

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 733 083**

51 Int. Cl.:

F23D 1/00	(2006.01) F02C 3/34	(2006.01)
F23M 5/08	(2006.01) F23M 5/00	(2006.01)
F23L 7/00	(2006.01) F22B 35/12	(2006.01)
F23J 15/02	(2006.01) F02C 3/22	(2006.01)
F25J 3/04	(2006.01) F23R 3/00	(2006.01)
F01K 25/10	(2006.01) F23R 3/06	(2006.01)
F02G 5/02	(2006.01)	
F02C 1/00	(2006.01)	
F02C 3/20	(2006.01)	
F01K 13/00	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.02.2010 PCT/US2010/025599**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.09.2010 WO10099452**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.02.2010 E 10707169 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.06.2019 EP 2411736**

54 Título: **Aparato y método para quemar un combustible a alta presión y alta temperatura, y sistema y dispositivo asociados**

30 Prioridad:

26.02.2009 US 155755 P
28.01.2010 US 299272 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
27.11.2019

73 Titular/es:

8 RIVERS CAPITAL, LLC (100.0%)
406 Blackwell Street, 4th Floor
Durham, North Carolina 27701, US

72 Inventor/es:

PALMER, MILES;
ALLAM, RODNEY y
BROWN, JR., GLENN

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 733 083 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 y método para quemar un combustible a alta presión y alta temperatura, y sistema y dispositivo asociados

5 **Antecedentes de la divulgación****Campo de la divulgación**

10 La presente divulgación se refiere a aparatos y métodos para la combustión de un combustible carbonáceo con oxígeno a alta presión y alta temperatura para producir productos de combustión que se oxidan con un exceso de oxígeno, o que contienen componentes reductores y tienen un contenido de oxígeno nulo. Una aplicación particular sería para generación de energía, tal como electricidad, a través del uso de un fluido de trabajo para transferir energía generada a través de la combustión de alta eficacia de un combustible. En particular, tales aparatos y métodos usan dióxido de carbono supercrítico como fluido de trabajo. En otro aspecto, los aparatos y métodos pueden usarse para 15 generar un gas que contiene hidrógeno y/o monóxido de carbono.

Descripción de la técnica relacionada

20 Se estima que los combustibles fósiles continuarán proporcionando la mayor parte de los requisitos de energía eléctrica del mundo durante los próximos 100 años, mientras que se desarrollan y se despliegan las fuentes de energía sin carbono. Métodos conocidos de generación de energía a través de la combustión de combustibles fósiles y/o biomasa adecuada, sin embargo, están acosados por el aumento de los costes de la energía y el aumento de la producción de dióxido de carbono (CO₂) y otras emisiones. El calentamiento global se considera cada vez más una consecuencia potencialmente catastrófica del aumento de las emisiones de carbono de los países desarrollados y en 25 desarrollo. La energía solar y eólica no parecen poder reemplazar la combustión de combustibles fósiles a corto plazo, y la energía nuclear tiene peligros asociados con la proliferación y la eliminación de desechos nucleares.

30 Arreglos convencionales para la producción de energía a partir de combustibles fósiles o de biomasa adecuada ahora se están cargando crecientemente con requisitos para la captura de CO₂ a alta presión para la entrega a los sitios de secuestro. Este requisito está resultando difícil de cumplir, sin embargo, ya que la tecnología actual solo proporciona eficacias térmicas muy bajas incluso para los mejores diseños para la captura de CO₂. Por otra parte, los costes de capital para lograr la captura de CO₂ son altos y, por tanto, pueden resultar en costes de electricidad significativamente más altos en comparación con los sistemas que emiten CO₂ a la atmósfera. En consecuencia, existe una necesidad cada vez mayor en la técnica de aparatos y métodos para generación de energía de alta eficacia con una reducción 35 en la emisión de CO₂ y/o una mayor facilidad de captura y retención del CO₂ producido.

40 La combustión con oxicombustible de combustibles carbonáceos implica la separación de oxígeno sustancialmente puro del aire (o el suministro de dicho oxígeno sustancialmente puro para uso en el proceso de combustión) y el uso del oxígeno como medio de combustión para producir productos de combustión que están sustancialmente libres de nitrógeno y que comprenden dióxido de carbono y vapor de agua. Las cámaras de combustión de aire y oxicombustible de la técnica actual funcionan a temperaturas y presiones limitadas para evitar daños por exceso de temperatura en las paredes del quemador y/o en otros componentes del sistema, tales como palas de turbina. La limitación de temperatura y/o presión de funcionamiento puede, en algunos casos, prolongar indeseablemente el proceso de combustión y/o requerir un volumen de combustión relativamente grande. Además, el proceso de combustión, el 45 diseño de la combustión y/o las disposiciones de procesamiento de los gases de escape posteriores también pueden depender indeseablemente del tipo de combustible utilizado para el proceso. Además, debido a los grandes volúmenes de gases de combustión aplicados a los sistemas de calderas convencionales en la técnica actual, y el escape de estos gases a la atmósfera, los métodos actuales para retirar los contaminantes de gases de escape de los humos y los sistemas de combustión propuestos de oxicombustible dependen en gran medida del diseño detallado de la planta y del tipo exacto de combustible quemado en la planta. Cada tipo de combustible tiene una composición química contrastada y una cantidad de contaminantes. Por tanto, la técnica actual requiere indeseablemente que los sistemas de depuración de gases de escape o las modificaciones de combustión con oxicombustible para cada planta estén diseñados específicamente para adaptarse a un tipo particular de combustible con una composición química particular. 50

55 La técnica actual del carbón, a modo de ejemplo, utiliza generalmente una cámara de combustión única muy grande equipada con paredes tubulares verticales o paredes tubulares configuradas helicoidalmente en las que se genera vapor a alta presión y se sobrecalienta en una sección separada del sobrecalentador. La cámara de combustión de gran tamaño puede experimentar una pérdida de calor considerable, y en general está sujeta a daños, así como construcción de los quemadores, superficies de transferencia de calor radiante y convectiva y otros componentes, de cenizas de carbón, escoria y componentes corrosivos, tales como SO_x, HCl, NO_x, etc., en los gases de combustión en función del carbón particular utilizado. Tales deficiencias ejemplares pueden requerir que toda la planta se apague para reparar o reemplazar partes dañadas o corroídas y/u otros componentes a intervalos periódicos, y por tanto puede resultar en una menor disponibilidad de la planta y dificultades indeseables en la compensación de la pérdida de 60 producción durante los tiempos de apagado.

65 El documento US 2007/0274876 describe sistemas y métodos para combustión controlada y descomposición de

contaminantes gaseosos al tiempo que reduce la deposición de productos de reacción no deseados desde los sistemas de tratamiento. Los sistemas incluyen un nuevo diseño de cámara térmica de reacción que tiene anillos cerámicos reticulados apilados a través de los cuales el fluido, por ejemplo, gases, puede dirigirse para formar una capa límite a lo largo de la pared interior de la cámara térmica de reacción, reduciendo así la acumulación de materia particulada en el mismo. Los sistemas incluyen además la introducción de fluidos de chorro piloto central para alterar la aerodinámica del interior de la cámara de reacción térmica.

Los documentos WO 2005/114050 A1, EP 1 193 443 A2 y US 2004/0219079 A1 describen otros sistemas de combustión.

Sumario de la divulgación

Lo anterior y otras necesidades se abordan en la presente divulgación que, de acuerdo con un aspecto particular de la invención, proporciona un aparato de combustión de acuerdo con la reivindicación 1.

La presente divulgación también proporciona un método de combustión de acuerdo con la reivindicación 14.

En otro aspecto más, la presente divulgación proporciona un sistema de generación de energía según la reivindicación 8.

En otro aspecto más, el aparato separador del sistema de generación de energía de la reivindicación 8 comprende una pluralidad de dispositivos separadores centrífugos dispuestos en serie, incluyendo un dispositivo separador centrífugo de entrada configurado para recibir el producto de combustión y elementos incombustibles licuados asociados a él y un dispositivo separador centrífugo de salida configurado para expulsar el producto de combustión que tiene los elementos incombustibles licuados sustancialmente retirados del mismo. Cada dispositivo separador centrífugo tiene una pluralidad de elementos separadores centrífugos dispuestos operativamente en paralelo, en donde cada elemento de separación centrífuga está configurado para retirar al menos una parte de los elementos incombustibles licuados del producto de combustión y para dirigir la al menos una parte de los elementos incombustibles licuados a un sumidero. Un alojamiento que contiene presión está configurado para alojar los dispositivos separadores centrífugos y el sumidero.

En otro aspecto, la combustión de oxcombustible de los combustibles carbonáceos (y/o combustibles hidrocarbonáceos) también puede implicar la separación de oxígeno sustancialmente puro del aire (o proporcionar de otro modo dicho oxígeno sustancialmente puro) y su uso como en el proceso de combustión para producir productos de combustión que están sustancialmente libres de nitrógeno y que comprenden dióxido de carbono y vapor de agua. El producto de combustión rico en dióxido de carbono (luego del enfriamiento y la condensación del agua) puede estar disponible para su posterior uso comercial, para mejorar la recuperación de petróleo o mejorar la producción o eliminación de gas natural en un sitio de secuestro geológico adecuado (después de compresión y purificación). El funcionamiento de un sistema de producción de energía de oxcombustible a alta presión también puede permitir que se produzca el dióxido de carbono derivado del combustible a una alta presión, resultando en ahorros de energía al reducir o eliminar la necesidad de presurizar el dióxido de carbono. Además, la operación a alta presión puede permitir que los productos de combustión purificados se usen directamente en un ciclo de energía, cuando se mezclan con un fluido de trabajo calentado adecuado tal como CO₂ o vapor. El funcionamiento del sistema de energía a alta presión también puede llevar a una reducción del caudal volumétrico del fluido en el ciclo de energía, resultando en equipos más pequeños y menores costes de capital. La cámara de combustión de oxcombustible a alta presión con provisión para control de la temperatura es otro aspecto importante. El ciclo de un fluido adecuado tal como gas del producto de combustión o dióxido de carbono o agua o vapor líquido (como el de una corriente de reciclaje) a través de una pared protegida por transpiración y protegida de la cámara/espacio de combustión también puede servir para controlar la temperatura de combustión. El flujo del fluido de transpiración a través de las paredes de la cámara de combustión también puede servir para eliminar el daño y/o la acumulación en las paredes de la cámara debido al calor, o al efecto de impacto de cenizas o escorias líquidas. Por tanto, se proporciona una cámara de combustión eficaz a alta temperatura y alta presión eficiente que se puede adaptar para quemar una variedad de gases, combustibles líquidos o sólidos o mezclas de combustibles para cumplir diversos requisitos como parte de un sistema de energía que puede funcionar con eficacias significativamente mayores y menores costes de capital que la tecnología actual. En algunos casos, la cámara de combustión puede operarse para producir un producto de combustión que comprende hidrógeno y monóxido de carbono para que esté disponible para los requisitos posteriores, aparte de la producción de energía.

En otro aspecto adicional más, la presente descripción proporciona generalmente métodos y aparatos asociados con una alta presión, alta temperatura, alta eficacia, transpiración protegida contra fluidos, cámara de combustión de oxcombustible para uso, por ejemplo, en generación de energía, tal como en combinación con un ciclo de energía que usa CO₂ y/o H₂O como fluido de trabajo. En tal aplicación, la cámara de combustión puede funcionar en modo oxidante, por lo que los productos de combustión producidos contienen una concentración de oxígeno en el intervalo entre aproximadamente 500 ppm y aproximadamente 3 % molar, y una concentración de monóxido de carbono por debajo de aproximadamente 50 ppm, preferentemente por debajo de aproximadamente 10 ppm molar. En otro aspecto, la cámara de combustión puede operarse en modo reductor por lo que los productos de combustión producidos de este modo tienen concentración de oxígeno casi cero y los productos de combustión contienen una

concentración de CO y H₂. Operaciones modo reductor puede configurarse para maximizar la producción de H₂ y CO, y para reducir al mínimo el consumo de O₂. El modo de operación reductor puede ser beneficioso no solo para la producción de energía, sino también para la producción de gas de síntesis H₂ o H₂ + CO. En aspectos particulares, la presión de funcionamiento puede estar en el intervalo entre aproximadamente 40 bar y aproximadamente 500 bar, y preferentemente al menos 80 bar, y la temperatura del producto de combustión puede estar generalmente en el intervalo de entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 3500 °C.

En aspectos relacionados con producción de energía, una parte de un fluido de trabajo se introduce en la cámara de combustión, junto con el combustible y oxidante (es decir, oxígeno enriquecido), para combustión, de modo que se produce una corriente de fluido a alta presión y alta temperatura (producto de combustión) que comprende el fluido de trabajo y productos de combustión. El fluido de trabajo puede introducirse a través de las paredes protegidas contra la transpiración de la cámara de combustión y/o mediante puntos de inyección adicionales alrededor de la cámara de combustión. El fluido de trabajo, siguiendo el proceso de combustión y mezclado con los productos de combustión a través de transpiración, puede tener una temperatura en un intervalo adecuado (es decir, lo suficientemente baja) para su introducción directamente en un dispositivo de generación de energía, tal como una turbina. En tales casos, la cantidad total de fluido de trabajo introducida en la cámara de combustión, como diluyente para los productos de combustión, puede ajustarse para proporcionar una temperatura de salida para la corriente total de fluido de trabajo que sale de la cámara de combustión que es adecuada para la temperatura de funcionamiento de entrada y la presión de la turbina de energía. Ventajosamente, la corriente de fluido puede mantenerse a una presión relativamente alta durante la expansión en la turbina, de modo que la relación de presión a través de la turbina (es decir, la relación de presión en la entrada a la presión en la salida de la turbina) sea menor que aproximadamente 12. La corriente de fluido también puede procesarse para separar los componentes de la corriente de fluido, en donde tal procesamiento puede incluir pasar la corriente de fluido a través de un intercambiador de calor. En particular, el fluido de trabajo expandido (al menos una parte del cual puede reciclarse de la corriente de fluido) puede pasar a través del mismo intercambiador de calor para calentar el fluido de trabajo a alta presión antes de la introducción del mismo en la cámara de combustión. En determinados aspectos, la divulgación proporciona una cámara de combustión de oxcombustible a alta presión para sistemas de producción de energía que pueden producir energía a alta eficacia con un bajo coste de capital y también pueden producir CO₂ sustancialmente puro a presión de tubería para uso o secuestro comercial. El CO₂ también puede reciclarse en el sistema de producción de energía.

