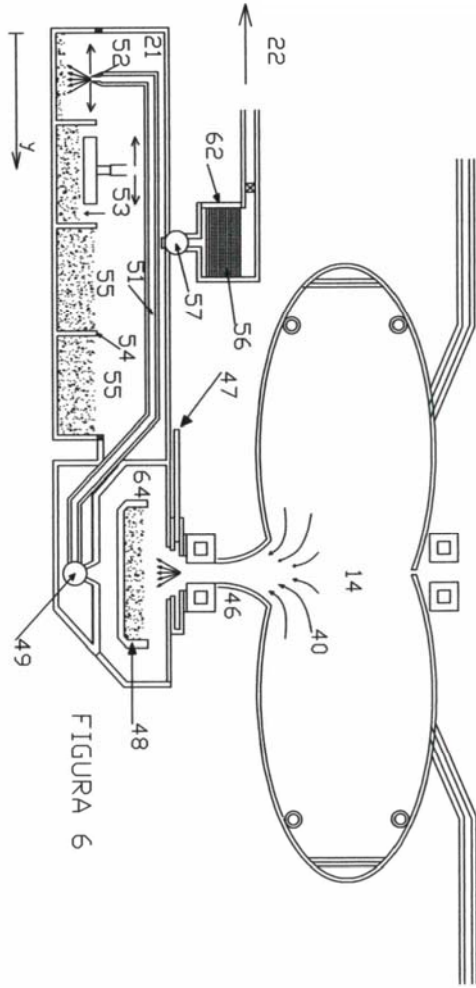


FIGURA 6

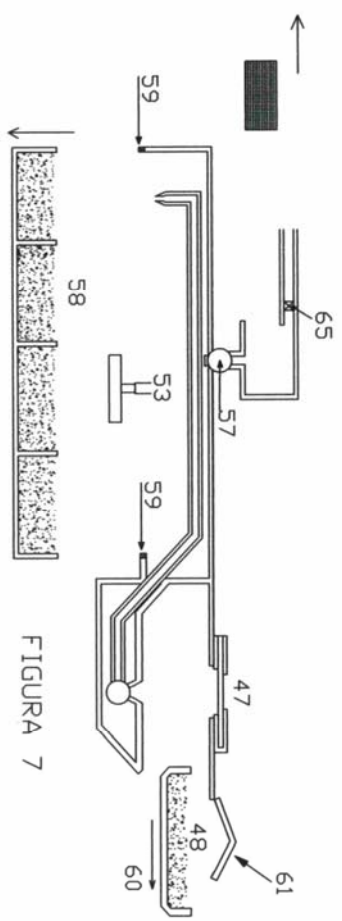


FIGURA 7

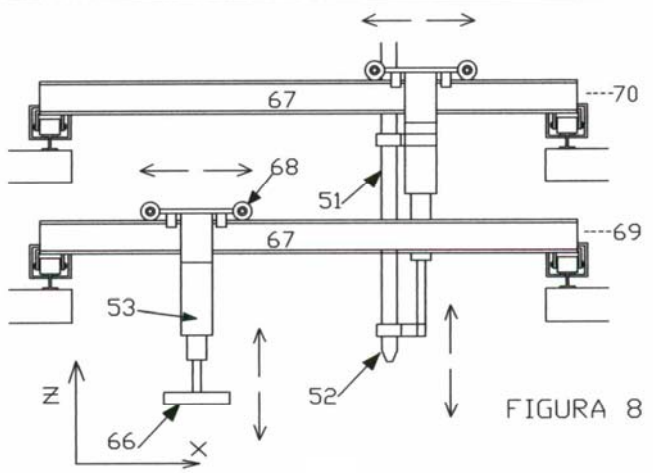


FIGURA 8

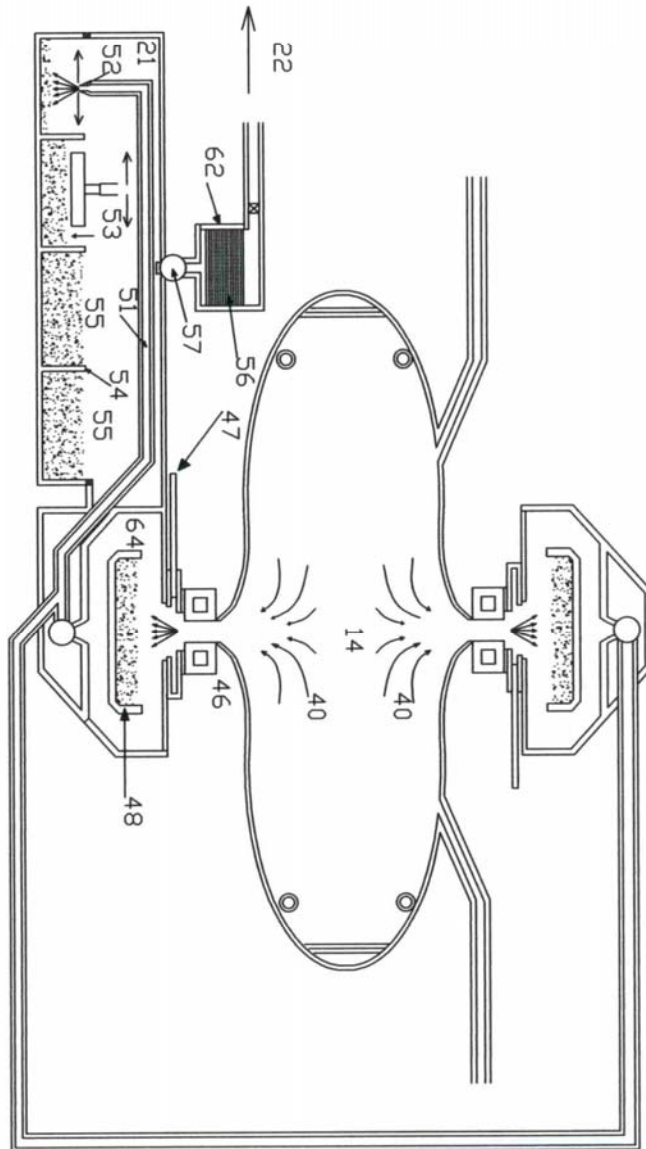


FIGURA 9



②① N.º solicitud: 201700570

②② Fecha de presentación de la solicitud: 17.04.2017

③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: Ver Hoja Adicional

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
X	US 5035727 A (CHEN MICHAEL S) 30/07/1991, Todo el documento.	1
Y		2-4, 7
Y	ES 2608601 A1 (VALLS GUIRADO JUAN FRANCISCO et al.) 12/04/2017, Todo el documento.	2-4, 7
X	US 4545787 A (HEGARTY WILLIAM P) 08/10/1985, Todo el documento.	1
A	US 2011027673 A1 (IGNATIEV ALEX et al.) 03/02/2011, Todo el documento.	1-4, 7

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

para todas las reivindicaciones

para las reivindicaciones nº: 1-4, 7

Fecha de realización del informe
06.03.2018

Examinador
M. P. Prytz González

Página
1/2

CLASIFICACIÓN OBJETO DE LA SOLICITUD

C01B13/02 (2006.01)

B01D53/22 (2006.01)

F02B45/08 (2006.01)

H02S10/30 (2014.01)

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

C01B, B01D, F02B, H02S

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC