

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 745 132**

51 Int. Cl.:

**F23L 7/00** (2006.01)

**F23M 5/00** (2006.01)

**F23J 15/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.08.2011 PCT/US2011/049727**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.03.2012 WO12030820**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2011 E 11752070 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.06.2019 EP 2612075**

54 Título: **Aparato para la combustión de un combustible a alta presión y alta temperatura, y sistema asociado**

30 Prioridad:

**29.08.2011 US 201113220439**  
**21.07.2011 US 201161510356 P**  
**31.08.2010 US 872364**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**27.02.2020**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**PALMER, MILES R;**  
**ALLAM, RODNEY JOHN;**  
**BROWN, GLENN, WILLIAM, JR. y**  
**FETVEDT, JEREMY ERON**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 745 132 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 para la combustión de un combustible a alta presión y alta temperatura, y sistema asociado

### Campo de la divulgación

5 La presente divulgación está dirigida a aparatos y sistemas para la combustión de un combustible carbonoso con oxígeno a alta presión y alta temperatura, para producir productos de combustión que están oxidados con un exceso de oxígeno o bien que contienen componentes reductores y tienen cero contenido de oxígeno. Una aplicación particular sería para la generación de energía, tal como electricidad, mediante el uso de un fluido de trabajo, para transferir la energía generada a través de la combustión sumamente eficiente de un combustible. En particular, tales aparatos y sistemas pueden usar dióxido de carbono o vapor como fluido de trabajo. En otro aspecto, se pueden usar los aparatos y los sistemas para generar un gas que contenga hidrógeno y/o monóxido de carbono.

### Descripción de la técnica relacionada

15 Se estima que los combustibles fósiles continuarán proporcionando la mayor parte de los requerimientos de energía eléctrica del mundo durante los siguientes cien años; mientras que se están desarrollando y expandiendo fuentes de energía no dependientes del carbón. Sin embargo, los métodos conocidos para la generación de energía a través de la combustión de combustibles fósiles y/o de biomasa adecuada, están plagados por costos de energía que se elevan y por una producción incrementada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y otras emisiones. El calentamiento global se está viendo cada vez más como una consecuencia potencialmente catastrófica de las emisiones de carbono incrementadas por las naciones desarrolladas y las naciones en desarrollo. La energía solar y la energía eólica no parecen ser capaces de reemplazar la combustión de combustibles fósiles en un plazo cercano, y la energía nuclear tiene peligros asociados con la proliferación y el desecho de los desperdicios nucleares.

25 Las instalaciones convencionales para la producción de energía a partir de combustibles fósiles o de biomasa adecuada están cada vez más cargados con el requisito de capturar el CO<sub>2</sub> a alta presión para suministrarlo a sitios de secuestro. Sin embargo, este requisito está siendo difícil de cumplir, puesto que la tecnología actual únicamente proporciona muy bajas eficiencias térmicas para incluso los mejores diseños para la captura del CO<sub>2</sub>. Además, los costos de capital para obtener la captura del CO<sub>2</sub> son altos y por lo tanto, pueden dar por resultado costos significativamente mayores para la electricidad, en comparación con los sistemas que emiten el CO<sub>2</sub> a la atmósfera. En consecuencia, hay una necesidad creciente en la técnica de aparatos y métodos para la generación de energía con alta eficiencia y con reducción en la emisión de CO<sub>2</sub> y/o facilidad mejorada de captura y secuestro del CO<sub>2</sub> producido.

30 La combustión como oxígeno-combustible de los combustibles carbonosos implica la separación del oxígeno sustancialmente puro del aire (o proporcionar de otra manera oxígeno sustancialmente puro para usarlo en el proceso de combustión) y usar el oxígeno como un medio de combustión para producir productos de combustión que estén sustancialmente libres de nitrógeno y que comprendan dióxido de carbono y vapor de agua. Los aparatos de combustión a presión de la técnica anterior, con aire y oxígeno-combustible operan a temperaturas y presiones limitadas para prevenir daños por exceso de temperatura a las paredes de la disposición de combustión y/o demás componentes del sistema, tales como los álabes de la turbina. En algunos casos, la limitación de la temperatura y/o la presión de operación puede alargar indeseablemente el proceso de combustión y/o requerir de un volumen relativamente grande de combustión. Además, el proceso de combustión, el diseño de la combustión y/o las medidas para procesar el gas de salida corriente abajo también pueden depender de manera indeseable del tipo de combustible utilizado para el proceso. Adicionalmente, debido a los volúmenes grandes de gases de combustión aplicados a los sistemas de caldera convencionales en la técnica actual, y la expulsión de esos gases a la atmósfera, los métodos actuales para eliminar los contaminantes de los gases de chimenea de salida y los sistemas de combustión de oxígeno-combustible propuestos dependen mucho del diseño detallado de la planta y del tipo exacto de combustible que se quema en la planta. Cada tipo de combustible tiene una composición química contrastante y una cantidad de contaminantes. Por tanto, la técnica actual requiere de manera indeseable que los sistemas depuradores del gas de salida o las modificaciones a la combustión de oxígeno-combustible para cada planta se diseñen específicamente a la medida para acomodar un tipo particular de combustible que tenga una composición química particular.

50 La técnica actual para hulla, como ejemplo, utiliza por lo general una sola disposición de combustión, muy grande, equipado con paredes tubulares verticales, o paredes tubulares configuradas helicoidalmente, en el que se genera vapor a alta presión y se sobrecalienta en una sección sobrecalentadora separada. Una disposición de combustión de gran tamaño puede experimentar pérdidas significativas de calor y, por lo general, está sujeta a daños, así como a fallas de los quemadores, superficies de transferencia de calor por radiación y convección, y otros componentes, de cenizas de hulla, escoria y componentes corrosivos, tales como SO<sub>x</sub>, HCl, NO<sub>x</sub>, etc., en los gases de combustión, dependiendo de la hulla particular usada. Tales inconvenientes de ejemplo pueden exigir que toda la planta se pare para reparar o reemplazar las partes dañadas o corroídas y/o demás componentes dañados o corroídos, a intervalos periódicos; y esto puede dar por resultado mejor disponibilidad de la planta y dificultades indeseables al compensar el rendimiento perdido de la planta durante los tiempos de paro. En los documentos WO2010/099452 A2, AU6205780 A, US5002483 A y GB2348695 A se divulgan aparatos con una instalación de mezcla y una instalación

de combustión.

### Sumario de la divulgación

La invención es un aparato según la reivindicación 1. Las necesidades anteriores y otras son atendidas por aspectos de la presente divulgación que, de acuerdo con un aspecto particular, proporciona un aparato, tal como una  
 5 disposición de combustión, que incluye una disposición de mezclado, configurada para mezclar un combustible carbonoso con oxígeno enriquecido, y un fluido de trabajo para formar una mezcla de combustible. Una disposición de combustión define una cámara de combustión que tiene una porción de entrada, separada longitudinalmente de una porción de salida opuesta, en el que la porción de entrada está configurada para recibir la mezcla de combustible para su combustión dentro de la cámara de combustión, a una temperatura de combustión, a fin de  
 10 formar un producto de combustión. Además, la cámara de combustión está configurada para dirigir el producto de la combustión longitudinalmente hacia la porción de salida. La disposición de combustión comprende un elemento de contención de presión y un elemento de transpiración poroso, perimétrico, que define al menos parcialmente la cámara de combustión, y que está rodeado, al menos parcialmente, por el elemento de contención de presión. El elemento de transpiración poroso está configurado para dirigir sustancialmente de manera uniforme una sustancia de transpiración a través del mismo, hacia la cámara de combustión, de manera que la sustancia de transpiración sea dirigida para que fluye helicoidalmente alrededor de su perímetro y longitudinalmente entre la porción de entrada y la porción de salida, a fin de regular la interacción entre el producto de combustión y el elemento de transpiración poroso. El flujo de la sustancia de transpiración se dirige hacia la cámara de combustión por el elemento poroso de transpiración, de una manera sustancialmente uniforme, alrededor de su periferia y longitudinalmente entre la  
 20 porción de entrada y la porción de salida, de manera que la sustancia de transpiración sea dirigida para que fluya sustancialmente tangencial al perímetro del elemento poroso de transpiración y helicoidalmente alrededor del mismo. Además, se puede introducir la sustancia de transpiración en la cámara de combustión para obtener una temperatura de salida deseada para el producto de la combustión. Se puede configurar un aparato de transformación para que reciba el producto de la combustión; donde el aparato de transformación es responsable del producto de la combustión para transformar la energía térmica asociada con el mismo, a energía cinética.

En otro aspecto, la combustión con oxígeno-combustible de los combustibles carbonosos (y/o los combustibles hidrocarbonosos) también puede implicar la separación de oxígeno sustancialmente puro del aire (o la provisión de otra manera de dicho oxígeno sustancialmente puro) y su uso como en el proceso de la combustión para producir  
 30 productos de combustión que estén sustancialmente exentos de nitrógeno y que comprendan dióxido de carbono y vapor de agua. El producto de la combustión, rico en dióxido de carbono (después de enfriamiento y de condensación del agua) puede estar disponible entonces para uso comercial subsiguiente, tal como para la recuperación incrementada de aceite o la producción incrementada de gas natural, o el desecho en un sitio de secuestro geológico adecuado (después de su compresión y su purificación). La operación de un sistema de producción de energía por oxígeno-combustible, a alta presión, también puede permitir que el dióxido de carbono derivado del combustible sea producido a alta presión, lo que da por resultado ahorros en energía al reducir o eliminar la necesidad de poner a presión el dióxido de carbono. Además, la operación a alta presión puede permitir que se usen los productos de la combustión purificados directamente en un ciclo de energía, cuando se mezclan con un fluido de trabajo calentado adecuado, tal como CO<sub>2</sub> o vapor. La operación del sistema de energía a alta presión también puede conducir a regímenes de flujo de fluido volumétricos reducidos en el ciclo de energía, lo que da por  
 40 resultado equipos más pequeños y menores costos de capital. La disposición de combustión de oxígeno-combustible, a alta presión, con provisión de control de temperatura, es otro aspecto importante. La recirculación de un fluido adecuado, tal como el gas producto de la combustión o dióxido de carbono, o agua líquida o vapor (tal como el procedente de una corriente de recirculación) a través de la pared enfriada por transpiración y protegida, de la cámara de combustión/espacio de combustión, también puede servir para controlar la temperatura de combustión. El flujo de la sustancia de transpiración a través de las paredes de la cámara de combustión también puede servir para eliminar el daño a las paredes de la cámara y/o la acumulación en ellas, debidos al calor o a las cenizas o a los efectos de choque de la escoria líquida. Por lo tanto, se proporciona una disposición de combustión, de alta temperatura y alta presión, eficiente, que se puede adaptar para quemar una variedad de combustibles gaseosos, líquidos o sólidos, o mezclas de combustibles, para satisfacer diversos requerimientos, como parte de un sistema de  
 50 producción de energía, que puede operar a eficiencias significativamente más altas y a menores costos de capital que la tecnología actual. En algunos casos, la disposición de combustión puede ser operada para producir un producto de combustión que comprenda hidrógeno y monóxido de carbono, para ponerlo a disposición de requerimientos corriente abajo, diferentes de la producción de energía.

En otro aspecto más, la presente divulgación proporciona en general métodos y aparatos asociados con una  
 55 disposición de combustión por oxígeno-combustible de alta presión, alta temperatura, gran eficiencia, protegido por fluido de transpiración, para usarlos, por ejemplo, en la generación de energía eléctrica, tal como en combinación con un ciclo de energía, usando CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O como fluido de trabajo. En dicha aplicación se puede operar la disposición de combustión en un modo oxidante, de manera que los productos de la combustión producidos por él contengan una concentración de oxígeno en la escala de entre alrededor de 500 ppm y alrededor de 3% molar, y  
 60 una concentración de monóxido de carbono de menos de alrededor de 50 ppm, de preferencia menos de alrededor de 10 ppm molar. En otro aspecto, la disposición de combustión puede ser operada en un modo reductor, de manera que los productos de la combustión producidos por él tengan una concentración de oxígeno cercana a cero, y los productos de la combustión contengan una concentración de CO y H<sub>2</sub>. Se puede configurar la operación en el modo

reductor para elevar al máximo la producción de  $H_2$  y  $CO$  y reducir al mínimo el consumo de  $O_2$ . El modo reductor de operación puede ser benéfico no solamente para la producción de energía eléctrica, sino también para la producción de  $H_2$  o de gas de síntesis de  $H_2 + CO$ . Según la invención, la presión de operación está entre alrededor de 40 barías y alrededor de 500 barías y, de preferencia, por lo menos 80 barías; y la temperatura del producto de combustión puede estar en general entre alrededor de  $400^\circ C$  y alrededor de  $3500^\circ C$ .

En aspectos que involucran la producción de energía eléctrica, se introduce una porción de un fluido de trabajo en la disposición de combustión, junto con el combustible y el oxidante (o sea, oxígeno enriquecido), para la combustión, de manera que se produzca una corriente de fluido (producto de la combustión) a alta presión y alta temperatura, que comprenda el fluido de trabajo y los productos de la combustión. Se puede introducir el fluido de trabajo a través de las paredes protegidas por transpiración, de la cámara de combustión y/o a través de puntos de inyección adicionales, alrededor de la cámara de combustión. El fluido de trabajo, después del proceso de combustión y el mezclado con los productos de la combustión a través de la transpiración, puede tener una temperatura en una escala adecuada (es decir, suficientemente baja) para su introducción directamente en un dispositivo generador de energía eléctrica, tal como una turbina. En tales casos, la cantidad total de fluido de trabajo introducida en la disposición de combustión como diluyente para los productos de la combustión, se puede ajustar para proporcionar una temperatura de salida para la corriente total de fluido de trabajo que sale de la disposición de combustión, que sea adecuada para la alta temperatura y la presión de operación de la turbina generadora de energía eléctrica. Ventajosamente se puede mantener la corriente de fluido a una presión relativamente alta durante la expansión en la turbina, de manera que la proporción de presión a través de la turbina (o sea, la proporción de la presión en la entrada a la presión en la salida de la turbina) sea menor que alrededor de 12. La corriente de fluido también puede ser procesada adicionalmente para separar los componentes de la corriente de fluido; donde dicho procesamiento puede incluir hacer pasar la corriente de fluido a través de un cambiador de calor. En particular, el fluido de trabajo expandido (por lo menos una porción del cual se puede reciclar desde la corriente de fluido) puede hacerse pasar a través del mismo cambiador de calor para calentar el fluido de trabajo a alta presión, antes de su introducción en el aparato de combustión. En ciertos aspectos, la descripción proporciona una disposición de combustión de oxígeno-combustible de alta presión, para sistemas de producción de energía eléctrica, que puede producir energía eléctrica con gran eficiencia, a bajos costos de capital, y que también puede producir  $CO_2$  sustancialmente puro a la presión de la tubería, para uso comercial o para secuestro. También se puede reciclar el  $CO_2$  al sistema de producción de energía eléctrica.

En otros aspectos, los sistemas y los métodos de combustión descritos pueden ser configurados para usarlos con una gran variedad de fuentes de combustible. Por ejemplo, la disposición de combustión de gran eficiencia, de acuerdo con la descripción, puede usar combustibles gaseosos (por ejemplo, gas natural o gases derivados de hulla), líquidos (por ejemplo, hidrocarburos, betún) y/o sólidos (por ejemplo, hulla, lignita, coque de petróleo). Se podrían usar incluso otros combustibles, como se describen aquí de otra manera, tales como algas, biomasa, o cualquier otro material orgánico combustible adecuado.

En otros aspectos, los métodos y los sistemas de la presente divulgación, cuando se combinan con sistemas generadores de energía eléctrica, con captura de  $CO_2$  a la presión de tubería, pueden ser útiles, ya que el sistema combinado puede sobrepasar la mejor eficiencia de las estaciones actuales de producción de energía eléctrica por el ciclo de vapor, que queman hulla, que no proporcionan la captura de  $CO_2$ . Dichas estaciones actuales de generación de energía eléctrica, a lo sumo, pueden proporcionar, por ejemplo, alrededor de 45% de eficiencia (L.H.V.) con una presión de condensador de 4,318 cm (1,7 pulgadas) de mercurio, usando una hulla bituminosa. Algunos aspectos del presente sistema pueden sobrepasar tal eficiencia, por ejemplo, al mismo tiempo que suministran  $CO_2$  a una presión de 200 barías.

En otro aspecto más, la presente divulgación puede proporcionar la capacidad de reducir el tamaño físico y el costo de capital de un sistema de generación de energía eléctrica, en comparación con las tecnologías actuales, usando un combustible similar. Así, los métodos y los sistemas de la presente divulgación pueden contribuir a, o facilitar de otra manera, los costos de construcción significativamente reducidos asociados con los sistemas de producción de energía, y la eficiencia relativamente alta de ciertas combinaciones de sistema que dan por resultado costos reducidos en la producción de electricidad o energía, así como el uso reducido de combustibles fósiles.

En un aspecto particular, la presente divulgación está dirigida a un método de generación de energía eléctrica, que incorpora el uso de un fluido de trabajo, tal como  $CO_2$  y/o  $H_2O$ . En algunos aspectos, el método puede comprender introducir  $CO_2$  calentado, comprimido y/o vapor sobrecalentado, a una disposición de combustión de combustible. De preferencia, el  $CO_2$  y/o el vapor pueden ser introducidos en la disposición de combustión que opera a una presión de por lo menos alrededor de 80 barías. Se puede introducir el  $CO_2$  y/o el  $H_2O$  en la disposición de combustión en dos o más sitios separados. Se puede mezclar parte del  $CO_2$  y/o del  $H_2O$  con el  $O_2$  y el combustible sólido, líquido, gaseoso o supercrítico, de manera que la temperatura de combustión dentro de la cámara de combustión pueda determinarse con base en el valor de diseño deseado para la disposición de combustión. El resto del  $CO_2$  caliente y/o del vapor sobrecalentado se introduce entonces en la cámara de combustión para enfriar los productos de combustión, mezclándolos directamente con ellos para obtener una temperatura deseada en la corriente de fluido de salida total de entre alrededor de  $400^\circ C$  y alrededor de  $3500^\circ C$ , que puede ser requerida por el sistema de producción de energía eléctrica. Bajo tales condiciones, se puede mezclar el  $CO_2$  y/o el  $H_2O$  con los gases de combustión que son el resultado de la combustión del combustible, con un oxidante, tal como oxígeno de

una pureza mayor que 85% molar, para producir una corriente de fluido que comprende CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O a la temperatura deseada. En aspectos particulares, la temperatura de la corriente de fluido de salida puede estar en la escala de entre alrededor de 400°C y alrededor de 3500°C. En otros aspectos, la corriente de fluido de salida se puede expandir a través de una turbina para generar energía eléctrica (es decir, para generar electricidad por medio de la energía impartida a la turbina).

En ciertos aspectos, puede ser útil calentar el fluido de trabajo a una temperatura todavía mayor, antes de su introducción en la disposición de combustión. Por ejemplo, se puede calentar el CO<sub>2</sub> y/o el H<sub>2</sub>O a una temperatura de por lo menos alrededor de 200°C a alrededor de 700°C antes de su introducción en la disposición de combustión. En otros aspectos, se puede calentar el CO<sub>2</sub> y/o el H<sub>2</sub>O a una temperatura de entre alrededor de 700°C y alrededor de 1000°C, antes de su introducción en la disposición de combustión. En algunos aspectos ese calentamiento puede ser efectuado usando un dispositivo cambiador de calor. Como se describe adicionalmente aquí, se puede usar el mismo cambiador de calor para enfriar la corriente de fluido que sale de la turbina de generación de energía eléctrica.

De manera similar, el aparato de combustión puede ser operado usualmente a una presión mayor para producir un fluido de trabajo capaz de obtener una eficiencia muy alta en el ciclo de producción de energía eléctrica. Por ejemplo, la disposición de combustión y la porción introducida del fluido de trabajo, CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O, puede ponerse a una presión de por lo menos alrededor de 200 barías. En otros aspectos, la presión puede estar entre alrededor de 200 barías y alrededor de 500 barías.

En ciertos aspectos, la porción del fluido de trabajo introducida en la disposición de combustión puede ser una corriente reciclada de CO<sub>2</sub> sustancialmente puro, de manera que cualquier contenido de agua en el fluido de trabajo se origine del combustible. Por supuesto, se podría usar el CO<sub>2</sub> procedente de una fuente externa, como fluido de trabajo.

La corriente de fluido que sale de la disposición de combustión puede comprender el fluido de trabajo de CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O, así como uno o más de otros componentes, tales como los productos de la combustión derivados del combustible o del proceso de combustión. La corriente de fluido de salida puede contener componentes, tales como H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, Hg, HCl, más exceso de oxígeno, en la escala de entre alrededor de 300 ppm y alrededor de 3% molar. En otros aspectos, la corriente de fluido de salida puede contener por lo menos fracciones variables de H<sub>2</sub> y CO y tener un contenido de O<sub>2</sub> de sustancialmente cero.

La disposición de combustión puede comprender un dispositivo de boquilla de entrada, a través del cual se introduce el combustible más el oxígeno más una porción del fluido de trabajo, a la disposición de combustión, en la que se inicia la combustión y tiene lugar de manera estable, ya sea en el modo oxidante o en el modo reductor, en una escala de flujo de combustible deseada, que típicamente está entre alrededor de 50% y alrededor del 100% de la capacidad de diseño. En ciertos aspectos, la presión de operación puede estar por encima de alrededor de 150 barías y, a esa presión, se puede introducir el oxígeno como una mezcla de una sola fase con el CO<sub>2</sub> y un combustible, tal como gas natural, o un líquido, tal como un destilado de hidrocarburos, para obtener una temperatura de llama adiabática requerida. Si el CO<sub>2</sub> a esta alta temperatura está a una temperatura inferior a alrededor de 100°C, la densidad del CO<sub>2</sub> es suficientemente alta para ser usada para soportar una fracción significativa de la hulla en polvo para formar un lodo; donde el lodo puede ser bombeado entonces por medio de una bomba de alta presión a la presión de combustión requerida y el flujo requerido en una tubería, y a un punto de mezclado, donde se añade la mezcla supercrítica de CO<sub>2</sub> y oxígeno a fin de obtener una temperatura de llama adiabática requerida en la disposición de combustión. El combustible premezclado, el CO<sub>2</sub> diluyente y el oxígeno convenientemente deben estar a una temperatura combinada que sea menor que la temperatura de autoignición del sistema. Se puede ajustar la temperatura de la corriente de CO<sub>2</sub> para satisfacer este criterio. La boquilla de entrada puede comprender una formación de orificios en una placa inyectora, cada uno de los cuales produce un chorro fino de fluido que da por resultado la transferencia de calor rápida y la combustión rápida, produciéndose de esa manera una zona de combustión estable. Los tamaños de orificio pueden estar en la escala de entre alrededor de 0,5 mm y alrededor de 3 mm de diámetro.

Las paredes de la cámara de combustión están forradas con una capa de material poroso, a través del cual se dirige y fluye una segunda parte de la corriente diluyente de CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O. El flujo de fluido a través de esta capa porosa de transpiración y, opcionalmente, a través de medidas adicionales, está configurado para obtener la temperatura de salida requerida de la corriente total de fluido, de entre alrededor de 400°C y alrededor de 3500°C. Este flujo puede servir también para enfriar el elemento de transpiración a una temperatura inferior a la temperatura de operación máxima permisible del material que forma el elemento de transpiración. La sustancia de transpiración, tal como la corriente diluyente de CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O, también puede servir para prevenir el choque de cualesquiera materiales de ceniza líquidos o sólidos, u otros contaminantes del combustible, que pudieran corroer, hacer fallar o dañar de otra manera las paredes. En tales casos, puede ser conveniente usar un material para el elemento de transpiración que tenga una conductividad térmica razonable (baja), de manera que el calor radiante incidente pueda ser conducido radialmente hacia fuera, a través del elemento poroso de transpiración, y luego interceptado por la transferencia de calor de convección procedente de las superficies de la estructura de capa porosa, en el fluido que pasa radiante hacia dentro, a través de la capa de transpiración. Esa configuración puede permitir que la parte subsiguiente de la corriente diluyente, dirigida a través del elemento de transpiración se caliente a una temperatura en la escala de

entre alrededor de 500°C y alrededor de 1000°C; mientras se mantiene simultáneamente la temperatura del elemento poroso de transpiración dentro de la escala de diseño del material usado para el mismo. Dichos materiales adecuados para el elemento poroso de transpiración pueden incluir, por ejemplo, cerámicas porosas, esterillas de fibra metálica refractarias, secciones cilíndricas con orificios perforados y/o capas de metal concrecionado o polvos de metal concrecionados. Una segunda función del elemento de transpiración puede ser asegurar un flujo sustancialmente uniforme radialmente hacia adentro de la sustancia de transpiración de los diluyentes, así como longitudinalmente, a lo largo del aparato de combustión, para obtener buen mezclado entre la segunda parte de la corriente diluyente y el producto de la combustión, al mismo tiempo que se promueve un flujo axial uniforme a todo lo largo de la cámara de combustión. Una tercera función del elemento de transpiración es obtener una velocidad de fluido diluyente radialmente hacia dentro, de manera que provea un regulador para, o intercepte de otra manera, las partículas sólidas y/o líquidas de ceniza u otros contaminantes, dentro de los productos de la combustión, para que no impacten la superficie de la capa de transpiración ni provoquen el bloqueo u otros daños. Dicho factor puede tener importancia únicamente, por ejemplo, cuando se está quemando un combustible, tal como hulla, que tiene un residuo no combustible inerte, residual. La pared interna del recipiente de presión del aparato de combustión, que rodea el elemento de transpiración, también puede estar aislado para aislar la segunda corriente diluyente, de alta temperatura, dentro de la disposición de combustión.

Se puede introducir hulla u otros combustibles con un residuo incombustible, dentro de la disposición de combustión, como un lodo en agua o, de preferencia, como un lodo en CO<sub>2</sub> líquido. La porción líquida del lodo sale del sistema de energía eléctrica casi a la temperatura ambiente, y a la presión más baja del ciclo de energía eléctrica. La diferencia en la entalpía por mol, entre la condición de entrada del lodo y la condición de salida del gas, en esos casos, puede ser de alrededor de 10 kcal/g-mol para el H<sub>2</sub>O y de alrededor de 2,78 kcal/g-mol para el CO<sub>2</sub>, lo que da una eficiencia significativamente mayor para un fluido formador de lodo de CO<sub>2</sub>. Se requiere poca energía adicional en un ciclo de energía eléctrica a alta presión, con CO<sub>2</sub> como fluido de trabajo, para producir CO<sub>2</sub> líquido a temperaturas en la escala de entre alrededor de -30°C y alrededor de 10°C.

La temperatura de combustión de los combustibles, generalmente sólidos, tales como hulla, que producen residuos incombustibles, de preferencia están en la escala de entre alrededor de 1800°C y alrededor de 3000°C. En esas condiciones, la ceniza u otros contaminantes estarán en forma de gotas de escoria líquida que se originan de las partículas combustibles en la alimentación de combustible en lodo. Estas gotas de escoria líquida deben ser retiradas de modo eficiente, a fin de prevenir la contaminación de la turbina generadora de energía eléctrica u otros procesos corriente abajo. Se puede obtener la eliminación, por ejemplo, usando separadores de ciclón, separadores de choque o lechos de filtros granulados refractarios, graduados, dispuestos en una configuración anular, o bien combinaciones de ellos. En aspectos particulares, se pueden eliminar las gotas de la corriente de fluido de trabajo a alta temperatura mediante una serie de separadores ciclónicos. Para obtener la eliminación eficiente de preferencia se usan por lo menos dos, y de preferencia tres, separadores ciclónicos en serie. Se puede intensificar la eficiencia de eliminación mediante numerosos factores. Por ejemplo, se puede ajustar la temperatura de eliminación para garantizar que la viscosidad de la escoria sea suficientemente baja para eliminar de los separadores una escoria líquida que drena libremente. Algunas veces puede ser necesario llevar a cabo la eliminación de la escoria a una temperatura intermedia, entre la temperatura de combustión y la temperatura final de salida de la corriente de fluido. En tales casos, se puede obtener la temperatura final de salida de la corriente de fluido de salida mezclando una porción del fluido de trabajo reciclado (la sustancia de transpiración) directamente con la corriente de fluido que sale del sistema de eliminación de escoria. El diámetro de los separadores de ciclón convenientemente debe ser relativamente bajo (es decir, en la escala de entre alrededor de 20 cm y alrededor de 50 cm de diámetro); mientras que el diámetro de las goas de escoria debe ser suficientemente alto para dar buena eficiencia de separación. Se pueden obtener esas condiciones, por ejemplo, moliendo el combustible de hulla para obtener una fracción elevada de más de 50 micrómetros de diámetro de partícula. De preferencia se forman partículas de hulla de entre alrededor de 50 micrómetros y alrededor de 100 micrómetros de diámetro promedio de partícula, lo que puede dar por resultado que se encuentre presente una fracción mínima de partículas de escoria de menos de 10 micrómetros de diámetro en el flujo de fluido de trabajo de salida. En algunos casos los separadores de ciclón pueden ir seguidos de un filtro anular, dispuesto inmediatamente corriente arriba de la turbina.

En aspectos particulares, el tiempo de residencia en el sistema para los productos de la combustión puede estar en el intervalo de 0,2 segundos a 2 segundos para el gas natural, y de 0,4 segundos a 4 segundos para una hulla bituminosa.

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. En este caso, la corriente de fluido puede comprender uno o más componentes que se pueden oxidar rápidamente (por ejemplo, se pueden quemar) mediante la adición de un oxidante (por ejemplo, O<sub>2</sub>). En algunos aspectos, la corriente de fluido puede ser un fluido reductor que comprenda uno o más componentes, seleccionados del grupo que consiste en H<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S, y combinaciones de los mismos. La operación del sistema en el modo reductor generalmente será similar al modo oxidante, excepto que la proporción del diluyente secundario se reducirá progresivamente conforme aumenta una fracción de combustible convertida a H<sub>2</sub> + CO. Puede ser necesario incrementar el tiempo promedio de residencia para los productos de la combustión, progresivamente, hasta una escala de entre alrededor de 2,5 segundos y alrededor de 4,5 segundos para el combustible de gas natural, a medida que aumenta la conversión de H<sub>2</sub> + CO al máximo, y entre alrededor de 6 segundos y alrededor de 10 segundos para una hulla bituminosa.

Los aspectos anteriores y otros están dirigidos a las necesidades identificadas y proporcionan ventajas como las que se detallan de otra manera en el presente documento.

**Breve descripción de los dibujos**

5 Una vez descrita de esta manera la invención en términos generales, se hará referencia ahora a los dibujos adjuntos, que no necesariamente están dibujados a escala y en los que:

La figura 1 es una ilustración esquemática de una disposición de combustión enfriada por transpiración, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La figura 1A es una ilustración esquemática del perfil de temperatura de una disposición de combustión, a todo lo largo de la cámara de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

10 La figura 2 es una ilustración esquemática de una sección transversal de ejemplo de una pared de un elemento de transpiración en una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La figura 2A es una ilustración esquemática de una sección transversal de ejemplo de una pared de un elemento de transpiración en una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente invención, tomada perpendicularmente a su eje longitudinal, y que ilustra la configuración de poros/perforaciones para proporcionar un flujo helicoidal de un fluido de transpiración.

15

La figura 2B es una ilustración esquemática de una sección transversal de ejemplo de una pared de un elemento de transpiración en una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación, que ilustra una configuración angular de poros/perforaciones para facilitar el flujo helicoidal de un fluido de transpiración.

20 La figura 2C es una ilustración esquemática de una sección transversal de ejemplo de una pared de un elemento de transpiración en una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación, que ilustra tiras longitudinales fundidas del elemento de transpiración, para facilitar el flujo helicoidal de un fluido de transpiración.

La figura 2D es una ilustración esquemática de una estructura de escudo, configurada para ser dispuesta/insertada con respecto al elemento de transpiración mostrado en la figura 2C, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación, para facilitar el flujo helicoidal de un fluido de transpiración.

25

La figura 2E es una ilustración esquemática de un flujo helicoidal de un fluido de transpiración dentro de una cámara de combustión de una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La figura 2F es una ilustración esquemática de un efecto Coanda que puede ser implementado para facilitar el flujo helicoidal de un fluido de transpiración dentro de la cámara de combustión de una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

30

La figura 2G es una ilustración esquemática de flujos helicoidales opuestos, dispuestos en serie, de un fluido de transpiración dentro de una cámara de combustión de una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

35 Las figuras 3A y 3B ilustran esquemáticamente un proceso de ajuste de calor para el montaje de elemento de transpiración de una disposición de combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La figura 4 ilustra esquemáticamente un aparato eliminador de contaminantes del producto de la combustión, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

La figura 5 es un gráfico esquemático que muestra las trayectorias de partículas de ceniza, como una función del tamaño promedio de partícula y de las velocidades de flujo de la sustancia de transpiración, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación; y

40

La figura 6 es una representación esquemática de un sistema de generación de energía eléctrica adaptable, de acuerdo con ciertos aspectos de la presente divulgación.

**Descripción detallada de la divulgación**

45 Se expondrá ahora la presente divulgación más completamente, en lo que sigue, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunos, pero no todos, los aspectos de la descripción.

Un aspecto de una disposición de combustión, capaz de operar con un combustible sólido, de acuerdo con la presente divulgación, está ilustrado esquemáticamente en la **figura 1**, estando indicado en su generalidad la disposición de combustión mediante el número **220**. En este ejemplo, la disposición de combustión **220** puede estar configurada para quemar un sólido en partículas, tal como hulla, para formar un producto de combustión, si bien se puede usar también como combustible cualquier otro material orgánico combustible, adecuado, como se describe

50

aquí. La cámara de combustión **222** está definida por un elemento de transpiración **230**, que está configurado para dirigir una sustancia de transpiración, tal como un fluido de transpiración, a través del mismo, hacia la cámara de combustión **222** (es decir, para facilitar el enfriamiento por transpiración y/o la interacción reguladora entre el producto de la combustión y el elemento de transpiración **230**). Quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que el elemento de transpiración **230** puede ser sustancialmente cilíndrico, de modo que defina una cámara de combustión **222** sustancialmente cilíndrica, que tenga una porción de entrada **222A** y una porción opuesta de salida **222B**. El elemento de transpiración **230** está rodeado, al menos parcialmente, por un elemento de contención de presión **338**. La porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222** está configurada para recibir una mezcla de combustible desde una disposición de mezclado, generalmente indicada con el número **250**. De acuerdo con aspectos particulares, se quema la mezcla de combustible dentro de la cámara de combustión **222** a una temperatura de combustión particular, para formar un producto de combustión; donde la cámara de combustión **222** está configurada además para dirigir el producto de la combustión hacia la porción de salida **222B**. Un dispositivo **350** eliminador de calor (ver, por ejemplo, la **figura 2**) puede estar asociado con el elemento de contención de presión **338** y configurado para controlar su temperatura. En casos particulares, el dispositivo de eliminación de calor **350** puede comprender una camisa de transferencia de calor, definida al menos parcialmente por una pared **336** opuesta al elemento de contención de presión **338**, donde se puede hacer circular un líquido en las camisas **337** de circulación de agua definidas entre los mismos. En un aspecto, el líquido circulado puede ser agua.

La disposición de mezclado **250** está configurada para mezclar un combustible carbonoso **254** con oxígeno enriquecido **242** y un fluido de trabajo **236** para formar una mezcla de combustible **200**. El combustible carbonoso **254** puede estar provisto en la forma de un combustible carbonoso sólido, un combustible carbonoso líquido y/o un combustible carbonoso gaseoso. El oxígeno enriquecido **242** es oxígeno que tiene una pureza molar de más de alrededor de 85%. Se puede suministrar el oxígeno enriquecido **242**, por ejemplo, mediante cualquier sistema o técnica de separación de aire conocidos en la técnica, tal como, por ejemplo, un proceso de separación criogénica de aire, o se podría implementar un proceso de separación de oxígeno en membrana de transporte de iones a alta temperatura (a partir de aire). El fluido de trabajo **236** comprende dióxido de carbono y/o agua. En los casos en que el combustible carbonoso **254** es un sólido en partículas, tal como hulla en polvo **254A**, la disposición de mezclado **250** puede estar configurada además para mezclar el combustible carbonoso sólido en partículas **254A** con una sustancia fluidizante **255**. De acuerdo con un aspecto, el combustible carbonoso sólido en partículas **254A** puede tener un tamaño promedio de partícula de entre alrededor de 50 micrómetros y alrededor de 200 micrómetros. De acuerdo con otro aspecto más, la sustancia fluidizante **255** puede comprender agua y/o CO<sub>2</sub> líquido, que tenga una densidad de entre alrededor de 450 kg/m<sup>3</sup> y alrededor de 1100 kg/m<sup>3</sup>. Más en particular, la sustancia fluidizante **255** puede cooperar con el combustible carbonoso sólido en partículas **254A** para formar un lodo **250A** que tenga, por ejemplo, entre alrededor de 25% en peso y alrededor de 95% en peso del combustible carbonoso sólido en partículas **254A** o, en otros casos, entre alrededor de 25% en peso y alrededor de 60% en peso del combustible carbonoso sólido en partículas **254A**. Si bien se muestra el oxígeno **242** en la **figura 2**, como mezclado con el combustible **254** y el fluido de trabajo **236** antes de la introducción a la cámara de combustión **222**, quien tenga experiencia en la materia apreciará que, en algunos casos, el oxígeno **242** puede ser introducido separadamente en la cámara de combustión **222**, cuando sea necesario o conveniente.

La disposición de mezclado **250**, en algunos aspectos, puede comprender, por ejemplo, una formación de boquillas de inyección espaciadas (no mostradas) dispuestas alrededor de una pared extrema **223** del elemento de transpiración **230**, asociada con la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión cilíndrica **222**. Inyectar el combustible o la mezcla de combustibles en la cámara de combustión **222** de esta manera puede proporcionar, por ejemplo, un área de superficie grande de la corriente de entrada de la mezcla de combustible inyectada que, a su vez, puede facilitar la transferencia rápida de calor a la corriente de entrada de la mezcla de combustible inyectada, por radiación. La temperatura de la mezcla de combustible inyectada puede incrementarse así rápidamente a la temperatura de ignición del combustible (es decir, las partículas de hulla) y, por lo tanto, puede obtenerse como resultado una combustión compacta. La velocidad de inyección de la mezcla de combustible puede estar en la escala, por ejemplo, de entre alrededor de 10 m/segundo y alrededor de 40 m/segundo, si bien estos valores pueden depender de muchos factores, tales como la configuración de las boquillas de inyección particulares. Dicho dispositivo de inyección puede adoptar muchas formas diferentes. Por ejemplo, el dispositivo de inyección puede comprender una formación de orificios, por ejemplo, en la escala de entre alrededor de 0,5 mm y alrededor de 3 mm de diámetro; donde el combustible inyectado sería inyectado a través de los mismos a una velocidad de entre alrededor de 10 m/s y alrededor de 40 m/s.

Esta "inyección directa" del combustible o la mezcla de combustibles a través de pasajes generalmente rectos, lineales y/o sin obstrucciones, directamente hacia la cámara de combustión **222**, por ejemplo, puede reducir el desgaste, la corrosión y/o la acumulación de partículas, en particular en los casos en que el combustible incluye un componente sólido (es decir, lodo de hulla en una disposición de combustión con oxidación parcial (POX)). En algunos casos, sin embargo, puede ser ventajoso que el combustible o la mezcla de combustibles se desvíe del flujo uniforme y recto una vez que esté dentro de la cámara de combustión **222**. Por ejemplo, puede ser ventajoso, en algunos aspectos, hacer que el combustible o la mezcla de combustibles forme torbellinos o se altere de otra manera en su flujo uniforme y recto, de modo que, por ejemplo, promueva el mezclado del combustible o la mezcla de combustibles, lo que da por resultado un proceso de combustión más eficiente.