En otros aspectos, los sistemas y métodos de combustión descritos pueden configurarse para usar una amplia variedad de fuentes de combustible. Por ejemplo, la cámara de combustión de alta eficacia de acuerdo con la divulgación puede usar combustibles gaseosos (por ejemplo, gas natural o gases derivados del carbón), líquidos (por ejemplo, hidrocarburos, betún) y/o sólidos (por ejemplo, carbón, lignito, coque de petróleo). Pueden usarse incluso otros combustibles, como se describe en este documento, tales como algas, biomasa, o cualquier otro material orgánico combustible adecuado.

En otros aspectos, los métodos y sistemas de combustión de la divulgación, cuando se combinan con sistemas de energía con captura de CO₂ a la presión de tubería, pueden ser útiles porque el sistema combinado puede exceder la mejor eficacia de las estaciones de energía de ciclo de vapor de carbón actuales que no proporcionan captura de CO₂. Tales centrales eléctricas actuales pueden proporcionar, como máximo, por ejemplo, aproximadamente 45 % de eficacia (LHV) con una presión de condensador de 1,7 pulgadas de mercurio usando carbón bituminoso. Los aspectos del sistema actual pueden exceder tal eficacia, por ejemplo, mientras se suministra CO₂ a 200 bar de presión.

En otro aspecto más, la presente divulgación puede proporcionar la capacidad de reducir el tamaño físico y el coste de capital de un sistema de generación de energía en comparación con las tecnologías actuales que utilizan un combustible similar. Por tanto, los métodos y sistemas de la presente divulgación pueden contribuir o facilitar de otra manera costes de construcción significativamente reducidos asociados con los sistemas de producción de energía, y la eficacia relativamente alta de ciertas combinaciones de sistemas puede llevar a costes reducidos de electricidad o producción de energía, así como uso reducido de combustibles fósiles.

En un aspecto particular, la presente divulgación se refiere a un método de generación de energía que incorpora el uso de un fluido de trabajo, tal como CO₂ y/o H₂O. En algunos aspectos, el método puede comprender la introducción de CO₂ comprimido calentado y/o vapor sobrecalentado en una cámara de combustión. Preferentemente, el CO₂ y/o vapor pueden introducirse en una cámara de combustión que funciona a una presión de al menos aproximadamente 80 bar. El CO₂ y/o H₂O pueden introducirse en la cámara de combustión en dos o más ubicaciones separadas. Parte del CO₂ y/o H₂O se puede mezclar con el O₂ y el combustible sólido, líquido, gaseoso o supercrítico para que la temperatura de combustión en la cámara de combustión se pueda determinar en función del valor de diseño deseado para la cámara de combustión. El resto del CO₂ calentado y/o el vapor sobrecalentado se introducen luego en la cámara de combustión para enfriar los productos de la combustión por mezcla directa de los mismos para lograr una temperatura deseada de la corriente del fluido de salida total de aproximadamente 500 °C, que puede requerirse por el sistema de producción de energía. En tales condiciones, el CO₂ y/o H₂O pueden mezclarse con gases de combustión que resultan de la combustión del combustible, con un oxidante tal como el oxígeno con una pureza superior al 85 % molar, para producir una corriente de fluido que comprende CO₂ y/o H₂O a la temperatura deseada. En aspectos particulares, la temperatura de la corriente del fluido de salida puede estar en el intervalo entre aproximadamente 1000 °C y aproximadamente 1600 °C. En otros aspectos, la corriente de fluido de salida puede expandirse a través de

una turbina para generar energía (es decir, generar electricidad a través de energía impartida a la turbina).

En determinados aspectos, puede ser útil calentar el fluido de trabajo a una temperatura aún mayor antes de la introducción en la cámara de combustión. Por ejemplo, el CO₂ y/o H₂O pueden calentarse a una temperatura de al menos aproximadamente 700 °C antes de la introducción en la cámara de combustión. En otros aspectos, el CO₂ y/o H₂O pueden calentarse a una temperatura entre aproximadamente 700 °C y aproximadamente 1000 °C antes de la introducción en la cámara de combustión. En algunos aspectos, tal calentamiento puede realizarse usando una disposición de intercambiador de calor. Como se describe posteriormente en este documento, puede usarse el mismo intercambiador de calor para enfriar la corriente de fluido que sale de la turbina de generación de energía.

De forma similar, la cámara de combustión puede operarse de manera útil a una presión más alta para producir un fluido de trabajo capaz de lograr una eficacia muy alta en un ciclo de producción de energía. Por ejemplo, la cámara de combustión y la parte introducida del fluido de trabajo CO₂ y/o H₂O pueden presurizarse hasta al menos aproximadamente 200 bar. En otros aspectos, la presión puede estar entre aproximadamente 200 bar y aproximadamente 500 bar.

En determinados aspectos, la parte del fluido de trabajo introducido en la cámara de combustión puede ser una corriente reciclada de CO₂ sustancialmente puro, de modo que cualquier contenido de agua en el fluido de trabajo se origine en el combustible. Por supuesto, el CO₂ de una fuente externa podría usarse como fluido de trabajo.

La corriente de fluido que sale de la cámara de combustión puede comprender el CO₂ y/o H₂O fluido así como uno o más de otros componentes de trabajo, tales como productos de combustión derivados del combustible o el proceso de combustión. La corriente de fluido que sale puede contener componentes tales como H₂O, SO₂, SO₃, NO, NO₂, Hg, HCl más oxígeno en exceso en el intervalo entre aproximadamente 300 ppm y aproximadamente 3 % molar. En otros aspectos, la corriente de fluido que sale puede contener fracciones al menos variables de H₂ y CO y tener contenido de O₂ sustancialmente cero.

La cámara de combustión puede comprender una disposición de boquilla de entrada a través de la cual se introducen el combustible más el oxígeno más una parte del fluido de trabajo en la cámara de combustión y donde se inicia la combustión y se lleva a cabo de manera estable, en modo oxidante o reductor, sobre un intervalo de flujo de combustible deseado, que es habitualmente entre aproximadamente 50 % y aproximadamente 100 % de la capacidad de diseño. En determinados aspectos, la presión de trabajo puede estar por encima de aproximadamente 150 bar y, a esta presión, el oxígeno puede introducirse como una mezcla de una sola fase con CO₂ y un combustible tal como gas natural, o un líquido tal como un destilado de hidrocarburo, para lograr una temperatura de llama adiabática requerida. Si el CO₂ a esta presión alta está a una temperatura inferior a aproximadamente 100 °C, la densidad del CO₂ es lo suficientemente alta para usarse para soportar una fracción significativa de carbón en polvo para formar una suspensión, en donde la suspensión puede bombearse luego por una bomba de alta presión a la presión de combustión requerida y flujo en una tubería, y a un punto de mezcla donde se añade la mezcla supercrítica de CO₂ y oxígeno para conseguir una temperatura adiabática de llama requerida en la cámara de combustión. El combustible premezclado, diluyente CO₂ y oxígeno deberían estar convenientemente a una temperatura combinada que esté por debajo de la temperatura de autoignición del sistema. La temperatura de la corriente de CO₂ se puede ajustar para cumplir con este criterio. La boquilla de entrada puede comprender una serie de orificios en una placa de inyección, cada uno de los cuales producirá un chorro fino de fluido que resultará en una transferencia de calor rápida y combustión, produciendo así una zona de combustión estable. Los tamaños de los orificios pueden estar en el intervalo de entre aproximadamente 0,5 mm y aproximadamente 3 mm de diámetro.

Las paredes de la cámara de combustión pueden estar revestidas con una capa de material poroso a través del que se dirige y fluye una segunda parte del CO₂ y/o H₂O corriente de diluyente. El flujo de fluido a través de esta capa porosa de transpiración, y opcionalmente a través de disposiciones adicionales, está configurado para alcanzar la temperatura de salida de la corriente de fluido de salida total requerida de entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 2000 °C. Este flujo también puede servir para enfriar el miembro de transpiración a una temperatura por debajo de la temperatura operativa máxima permitida del material que forma el miembro de transpiración. La sustancia de transpiración, tal como la corriente de CO₂ y/o diluyente H₂O, también puede servir para evitar el impacto de cualquier líquido o material de ceniza sólida u otros contaminantes en el combustible que pueda corroerse, obstruir, o daño de otro modo las paredes. En tales casos, puede ser deseable usar un material para el miembro de transpiración con una conductividad térmica razonable (baja) de modo que el calor radiante incidente pueda conducirse radialmente hacia afuera a través del miembro de transpiración poroso y después interceptarse mediante transferencia de calor por convección desde las superficies de la estructura de capa porosa al fluido que pasa radialmente hacia el interior a través de la capa de transpiración. Dicha configuración puede permitir que la parte subsiguiente de la corriente de diluyente dirigida a través del miembro de transpiración se caliente a una temperatura en el intervalo entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 1000 °C, mientras se mantiene simultáneamente la temperatura del miembro de transpiración poroso dentro del intervalo de diseño del material utilizado para ello. Los materiales adecuados para el miembro de transpiración poroso pueden incluir, por ejemplo, cerámica porosa, esteras de fibra de metal refractario, secciones cilíndricas perforadas, y/o capas de metal sinterizado o polvos de metal sinterizado. Una segunda función del miembro de transpiración puede ser garantizar un flujo de fluido de transpiración de diluyentes sustancialmente regular radialmente hacia adentro, así como longitudinalmente a lo largo de la cámara de combustión,

para conseguir una buena mezcla entre la segunda parte de la corriente de diluyente y el producto de combustión al tiempo que se promueve un flujo axial uniforme a lo largo de la longitud de la cámara de combustión. Una tercera función del miembro de transpiración es lograr una velocidad de fluido diluyente radialmente hacia adentro para proporcionar un amortiguador para o interceptar partículas sólidas y/o líquidas de ceniza u otros contaminantes dentro de los productos de combustión para que no afecten la superficie de la capa de transpiración y causen obstrucciones u otros daños. Tal factor solo puede ser importante, por ejemplo, cuando se quema un combustible, tal como carbón, que tiene un residuo inerte no combustible incombustible residual. La pared interna del recipiente a presión de la cámara de combustión que rodea el miembro de transpiración también puede aislarse para aislar la segunda corriente de diluyente a alta temperatura dentro de la cámara de combustión.

El carbón u otros combustibles con un residuo incombustible pueden introducirse en la cámara de combustión como una suspensión en agua o, preferentemente, una suspensión en CO₂ líquido. La parte líquida de la suspensión deja el sistema de alimentación a una temperatura cercana a la temperatura ambiente y a la presión más baja en el ciclo de alimentación. La diferencia de entalpía por mol entre la condición de entrada de la suspensión y la condición de salida del gas, en tales casos, puede ser de aproximadamente 10 kcal/g-mol para H₂O y aproximadamente 2,78 kcal/g-mol para CO₂, dando una eficacia significativamente mayor para un fluido de suspensión de CO₂. Se requiere poca energía adicional en un ciclo de alimentación de alta presión con CO₂ como fluido de trabajo para producir CO₂ líquido a temperaturas en el intervalo entre aproximadamente -30 °C y aproximadamente 10 °C.

La temperatura de combustión de combustibles, generalmente sólidos tales como carbón, que producen residuos incombustibles, está preferentemente en el intervalo entre aproximadamente 1800 °C y aproximadamente 3000 °C. En tales condiciones, la ceniza u otros contaminantes estarán en forma de gotitas de escoria líquida que se originan de las partículas de combustible en la alimentación de combustible de suspensión. Estas gotas de escoria líquida deben retirarse de manera eficaz para evitar la contaminación de la turbina de potencia u otros procesos posteriores. La retirada se puede conseguir, por ejemplo, utilizando separadores ciclónicos, separadores de impacto, o lechos de filtros granulares de refacciones graduadas dispuestos en configuración anular, o combinaciones de los mismos. En aspectos particulares, las gotitas se pueden retirar de la corriente de fluido de trabajo a alta temperatura mediante una serie de separadores ciclónicos. Para lograr una retirada eficaz, hay preferentemente al menos 2 y preferentemente 3 separadores ciclónicos en serie. La eficacia de retirada se puede mejorar por una serie de factores. Por ejemplo, la temperatura de retirada puede ajustarse para garantizar que la viscosidad de la escoria sea lo suficientemente baja como para eliminar una escoria líquida de drenaje libre de los separadores. A veces puede ser necesario llevar a cabo la retirada de escoria a una temperatura intermedia, entre la temperatura de combustión y la temperatura final de la corriente del fluido de salida. En tales casos, la temperatura de salida de la corriente del fluido de salida final se puede lograr mezclando una parte del fluido de trabajo reciclado (la sustancia de transpiración) directamente con la corriente de fluido que sale del sistema de retirada de escoria. El diámetro de los separadores ciclónicos debe ser deseablemente relativamente bajo (es decir, en el intervalo entre aproximadamente 20 cm y aproximadamente 50 cm de diámetro), mientras que el diámetro de las gotas de escoria debe ser lo suficientemente alto como para proporcionar una buena eficacia de separación. Tales condiciones se pueden conseguir, por ejemplo, moliendo el combustible de carbón para conseguir una alta fracción de > 50 micrómetros de diámetro de partícula. El carbón está particulado preferentemente entre aproximadamente 50 micrómetros y aproximadamente 100 micrómetros en el diámetro promedio de partícula, que puede resultar en una fracción mínima de partículas de escoria de menos de 10 micrómetros de diámetro en el flujo del fluido de trabajo de salida. En algunos casos, los separadores ciclónicos pueden ir seguidos de un filtro anular dispuesto inmediatamente corriente arriba de la turbina.

En aspectos particulares, el tiempo de residencia de los productos de combustión en el sistema estará en el intervalo de 0,2 segundos a 2 segundos para gas natural y de 0,4 segundos a 4 segundos para un carbón bituminoso.

La corriente de fluido que sale de la cámara de combustión puede exhibir una variedad de características diferentes. Por ejemplo, la corriente de fluido puede comprender un fluido oxidante. Como tal, la corriente de fluido puede comprender uno o más componentes que pueden oxidarse rápidamente (por ejemplo, quemarse) mediante la adición de un oxidante (por ejemplo, O₂). En algunos aspectos, la corriente de fluido puede ser un fluido reductor que comprende uno o más componentes seleccionados del grupo que consiste en H₂, CO, CH₄, H₂S, y combinaciones de los mismos. El funcionamiento del sistema en modo de reducción será generalmente similar al modo de oxidación, excepto que la proporción del diluyente secundario se reducirá progresivamente a medida que aumente la fracción de combustible convertido en H₂ + CO. También puede ser necesario aumentar el tiempo de residencia promedio de los productos de combustión progresivamente a un intervalo de entre aproximadamente 2,5 segundos y aproximadamente 4,5 segundos para el combustible de gas natural, como la conversión a H₂ + CO al máximo, y entre aproximadamente 6 segundos y aproximadamente 10 segundos para un carbón bituminoso.

Lo anterior y otros aspectos abordan las necesidades identificadas y proporciona ventajas como se detalla en este documento.

Breve descripción de los dibujos

Habiendo descrito así la divulgación en términos generales, se hará referencia ahora a los dibujos adjuntos, que no están dibujados necesariamente a escala, y en donde:

la **Figura 1** es una ilustración esquemática de un aparato de combustión enfriado por transpiración, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación;

la **Figura 2** es una ilustración esquemática de una sección transversal ejemplar de una pared de un miembro de transpiración en un aparato de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación;

las **Figuras 3A y 3B** ilustran esquemáticamente un proceso de ajuste en caliente para un conjunto de miembro de transpiración de un aparato de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación;

la **Figura 4** ilustra esquemáticamente un aparato de retirada de contaminantes de productos de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación;

la **Figura 5** es un diagrama esquemático que muestra las trayectorias de las partículas de ceniza en función del tamaño de partícula medio y las tasas de flujo del fluido de transpiración, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación; y la **Figura 6** es un esquema de un sistema de generación de energía adaptable, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

Descripción detallada de la divulgación

La presente invención se describirá ahora más completamente en lo sucesivo por referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunos, pero no todos los aspectos de la divulgación. De hecho, la divulgación se puede realizar de muchas formas diferentes y no debe interpretarse limitada a los aspectos expuestos en este documento; más bien, estos aspectos se proporcionan para que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. Números similares se refieren a elementos similares en todo el documento.

Un aspecto de un aparato de combustión capaz de operar con un combustible sólido, de acuerdo con la presente divulgación, se ilustra esquemáticamente en la **Figura 1**, estando indicado el aparato de combustión generalmente por el número **220**. En este ejemplo, el aparato **220** de combustión puede estar configurado para quemar un sólido particulado tal como carbón para formar un producto de combustión, aunque cualquier otro material orgánico combustible adecuado, como se describe en el presente documento, también se puede utilizar como combustible. La cámara **222** de combustión puede estar definida por un miembro de transpiración **230**, que está configurado para dirigir un fluido de transpiración a través de la cámara **222** de combustión (es decir, para facilitar el enfriamiento por transpiración y/o para amortiguar la interacción entre el producto de combustión y el elemento de transpiración **230**). Un experto en la materia apreciará que el miembro **230** de transpiración puede ser sustancialmente cilíndrico, para definir una cámara **222** de combustión sustancialmente cilíndrica que tiene una parte **222A** de entrada y una parte **222B** de salida opuesta. El miembro **230** de transpiración puede estar al menos parcialmente rodeado por un miembro de contención **338** de presión. La parte **222A** de entrada de la cámara **222** de combustión puede estar configurada para recibir una mezcla de combustible de una disposición de mezcla, generalmente indicada por el número **250**. Según aspectos particulares, la mezcla de combustible se quema dentro de la cámara **222** de combustión a una temperatura de combustión particular para formar un producto de combustión, en donde la cámara **222** de combustión está configurada además para dirigir el producto de combustión hacia la parte **222B** de salida. Un dispositivo **350** de retirada de calor (véase, por ejemplo, la **Figura 2**) puede asociarse con el elemento **338** de contención de presión y configurarse para controlar una temperatura del mismo. En casos particulares, el dispositivo **350** de retirada de calor puede comprender una camisa de transferencia de calor al menos parcialmente definida por una pared **336** que se opone al miembro de contención **338** de presión, en donde un líquido puede circular en camisas **337** de circulación de agua definidas entre ellas. En un aspecto, el líquido circulado puede ser agua.

La disposición de mezcla **250** se configura para mezclar un combustible carbonáceo **254** con oxígeno enriquecido **242** y un fluido **236** de trabajo para formar una mezcla **200** de combustible. El combustible carbonáceo **254** puede proporcionarse en forma de un combustible carbonáceo sólido, un combustible carbonáceo líquido y/o un combustible carbonáceo gaseoso. El oxígeno enriquecido **242** puede ser oxígeno que tiene una pureza molar superior a aproximadamente el 85 %. El oxígeno enriquecido **242** puede suministrarse, por ejemplo, por cualquier sistema/técnica de separación de aire conocido en la técnica, tal como, por ejemplo, podría implementarse un proceso criogénico de separación de aire, o un proceso de separación de oxígeno mediante membrana de transporte iónico a alta temperatura (del aire). El fluido **236** de trabajo es dióxido de carbono supercrítico. En los casos donde el combustible carbonáceo **254** es un sólido particulado, tal como carbón en polvo **254A**, la disposición **250** de mezcla se puede configurar adicionalmente para mezclar el combustible carbonáceo sólido particulado **254A** con una sustancia fluidizante **255**. De acuerdo con un aspecto, el combustible carbonáceo sólido particulado **254A** puede tener un tamaño de partícula promedio entre aproximadamente 50 micrómetros y aproximadamente 200 micrómetros. Según otro aspecto más, la sustancia fluidizante **255** puede comprender agua y/o CO₂ líquido que tiene una densidad entre aproximadamente 450 kg/m³ y aproximadamente 1100 kg/m³. Más particularmente, la sustancia fluidificante **255** puede cooperar con el combustible carbonáceo sólido particulado **254A** para formar una suspensión **250A** que tiene, por ejemplo, entre aproximadamente 25 % en peso y aproximadamente 55 % en peso del combustible carbonáceo sólido particulado **254A**. Aunque el oxígeno **242** se muestra en la **Figura 2** mezclándose con el combustible **254** y el fluido de trabajo **236** antes de la introducción a la cámara **222** de combustión, el experto en la materia entenderá que, en algunos casos, el oxígeno **242** puede introducirse por separado en la cámara **222** de combustión, según sea necesario o deseado.

A disposición **250** de mezcla, en algunos aspectos, pueden comprender, por ejemplo, una serie de boquillas de inyección separadas (no mostradas) dispuestas alrededor de una pared final **223** del miembro **230** de transpiración

asociada con la parte **222A** de entrada de la cámara **222** de combustión cilíndrica. La inyección de combustible/mezcla de combustible en la cámara **222** de combustión de esta manera puede proporcionar, por ejemplo, una gran área superficial de la corriente de entrada de mezcla de combustible inyectado que puede, a su vez, facilitar la transferencia rápida de calor a la corriente de entrada de la mezcla de combustible inyectado por radiación. La temperatura de la mezcla de combustible inyectado puede, por tanto, aumentar rápidamente a la temperatura de ignición del combustible (es decir, las partículas de carbón) y, por tanto, puede resultar en una combustión compacta. La velocidad de inyección de la mezcla de combustible puede estar en el intervalo, por ejemplo, entre aproximadamente 10 m/s y aproximadamente 40 m/s, aunque estos valores pueden depender de muchos factores, tales como la configuración de las boquillas de inyección particulares. Tal disposición de inyección puede tomar muchas formas diferentes. Por ejemplo, la disposición de inyección puede comprender un conjunto de agujeros, por ejemplo, en el intervalo entre aproximadamente 0,5 mm y aproximadamente 3 mm de diámetro, en donde el combustible inyectado se inyectaría a través del mismo a una velocidad entre aproximadamente 10 m/s y aproximadamente 40 m/s.

Como se muestra más particularmente en la **Figura 2**, la cámara **222** de combustión está definida por el miembro **230** de transpiración, que puede estar al menos parcialmente rodeado por un elemento **338** de contención de presión. En algunos casos, el elemento **338** de contención de presión puede además estar rodeado al menos parcialmente por una camisa **336** de transferencia de calor, en donde la camisa **336** de transferencia de calor coopera con el miembro de contención **338** de presión para definir uno o más canales **337** entre ellos, a través de los cuales puede circular una corriente de agua a baja presión. A través de un mecanismo de evaporación, el agua circulada se puede usar para controlar y/o mantener una temperatura seleccionada del elemento **338** de contención de presión, por ejemplo, en un intervalo de entre aproximadamente 100 °C y aproximadamente 250 °C. En algunos aspectos, una capa **339** de aislamiento puede estar dispuesta entre el miembro **230** de transpiración y el miembro **338** de contención de presión.

En algunos casos, el elemento **230** de transpiración puede comprender, por ejemplo, un miembro **331** de transpiración exterior y un miembro **332** de transpiración interior, estando dispuesto el miembro **332** de transpiración interior opuesto al miembro **331** de transpiración exterior del miembro **338** de contención de presión, y definiendo la cámara **222** de combustión. El miembro **331** de transpiración exterior puede comprender cualquier material adecuado resistente a altas temperaturas, tal como, por ejemplo, acero y aleaciones de acero, incluyendo acero inoxidable y aleaciones de níquel. En algunos casos, el miembro **331** de transpiración exterior puede configurarse para definir primeros pasos **333A** de suministro de fluido de transpiración que se extienden a través de la superficie de la misma adyacente a la capa **339** de aislamiento a la superficie de la misma adyacente al miembro **332** de transpiración interior. Los primeros pasos **333A** de suministro de fluido de transpiración pueden, en algunos casos, corresponder a los segundos pasos **333B** de suministro de fluido de transpiración definidos por el miembro **338** de contención de presión, la camisa **336** de transferencia de calor y/o la capa **339** de aislamiento. El primer y segundo pasos **333A**, **333B** de suministro de fluido de transpiración pueden configurarse de este modo para cooperar para dirigir un fluido **210** de transpiración a través del miembro **332** de transpiración interior. De acuerdo con la invención, como se muestra, por ejemplo, en la **Figura 1**, el fluido **210** de transpiración comprende el fluido **236** de trabajo, y se obtiene de la misma fuente asociada con el mismo. El primer y segundo pasos **333A**, **333B** de suministro de fluido de transpiración pueden estar aislados, según sea necesario, para suministrar el fluido **210** de transpiración (es decir, CO₂) con suficiente suministro y a una presión suficiente para que el fluido **210** de transpiración se dirija a través del miembro **332** de transpiración interior y dentro de la cámara **222** de combustión. Tales medidas involucran el miembro **230** de transpiración y el fluido **210** de transpiración asociado, como se describe en el presente documento, pueden permitir que el aparato **220** de combustión funcione a las presiones relativamente altas y a temperaturas relativamente altas descritas en este documento.

En este sentido, el miembro **332** de transpiración interior puede estar compuesto de, por ejemplo, un material cerámico poroso, un material perforado, un material laminado, una estera porosa compuesta por fibras orientadas al azar en dos dimensiones y ordenadas en una tercera dimensión, o cualquier otro material adecuado o combinaciones de los mismos que muestren las características requeridas del mismo como se describe en el presente documento, a saber múltiples pasos de flujo o poros u otras aberturas **335** adecuadas para recibir y dirigir el fluido de transpiración a través del miembro **332** de transpiración interior. Ejemplos no limitantes de materiales cerámicos porosos y otros materiales adecuados para tales sistemas de enfriamiento por transpiración incluyen óxido de aluminio, óxido de circonio, circonio endurecido por transformación, cobre, molibdeno, wolframio, tungsteno infiltrado con cobre, molibdeno recubierto de tungsteno, cobre recubierto de tungsteno, diversas aleaciones de níquel de alta temperatura y materiales recubiertos o revestidos con renio. Las fuentes de materiales adecuados incluyen, por ejemplo CoorsTek, Inc., (Golden, CO) (circonio); UltraMet Advanced Materials Solutions (Pacoima, CA) (recubrimientos metálicos refractarios); Orsam Sylvania (Danvers, MA) (tungsteno/cobre); y MarkeTech International, Inc. (Port Townsend, WA) (tungsteno). Ejemplos de materiales perforados adecuados para tales sistemas de enfriamiento por transpiración incluyen todos los materiales y proveedores anteriores (donde se pueden obtener las estructuras de extremos perforados, por ejemplo, perforando una estructura inicialmente no porosa usando métodos conocidos en la técnica de fabricación). Ejemplos de materiales laminados adecuados incluyen todos los materiales y proveedores anteriores (donde se pueden obtener las estructuras de extremos laminados, por ejemplo, laminando estructuras no porosas o parcialmente porosas de tal manera que se logre la porosidad final deseada usando métodos conocidos en la técnica de fabricación).