En otros aspectos, la disposición de mezclado **250** puede estar remoto con respecto a la cámara de combustión **222**,

o puede estar separado de ella de otra manera. Por ejemplo, en algunos aspectos, se puede configurar la disposición de mezclado **250** para que dirija la mezcla de combustible **200** a un dispositivo quemador **300** que se extiende dentro de la cámara de combustión **222**, a través del elemento de contención de presión **338** y el elemento de transpiración **230**. El dispositivo quemador **300** está configurado para que introduzca el combustible o la mezcla de combustibles en la cámara de combustión **222** en un flujo recto, sustancialmente uniforme, similar al dispositivo de "inyección directa". Es decir, el dispositivo quemador **300** se configura para que reciba el combustible o la mezcla de combustibles de la disposición de mezclado **250** y para que dirija un flujo lineal sustancialmente uniforme del combustible o la mezcla de combustible hacia la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222**. Sin embargo, en algunos casos (es decir, usando el combustible que no incluye partículas sólidas), el dispositivo **300** puede incluir provisiones apropiadas para hacer, o inducir de otra manera, que el combustible o la mezcla de combustibles forme torbellinos o se arremoline cuando se dirija a la cámara de combustión **222**, como lo apreciarán quienes tengan experiencia en la materia. O sea, que se puede configurar el dispositivo quemador **300** para provocar torbellinos o alterar de otra manera el flujo recto uniforme del combustible o de la mezcla de combustibles cuando se lo introduce en la cámara de combustión **222**. En algunos aspectos, el dispositivo quemador **300** puede ser configurado para recibir el combustible o la mezcla de combustibles de la disposición de mezclado **250** y dirigir el combustible o la mezcla de combustibles a la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222**, al mismo tiempo que induce una turbulencia del combustible o la mezcla de combustibles dirigida hacia la cámara de combustión **222**. Más en particular, el dispositivo quemador **300** puede estar configurado para inducir la turbulencia del combustible o la mezcla de combustibles cuando sale el combustible o la mezcla de combustible del mismo hacia la cámara de combustión **222**.

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

En algunos casos, el elemento de transpiración **230** puede comprender, por ejemplo, un elemento de transpiración exterior **331** y un elemento de transpiración interior **332**; estando dispuesto el elemento de transpiración interior **332** opuesto al elemento de transpiración exterior **331** desde el elemento de contención de presión **338**, y que define la cámara de combustión **222**. El elemento de transpiración exterior **331** puede consistir en cualquier material adecuado, resistente a las temperaturas elevadas, tal como, por ejemplo, acero y aleaciones de acero, incluyendo acero inoxidable y aleaciones al níquel. En algunos casos, se puede configurar el elemento de transpiración exterior **331** para definir primeros pasajes **333A** de suministro de fluido de transpiración, que se extienden a través del mismo desde su superficie adyacente a la capa aislante **339**, hasta su superficie adyacente al elemento de transpiración interior **332**. Los primeros pasajes de suministro de fluido de transpiración **333A**, en algunos casos, pueden corresponder con los segundos pasajes de suministro de fluido de transpiración **333B**, definidos por el elemento de contención de presión **338**, la camisa de transferencia de calor **336** y/o la capa de aislamiento **339**. El primer y segundo pasajes de suministro de fluido de transpiración **333A**, **333B**, pueden estar configurados, así, para cooperar a fin de dirigir una sustancia de transpiración, tal como un fluido de transpiración **210**, a través de los mismos, al elemento de transpiración interior **332**. Como se muestra, por ejemplo, en la **figura 1**, en algunos casos el fluido de transpiración **210** puede comprender el fluido de trabajo **236** y se puede obtener de la misma fuente asociada con el mismo. Los pasajes de suministro de fluido de transpiración primero y segundo **333A**, **333B** pueden estar aislados, cuando sea necesario, para el suministro del fluido de transpiración **210** (o sea, CO<sub>2</sub>), en un suministro suficiente y a una presión suficiente como para que se dirija el fluido de transpiración **210** a través del elemento de transpiración interior **332** y hacia la cámara de combustión **222**. Tales medidas que involucran el elemento de transpiración **230** y el fluido de transpiración asociado **210**, como se describen aquí, pueden permitir que la disposición de combustión **220** opere a presiones relativamente altas y a temperaturas relativamente altas, por lo demás descritas aquí.

En este sentido, la cámara de transpiración interior **332** puede consistir, por ejemplo, de un material cerámico poroso, un material perforado, un material laminado, una esterilla porosa compuesta por fibras orientadas aleatoriamente en dos dimensiones y ordenadas en la tercera dimensión, o por cualquier otro material adecuado, o combinaciones de los mismos, que exhiben las características requeridas que están descritas aquí, o sea, múltiples pasajes de flujo o poros u otras aberturas **335** adecuadas, para recibir y dirigir el fluido de transpiración a través del elemento de transpiración interior **332**. Ejemplos no restrictivos de cerámica porosa y de otros materiales adecuados para dichos sistemas de enfriamiento por transpiración incluyen: óxido de aluminio, óxido de zirconio, zirconio endurecido por transformación, cobre, molibdeno, tungsteno, tungsteno infiltrado con cobre, molibdeno revestido con tungsteno, cobre revestido con tungsteno, diversas aleaciones de níquel de alta temperatura, y materiales forrados o revestidos con renio. Las fuentes de materiales adecuados incluyen, por ejemplo: CoorsTek, Inc. (Golcen, CO) (zirconio); UltraMet Advanced Materials Solutions (Pacoima, CA) (revestimientos de metal refractarios); Osram Sylvania (Danvers, MA) (tungsteno/cobre) y MarkeTech International, Inc. (Port Townsend, WA) (tungsteno).

Ejemplos de materiales perforados, adecuados para dichos sistemas de enfriamiento por transpiración incluyen todos los materiales y proveedores anteriores (donde las estructuras perforadas finales pueden ser obtenidas, por ejemplo, perforando una estructura inicialmente no porosa, usando métodos conocidos en la técnica de fabricación).  
 5 Ejemplos de materiales laminados adecuados incluyen todos los materiales y proveedores anteriores (donde se pueden obtener las estructuras laminadas finales, por ejemplo, laminando estructuras no porosas o parcialmente porosas de tal manera que se obtenga la porosidad final deseada, usando métodos conocidos en la técnica de fabricación).

En otros aspectos más, el elemento de transpiración interior **332** puede extenderse desde la porción de entrada **222A** a la porción de salida **222B** del elemento de transpiración **230**. En algunos casos, la estructura perforada/porosa del elemento de transpiración interior **332** puede extenderse sustancialmente por completo (axialmente) desde la porción de entrada **222A** hasta la porción de salida **222B**, de tal manera que el fluido de transpiración **210** sea dirigido sustancialmente a todo lo largo de la cámara de combustión **222**. Es decir, sustancialmente la totalidad del elemento de transpiración interior **332** puede estar configurada con una estructura perforada/porosa, de manera que sustancialmente toda la longitud de la cámara de combustión **222** sea enfriada por transpiración. Más en particular, en algunos aspectos, el área acumulativa de perforación/poros puede ser sustancialmente igual al área de superficie del elemento de transpiración interior **332**. O sea, que la proporción del área de poros al área de pared total (% de porosidad) puede ser del orden, por ejemplo, de 50%. En otros aspectos más, las perforaciones/los poros pueden estar espaciados a una densidad apropiada, de manera que se obtenga la distribución sustancialmente uniforme de la sustancia de transpiración del elemento de transpiración interior **332** hasta la cámara de combustión **222** (o sea, que se carezca de "puntos muertos", en los que falte el flujo o la presencia de la sustancia de transpiración **210**). En un ejemplo, el elemento de transpiración interior **332** puede incluir una formación de perforaciones/poros del orden de 98 x 98 por cm<sup>2</sup> (250 x 250 por pulgada cuadrada), a fin de proporcionar alrededor de 9688 por cm<sup>2</sup> (62.500 poros por pulgada cuadrada); estando espaciados dichas perforaciones o poros a alrededor de 0,01016 cm (0,004 pulgadas). Sin embargo, quien tenga experiencia en la materia apreciará que la configuración de la formación de poros puede variar, según sea apropiado, a fin de que se pueda adaptar a otros parámetros de configuración de sistema, o para obtener un resultado deseado tal como, por ejemplo, una caída de presión 0 deseada contra la velocidad de flujo a través del elemento de transpiración **230**. En otro ejemplo, la disposición de poros puede variar en tamaño desde alrededor de 4 x 4 por cm cuadrado (10 x 10 por pulgada cuadrada) hasta alrededor de 3937 x 3937 por cm cuadrado (10.000 x 10.000 por pulgada cuadrada, variando los porcentajes de porosidad entre alrededor de 10% y alrededor de 80%.

Las **figuras 3A y 3B** ilustran que, en un aspecto de una disposición de combustión **220**, la estructura que define la cámara de combustión **222** puede estar formada a través de un ajuste de interferencia "caliente" entre el elemento de transpiración **230** y la estructura circundante, tal como el elemento de contención de presión **338** o la capa de aislamiento **339** dispuesta entre el elemento de transpiración **230** y el elemento de contención de presión **338**. Por ejemplo, cuando está relativamente "frío", el elemento de transpiración **230** puede estar dimensionado para que sea menor, radial y/o axialmente, con respecto al elemento de contención de presión **338** circundante. De esa manera, cuando se inserta en el elemento de contención de presión **338** puede estar presente una separación radial y/o axial entre los mismos (ver, por ejemplo, la **figura 3A**). Por supuesto, dichas diferencias dimensionales pueden facilitar la inserción del elemento de transpiración **230** en el elemento de contención de presión **338**. Sin embargo, cuando se calienta, por ejemplo, hasta la temperatura de operación, el elemento de transpiración **230** puede estar configurado para que se expanda radialmente y/o axialmente, a fin de reducir o eliminar las separaciones anotadas (ver, por ejemplo, la **figura 3B**). Al hacer esto, se puede formar un ajuste de interferencia axial y/o radial entre el elemento de transpiración **230** y el elemento de contención de presión **338**. En los casos que involucran un elemento de transpiración **230** que tiene un elemento de transpiración exterior **331** y un elemento de transpiración interior **332**, dicho ajuste de interferencia puede colocar el elemento de transpiración interior **332** bajo compresión. De esa manera, los materiales frágiles, resistentes a alta temperatura, adecuados, tales como una cerámica porosa, pueden ser usados para formar el elemento de transpiración interior **332**.

Con el elemento de transpiración interior **332** así configurado, la sustancia de transpiración **210** puede comprender, por ejemplo, dióxido de carbono (es decir, de la misma fuente que el fluido de trabajo **236**) dirigido a través del elemento de transpiración interior **332**, de manera que la sustancia de transpiración **210** forme una capa reguladora **231** (o sea, un "muro de vapor") inmediatamente adyacente al elemento de transpiración interior **332**, dentro de la cámara de combustión **222**, en el que la capa reguladora **231** puede estar configurada para regular la interacción entre el elemento de transpiración interior **332** y los elementos incombustibles licuados y el calor asociado con el producto de la combustión. Es decir, en algunos casos, se puede suministrar el fluido de transpiración **210** a través del elemento de transpiración interior **332**, por ejemplo, por lo menos a la presión que existe dentro de la cámara de combustión **222**, en el que la velocidad de flujo del fluido de transpiración **210** (o sea, la corriente de CO<sub>2</sub>) hacia la cámara de combustión **222** es suficiente para que el fluido de transpiración **210** se mezcle con los productos de la combustión y los enfríe, para formar una mezcla de fluido de salida a una temperatura suficiente, con respecto al requerimiento de la entrada del proceso subsiguiente corriente abajo (es decir, una turbina puede requerir una temperatura de entrada, por ejemplo, de alrededor de 1225°C), pero en el que la temperatura de la mezcla de fluido de salida permanece suficientemente alta para mantener las gotas de escoria u otros contaminantes en estado fluido o líquido. El estado líquido de los elementos incombustibles del combustible puede facilitar, por ejemplo, la separación de tales contaminantes del producto de la combustión en forma líquida, de preferencia en una forma de

flujo libre a baja viscosidad, que será menos probable que ocluya o dañe de otra manera algún sistema de eliminación implementado para esa separación. En la práctica, dichos requerimientos pueden depender de varios factores, tales como el tipo de combustible carbonoso sólido (o sea, la hulla) empleado y de las características particulares de la escoria formada en el proceso de combustión. Es decir, que la temperatura de combustión dentro de la cámara de combustión **222** de preferencia es tal que cualquier elemento incombustible presente en el combustible carbonoso se licue dentro del producto de la combustión.

En aspectos particulares, el elemento poroso de transpiración interior **332** está configurado así para dirigir el fluido/la sustancia de transpiración hacia la cámara de combustión **222** de una manera radialmente hacia dentro, a fin de formar una pared de barrera de fluido o capa amortiguadora **231** alrededor de la superficie del elemento de transpiración interior **332** que define la cámara de combustión **222** (ver, por ejemplo, la **figura 2**). En un aspecto particular, el elemento poroso de transpiración interior **332** está configurado así para dirigir el fluido de transpiración hacia la cámara de combustión **222**, de manera que la sustancia de transpiración **210** entre en la cámara de combustión **222** a un ángulo sustancialmente recto (90 grados) con respecto a la superficie interior del elemento de transpiración interior **332**. Entre otras ventajas, la introducción de la sustancia de transpiración **210** al ángulo sustancialmente recto con respecto al elemento de transpiración interior **332** puede facilitar o intensificar de otra manera el efecto de dirigir las gotas líquidas o sólidas de escoria u otros contaminantes o los vórtices de fluido de combustión caliente lejos de la superficie interior del elemento de transpiración interior **332**. Reducir, bajar al mínimo o prevenir de otra manera el contacto entre las gotas líquidas o sólidas de escoria y el elemento de transpiración interior **332**, puede prevenir, por ejemplo, la coalescencia de tales contaminantes a gotas o masas mayores, lo que se sabe que puede ocurrir cuando hay contacto entre las gotas/partículas y las paredes sólidas, y que puede provocar daños al elemento de transpiración interior **332**. La introducción de la sustancia de transpiración **210** a un ángulo sustancialmente recto con respecto al elemento de transpiración interior **332** puede facilitar así, o intensificar de otra manera la prevención de la formación de vórtices de fluido de combustión en las cercanías del elemento de transpiración interior **332**, con suficiente velocidad o momento para chocar sobre el elemento de transpiración interior **332** y dañarlo potencialmente.