Las **Figuras 3A y 3B** ilustran que, en un aspecto de un aparato **220** de combustión, la estructura que define la cámara **222** de combustión puede formarse a través de un ajuste de interferencia "caliente" entre el miembro **230** de

transpiración y la estructura circundante, tal como el elemento **338** de contención de presión o la capa **339** de aislamiento dispuesta entre el miembro **230** de transpiración y el miembro **338** de contención de presión. Por ejemplo, cuando está relativamente "frío", el elemento **230** de transpiración puede dimensionarse para ser más pequeño, radial y/o axialmente, con respecto al elemento **338** de contención de presión circundante. Como tal, cuando se inserta en el elemento **338** de contención de presión, entre ellos puede haber una separación radial y/o axial (véase, por ejemplo, la **Figura 3A**). Por supuesto, tales diferencias dimensionales pueden facilitar la inserción del miembro **230** de transpiración en el miembro **338** de contención de presión. Sin embargo, cuando se calientan, por ejemplo, hacia la temperatura operativa, el miembro **230** de transpiración puede estar configurado para expandirse radialmente y/o axialmente para reducir o eliminar los huecos indicados (véase, por ejemplo, la **Figura 3B**). Al hacerlo, puede formarse un ajuste de interferencia axial y/o radial entre el miembro **230** de transpiración y el miembro **338** de contención de presión. En casos que involucren un miembro **230** de transpiración con un miembro **331** de transpiración exterior y un miembro **332** de transpiración interior, tal ajuste de interferencia puede colocar el miembro **332** de transpiración interior bajo compresión. Como tal, los materiales frágiles resistentes a altas temperaturas adecuados, tales como cerámica porosa, se pueden usar para formar el miembro **332** de transpiración interior.

Con el elemento **332** de transpiración interior configurado de este modo, la sustancia **210** de transpiración puede comprender, por ejemplo, dióxido de carbono (es decir, de la misma fuente que el fluido **236** de trabajo) dirigido a través del miembro **332** de transpiración interior de manera que la sustancia **210** de transpiración forma una capa amortiguadora **231** (es decir, una "pared de vapor") inmediatamente adyacente al miembro **332** de transpiración interior dentro de la cámara **222** de combustión, en donde la capa amortiguadora **231** puede configurarse para amortiguar la interacción entre el miembro **332** de transpiración interior y los elementos incombustibles licuados y el calor asociado con el producto de combustión. Es decir, en algunos casos, el fluido **210** de transpiración puede suministrarse a través del miembro **332** de transpiración interior, por ejemplo, al menos a la presión dentro de la cámara **222** de combustión, en donde la velocidad de flujo del fluido **210** de transpiración (es decir, la corriente de CO₂) en la cámara **222** de combustión es suficiente para que el fluido **210** de transpiración se mezcle con los productos de combustión y se enfríe para formar una mezcla de fluido de salida a una temperatura suficiente con respecto al requisito de entrada del proceso posterior corriente abajo (es decir, una turbina puede requerir una temperatura de entrada, por ejemplo, de aproximadamente 1225 °C), pero en donde la mezcla de fluido de salida permanece lo suficientemente alta para mantener las gotitas de escoria u otros contaminantes en el combustible en un estado fluido o líquido. El estado líquido de los elementos incombustibles del combustible puede facilitar, por ejemplo, en la separación de tales contaminantes del producto de combustión en forma líquida, preferentemente en forma de baja viscosidad y flujo libre, que será menos probable que obstruya o dañe de otro modo cualquier sistema de retirada implementado para dicha separación. En la práctica, dichos requisitos pueden depender de diversos factores tales como el tipo de combustible carbonáceo sólido (es decir, carbón) empleado y las características particulares de la escoria formada en el proceso de combustión. Es decir, la temperatura de combustión dentro de la cámara **222** de combustión es preferentemente tal que cualquier elemento incombustible en el combustible carbonáceo se licue dentro del producto de combustión.

En aspectos particulares, el miembro **332** poroso interior de transpiración está configurado así para dirigir el fluido de transpiración y hacia la cámara **222** de combustión de manera radialmente hacia dentro para formar una pared de barrera de fluido o capa amortiguadora **231** sobre la superficie del miembro **332** de transpiración interior que define la cámara **222** de combustión (véase, por ejemplo, la **Figura 2**). La superficie **332** del elemento de transpiración interior también se calienta por producto de combustión. Como tal, el miembro **332** poroso de transpiración interior puede estar configurado para tener una conductividad térmica adecuada de manera que el fluido **210** de transpiración que pasa a través del miembro **332** de transpiración interior se caliente, mientras que el miembro **332** poroso de transpiración interior se enfría simultáneamente, dando como resultado que la temperatura de la superficie del miembro **332** de transpiración interior que define la cámara **222** de combustión es, por ejemplo, aproximadamente 1000 °C en la región de la temperatura de combustión más alta. La pared de barrera del fluido o la capa amortiguadora **231** formada por el fluido **210** de transpiración en cooperación con el miembro **332** de transpiración interior amortigua la interacción entre el miembro **332** de transpiración interior y los productos de combustión a alta temperatura y la escoria u otras partículas contaminantes y, como tal, amortigua el miembro **332** de transpiración interior del contacto, obstrucción, u otro daño. Además, el fluido **210** de transpiración se introduce en la cámara **222** de combustión a través del miembro **332** de transpiración interior de tal manera que regula una mezcla de salida del fluido **210** de transpiración y el producto de combustión sobre la parte **222B** de salida de la cámara **222** de combustión a una temperatura entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 2000 °C.

Según ciertos aspectos, un fluido **210** de transpiración adecuado para su implementación en un aparato **220** de combustión como se describe en este documento puede incluir cualquier fluido apropiado que pueda proporcionarse a un flujo de cantidad y presión suficientes a través del miembro **332** de transpiración interior para formar la pared de barrera de fluido/capa amortiguadora **231** y capaz de diluir los productos de combustión para producir una temperatura de salida final adecuada de la corriente de salida de fluido de trabajo/productos de combustión. De acuerdo con la invención, el CO₂ supercrítico es el fluido **210** de transpiración de modo que la pared de barrera de fluido/capa amortiguadora formada demuestra buenas propiedades de aislamiento térmico, así como propiedades deseables de absorción de luz visible y luz UV. Otros ejemplos, que no son parte de la presente invención, de un fluido de transpiración adecuado incluyen, por ejemplo, H₂O o gases de productos de combustión enfriados reciclados de procesos posteriores. Algunos combustibles pueden usarse como fluidos de transpiración durante el arranque del aparato de combustión para lograr, por ejemplo, temperaturas y presiones de operación apropiadas en la cámara **222**

de combustión antes de la inyección de la fuente de combustible utilizada durante la operación. Algunos combustibles también pueden usarse como fluido de transpiración para ajustar o mantener las temperaturas y presiones de funcionamiento del aparato **220** de combustión durante la conmutación entre fuentes de combustible, tal como cuando se cambia de carbón a biomasa como fuente de combustible. En algunos aspectos, se pueden usar dos o más fluidos de transpiración. El fluido **210** de transpiración se puede optimizar para las condiciones de temperatura y presión de la cámara **222** de combustión, donde el fluido **210** de transpiración forma la pared de barrera de fluido/capa amortiguadora **231**.

Los aspectos de la presente divulgación proporcionan así aparatos y métodos para producir energía, tal como energía eléctrica, a través del uso de un aparato **220** de combustión de combustible de alta eficacia y un fluido **236** de trabajo asociado. El fluido **236** de trabajo se introduce en el aparato **220** de combustión junto con un combustible apropiado **254** y un oxidante **242**, y cualquier material asociado que también pueda ser útil para una combustión eficiente. En aspectos particulares, implementando un aparato **220** de combustión configurado para operar a temperaturas relativamente altas (por ejemplo, en el intervalo entre aproximadamente 1.300 °C y aproximadamente 3.500 °C), el fluido **236** de trabajo puede facilitar la moderación de la temperatura de una corriente de fluido que sale del aparato **220** de combustión, de modo que la corriente de fluido puede utilizarse extrayendo energía de la misma para fines de producción de energía.

En determinados aspectos, un aparato **220** de combustión enfriado por transpiración puede implementarse en un sistema de generación de energía, utilizando un fluido **236** de trabajo circulado que comprende, por ejemplo, predominantemente CO₂ y/o H₂O. En un aspecto particular, el fluido **236** de trabajo que entra en el aparato **220** de combustión comprende preferentemente sustancialmente sólo CO₂. En el aparato **220** de combustión, operando en condiciones oxidantes, el fluido **236** de trabajo de CO₂ puede mezclarse con uno o más componentes del combustible **254**, un oxidante **242**, y cualquier producto del proceso de combustión del combustible. Por tanto, el fluido **236** de trabajo dirigido hacia la parte **222B** de salida de y que sale del aparato **220** de combustión, que también se puede referir aquí como una corriente de fluido de salida, pueden comprender, como se muestra en la **Figura 1**, predominantemente CO₂ (en casos donde el fluido de trabajo es predominantemente CO₂) junto con cantidades más pequeñas de otros materiales, como el H₂O, O₂, N₂, argón, SO₂, SO₃, NO, NO₂, HCl, Hg y trazas de otros componentes que pueden ser productos del proceso de combustión (por ejemplo, materiales particulados o contaminantes, tales como ceniza o ceniza licuada). Véase el elemento **150** en la **Figura 1**. El funcionamiento del aparato **220** de combustión en condiciones reductoras puede dar como resultado una corriente de fluido de salida con una lista diferente de posibles componentes, incluyendo CO₂, H₂O, H₂, CO, NH₃, H₂S, COS, HCl, N₂, y argón, como se muestra en el elemento **175** en la **Figura 1**. Como se discute con más detalle en el presente documento, el proceso de combustión asociado con el aparato **220** de combustión puede controlarse de manera que la naturaleza de la corriente de fluido de salida puede ser reductora u oxidante, en donde cualquier caso puede proporcionar beneficios particulares.

En aspectos particulares, El aparato **220** de combustión puede configurarse como un aparato de combustión con enfriamiento por transpiración de alta eficacia, capaz de proporcionar una combustión relativamente completa de un combustible **254** a una temperatura de funcionamiento relativamente alta, por ejemplo, en el intervalo entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 3500 °C. Dicho aparato **220** de combustión puede, en algunos casos, implementar uno o más fluidos de enfriamiento y/o uno o más fluidos **210** de transpiración. En asociación con el aparato **220** de combustión, también se pueden implementar componentes adicionales. Por ejemplo, puede proporcionarse una unidad de separación de aire para separar N₂ y O₂, y puede proporcionarse un dispositivo inyector de combustible para recibir O₂ de la unidad de separación de aire y combinar el O₂ con CO₂ y/o H₂O, y una corriente de combustible que comprende un gas, un líquido, un fluido supercrítico, o un combustible sólido particulado en suspensión en un fluido de CO₂ de alta densidad.

En otro aspecto, el aparato **220** de combustión enfriado por transpiración puede incluir un inyector de combustible para inyectar una corriente de combustible a presión en la cámara **222** de combustión del aparato **220** de combustión, en donde la corriente de combustible puede comprender un combustible carbonáceo procesado **254**, un medio **255** de fluidificación (que puede comprender el fluido **236** de trabajo, como se discute en este documento), y oxígeno **242**. El oxígeno (enriquecido) **242** y el fluido **236** de trabajo de CO₂ pueden combinarse como una mezcla supercrítica homogénea. La cantidad de oxígeno presente puede ser suficiente para quemar el combustible y producir productos de combustión que tengan una composición deseada. El aparato **220** de combustión también puede incluir una cámara **222** de combustión, configurada como volumen de combustión de alta temperatura y alta presión, para recibir el flujo de combustible, así como un fluido **210** de transpiración que entra en el volumen de combustión a través de las paredes de un miembro **230** poroso de transpiración que define la cámara **222** de combustión. La velocidad de alimentación del fluido **210** de transpiración se puede usar para controlar la temperatura de la parte de salida del aparato de combustión/parte de la entrada de la turbina a un valor deseado y/o para enfriar el miembro **230** de transpiración a una temperatura compatible con el material que forma el miembro **230** de transpiración. El fluido **210** de transpiración dirigido a través del miembro **230** de transpiración proporciona una capa de fluido/amortiguadora en la superficie del miembro **230** de transpiración que define la cámara **222** de combustión, en donde la capa de fluido/amortiguadora puede evitar que las partículas de ceniza o escoria líquida que resultan de cierta combustión del combustible interactúen con las paredes expuestas del elemento **230** de transpiración.

Los aspectos de un aparato de combustión de alta eficacia también pueden configurarse para operar con una variedad

de fuentes de combustible que incluyen, por ejemplo, varios grados y tipos de carbón, madera, aceite, fueloil, gas natural, gas combustible a base de carbón, alquitrán de arenas bituminosas, betún, biocombustible, biomasa, algas, y residuos sólidos combustibles clasificados desechados. En particular, se puede usar un polvo de carbón o sólido particular. Aunque en el presente documento se describe un aparato **220** de combustión de combustión de carbón
 5 ejemplar, un experto en la materia apreciará que el combustible utilizado en el aparato **220** de combustión no está limitado a un grado específico de carbón. Por otra parte, debido a las altas presiones y altas temperaturas mantenidas por el aparato de combustión con combustible de oxígeno descrito en este documento, se puede implementar una amplia variedad de tipos de combustible, incluyendo carbón, betún (incluido el betún derivado de arenas bituminosas), alquitrán, asfalto, neumáticos usados, fueloil, diésel, gasolina, combustible de avión (JP-5, JP-4), gas natural, gases
 10 derivados de la gasificación o pirólisis de material hidrocarbonáceo, etanol, biocombustibles sólidos y líquidos, biomasa, algas, y desperdicios sólidos o procesados. Todos estos combustibles se procesan adecuadamente para permitir la inyección en la cámara **222** de combustión a velocidades suficientes y a presiones superiores a la presión dentro de la cámara **222** de combustión. Tales combustibles pueden estar en forma líquida, en suspensión, gel, o pasta con la fluidez y viscosidad apropiadas a temperaturas ambiente o a temperaturas elevadas (por ejemplo, entre aproximadamente 38 °C y aproximadamente 425 °C). Cualquier material de combustible sólido se muele o desmenuza o procesa de otra manera para reducir el tamaño de las partículas, según sea adecuado. Puede añadirse un medio de fluidización o suspensión, según sea necesario, para lograr una forma adecuada y cumplir los requisitos de flujo para el bombeo a alta presión. Por supuesto, puede no ser necesario un medio de fluidización dependiendo de la forma del combustible (es decir, líquido o gas). Análogamente, el fluido de trabajo circulado se puede utilizar como
 20 medio de fluidización, en algunos aspectos.

En algunos aspectos, la cámara **222** de combustión está configurada para mantener una temperatura de combustión de entre aproximadamente 1.300 °C y aproximadamente 3.500 °C. La cámara **222** de combustión puede configurarse adicionalmente de modo que la corriente de combustible (y el fluido **236** de trabajo) puedan inyectarse o introducirse
 25 de otro modo en la cámara **222** de combustión a una presión mayor que la presión a la que se produce la combustión. Cuando un carbón particulado es el combustible carbonáceo, las partículas de carbón se pueden suspender en un fluido de CO₂ supercrítico, formado mezclando CO₂ líquido o agua con el combustible sólido molido para formar una suspensión que se pueda bombear. En tales casos, el CO₂ líquido puede tener una densidad en el intervalo de entre aproximadamente 450 kg/m³ y aproximadamente 100 kg/m³ y la fracción de masa de combustible sólido puede estar
 30 en el intervalo entre aproximadamente 25 % y aproximadamente 55 %. Opcionalmente, se puede mezclar una cantidad de O₂ con la suspensión de carbón/CO₂ suficiente para quemar el carbón y producir una composición deseada de los productos de combustión. Opcionalmente, el O₂ se puede inyectar por separado en la cámara **222** de combustión. El aparato **220** de combustión puede incluir un miembro **338** de contención de presión que rodea al menos parcialmente el miembro **230** de transpiración que define la cámara **230** de combustión, en donde un miembro aislante **339** puede disponerse entre el miembro **338** de contención de presión y el miembro **230** de transpiración. En algunos casos, un dispositivo **350** de retirar de calor, tal como un sistema de refrigeración por agua con camisa que define las camisas **337** de circulación de agua, puede engancharse con el miembro de contención **338** de presión (es decir, externamente al miembro de contención **338** de presión que forma la "carcasa" del aparato **220** de combustión). El fluido **210** de transpiración implementado en conexión con el miembro **230** de transpiración del aparato **220** de combustión puede
 40 ser, por ejemplo, CO₂ mezclado con cantidades menores de H₂O y/o un gas inerte, tal como N₂ o argón. El miembro **230** de transpiración puede comprender, por ejemplo, un metal poroso, un material cerámico, una matriz compuesta, un colector en capas, cualquier otra estructura adecuada, o combinaciones de las mismas. En algunos aspectos, La combustión dentro de la cámara **222** de combustión puede producir una corriente de fluido de salida de alta temperatura, alta presión, que puede dirigirse posteriormente a un aparato productor de energía, tal como una turbina,
 45 para expansión en relación al mismo.

Con respecto a los aspectos del aparato ilustrados en la **Figura 1**, el aparato **220** de combustión puede estar configurado para recibir el oxígeno **242** a una presión de aproximadamente 355 bar. Además, el sólido particulado de combustible (por ejemplo, el carbón en polvo) **254**, y el fluido de fluidización (por ejemplo, CO₂ líquido) **255** también
 50 pueden recibirse a una presión de aproximadamente 355 bar. Análogamente, el fluido de trabajo (por ejemplo, fluido de CO₂ calentado, a alta presión, posiblemente reciclado) **236** se puede proporcionar a una presión de aproximadamente 355 bar y una temperatura de aproximadamente 835 °C. Según aspectos de la presente divulgación, sin embargo, la mezcla de combustible (combustible, fluido de fluidización, oxígeno y fluido de trabajo) se puede recibir en la parte **222A** de entrada de la cámara **222** de combustión a una presión entre aproximadamente 40 bar y aproximadamente 500 bar. Las presiones relativamente altas implementadas por aspectos del aparato **220** de combustión, como se describe en el presente documento, pueden funcionar para concentrar la energía producida a una intensidad relativamente alta en un volumen mínimo, resultando básicamente en una densidad de energía relativamente alta. La densidad de energía relativamente alta permite que el procesamiento posterior de esta energía se realice de una manera más eficaz que a presiones más bajas, y por tanto proporciona un factor de viabilidad para
 60 la tecnología. Los aspectos de la presente divulgación pueden, por tanto, proporcionar una densidad de energía en órdenes de magnitud mayor que las plantas de energía existentes (es decir, 10 a 100 veces). La mayor densidad de energía aumenta la eficacia del proceso, pero también reduce el coste del equipo necesario para implementar la transformación de energía de energía térmica a electricidad, al reducir el tamaño y la masa del equipo, por tanto el coste del equipo.

65 Cuando se implementa, el fluido **255** de fluidización de CO₂, que es un líquido a cualquier presión entre la presión de

punto triple del CO₂ y la presión crítica del CO₂, se mezcla con el combustible **254** de carbón en polvo para formar una mezcla en la proporción de aproximadamente 55 % de CO₂ y aproximadamente 45 % de carbón en polvo en masa u otra fracción de masa, de tal modo que la suspensión resultante puede bombearse por una bomba adecuada (como suspensión líquida) a la cámara **222** de combustión a la presión indicada de aproximadamente 355 bar. En algunos aspectos, el CO₂ y el carbón en polvo se pueden mezclar, antes de bombearse, a una presión de aproximadamente 13 bar. La corriente **242** de O₂ se mezcla con la corriente **236** de fluido de trabajo de CO₂ reciclado y esa combinación luego se mezcla con la suspensión de polvo de carbón/CO₂ para formar una única mezcla de fluido. La proporción de O₂ a carbón puede seleccionarse para que sea suficiente para quemar completamente el carbón con un 1 % adicional de exceso de O₂. En otro aspecto, la cantidad de O₂ se puede seleccionar para permitir que una parte del carbón se oxide sustancialmente por completo, mientras que otra parte esté parcialmente oxidada, resultando una mezcla de fluidos que es reductora y que incluye cierta cantidad de H₂ + CO + CH₄. De tal manera, se puede implementar una expansión en dos etapas de los productos de combustión, según sea necesario o deseado, con cierta inyección de O₂ y recalentamiento entre la primera y la segunda etapa. En aspectos adicionales, la cantidad de CO₂ presente en la cámara **222** de combustión a través de la mezcla de combustible se selecciona para que sea suficiente para alcanzar una temperatura de combustión (adiabática o de otra manera) de aproximadamente 2400 °C, aunque la temperatura de combustión puede estar en el intervalo entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 3500 °C. Se proporciona la mezcla de combustible de O₂ + suspensión de carbón + reciclaje CO₂ calentado, en un aspecto, a una temperatura resultante por debajo de la temperatura de autoignición de la mezcla de combustible. Para conseguir las condiciones indicadas, el combustible carbonáceo sólido (por ejemplo, carbón) se proporciona preferentemente en un tamaño de partícula promedio entre aproximadamente 50 micrómetros y aproximadamente 200 micrómetros, por ejemplo, moliendo carbón sólido en un molino de carbón. Dicho proceso de molienda se puede realizar en un molino configurado para proporcionar una fracción en masa mínima de partículas por debajo de aproximadamente 50 micrómetros. De esta manera, cualquier elemento incombustible en el mismo que se licue para formar las gotas de escoria líquida en el proceso de combustión puede ser mayor que aproximadamente 10 micrómetros de diámetro. En algunos aspectos, la mezcla de combustible que comprende la suspensión de CO₂ + O₂ + carbón en polvo, a una temperatura de aproximadamente 400 °C, puede dirigirse hacia la cámara **222** de combustión a una presión de aproximadamente 355 bar, en donde la presión neta en la combustión dentro de la cámara **222** de combustión puede ser de aproximadamente 354 bar. La temperatura dentro de la cámara **222** de combustión puede variar entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 3500 °C, y en algunos aspectos preferidos, solo se implementa una sola etapa de combustión.

En un ejemplo de un aparato **220** de combustión, como se describe en el presente documento, un sistema de energía eléctrica neta de 500 MW puede configurarse para funcionar con combustible CH₄ a una eficacia (base de valor de calefacción inferior) de aproximadamente 58 %, en las siguientes condiciones:

Presión de combustión: 350 atm
 Entrada de combustible: 862 MW
 Flujo de combustible: 17,2 kg/segundo
 Flujo de oxígeno: 69,5 kg/segundo

El CH₄ y O₂ se mezclan con 155 kg/segundo de fluido de trabajo de CO₂ y se queman para producir una corriente de fluido de salida que comprende CO₂, H₂O y cierto exceso de O₂ a una temperatura adiabática de 2400 °C. La cámara de combustión puede tener un diámetro interno de aproximadamente 1 m y una longitud de aproximadamente 5 m. Un flujo de 395 kg/segundo de CO₂ a una temperatura de aproximadamente 600 °C se dirige hacia el miembro de la transpiración, que puede tener aproximadamente 2,5 cm de espesor, y se dirige a través del miembro de transpiración. Este CO₂ se calienta convectivamente a partir del calor conducido a través del miembro de transpiración que se origina a partir de la radiación de la combustión dentro de la cámara de combustión al miembro de transpiración.

Sobre su superficie interior que define la cámara de combustión, la temperatura superficial del elemento de transpiración puede ser de aproximadamente 1000 °C, mientras que la corriente de fluido de salida de 636,7 kg/segundo puede estar a una temperatura de aproximadamente 1350 °C. En tales casos, El tiempo de residencia medio para la combustión y la dilución de los productos de combustión es de aproximadamente 1,25 segundos. Además, la velocidad media radialmente hacia adentro para el fluido de transpiración que entra en la cámara de combustión a través del miembro de transpiración es de aproximadamente 0,15 m/s.

La modificación del ejemplo de un aparato de cámara combustión con combustible de carbón da como resultado una configuración con un tiempo de residencia medio para la combustión y la dilución de los productos de combustión en la cámara de combustión de aproximadamente 2,0 segundos, y una longitud de cámara de combustión de aproximadamente 8 m, con un diámetro interno de aproximadamente 1 m. La eficacia neta del sistema con CO₂ como fluido de dilución (transpiración) es, por tanto, aproximadamente 54 % (base de valor de calentamiento inferior). En tales casos, la velocidad radialmente hacia adentro del fluido de transpiración puede ser aproximadamente 0,07 m/s. En tales condiciones, la **Figura 5** muestra una trayectoria hipotética de una partícula de escoria líquida de 50 micrómetros de diámetro proyectada radialmente hacia afuera a aproximadamente 50 m/s hacia el miembro de transpiración desde una distancia de 1 mm desde el mismo. Como se ilustra, la partícula alcanzaría un mínimo de 0,19 mm desde el miembro de transpiración antes de ser devuelta a la corriente de flujo del fluido de salida por el flujo de fluido de transpiración a través del miembro de transpiración. En tales casos, el flujo de fluido de transpiración a través

del miembro de transpiración amortigua eficazmente la interacción entre el miembro de transpiración y las partículas de escoria líquida que resultan del proceso de combustión.