Como se divulgó previamente, puede ser ventajoso, en otros casos, inducir turbulencia u otra alteración del flujo uniforme recto, en el combustible/la mezcla de combustibles cuando el combustible/la mezcla de combustibles está siendo dirigida hacia la cámara de combustión **222**. Al obtener dicha alteración de flujo después que se ha suministrado el combustible/la mezcla de combustibles a la cámara de combustión **222**, se pueden evitar o reducir al mínimo los inconvenientes asociados con las boquillas u otros dispositivos quemadores o dispositivos de suministro usados para provocar dicha alteración de flujo, antes del suministro del combustible/la mezcla de combustibles a la cámara de combustión **222**. Sin embargo, quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que, en algunos casos, dicha introducción posterior del combustible/la mezcla de combustibles puede ser necesaria algunas veces y/o conveniente, junto con dichos dispositivos de suministro de combustible/mezcla de combustibles que imparten alteración de su flujo antes de la introducción.

De tal manera, en algunos aspectos de la presente divulgación se puede configurar por lo menos el elemento de transpiración interior **332** para que dirija sustancialmente de manera uniforme el fluido de transpiración **210** a través del mismo, hacia la cámara de combustión **222**, de manera que se dirija el fluido de transpiración **210** para que fluya helicoidalmente (ver, por ejemplo, la **figura 2E**) alrededor de su perímetro **221** (ver, por ejemplo, la **figura 2A**) y longitudinalmente entre la porción de entrada **222A** y la porción de salida **222B**, para formar la pared de barrera de fluido o capa amortiguadora **231** alrededor de la superficie del elemento de transpiración interior **332** para amortiguar la interacción entre el elemento de transpiración **332** y los productos de la combustión y/o la mezcla de combustibles. Más en particular, en algunos aspectos, por lo menos el elemento de transpiración interior **332** está configurado para dirigir el fluido de transpiración **210** a través del mismo y hacia la cámara de combustión **222**, sustancialmente de manera uniforme alrededor de su perímetro **221** y longitudinalmente entre la porción de entrada **222A** y la porción de salida **222B**, de manera que el fluido de transpiración **210** sea dirigido para fluir sustancialmente en forma tangencial al perímetro **221** del elemento de transpiración interior **332** y helicoidalmente (es decir, en forma espiral o helicoidal) alrededor del mismo, como se muestra, por ejemplo, en las **figuras 2A y 2E**. Por ejemplo, las perforaciones o poros **335**, definidos por el elemento de transpiración interior **332** puede estar arqueados o angulados cuando se extienden entre la superficie exterior y su superficie interior (ver, por ejemplo, la **figura 2A**), a fin de dirigir el fluido de transpiración **210** que fluye a través del mismo, sustancialmente en sentido tangencial con respecto al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra manera a lo largo del mismo.

En otro ejemplo, los poros a lo largo de las tiras longitudinales del elemento de transpiración interior **332** pueden estar fundidos/cerrados a fin de facilitar que el fluido de transpiración **210** fluya a través del mismo, sustancialmente tangencial al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra manera a lo largo del mismo (ver, por ejemplo, la **figura 2C**). En otros casos, además de, o en lugar de, fundir las tiras longitudinales del elemento de transpiración interior **332**, se podría disponer/insertar una estructura de blindaje **224** (o sea, un dispositivo de escudo metálico o de cerámica) con respecto al elemento de transpiración interior **332**, como se muestra, por ejemplo, en la **figura 2C**, de manera que bloquee superficies particulares de la pared porosa para prevenir el flujo radial a través de las mismas, sin bloquear otras superficies que facilitan el flujo del fluido de transpiración **210** sustancialmente tangencial al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra manera a lo largo del mismo (ver, por ejemplo, las **figuras 2C y 2D**). Si bien la estructura **224** o el proceso de fusión se pueden configurar para dirigir el fluido de transpiración **210** sustancialmente tangencial al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra

manera a lo largo del mismo, una vez que su flujo interactúa con el flujo de combustión longitudinal, el flujo de la suma vectorial se volverá sustancialmente helicoidal. Sin embargo, quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que puede haber muchas otras maneras de configurar el elemento de transpiración interior **332** para obtener el flujo del fluido de transpiración **210** sustancialmente tangencial al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra manera a lo largo del mismo.

En otro ejemplo más se pueden configurar las perforaciones/los poros **335** para impartir un efecto de Coanda sobre el fluido de transpiración **210** (ver, por ejemplo, la **figura 2F**), dirigido a través de ellos, a fin de dirigir el fluido de transpiración **210** que fluye a través de los mismos sustancialmente tangencial al perímetro **221** de la cámara de combustión **222**, o de otra manera a lo largo del mismo. En tales casos, el flujo del combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión desde la porción de entrada **222A** hacia la porción de salida **222B**, puede hacer que el flujo del fluido de transpiración **210** sea dirigido también longitudinalmente hacia la porción de salida **222B**, para efectuar de esa manera el flujo helicoidal o en espiral del fluido de transpiración **210** a lo largo de la cámara de combustión **222**. En esos casos, los poros/las perforaciones **335** definidos por el elemento de transpiración interior **332** se pueden extender a través del mismo sustancialmente perpendiculares al eje longitudinal de la cámara de combustión **222** como se muestra, por ejemplo, en la **figura 2**. Sin embargo, en otros casos, los poros/las perforaciones **335** pueden estar a un ángulo hacia la porción de salida **222B** (ver, por ejemplo, la **figura 2B**) para promover el flujo helicoidal/en espiral del fluido de transpiración **210** y/o el mezclado con la mezcla de combustible/los productos de la combustión o los poros/las perforaciones **335** pueden estar a un ángulo hacia la porción de entrada **222A** (no mostrada) para afectar de otra manera la interacción entre el fluido de transpiración **210** y la mezcla de combustible y/o los productos de la combustión (o sea, promueven el mezclado o controlan la velocidad de la combustión). En consecuencia, dicha manipulación del flujo de la mezcla de combustible/los productos de la combustión a lo largo de la cámara de combustión **222** puede proporcionar los efectos deseados en las características de la combustión y controlarlas, y/o en la cinética durante el proceso de la combustión, en algunos casos, sin un dispositivo físico que afecte de otra manera el flujo sustancialmente recto y uniforme del combustible/la mezcla de combustibles hacia la cámara de combustión **222**. Dicha disposición, es decir, la ausencia de dispositivos físicos para afectar el flujo de la mezcla de combustibles/productos de combustión, puede ser ventajosa de otra manera, por ejemplo, al eliminar los sitios de acumulación para las partículas contenidas en la mezcla de combustibles y/o en los productos de la combustión, como lo apreciarán quienes tengan experiencia en la materia.

Al manipular así el flujo de la mezcla de combustibles/los productos de la combustión, a fin de impartir o inducir de otra manera su torbellino dentro de la cámara de combustión **222**, el dispositivo quemador **300** y/o el elemento de transpiración **230** pueden estar configurados en diferentes disposiciones. Por ejemplo, en un aspecto, el dispositivo quemador **300** puede estar configurado para recibir el combustible/la mezcla de combustibles de la disposición de mezclado **250** y para dirigir el combustible/la mezcla de combustibles hacia la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222** en una dirección de flujo generalmente opuesta al flujo helicoidal del fluido de transpiración **210**. En otro aspecto, el dispositivo quemador **300** puede estar configurado para recibir el combustible/la mezcla de combustible desde la disposición de mezclado **250** y para dirigir el combustible/la mezcla de combustibles hacia la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222**, en una dirección consistente con (o sea, en la misma dirección que) el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210**. En otro aspecto más, el dispositivo quemador **300** puede estar configurado para recibir el combustible/la mezcla de combustible de la disposición de mezclado **250** y para dirigir un flujo lineal sustancialmente uniforme del combustible/la mezcla de combustibles hacia la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222**, en el que el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** está configurado para inducir la turbulencia del combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión dentro de la cámara de combustión **222**.

Cada uno de dichos dispositivos puede tener un propósito y/o un efecto separados. Por ejemplo, dirigir el flujo del combustible/la mezcla de combustibles en una dirección opuesta al flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** puede hacer lento o detener el torbellino inducido en el combustible/la mezcla de combustibles debido a la fricción entre los flujos opuestos. De esa manera, también se puede hacer lenta la combustión del combustible/la mezcla de combustibles. Inversamente, si se dirige el combustible/la mezcla de combustibles en la misma dirección que el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210**, se puede intensificar el torbellino del combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión, disminuyendo posiblemente el tiempo necesario para completar sustancialmente la combustión del combustible/la mezcla de combustibles, o incrementando de otra manera la proporción del combustible/la mezcla de combustibles quemados durante el proceso (o sea, se incrementa la proporción de quemado del combustible). Dirigir el combustible/la mezcla de combustibles en un flujo lineal sustancialmente uniforme puede ser ventajoso, por ejemplo, cuando el combustible/la mezcla de combustibles incluye sólidos u otras partículas, como se describió previamente, puesto que el flujo no está impedido por dispositivos mecánicos, y donde su torbellino deseado puede ser inducido por el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** para intensificar su combustión.

En consecuencia, tales efectos, en algunos aspectos, se pueden combinar a fin de intensificar la eficacia de la disposición de combustión **220**. Por ejemplo, como se muestra en la **figura 2E**, la cámara de combustión **222** puede incluir una sección de combustión **244A**, dispuesta hacia la porción de entrada **222A**, y una sección posterior a la combustión **244B**, dispuesta hacia la porción de salida **222B**, donde el elemento de transpiración **230** puede estar configurado de manera que el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** sobre la sección posterior a la combustión **244B** sea opuesto al flujo helicoidal de la transpiración **210**, sobre la sección de combustión **244A**, a fin

de invertir el torbellino inducido del producto de la combustión en la sección posterior a la combustión **244B**, con respecto al torbellino inducido del combustible/la mezcla de combustibles en la sección de combustión **244A**. En tales casos, el combustible/la mezcla de combustibles puede ser dirigido hacia la sección de combustión **244A** de la cámara de combustión **222**, en la misma dirección que el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210**, a fin de intensificar su combustión, como se discutió previamente. Invertir la dirección del flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** en la sección posterior a la combustión **244B**, por ejemplo, puede efectuar un "torbellino opuesto" en los productos de la combustión al incrementar el esfuerzo cortante local y, de esa manera, intensificar el mezclado de los productos de la combustión. Al hacer esto, los productos de la combustión pueden mezclarse más rápida y completamente en la corriente de flujo de salida de la porción de salida **222B**, a fin de proporcionar una corriente de flujo de salida más homogénea desde la disposición de combustión **220**.

Según la invención, el elemento de transpiración **230** está configurado de tal manera que el flujo helicoidal del fluido de transpiración **210** se invierta alternadamente a lo largo de por lo menos una sección del mismo, a modo de invertir alternativamente el torbellino inducido del combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión entre la porción de entrada **222A** y la porción de salida **222B**. Dicha sección alternante del flujo helicoidal opuesto del fluido de transpiración **210**, por ejemplo, puede incrementar la turbulencia local y, de esa manera, incrementar el mezclado del combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión. En algunos casos, por ejemplo, para incrementar adicionalmente dicha turbulencia local para inducir otros cambios en la dinámica de la combustión, la cinética y/o la trayectoria de flujo dentro o a través de la cámara de combustión **222**, el elemento de transpiración **230** puede incluir adicionalmente por lo menos un puerto de transpiración **246** (ver, por ejemplo, la **figura 2G**) que se extiende a través del mismo; donde el al menos un puerto de transpiración **246** puede estar configurado para dirigir un flujo lineal suplementario del fluido de transpiración **210** hacia el combustible/la mezcla de combustibles y/o los productos de la combustión, a fin de afectar posiblemente sus características de flujo, así como la dinámica y la cinética de la combustión. En algunos aspectos, un chorro del fluido de transpiración, configurado apropiadamente, dirigido a través de al menos un puerto de transpiración **246** que se extiende lateralmente, puede ser suficiente para bifurcar el flujo dentro de la cámara de combustión **222** o hacer de otra manera que el flujo "se doble" alrededor del chorro del fluido de transpiración, permitiendo de esa manera que se forme el flujo a todo lo largo de la cámara de combustión **222**. Cuando se usa más de uno de estos puertos de transpiración **246**, los puertos de transpiración **246** pueden estar espaciados angular y/o longitudinalmente con respecto a la cámara de combustión **222**, de modo que, por ejemplo, muevan las regiones de combustión de más alta temperatura a otros sectores dentro de la cámara de combustión **222** (es decir, previenen el calentamiento localizado o el sobrecalentamiento de ciertos sectores de la cámara de combustión **222**), o inducen el mezclado entre diferentes regiones de combustión que tienen diferentes temperaturas.