5 Los aspectos del aparato de combustión divulgados pueden implementarse en sistemas de producción de energía adecuados utilizando métodos asociados, como apreciará un experto en la materia. Por ejemplo, tal sistema de producción de energía puede comprender uno o más inyectores para proporcionar combustible (y opcionalmente un medio fluidizante), un oxidante y un fluido de trabajo de CO₂; un aparato de combustión enfriado por transpiración, como se describe en el presente documento, que tiene al menos una etapa de combustión para quemar la mezcla de combustible, y proporciona una corriente de fluido de salida. Un aparato de transformación (véase, por ejemplo, el elemento **500** en la **Figura 6**) se puede configurar para recibir la corriente de fluido de salida (productos de combustión y fluido de trabajo), y para responder a la corriente de fluido de salida para transformar la energía asociada con la misma en energía cinética, en donde el aparato de transformación puede ser, por ejemplo, una turbina de producción de energía que tiene una entrada y una salida y en donde se produce energía a medida que se expande la corriente de fluido de salida. Más particularmente, la turbina puede configurarse para mantener la corriente de fluido de salida en una relación de presión deseada entre la entrada y la salida. Un dispositivo generador (véase, por ejemplo, el elemento **550** en la **Figura 6**) también se puede proporcionar para transformar la energía cinética de la turbina en electricidad. Es decir, la corriente de fluido de salida se puede expandir desde una presión alta a una presión más baja para producir energía del eje que luego se puede convertir en energía eléctrica. Puede proporcionarse un intercambiador de calor para la refrigeración de la corriente de fluido de salida de la salida de la turbina y para calentar el fluido de trabajo CO₂ que entra en el aparato de combustión. También se pueden proporcionar uno o más dispositivos para separar la corriente de fluido de salida que deja el intercambiador de calor en CO₂ puro y uno o más componentes adicionales para la recuperación o eliminación. Dicho sistema también puede comprender uno o más dispositivos para comprimir el CO₂ purificado y para suministrar al menos una parte del CO₂ separado de la corriente del fluido de salida a una tubería presurizada, mientras que la parte restante se recicla como fluido de trabajo que se calienta mediante el intercambiador de calor. Un experto en la materia, sin embargo, entenderá que, aunque la presente divulgación implica la implementación directa de la corriente de fluido de salida, en algunos casos, la corriente de fluido de salida de temperatura relativamente alta puede implementarse indirectamente. Es decir, la corriente de fluido de salida puede dirigirse a un intercambiador de calor, en donde la energía térmica asociada al mismo se usa para calentar una segunda corriente de fluido de trabajo, y la segunda corriente de trabajo de fluido calentado luego se dirige a un dispositivo de transformación (por ejemplo, una turbina) para generar energía. Además, un experto en la materia apreciará que muchas otras disposiciones de este tipo pueden estar dentro del alcance de la presente divulgación.

35 En aspectos particulares de la divulgación, la composición del combustible carbonáceo es tal que los elementos incombustibles (es decir, los contaminantes) pueden incluirse en el mismo, y permanecer presentes en los productos de combustión/flujo de salida de fluido después del proceso de combustión. Tal puede ser el caso donde el combustible carbonáceo es un sólido tal como carbón. En esos aspectos, la implementación directa de la corriente de fluido de salida puede resultar en la acumulación de tales elementos incombustibles u otro daño en el aparato de transformación posterior (turbina) si la corriente de fluido de salida se canaliza directamente a la misma. Un experto en la técnica también apreciará que tales elementos incombustibles pueden no estar presentes necesariamente cuando se implementan otras formas de combustible carbonáceo tales como un líquido o gas (es decir, gas natural). En consecuencia, en aspectos que implementan una fuente de combustible carbonáceo sólido y una interacción directa entre la corriente de fluido de salida y el aparato de transformación, el sistema de energía (aparato de combustión y aparato de transformación) puede incluir además un aparato de separación dispuesto entre el aparato de combustión y el aparato de transformación. En tales casos, el aparato separador puede estar configurado para retirar sustancialmente los elementos incombustibles licuados de la corriente de fluido de salida/producto de combustión recibida de este modo, antes de que el producto de combustión/corriente de fluido de salida se dirija al aparato de transformación. Además, en aspectos que implementan un aparato separador, la sustancia de transpiración descrita puede introducirse tanto corriente arriba como corriente abajo del aparato separador. Más particularmente, la sustancia de transpiración se puede introducir primero en la cámara de combustión, a través del miembro de transpiración y corriente arriba del aparato separador, para regular una mezcla de la sustancia de transpiración y el producto de combustión que entra en el aparato separador por encima de la temperatura de licuación de los elementos incombustibles. Después de aparato separador, puede configurarse un dispositivo de suministro de sustancias de transpiración (véase, por ejemplo, el elemento **475** en la **Figura 6**) para entregar la sustancia de transpiración al producto de combustión que sale del aparato separador, y que tiene los elementos incombustibles licuados sustancialmente retirados del mismo, para regular una mezcla de la sustancia de transpiración y el producto de combustión que entra en el aparato de transformación a una temperatura de entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 2000 °C.

60 Como se ha analizado anteriormente, los aspectos del aparato de combustión pueden incluir la capacidad de lograr una temperatura de combustión que hace que los elementos incombustibles en el combustible carbonáceo sólido se licúen durante el proceso de combustión. En tales casos, podrán aplicarse disposiciones para la retirada de los elementos incombustibles licuados tales como, por ejemplo, un aparato separador **340** tal como un separador ciclónico, como se muestra en la **Figura 4**. En general, los aspectos de dicho separador ciclónico implementado por la presente divulgación pueden comprender una pluralidad de dispositivos separadores centrífugos **100** dispuestos en serie, incluyendo un dispositivo separador centrífugo **100A** de entrada configurado para recibir el producto de

combustión/flujo de fluido de salida y los elementos incombustibles licuados asociados con el mismo, y un dispositivo separador centrífugo **100B** de salida configurado para agotar el flujo de producto de combustión/salida que tiene los elementos incombustibles licuados sustancialmente retirados del mismo. Cada dispositivo separador centrífugo **100** incluye una pluralidad de elementos separadores centrífugos o ciclones **1** dispuestos operativamente en paralelo
 5 alrededor de un tubo colector central **2**, en donde cada elemento separador centrífugo/ciclón **2** está configurado para retirar al menos una parte de los elementos incombustibles licuados de la corriente de fluido de salida/producto de combustión, y para dirigir la parte retirada de los elementos incombustibles licuados a un sumidero **20**. Dicho aparato separador **340** puede configurarse para funcionar a una presión elevada y, como tal, puede comprender además un alojamiento **125** que contiene presión configurado para alojar los dispositivos separadores centrífugos y el sumidero.
 10 Según tales aspectos, el alojamiento **125** que contiene presión puede ser una extensión del miembro **338** de contención de presión que también rodea el aparato **220** de combustión, o el alojamiento **125** que contiene presión puede ser un miembro separado capaz de acoplar el miembro **338** de contención de presión asociado al aparato **220** de combustión. En cualquier caso, debido a la elevada temperatura experimentada por el aparato separador **340** a través de la corriente de fluido de salida, el alojamiento **125** que contiene presión también puede incluir un sistema de dispersión de calor, tal como una camisa de transferencia térmica que tiene un líquido circulado en su interior (no
 15 mostrado), operativamente acoplado al mismo para retirar el calor del mismo. En algunos aspectos, un dispositivo de recuperación térmica (no mostrado) puede estar acoplado operativamente a la camisa de transferencia de calor, en donde el dispositivo de recuperación de calor puede estar configurado para recibir el líquido circulado en la camisa de transferencia térmica y recuperar energía térmica de ese líquido.

Más particularmente, el aparato separador (retirada de escoria) **340**, mostrado en la **Figura 4**, está configurado para disponerse en serie con el aparato **220** de combustión alrededor de la parte **222B** de salida de la misma para recibir la corriente de salida de fluido/productos de combustión del mismo. La corriente de fluido de salida enfriada por transpiración del aparato **220** de combustión, con las gotas de escoria líquida (elementos incombustibles) en el mismo,
 25 se dirige a entrar en una disposición de colector central **2A** del dispositivo separador centrífugo **100A** de entrada a través de un reductor cónico **10**. En un aspecto, el aparato separador **340** puede incluir tres dispositivos separadores centrífugos **100A**, **100B**, **100C** (aunque el experto en la técnica apreciará que tal aparato separador puede incluir uno, dos, tres, o más dispositivos separadores centrífugos, según sea necesario o deseado). En este caso, los tres dispositivos separadores centrífugos **100A**, **100B**, **100C** dispuestos operativamente en serie proporcionan una unidad de separación ciclónica de 3 etapas. Cada dispositivo separador centrífugo incluye, por ejemplo, una pluralidad de elementos separadores centrífugos (ciclones **1**) dispuestos alrededor de la circunferencia del tubo colector central correspondiente **2**. Las disposiciones del colector central **2A** y los tubos colectores centrales **2** del dispositivo separador centrífugo **100A** de entrada, y el dispositivo separador centrífugo medio **100C** están sellados en su extremo de salida.
 30 En esos casos, la corriente de fluido de salida se dirige hacia los canales **11** de derivación correspondientes a cada uno de los elementos separadores centrífugos (ciclones **1**) del respectivo dispositivo separador centrífugo **100**. Los canales **11** de derivación están configurados para acoplar el extremo de entrada del ciclón **1** respectivo para formar una entrada tangencial para el mismo (que causa, por ejemplo, la corriente de fluido de salida que ingresa al ciclón **1** para interactuar con la pared del ciclón **1** en un flujo espiral). El canal **3** de salida de cada ciclón **1** se enruta luego a la parte de entrada del tubo colector central **2** del respectivo dispositivo separador centrífugo **100**. En el dispositivo separador centrífugo **100B** de salida, la corriente de fluido de salida (que tiene los elementos incombustibles sustancialmente separados de ella) se dirige desde el tubo colector central del dispositivo separador centrífugo **100B** de salida y a través de un tubo colector **12** y una boquilla **5** de salida, de tal modo que la corriente de fluido de salida "limpio" se pueda dirigir a un proceso posterior, tal como el asociado al aparato de transformación. La disposición de separación ciclónica en tres etapas ejemplar permite así retirar la escoria hasta, por ejemplo, inferior a 5 ppm en masa
 45 en la corriente del fluido de salida.

En cada etapa del aparato separador **340**, la escoria líquida separada se dirige desde cada uno de los ciclones **1** a través de los tubos **4** de salida que se extienden hacia un sumidero **20**. La escoria líquida separada se dirige luego a una boquilla o tubo **14** de salida que se extiende desde el colector **20** y el alojamiento **125** que contiene presión para la retirada y/o recuperación de componentes del mismo. En el logro de la retirada de la escoria, la escoria líquida puede dirigirse a través de una sección **6** enfriada por agua o de otro modo a través de una sección que tiene una presión alta, conexión con agua fría, en donde la interacción con el agua hace que la escoria líquida se solidifique y/o granule. La mezcla de escoria solidificada y agua se puede separar luego en un recipiente (provisión de recolección) **7** en una mezcla fluida de escoria/agua que se puede retirar a través de una válvula adecuada **9**, mientras que cualquier
 50 gas residual puede retirarse a través de una línea separada **8**.

Dado que el aparato separador **340** se implementa junto con la corriente de fluido de salida de temperatura relativamente alta (es decir, a una temperatura suficiente para mantener los elementos incombustibles en forma líquida con viscosidad relativamente baja), puede ser deseable, en algunos casos, que las superficies del aparato separador **340** expuestas a uno de los productos de combustión/flujo de fluido de salida y los elementos incombustibles licuados asociados a ellos estén compuestas por un material configurado para tener al menos una resistencia de alta temperatura, una alta resistencia a la corrosión y una baja conductividad térmica. Ejemplos de tales materiales pueden incluir óxido de circonio y óxido de aluminio, aunque tales ejemplos no pretenden ser limitantes de ninguna manera. Como tal, en determinados aspectos, el aparato separador **340** está configurado para retirar sustancialmente los
 65 elementos incombustibles licuados de la corriente de fluido de salida/producto de combustión y para mantener los elementos incombustibles en una forma líquida de baja viscosidad al menos hasta su retirada del colector **20**.

Como tal, como se describe en el presente documento, la separación de escoria en los casos de un combustible carbonáceo sólido se puede lograr en una sola unidad (aparato separador **340**) que se puede, en algunos casos, extraer fácilmente del sistema para su mantenimiento e inspección. Sin embargo, tal aspecto puede proporcionar otras ventajas, como se muestra en la **Figura 6**, por lo que el sistema puede configurarse fácilmente para implementar un enfoque de "combustible flexible" en operación con respecto a la disponibilidad de una fuente de combustible particular.

5 Por ejemplo, el aparato separador **340** de unidad única se puede instalar en el sistema, entre el aparato **220** de combustión y el aparato (turbina) **500** de transformación, cuando el aparato **220** de combustión utilizaba un combustible carbonáceo sólido como fuente de combustible. En caso de ser deseable cambiar a una fuente de combustible líquido o gas carbónico, la unidad separadora **340** puede retirarse del sistema (es decir, puede no ser necesaria, como se

10 discutió anteriormente) de tal manera que la corriente de fluido de salida del aparato **220** de combustión puede dirigirse directamente al aparato **500** de transformación. Por tanto, el sistema también se puede volver a cambiar fácilmente para implementar la unidad separadora **340** si la disponibilidad de combustible dictara más tarde una fuente de combustible carbonáceo sólido.

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (220) de combustión, que comprende:

5 una disposición (250) de mezcla configurada para mezclar un combustible carbonáceo con oxígeno enriquecido y un fluido de trabajo para formar una mezcla (200) de combustible; y una cámara (222) de combustión al menos parcialmente definida por un miembro (230) de transpiración, estando además el miembro (230) de transpiración al menos parcialmente rodeado por un miembro (338) de contención de presión, teniendo la cámara (222) de combustión una parte (222A) de entrada y una parte (222B) de salida opuesta, estando configurada la parte (222A) de entrada de la cámara (222) de combustión para recibir la mezcla (200) de combustible para que la mezcla (200) de combustible se quemara dentro de la cámara (222) de combustión a una temperatura de combustión para formar un producto de combustión, estando configurada además la cámara (222) de combustión para dirigir el producto de combustión hacia la parte (222B) de salida, estando configurado el miembro (230) de transpiración para dirigir una sustancia de transpiración a través del mismo hacia la cámara (222) de combustión para amortiguar la interacción entre el producto de combustión y el miembro (230) de transpiración, **caracterizado por que** la sustancia de transpiración es dióxido de carbono supercrítico y también se suministra a la disposición (250) de mezcla como al menos parte del fluido de trabajo.

20 2. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la parte (222B) de salida de la cámara (222) de combustión está opuesta a la parte (222A) de entrada a lo largo de la longitud de la cámara de combustión, y la cámara (222) de combustión está configurada además para dirigir el producto de combustión a lo largo de la longitud de la cámara de combustión hacia la parte (222B) de salida.

25 3. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además al menos una fuente de sustancia de transpiración configurada para suministrar la sustancia de transpiración a la disposición (250) de mezcla como el fluido de trabajo y el miembro (230) de transpiración como la sustancia de transpiración.

30 4. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:

la disposición (250) de mezcla está configurada además para mezclar uno de un combustible carbonáceo sólido, un combustible carbonáceo líquido y un combustible carbonáceo gaseoso con el oxígeno enriquecido y el fluido de trabajo, y en donde el oxígeno enriquecido comprende oxígeno que tiene una pureza molar de más de aproximadamente el 85 %, o

35 la disposición (250) de mezcla está configurada para mezclar el combustible carbonáceo, el oxígeno enriquecido y el fluido de trabajo para formar una sola corriente de entrada de mezcla de combustible dirigida a la cámara (222) de combustión, o

40 el combustible carbonáceo es un sólido particulado que tiene un tamaño medio de partícula entre aproximadamente 50 micrómetros y aproximadamente 200 micrómetros, y la disposición (250) de mezcla está configurada además para mezclar el combustible carbonáceo sólido particulado con una sustancia fluidizante que comprende uno de agua y CO₂ líquido que tiene una densidad entre aproximadamente 450 kg/m³ y aproximadamente 1100 kg/m³, cooperando la sustancia fluidificante con el combustible carbonáceo sólido particulado para formar una suspensión que tiene entre aproximadamente el 25 % en peso y aproximadamente el 55 % en peso del combustible carbonáceo sólido particulado, o

45 el combustible carbonáceo, el oxígeno enriquecido y el fluido de trabajo que forman la mezcla (200) de combustible se controlan de modo que la temperatura de combustión se encuentre entre aproximadamente 1300 °C y aproximadamente 3500 °C.

50 5. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde:

la cámara (222) de combustión está configurada además para recibir la mezcla (200) de combustible en la parte (222A) de entrada de la misma a una presión entre aproximadamente 40 bar y aproximadamente 500 bar, o

55 la temperatura de combustión está configurada de modo que los contaminantes incombustibles en el combustible carbonáceo se licuen dentro del producto de combustión, y en donde la sustancia de transpiración dirigida a través del miembro (230) de transpiración forma una capa amortiguadora inmediatamente adyacente al miembro (230) de transpiración dentro de la cámara (222) de combustión, estando configurada la capa amortiguadora para amortiguar la interacción entre el miembro (230) de transpiración y los contaminantes incombustibles licuados y el calor asociado al producto de combustión, o

60 la sustancia de transpiración está configurada para introducirse en la cámara (222) de combustión a través del miembro (230) de transpiración para regular una mezcla de salida de la sustancia de transpiración y el producto de combustión sobre la parte (222B) de salida de la cámara (222) de combustión a una temperatura entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 2000 °C, o

65 la sustancia de transpiración se calienta con calor desde el miembro (230) de transpiración hasta una temperatura entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 1000 °C tras dirigirse a través del miembro (230) de transpiración, o

la mezcla (200) de combustible dirigida a través de una disposición de boquilla de entrada de la parte (222A) de

entrada está a una temperatura inferior a la temperatura de autoignición por ajuste de la temperatura del fluido de trabajo tras la introducción de la mezcla (200) de combustible en la cámara (222) de combustión.

- 5 6. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además un dispositivo (350) de retirada de calor asociado al miembro (338) de contención de presión y configurado para controlar la temperatura del mismo, comprendiendo el dispositivo (350) de retirada de calor una camisa (336) de transferencia de calor que tiene un líquido circulante en el mismo.
- 10 7. El aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el aparato (220) de combustión está configurado de modo que el producto de combustión incluye:
entre aproximadamente 500 ppm y aproximadamente el 3 % molar de O₂ y CO inferior a aproximadamente 50 ppm, o H₂ y CO en una concentración combinada de más de aproximadamente el 1 %, y menos de aproximadamente 10 ppm de O₂.
- 15 8. Un sistema de generación de energía que incluye un aparato (220) de combustión de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, y que comprende además un aparato (500) de transformación configurado para recibir el producto de combustión del aparato (220) de combustión, respondiendo el aparato de transformación al producto de combustión para transformar la energía asociada al mismo en energía cinética, en donde el combustible carbonáceo es un sólido, y en donde el sistema de generación de energía comprende además un aparato separador (340)
20 dispuesto entre el aparato (220) de combustión y el aparato (500) de transformación, estando configurado el aparato separador (340) para retirar sustancialmente contaminantes incombustibles licuados del producto de combustión recibido de la cámara (222) de combustión antes de que el producto de combustión se dirija al aparato (500) de transformación.
- 25 9. El sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 8, en donde el aparato separador (340) comprende:
una pluralidad de dispositivos separadores centrífugos (100) dispuestos en serie, incluyendo un dispositivo
30 separador centrífugo (100A) de entrada configurado para recibir el producto de combustión y los contaminantes incombustibles licuados asociados al mismo y un dispositivo separador centrífugo (100B) de salida configurado para descargar el producto de combustión que tiene los contaminantes incombustibles licuados retirados sustancialmente del mismo, teniendo cada dispositivo separador centrífugo (100) una pluralidad de elementos separadores centrífugos (1) dispuestos operativamente en paralelo, estando configurado cada elemento separador centrífugo (1) para retirar sustancialmente los contaminantes incombustibles licuados del producto de combustión
35 y para dirigir la al menos una parte de los contaminantes incombustibles licuados a un sumidero (20), configurándose el aparato separador (340) para mantener los contaminantes incombustibles en forma líquida de baja viscosidad al menos hasta la retirada de los mismos del sumidero (20); y un alojamiento (125) que contiene presión configurado para alojar los dispositivos separadores centrífugos (100) y el sumidero (20).
- 40 10. El sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en donde:
el aparato separador (340) comprende además un sistema de dispersión de calor acoplado operativamente al
45 alojamiento (125) que contiene presión para retirar calor del mismo, en donde opcionalmente el sistema de dispersión de calor comprende además una camisa (336) de transferencia de calor que tiene un líquido circulante en el mismo, y en donde además opcionalmente el aparato separador (340) comprende además un dispositivo de recuperación de calor acoplado operativamente a la camisa (336) de transferencia de calor, estando configurado el dispositivo de recuperación de calor para recibir el líquido circulante en la camisa (336) de transferencia de calor y para recuperar energía térmica del líquido, o
50 las superficies del aparato separador (340) expuestas a uno del producto de combustión y los contaminantes incombustibles licuados asociados al mismo están comprendidos por un material configurado para tener al menos una de una alta resistencia a la temperatura, una alta resistencia a la corrosión y una baja conductividad térmica.
- 55 11. El sistema de generación de energía de acuerdo con la reivindicación 8, en donde la sustancia de transpiración está configurada para introducirse en la cámara (222) de combustión a través del miembro (230) de transpiración para regular una mezcla de la sustancia de transpiración y el producto de combustión que entra en el aparato separador (340) por encima de una temperatura de baja viscosidad de los contaminantes incombustibles licuados y, opcionalmente, que comprende además un dispositivo (475) de suministro de sustancia de transpiración dispuesto posteriormente al aparato separador (340) y configurado para suministrar la sustancia de transpiración al producto de
60 combustión que tiene los contaminantes incombustibles licuados retirados sustancialmente del mismo para regular un mezcla de la sustancia de transpiración y el producto de combustión que entra en el aparato (500) de transformación a una temperatura entre aproximadamente 500 °C y aproximadamente 2000 °C.
- 65 12. El sistema de generación de energía de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que el aparato (500) de transformación comprende uno de un dispositivo de turbina, respondiendo el dispositivo de turbina al producto de combustión para transformar la energía asociada al mismo en energía cinética, y un dispositivo

generador (550) configurado para transformar la energía cinética en electricidad.

5 13. Un sistema de generación de energía que comprende un aparato (220) de combustión de acuerdo con la reivindicación 2, y un aparato (500) de transformación configurado para recibir el producto de combustión de la parte (222B) de salida de la cámara (222) de combustión, respondiendo el aparato (500) de transformación al producto de combustión recibido del aparato (220) de combustión para transformar la energía asociada al producto de combustión en energía cinética.

10 14. Un método para quemar combustible carbonáceo con oxígeno enriquecido y dióxido de carbono supercrítico usando el aparato de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

15. Un método de acuerdo con la reivindicación 14, realizado por el sistema de generación de energía de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13.