En algunos casos el elemento de transpiración exterior **331**, el elemento de contención de presión **338**, la camisa de transferencia de calor **336** y/o la capa de aislamiento **339**, pueden estar configurados, individualmente o en combinación, para proporcionar un efecto de "múltiple" (es decir, proporcionar un suministro distribuido de manera sustancialmente uniforme) con respecto al suministro de la sustancia de transpiración/el fluido **210**, a y a través del elemento de transpiración interior **332**, y hacia la cámara de combustión **222**. Esto es, se puede lograr un suministro sustancialmente uniforme (en términos de velocidad de flujo, presión o cualquier otra medida adecuada y apropiada) de la sustancia de transpiración **210** a la cámara de combustión **222** configurando el elemento de transpiración exterior **331**, el elemento de contención de presión **338**, la camisa de transferencia de calor **336** y/o la capa de aislamiento **339** para proporcionar un suministro uniforme de la sustancia de transpiración **210** al elemento de transpiración interior **332**, o el suministro de la sustancia de transpiración **210** alrededor de la superficie exterior del elemento de transpiración interior **332** puede hacerse a la medida particular y configurarse de manera que se obtenga una distribución sustancialmente uniforme de la sustancia de transpiración **210** dentro de, alrededor de, o a lo largo de, la cámara de combustión **222**. Dicha distribución y dicho suministro sustancialmente uniformes de la sustancia de transpiración **210** hacia la cámara de combustión **222** puede reducir al mínimo o prevenir la formación de los vórtices del fluido de combustión, puesto que los vórtices de fluido de combustión caliente pueden formarse de otra manera a través de la interacción entre el flujo de fluido de transpiración no uniforme y el flujo del fluido de combustión, y dichos vórtices, a su vez, chocan sobre el elemento de transpiración interior **332** y lo dañan potencialmente. En algunos aspectos, es conveniente la uniformidad de la distribución de la sustancia de transpiración **210** dentro de la cámara de combustión **222**, por lo menos de una manera local o como marco de referencia. Es decir, a distancias relativamente grandes a lo largo de la cámara de combustión **222**, la uniformidad del flujo de la sustancia de transpiración/el fluido **210** puede variar; pero puede ser conveniente y/o necesario que el flujo varíe suavemente para prevenir discontinuidades en el perfil de flujo, que pudieran conducir a la formación de vórtices potencialmente dañinos.

La superficie del elemento de transpiración interior **332** también es calentada por los productos de la combustión. De esa manera, el elemento de transpiración poroso interior **332** puede estar configurado para que tenga una conductividad térmica adecuada, de modo que el fluido de transpiración **210** que pasa a través de la cámara de transpiración interior **332** se caliente, al mismo tiempo que se enfría simultáneamente el elemento de transpiración poroso interior **332**, lo que da por resultado que la temperatura de la superficie del elemento de transpiración interior **332** que define la cámara de combustión **222**, sea, por ejemplo, de entre alrededor de 200°C y alrededor de 700°C (y, en algunos casos, hasta alrededor de 1000°C) en la región de la máxima temperatura de combustión. La pared de barrera de fluido o la capa reguladora o amortiguadora **231**, formada por el fluido de transpiración **210** en

cooperación con el elemento de transpiración interior **332**, amortigua de esa manera la interacción entre el elemento de transpiración interior **332** y los productos de combustión a alta temperatura y la escoria y demás partículas contaminantes y, de esa manera, protege el elemento de transpiración interior **332** de contacto, fallos u otros daños. Además, el fluido de transpiración **210** introducido en la cámara de combustión **222** a través del elemento de transpiración interior **332** de tal manera que regule una mezcla de salida del fluido de transpiración **210** y los productos de la combustión, alrededor de la porción de salida **222B** de la cámara de combustión **222**, a una temperatura de entre alrededor de 400°C y alrededor de 3500°C.

Quien tenga experiencia en la materia apreciará que la referencia a una mezcla de salida del fluido de transpiración **210** y los productos de combustión alrededor de la porción de salida **222B** de la cámara de combustión **222** a una temperatura de entre alrededor de 400°C y alrededor de 3500°C, no necesariamente indica que la temperatura de la mezcla de salida llega a un pico en la salida de la porción de salida **222B** de la cámara de combustión **222**. En la práctica, la temperatura de la disposición de combustión siempre alcanzará una temperatura mucho más alta en alguna parte a todo lo largo del mismo, entre la porción de entrada **222A** y la porción de salida **222B** de la cámara de combustión **222**, como se ilustra esquemáticamente, por ejemplo, en la **figura 1A** (con una temperatura relativa graficada a lo largo del eje y, y una posición relativa a lo largo de la cámara de combustión, entre la porción de entrada y la porción de salida, graficada a lo largo del eje x). En general, puede ser conveniente alcanzar una temperatura suficientemente alta a fin de completar el proceso de combustión en la cámara de combustión **222** lo suficientemente rápido como para que la reacción se complete antes que la mezcla de salida salga de la cámara de combustión **222**. Después que se alcanza la temperatura pico dentro de la cámara de combustión **222**, la temperatura de la mezcla de salida, en algunos casos, puede caer debido a la dilución de la sustancia/el fluido de transpiración **210**.

De acuerdo con ciertos aspectos, un fluido de transpiración **210**, adecuado para su implementación en una disposición de combustión **220**, como el descrito aquí, puede incluir cualquier fluido apropiado, capaz de proporcionarse a un flujo de cantidad y presión suficientes, a través del elemento de transpiración interior **332** para formar la pared de barrera de fluido/capa amortiguadora **231**, y capaz de diluir los productos de la combustión para producir una temperatura de salida final adecuada de la corriente de salida de fluido de trabajo/productos de la combustión. En algunos aspectos, el CO<sub>2</sub> puede ser un fluido de transpiración **210** adecuado, ya que la pared de barrera de fluido/capa amortiguadora, formada por el mismo, puede demostrar buenas propiedades de aislamiento térmico, así como propiedades convenientes de absorción de la luz visible y de la luz UV. Si se implementa, se usa el CO<sub>2</sub> como un fluido supercrítico. Otros ejemplos de un fluido de transpiración adecuado incluyen, por ejemplo, H<sub>2</sub>O o gases productos de la combustión, reciclados desde procesos corriente abajo. Se pueden usar algunos combustibles como fluidos de transpiración durante el arranque de la disposición de combustión, para obtener, por ejemplo, temperaturas y presiones de operación apropiadas en la cámara de combustión **222**, antes de inyectar la fuente de combustible usada durante la operación. También se pueden usar algunos combustibles como fluido de transpiración para ajustar o mantener las temperaturas y las presiones de operación de la disposición de combustión **220** durante el cambio entre las fuentes de combustible, tal como cuando se cambia de hulla a biomasa, como la fuente de combustible. En algunos aspectos se pueden usar dos o más fluidos de transpiración. Se puede optimizar el fluido de transpiración **210** para las condiciones de temperatura y presión de la cámara de combustión **222**, cuando el fluido de transpiración **210** forma la pared de barrera de fluido /la capa amortiguadora de fluido **231**.

De esta manera, algunos aspectos de la presente descripción proporcionan aparatos y métodos para producir energía, tal como energía eléctrica, mediante el uso de un aparato de combustión de combustible a presión **220**, de gran eficiencia, y un fluido de trabajo asociado **236**. El fluido de trabajo **236** es introducido en la disposición de combustión **220** junto con un combustible **254** y un oxidante **242** apropiados, y cualquier material asociado que también pueda ser útil para una combustión eficiente. En aspectos particulares, que implementan una disposición de combustión **220**, configurada para operar a temperaturas relativamente altas (por ejemplo, en el intervalo de entre alrededor de 1300°C y alrededor de 5000°C), el fluido de trabajo **236** puede facilitar la moderación de la temperatura de una corriente de fluido que sale de la disposición de combustión **220**, de manera que la corriente de fluido pueda ser utilizada para extraer energía del mismo con el propósito de producir energía eléctrica.

En ciertos aspectos, la disposición de combustión **220**, enfriado por transpiración, puede ser implementado en un sistema de generación de energía eléctrica, usando un fluido de trabajo circulado **236** que comprende, por ejemplo, predominantemente CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O. En un aspecto particular, el fluido de trabajo **236** que entra en la disposición de combustión **220** de preferencia comprende sustancialmente solo CO<sub>2</sub>. En la disposición de combustión **220**, que opera bajo condiciones oxidantes, el fluido de trabajo CO<sub>2</sub> **236** puede combinarse con uno o más componentes del combustible **254**, un oxidante **242** y cualquier producto del proceso de combustión del combustible. Así, el fluido de trabajo **236** dirigido hacia la porción de salida **222B** de la disposición de combustión **220**, y que sale del mismo, que también puede denominarse aquí la corriente de fluido de salida, puede comprender, como se muestra en la figura 1, predominantemente CO<sub>2</sub> (en los casos en que el fluido de trabajo es predominantemente CO<sub>2</sub>), junto con cantidades menores de otros materiales, tales como H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, argón, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>, HCl, Hg y vestigios de otros componentes que pueden ser productos del proceso de combustión (por ejemplo, partículas o contaminantes, tales como ceniza o ceniza licuada). Ver el elemento **150** de la **figura 1**. La operación de la disposición de combustión **220**, bajo condiciones reductoras, puede dar por resultado una corriente de fluido de salida con una lista diferente de posibles componentes, que incluyen: CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, COS, HCl, N<sub>2</sub> y argón, como se muestra en el elemento **175** de la **figura 1**. Como se discute adicionalmente con detalle aquí, el proceso de la

combustión asociado con la disposición de combustión **220** puede ser controlado de manera que la naturaleza de la corriente del fluido de salida pueda ser reductora u oxidante, donde cualquiera de los casos puede proporcionar beneficios particulares.

En aspectos particulares, se puede configurar la disposición de combustión **220** como una disposición de combustión enfriada por transpiración, de gran eficiencia, capaz de proporcionar la combustión relativamente completa de un combustible **254** a una temperatura de operación relativamente alta, por ejemplo, en el intervalo de entre alrededor de 1300°C y alrededor de 5000°C. Dicha disposición de combustión **220**, por ejemplo, puede implementar uno o más fluidos de enfriamiento y/o uno o más fluidos de transpiración **210**. En asociación con la disposición de combustión **220**, también se pueden implementar componentes adicionales. Por ejemplo, se puede proporcionar una unidad de separación de aire para separar el N<sub>2</sub> y O<sub>2</sub>, y se puede proporcionar un dispositivo inyector de combustible para recibir el O<sub>2</sub> de la unidad de separación de aire y combinar el O<sub>2</sub> con el CO<sub>2</sub> y/o H<sub>2</sub>O, y una corriente de combustible que comprende un combustible gaseoso, un combustible líquido, un fluido supercrítico o uno en partículas sólidas, hecho lodo en un CO<sub>2</sub> fluido de alta densidad.

En otro aspecto, la disposición de combustión **220** enfriada por transpiración puede incluir un inyector de combustible para inyectar una corriente de combustible a presión en la cámara de combustión **222** de la disposición de combustión **220**, en el que la corriente de combustible puede comprender un combustible carbonoso procesado **254**, un medio fluidizante **255** (que puede consistir en el fluido de trabajo **236**, como se discute aquí) y oxígeno **242**. El oxígeno (enriquecido) **242** y el fluido de trabajo CO<sub>2</sub> **236** se pueden combinar 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. La disposición de combustión **220** también puede incluir una cámara de combustión **222**, configurada como un volumen de combustión a alta presión y alta temperatura, para recibir la corriente de combustible, así como un fluido de transpiración **210** que entra en el volumen de combustión a través de las paredes de un elemento de transpiración poroso **230**, que define la cámara de combustión **222**. La velocidad de alimentación del fluido de transpiración **210** puede ser usada para controlar la temperatura de la porción de salida/porción de entrada a la turbina de la disposición de combustión, a un valor deseado y/o para enfriar el elemento de transpiración **230** a una temperatura compatible con el material que forma el elemento de transpiración **230**. El fluido de transpiración **210**, dirigido a través del elemento de transpiración **230**, proporciona un fluido/una capa amortiguadora en la superficie del elemento de transpiración **230**, que define la cámara de combustión **222**, en el que la capa de fluido/amortiguador puede prevenir que las partículas de ceniza o de escoria líquida que resultan de la combustión de ciertos combustibles, interactúen con las paredes expuestas del elemento de transpiración **230**.

También se pueden configurar otros aspectos de una disposición de combustión de gran eficiencia, para operar con una variedad de fuentes de combustible incluyendo, por ejemplo, diversos grados y tipos de hulla, madera, aceite, aceite combustible, gas natural, gas combustible a base de hulla, alquitrán y arenas alquitranosas, betún, biocombustible, biomasa, algas y desperdicios sólidos combustibles clasificados. En particular, se puede usar un polvo de hulla o un sólido en partículas de hulla. Si bien se describe aquí un aparato ejemplar de combustión a presión **220** que quema hulla, quien sea experto en la materia apreciará que el combustible usado en la disposición de combustión **220** no está limitado a un grado específico de hulla. Además, debido a las altas presiones y las temperaturas elevadas mantenidas en la disposición de combustión alimentada con oxígeno, descrito aquí, se puede implementar una gran variedad de tipos de combustible, incluyendo hulla, betún (incluyendo betún derivado de arenas alquitranosas), alquitrán, asfalto, neumáticos usados, aceite combustible, diésel, gasolina, combustible de retropropulsión (JP-5, JP-4), gas natural, gases derivados de la gasificación o la pirólisis de materiales hidrocarbonosos, etanol, biocombustibles sólidos y líquidos, biomasa, algas y desechos o desperdicios sólidos procesados. Todos esos combustibles son procesados adecuadamente para permitir la inyección en la cámara de combustión **222** a velocidades suficientes y a presiones por encima de la presión que hay dentro de la cámara de combustión **222**. Dichos combustibles pueden estar en forma líquida, de lodo, de gel o de pasta, con fluidez y viscosidad apropiadas a las temperaturas ambientales o a temperaturas elevadas (por ejemplo, entre alrededor de 38°C y alrededor de 425°C). Se muele o desmenuza o se procesa de otra manera cualquier material combustible sólido para reducir los tamaños de partícula, según sea apropiado. Se puede añadir un medio de fluidización o de formación de lodo, cuando sea necesario, para obtener una forma adecuada y para cumplir con el requerimiento de flujo para un bombeo a alta presión. Por supuesto, puede no ser necesario el medio de fluidización, dependiendo de la forma del combustible (es decir, líquido o gas). Asimismo, se puede usar fluido de trabajo circulado como medio de fluidización, en algunos aspectos.

En algunos aspectos se configura la cámara de combustión **222** para sostener una temperatura de combustión de entre alrededor de 1300°C y alrededor de 5000°C. La cámara de combustión **222** puede ser configurada adicionalmente de manera que la corriente de combustible (y el fluido de trabajo **236**) se puedan inyectar o introducir de otra manera en la cámara de combustión **222** a una presión mayor que la presión a la que ocurre la combustión. Cuando el combustible carbonoso es partículas de hulla, las partículas de hulla pueden suspenderse en un fluido de CO<sub>2</sub> supercrítico o agua, formado mezclando CO<sub>2</sub> líquido o agua con el combustible sólido molido para formar un lodo bombeable. En tales casos, el CO<sub>2</sub> líquido puede tener una densidad, por ejemplo, en el intervalo de entre alrededor de 450 kg/m<sup>3</sup> y alrededor de 1100 kg/m<sup>3</sup> y la fracción de masa del combustible sólido puede estar en el intervalo de entre alrededor de 25% y alrededor de 95% (por ejemplo, entre alrededor de 25% en peso y alrededor de 55% en peso). Opcionalmente, se puede mezclar una cantidad de O<sub>2</sub> con el lodo de hulla/CO<sub>2</sub> suficiente para

efectuar la combustión de la hulla para producir una composición deseada de los productos de la combustión. Opcionalmente se puede inyectar separadamente el O<sub>2</sub> en la cámara de combustión **222**. La disposición de combustión **220** puede incluir un elemento de contención de presión **338**, que rodea al menos parcialmente el elemento de transpiración **230** que define la cámara de combustión **230**, en la que puede disponerse un elemento aislante **339** entre el elemento de contención de presión **338** y el elemento de transpiración **230**. En algunos casos, se puede poner en contacto un dispositivo eliminador de calor **350**, tal como un sistema de enfriamiento con camisa de agua, que define las camisas **337** de circulación de agua, con el elemento de contención de presión **338** (o sea, externamente con respecto al elemento de contención de presión **338**, que forma la "carcasa" de la disposición de combustión **220**). El fluido de transpiración **210**, implementado en relación con el elemento de transpiración **230** de la disposición de combustión **220**, puede ser, por ejemplo, CO<sub>2</sub> mezclado con cantidades menores de H<sub>2</sub>O y/o un gas inerte, tal como N<sub>2</sub> o argón. El elemento de transpiración **230** puede comprender, por ejemplo, un metal poroso, una cerámica, una matriz mixta, un múltiple estratificado, cualquier otra estructura adecuada o combinaciones de ellos. En algunos aspectos, la combustión dentro de la cámara de combustión **222** puede producir una corriente de fluido de salida a alta presión y alta temperatura, que posteriormente se puede dirigir a un aparato productor de energía, tal como una turbina, para su expansión en relación con el mismo.

Con respecto a los aspectos del aparato ilustrados en la **figura 1**, la disposición de combustión **220** puede estar configurado para recibir el oxígeno **242** a una presión de alrededor de 355 barías. Además, el combustible sólido en partículas (por ejemplo, hulla en polvo) **254** y el fluido de fluidización (por ejemplo, CO<sub>2</sub> líquido) **255** también pueden ser recibidos a una presión de alrededor de 355 barías. De igual manera, el fluido de trabajo **236** (por ejemplo, fluido de CO<sub>2</sub> calentado, de alta presión, posiblemente reciclado) puede proporcionarse a una presión de alrededor de 355 barías y a una temperatura de alrededor de 835°C. De acuerdo con la invención, sin embargo, la mezcla de combustibles (combustible, fluido de fluidización, oxígeno y fluido de trabajo) se recibe en la porción de entrada **222A** de la cámara de combustión **222** a una presión de entre alrededor de 40 barías y alrededor de 500 barías. Las presiones relativamente altas implementadas por aspectos de la disposición de combustión **220**, como se describe aquí, pueden funcionar para concentrar la energía producida por los mismos a una intensidad relativamente alta, en un volumen mínimo, lo que da por resultado esencialmente una densidad energética relativamente alta. La densidad energética relativamente alta permite que se efectúe el procesamiento de esta energía, corriente abajo, de una manera más eficiente que a presiones menores, proporcionando de esa manera un factor de viabilidad para la tecnología. Por lo tanto, algunos aspectos de la presente divulgación pueden proporcionar una densidad energética de un orden de magnitud mayor que las plantas generadoras de energía existentes (por ejemplo, de 10 a 100 veces mayor). La mayor densidad energética aumenta la eficiencia del proceso, pero también reduce el costo del equipo necesario para implementar la transformación de energía de energía térmica a electricidad, reduciendo el tamaño y la masa del equipo, con lo que se reducen también los costos del equipo.

Cuando se implementa, se mezcla el fluido de fluidización CO<sub>2</sub> **255**, que es líquido a cualquier presión entre la presión de punto triple del CO<sub>2</sub> y la presión crítica del CO<sub>2</sub>, con el combustible de hulla en polvo **254** para formar una mezcla en la proporción de alrededor de 55% de CO<sub>2</sub> y alrededor de 45% de hulla en polvo, en masa, u otra fracción de masa, de modo que se pueda bombear el lodo resultante mediante una bomba adecuada (como un lodo fluido) a la cámara de combustión **222**, a la presión anotada de alrededor de 355 barías. En algunos aspectos, se puede mezclar el CO<sub>2</sub> y la hulla en polvo antes de bombearlos, a una presión de alrededor de 13 barías. Se mezcla la corriente de O<sub>2</sub> **242** con la corriente de fluido de trabajo **236** de CO<sub>2</sub> reciclada, y luego se mezcla esa combinación con el lodo de hulla en polvo/CO<sub>2</sub> para formar una sola mezcla fluida. La proporción de O<sub>2</sub> a hulla puede ser seleccionada para que sea suficiente para efectuar la combustión completa de la hulla con el 1% adicional de O<sub>2</sub> en exceso. En otro aspecto, la cantidad de O<sub>2</sub> puede ser seleccionada de manera que permita que se oxide sustancialmente por completo una porción de la hulla, mientras que solo se oxide parcialmente otra porción; lo que da por resultado una mezcla fluido que es reductora y que incluye algo de H<sub>2</sub> + CO + CH<sub>4</sub>. De esa manera se puede implementar una expansión en dos etapas de los productos de la combustión, cuando sea necesario o conveniente, con inyección de algo de O<sub>2</sub> y recalentamiento entre la primera y segunda etapas. Además, puesto que el combustible (hulla) solo está parcialmente oxidado en la primera etapa (o sea, una primera cámara de combustión a una temperatura de entre alrededor de 400°C y alrededor de 1000 °C), cualquier elemento incombustible presente en el combustible carbonoso que sale de la primera etapa, se forma como partículas sólidas dentro de los productos de la combustión. Cuando se filtran las partículas sólidas, por ejemplo, mediante formación de vórtice y/o filtros de bujía, el combustible carbonoso puede ser oxidado entonces sustancialmente por completo en la segunda etapa (esto es, una segunda cámara de combustión), a fin de producir una temperatura final del producto de la combustión de entre alrededor de 1300°C y alrededor de 3500°C.

En otros aspectos, la cantidad de CO<sub>2</sub> presente en la cámara de combustión **222** mediante la mezcla de combustible, se selecciona para que sea suficiente para obtener una temperatura de combustión (adiabática o de otro tipo) de alrededor de 2400°C, si bien la temperatura de combustión puede estar en la escala de entre alrededor de 1300°C y alrededor de 5000°C. Se proporciona la mezcla de combustible de O<sub>2</sub> + lodo de hulla + CO<sub>2</sub> de recirculación calentado, en un aspecto, a una temperatura resultante inferior a la temperatura de autoignición de esa mezcla de combustibles. A fin de obtener las condiciones indicadas, se proporciona de preferencia el combustible carbonoso sólido (por ejemplo, la hulla) a un tamaño de partícula promedio de entre alrededor de 50 micrómetros y alrededor de 200 micrómetros, por ejemplo, moliendo la hulla sólida en un molino de hulla. Se puede efectuar ese proceso de molienda en un molino configurado para proporcionar una fracción mínima de masa de las partículas,

inferior a alrededor de 50 micrómetros. De esa manera, cualquier elemento incombustible que se licue para formar las gotas de escoria líquida en el proceso de combustión, puede ser de más de alrededor de 10 micrómetros de diámetro. En algunos aspectos, la mezcla de combustibles que comprende  $\text{CO}_2 + \text{O}_2 +$  lodo de hulla en polvo, a una temperatura de alrededor de  $400^\circ\text{C}$ , se puede dirigir a la cámara de combustión **222** a una presión de alrededor de 355 barías; donde la presión neta a la combustión dentro de la cámara de combustión **222** puede ser alrededor de 354 barías. La temperatura dentro de la cámara de combustión **222** puede variar de entre alrededor de  $1300^\circ\text{C}$  y alrededor de  $5000^\circ\text{C}$  y, en algunos aspectos preferidos, se implementa únicamente una sola etapa de combustión.

En un ejemplo de una disposición de combustión **220**, como se describe aquí, se puede configurar un sistema de energía eléctrica de 500 MW netos para operar con combustible de  $\text{CH}_4$  a una eficiencia (sobre la base del menor valor de calentamiento) de alrededor de 58%, en las siguientes condiciones:

Presión de combustión: 350 atmósferas

Entrada de combustible: 862 MW

Flujo de combustible: 17,2 kg/segundo

Flujo de oxígeno: 69,5 kg/segundo

El  $\text{CH}_4$  y el  $\text{O}_2$  se mezclan con 155 kg/segundo de fluido de trabajo  $\text{CO}_2$  y se someten a combustión para producir una corriente de fluido de salida que comprende  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  y algo de exceso de  $\text{O}_2$ , a una temperatura adiabática de  $2400^\circ\text{C}$ . La cámara de combustión puede tener un diámetro interno de alrededor de 1 m y una longitud de alrededor de 5 m. Se dirige un flujo de 395 kg/segundo de  $\text{CO}_2$  a una temperatura de alrededor de  $600^\circ\text{C}$ , hacia el elemento de transpiración, que puede ser de alrededor de 2,5 cm de grueso y se dirige a través del elemento de transpiración. Se calienta por convección el  $\text{CO}_2$  por el calor conducido a través del elemento de transpiración, que se origina de la radiación de la combustión dentro de la cámara de combustión, al elemento de transpiración.

Aproximadamente en su superficie interna que define la cámara de combustión, la temperatura superficial del elemento de transpiración puede ser de alrededor de  $1000^\circ\text{C}$ , mientras que la corriente de fluido de salida de 636,7 kg/segundo puede estar a una temperatura de alrededor de  $1350^\circ\text{C}$ . En tales casos, el tiempo promedio de residencia para la combustión y la dilución de los productos de la combustión es de alrededor de 1,25 segundos. Adicionalmente, la velocidad promedio radialmente hacia dentro para el fluido de transpiración que entra en la cámara de combustión a través del elemento de transpiración, es aproximadamente de 0,15 m/s.

Corregir el ejemplo para una disposición de combustión alimentada con hulla da por resultado una configuración con un tiempo promedio de residencia para la combustión y la dilución de los productos de la combustión en la cámara de combustión, de alrededor de 2,0 segundos, y una longitud de cámara de combustión de alrededor de 8 metros, con un diámetro interior de alrededor de 1 m. La eficiencia neta del sistema con  $\text{CO}_2$  como fluido de dilución (transpiración), es así de alrededor de 54% (con base en el valor menor de calentamiento). En tales casos, la velocidad radialmente hacia dentro del fluido de transpiración puede ser de alrededor de 0,07 m/s. Bajo esas condiciones, la **figura 5** muestra una trayectoria esquemática de una partícula de escoria líquida, de 50 micrómetros de diámetro, proyectada radialmente hacia fuera a alrededor de 50 m/s, hacia el elemento de transpiración, desde una distancia de 1 mm del mismo. Como se ilustra, la partícula alcanzaría un mínimo de 0,19 mm desde el elemento de transpiración, antes de ser llevada de nuevo a la corriente de flujo de fluido de salida por el flujo de fluido de transpiración, a través del elemento de transpiración. En esos casos, el flujo del fluido de transpiración a través del elemento de transpiración amortigua efectivamente la interacción entre el elemento de transpiración y las partículas de escoria líquida que resultan del proceso de la combustión.