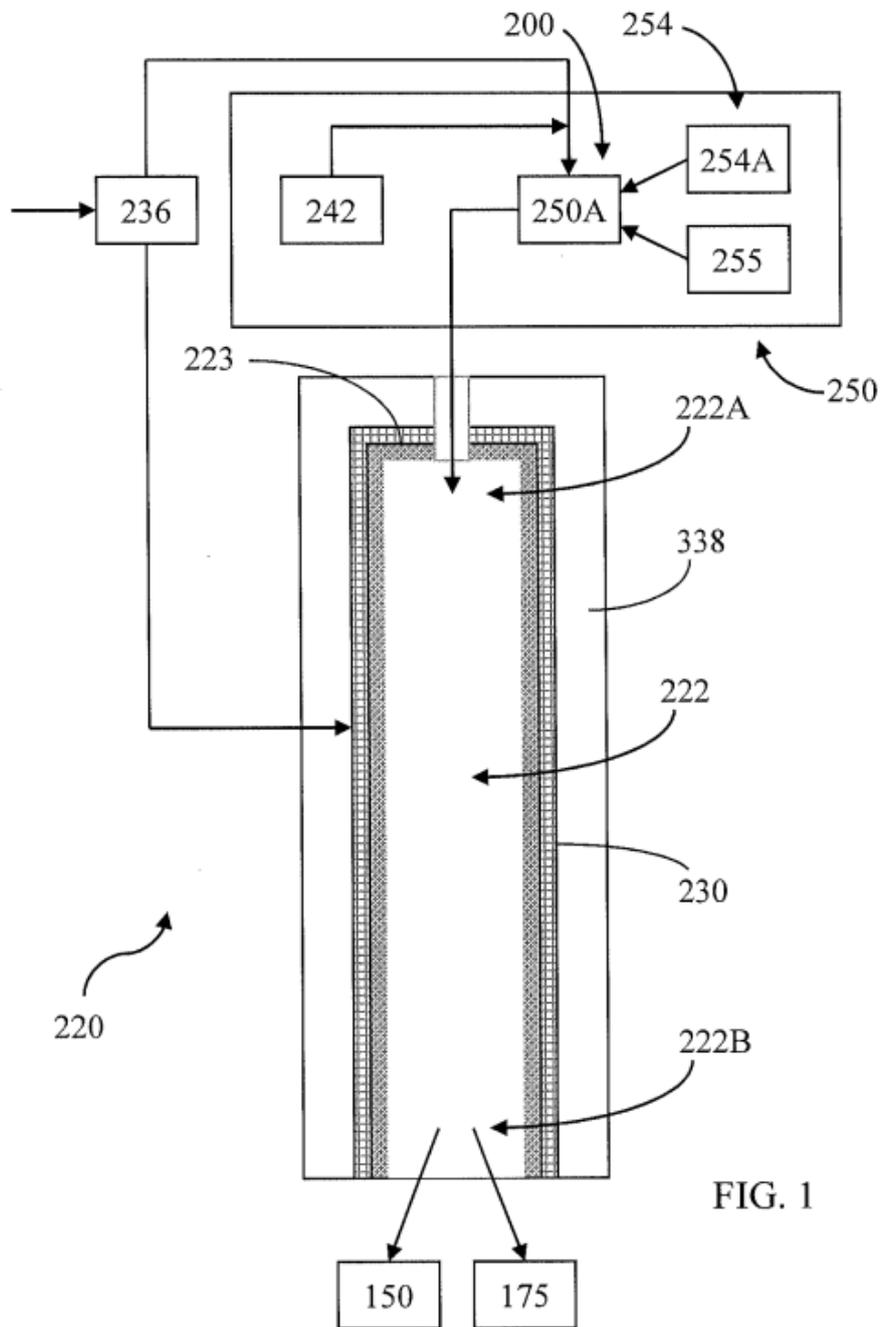


FIG. 1

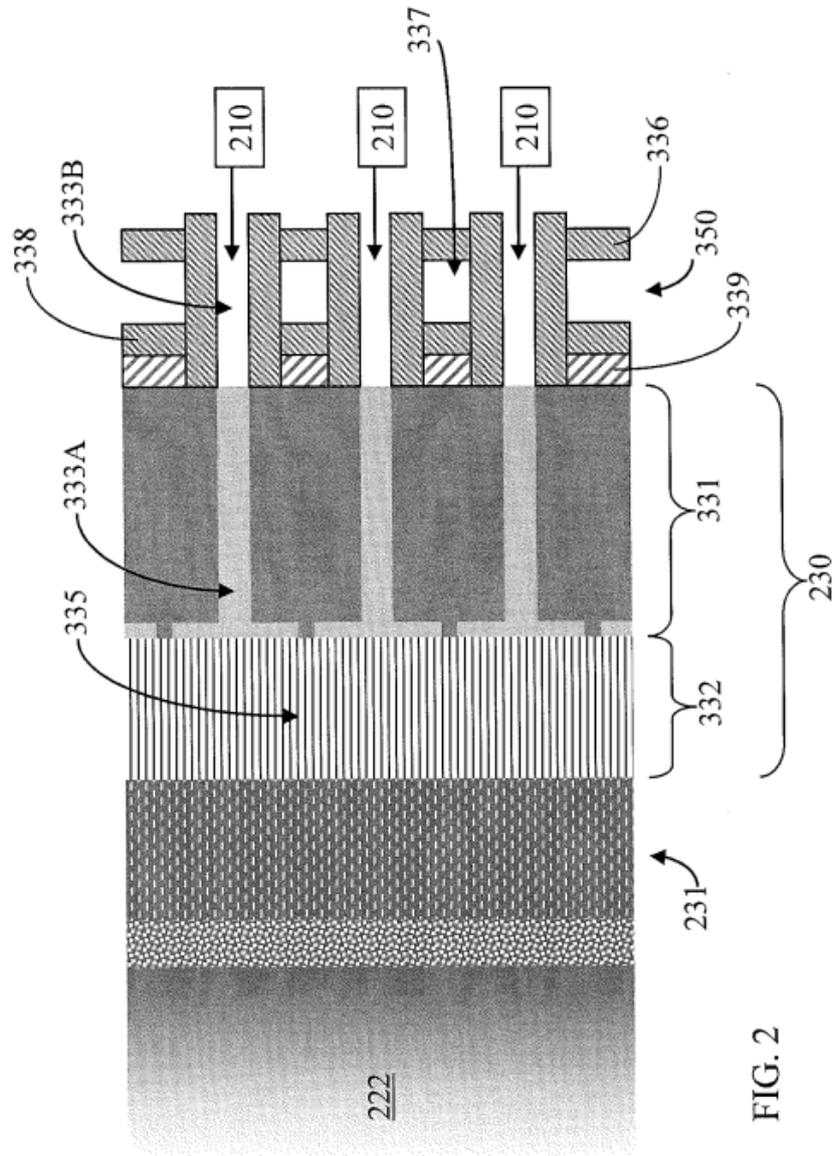


FIG. 2

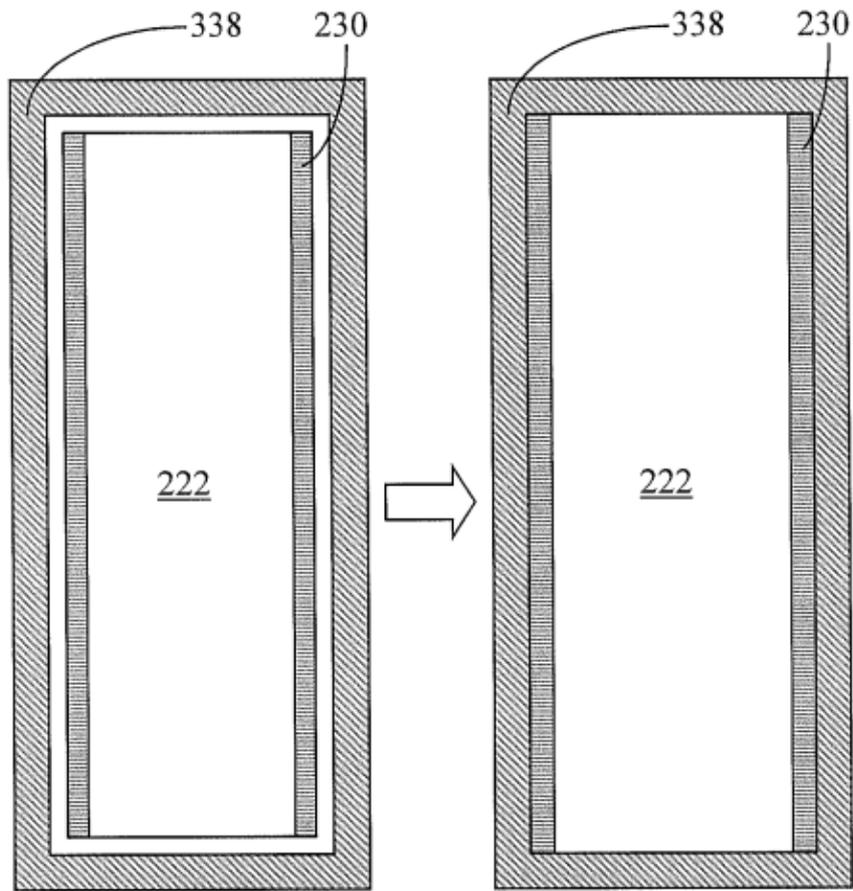


FIG. 3A

FIG. 3B

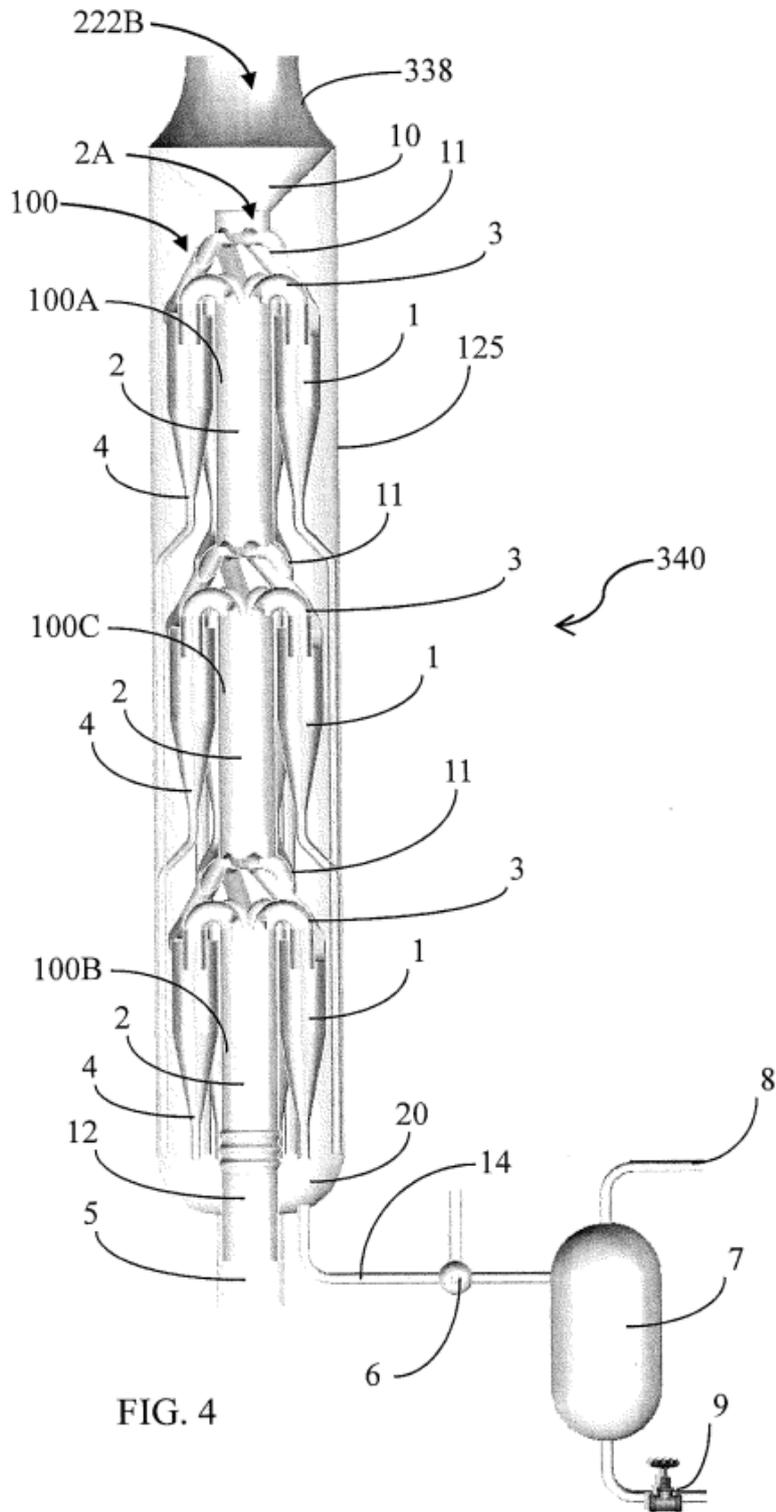
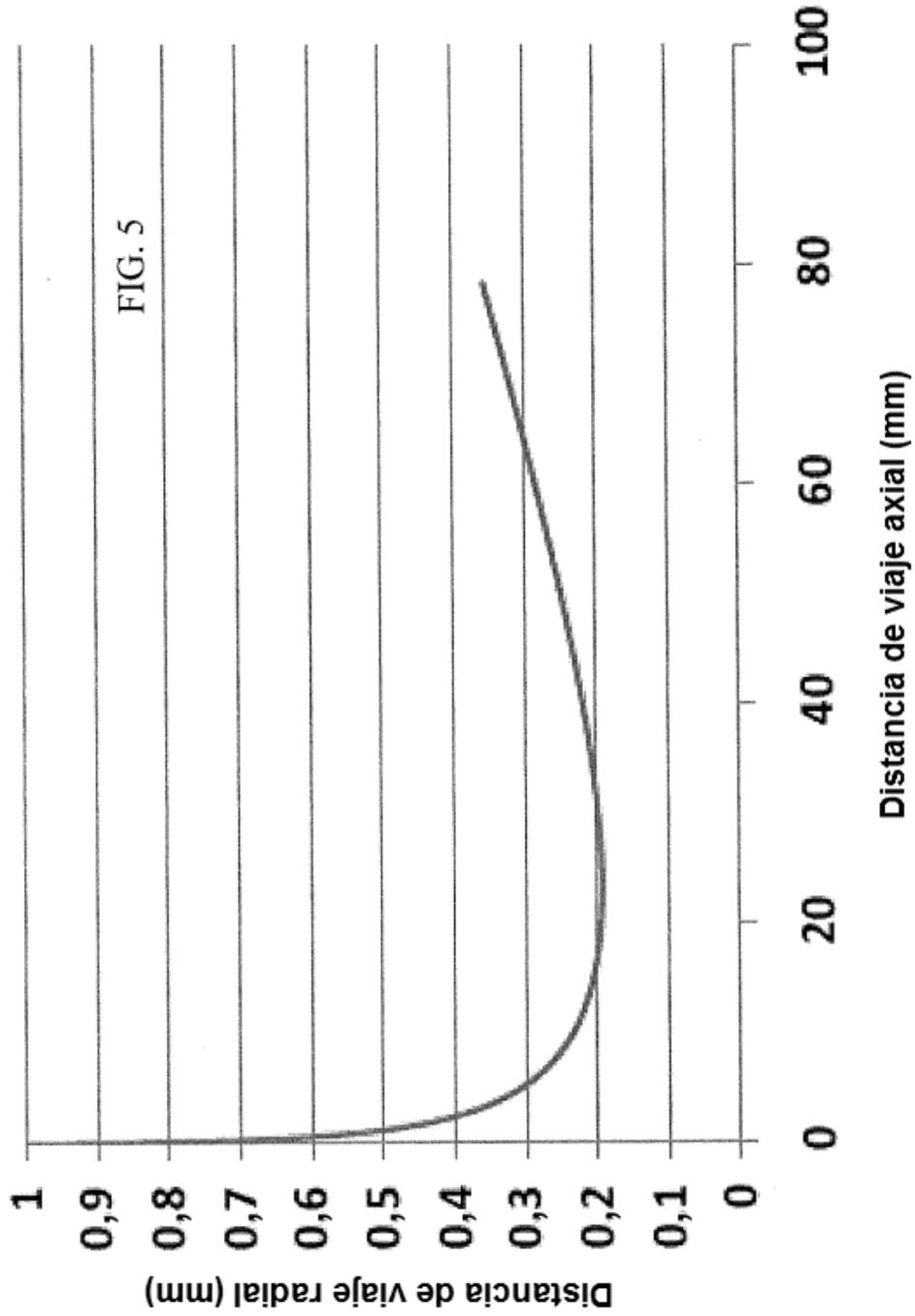


FIG. 4

Trayectoria de partícula de ceniza de 50 micrómetros con flujo de transpiración de 100 %
Velocidad inicial de partícula de 50 m/s perpendicular a la pared de la cámara de combustión



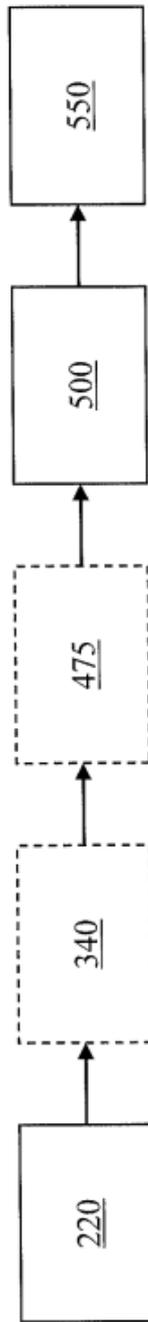


FIG. 6