Se pueden implementar aspectos de la disposición de combustión descrito en sistemas de producción de energía eléctrica adecuados, usando métodos asociados, como lo apreciarán quienes tengan experiencia en la materia. Por ejemplo, dicho sistema de producción de energía eléctrica puede comprender uno o más inyectores para proporcionar combustible (y, opcionalmente, un medio fluidizante), un oxidante y un fluido de trabajo  $\text{CO}_2$ ; una disposición de combustión enfriada por transpiración, como se describe aquí, que tiene por lo menos una etapa de combustión para la combustión de la mezcla de combustibles y proporciona una corriente de fluido de salida. Se puede configurar un aparato de transformación (ver, por ejemplo, el elemento **500** de la **figura 6**) para recibir la corriente de fluido de salida (los productos de la combustión y el fluido de trabajo) y para responder a la corriente de fluido de salida para transformar la energía asociada con ella a energía cinética; en el que el aparato de transformación puede ser, por ejemplo, una turbina de producción de energía eléctrica que tiene una entrada y una salida, y donde se produce energía eléctrica conforme se expande la corriente de fluido de salida. Más en particular, se puede configurar la turbina para mantener la corriente de fluido de salida a una proporción de presión deseada entre la entrada y la salida. También se puede proporcionar un dispositivo generador (ver, por ejemplo, el elemento **550** en la **figura 6**) para transformar la energía cinética de la turbina a electricidad. Es decir, se puede expandir la corriente de fluido de salida desde una alta presión a una presión menor para producir potencia de flecha, que se puede convertir luego a energía eléctrica. Se puede proporcionar un cambiador de calor para enfriar la corriente de fluido de salida procedente de la salida de la turbina y calentar el fluido de trabajo de  $\text{CO}_2$  que entra en la disposición de combustión. También se pueden proporcionar uno o más dispositivos para separar la corriente de fluido de salida

que sale del cambiador de calor a CO<sub>2</sub> puro y uno o más componentes adicionales para su recuperación o desecho. Un sistema tal también puede comprender uno o más dispositivos para comprimir el CO<sub>2</sub> purificado y para suministrar por lo menos una porción del CO<sub>2</sub> separada de la corriente de fluido de salida, a una tubería a presión, mientras se recicla la porción restante como fluido de trabajo que es calentado por el cambiador de calor. Sin embargo, quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que, si bien la presente descripción involucra la implementación directa de la corriente de fluido de salida, en algunos casos se puede implementar indirectamente la corriente de fluido de salida a temperatura relativamente alta. Esto quiere decir que la corriente de fluido de salida puede ser dirigida a un cambiador de calor, donde la energía térmica asociada con la misma se usa para calentar una segunda corriente de fluido de trabajo, y luego se puede dirigir la segunda corriente de fluido de trabajo, calentada, a un dispositivo de transformación (por ejemplo, una turbina) para generar energía eléctrica. Adicionalmente, quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que otras muchas disposiciones similares pueden estar dentro del alcance de la presente divulgación.

En aspectos particulares de la divulgación, la composición del combustible carbonoso es tal, que pueden estar incluidos en él elementos incombustibles (o lo que es lo mismo, contaminantes) y permanecer presentes en los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida, después del proceso de combustión. Esto puede suceder cuando el combustible carbonoso es un sólido, tal como la hulla. En esos aspectos, la implementación directa de la corriente de fluido de salida puede dar por resultado la acumulación de tales elementos incombustibles sobre el aparato de transformación subsiguiente (la turbina) o dañarlo de otra manera, si la corriente de fluido de salida se canaliza directamente al mismo. Quienes tienen experiencia en la materia apreciarán que esos elementos incombustibles no necesariamente pueden estar presentes cuando se implementan otras formas de combustible carbonoso, tales como un líquido o un gas (es decir, gas natural). En consecuencia, en aspectos que implementan una fuente de combustible carbonoso sólido y una interacción directa entre la corriente de fluido de salida y el aparato de transformación, el sistema de generación de energía (la disposición de combustión y el aparato de transformación) pueden incluir adicionalmente un aparato separador, dispuesto entre la disposición de combustión y el aparato de transformación. En esos casos, el aparato separador puede estar configurado para eliminar sustancialmente los elementos incombustibles licuados de los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida recibidos por él, antes que los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida sea dirigido al aparato de transformación. Además, en aspectos que implementan un aparato separador, se puede introducir la sustancia de transpiración descrita tanto corriente arriba cuanto corriente abajo del aparato separador. Más en particular, se puede introducir primero la sustancia de transpiración en la cámara de combustión, por medio del elemento de transpiración y corriente arriba del aparato separador, a fin de regular una mezcla de la sustancia de transpiración y los productos de la combustión que entran en el aparato separador por encima de una temperatura de licuefacción de los elementos incombustibles. Posteriormente al aparato separador, el dispositivo de suministro de la sustancia de transpiración (ver, por ejemplo, el elemento **475** de la **figura 6**), puede estar configurado para suministrar la sustancia de transpiración a los productos de la combustión que salen del aparato separador, y hacer que los elementos incombustibles licuados sean eliminados sustancialmente de los mismos, a fin de regular una mezcla de la sustancia de transpiración y los productos de la combustión, que entra en el aparato de transformación a una temperatura de entre alrededor de 400°C y alrededor de 3500°C.

Como se discutió previamente, los aspectos de la disposición de combustión pueden incluir la capacidad de obtener una temperatura de combustión que haga que los elementos incombustibles del combustible carbonoso sólido se licuen durante el proceso de la combustión. En esos casos se pueden aplicar medidas para separar los elementos incombustibles licuados, tales como, por ejemplo, un aparato separador **340**, tal como un separador de ciclón como el mostrado 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, que incluyen un dispositivo separador centrífugo de entrada **100A**, configurado para recibir los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida y los elementos incombustibles licuados asociados con ellos, y un dispositivo separador centrífugo de salida **100B**, configurado para dar salida a los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida, de los que se han eliminado sustancialmente los elementos incombustibles. Cada dispositivo separador centrífugo **100** incluye una pluralidad de elementos separadores centrífugos o ciclones **1**, dispuestos operablemente en paralelo alrededor de un tubo colector central **2**, en el que cada elemento de separación centrífugo o ciclón **2** está configurado para eliminar por lo menos una porción de los elementos incombustibles licuados de los productos de la combustión/la corriente de fluido de salida, y para dirigir la porción eliminada de los elementos incombustibles licuados a un sumidero **20**. Dicho aparato separador **340** puede estar configurado para operar a una presión elevada y, de esa manera, puede comprender adicionalmente un alojamiento de contención de presión **125**, configurado para alojar los dispositivos separadores centrífugos y el sumidero. De acuerdo con tales aspectos, el alojamiento de contención de presión **125** puede ser una extensión del elemento de contención de presión **338**, que también rodea la disposición de combustión **220**, o el alojamiento de contención de presión **125** puede ser un elemento separado, capaz de acoplarse con el elemento de contención de presión **338** asociado con la disposición de combustión **220**. En cada caso, debido a la temperatura elevada experimentada por el aparato separador **340** por medio de la corriente de fluido de salida, el alojamiento de contención de presión **125** también puede incluir un sistema de dispersión de calor, tal como una camisa de transferencia de calor que tiene un líquido que circula en la misma (no mostrado), acoplada operablemente con la misma para eliminar el calor del alojamiento. En algunos aspectos se puede acoplar operablemente un dispositivo de recuperación de calor (no mostrado) acoplado con la camisa de transferencia de calor, donde el dispositivo de recuperación de calor puede

estar configurado para recibir el líquido circulado en la camisa de transferencia de calor y recuperar la energía térmica de ese líquido.

Más en particular, el aparato separador (eliminador de escoria) **340**, mostrado en la **figura 4**, está configurado para colocarse en serie con la disposición de combustión **220**, alrededor de la porción de salida **222B** del mismo, para recibir la corriente de fluido de salida/los productos de la combustión del mismo. La corriente de fluido de salida, enfriada por transpiración, procedente de la disposición de combustión **220**, con las gotas de escoria líquida (los elementos incombustibles) en la misma, es dirigida a la entrada de una provisión colectora central **2A** del dispositivo separador centrífugo de entrada **100A**, a través de un reductor cónico **10**. En un aspecto, el aparato separador **340** puede incluir tres dispositivos separadores centrífugos **100A**, **100B**, **100C** (si bien quienes tengan experiencia en la materia apreciarán que dicho aparato separador puede incluir uno, dos, tres o más dispositivos separadores centrífugos, según sea necesario o conveniente). En este caso, los tres dispositivos separadores centrífugos **100A**, **100B**, **100C**, dispuestos operablemente en serie, proporcionan una unidad de separación ciclónica de tres 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 **2** correspondiente. Los dispositivos colectores centrales **2A** y los tubos colectores centrales **2** del dispositivo separador centrífugo de entrada **100A** y el dispositivo separador centrífugo intermedio **100C**, están sellados, cada uno, en su extremo de salida. En esos casos, la corriente de fluido de salida es dirigida a los canales de ramificación **11**, que corresponden a cada uno de los elementos separadores centrífugos (los ciclones **1**) del respectivo dispositivo separador centrífugo **100**. Los canales de ramificación **11** están configurados para acoplarse con el extremo de entrada del respectivo ciclón **1** para formar una entrada tangencial para el mismo (lo que, por ejemplo, hace que la corriente de fluido de salida que entra en el ciclón **1**, interactúe con la pared del ciclón **1** en un flujo en espiral). El canal de salida **3** de cada ciclón **1** es encaminado entonces hacia la porción de entrada del tubo colector central **2** del dispositivo separador centrífugo **100** respectivo. En el dispositivo separador centrífugo de salida **100B**, la corriente de fluido de salida (que tiene los elementos incombustibles separados sustancialmente de la misma) es dirigida desde el tubo colector central del dispositivo separador centrífugo de salida **100B** y mediante un tubo colector **12** y una boquilla de salida **5**, de manera que se puede dirigir luego la corriente de fluido de salida "limpia" a un proceso subsiguiente, tal como el asociado con el aparato de transformación. La disposición de ejemplo de separación ciclónica de tres etapas permite así la eliminación de la escoria, por ejemplo, a menos de 5 ppm en masa, en la corriente del fluido de salida.

En cada etapa del aparato separador **340**, la escoria líquida separada es dirigida desde cada uno de los ciclones **1**, por intermedio de los tubos de salida **4** que se extienden hacia un sumidero **20**. Luego se dirige la escoria líquida separada hacia una boquilla o tubo de salida **14** que se extiende desde el sumidero **20** y el alojamiento contenedor de presión **125** para eliminar y/o recuperar sus componentes. Para obtener la eliminación de la escoria, se puede dirigir la escoria líquida a través de una sección **6** enfriada por agua o de otra manera, a través de una sección que tiene una conexión de agua fría a alta presión, donde la interacción con el agua hace que la escoria líquida solidifique y se granule. Se puede separar entonces la mezcla de escoria solidificada y agua en un recipiente (elemento de recolección) **7** a una mezcla de escoria fluido acuoso, que puede ser retirada a través de una válvula **9** adecuada, mientras que se elimina cualquier gas residual a través de una línea separada **8**.

Puesto que el aparato separador **340** está implementado junto con la corriente de fluido de salida a temperatura relativamente alta (es decir, a una temperatura suficiente para mantener en forma líquida los elementos incombustibles, con una viscosidad relativamente baja), puede ser conveniente, en algunos casos, que las superficies del aparato separador **340** expuestas a uno de los productos de la combustión/corriente de fluido de salida y los elementos incombustibles licuados asociados con ellos, consistan en un material configurado para tener por lo menos una de entre las siguientes cualidades: resistencia a altas temperaturas, resistencia elevada a la corrosión y baja conductividad térmica. Los ejemplos de esos materiales pueden incluir óxido de zirconio y óxido de aluminio, si bien tales ejemplos no están destinados a ser restrictivos de ninguna manera. En relación con esto, en ciertos aspectos, el aparato separador **340** está configurado para separar sustancialmente los elementos incombustibles licuados de los productos de combustión/corriente de fluido de salida, y mantener los elementos incombustibles en forma líquida, de baja viscosidad, por lo menos hasta su eliminación del sumidero **20**.

De esa manera, como se describe aquí, la separación de la escoria, en los casos de un combustible carbonoso sólido, se puede lograr en una sola unidad (el aparato separador **340**) que, en algunos casos, puede extraerse fácilmente del sistema para su mantenimiento e inspección. Sin embargo, este aspecto puede proporcionar ventajas adicionales, como se muestra en la **figura 6**, de manera que el sistema puede ser configurado fácilmente para implementar un enfoque de "combustible flexible" en operación con respecto a la disponibilidad de una fuente particular de combustible. Por ejemplo, se puede instalar el aparato separador **340** de una sola unidad entre la disposición de combustión **220** y el aparato de transformación (la turbina) **500**, cuando la disposición de combustión **220** use un combustible carbonoso sólido como fuente de combustible. En caso de que sea aconsejable cambiar a una fuente de combustible carbonoso líquido o gaseoso, se puede retirar la unidad separadora **340** del sistema (es decir, puede no ser necesaria, como se discutió previamente), de modo que se pueda dirigir directamente la corriente de fluido de salida desde la disposición de combustión **220**, al aparato de transformación **500**. De esa manera, se puede cambiar fácilmente el sistema para implementar la unidad separadora **340**, en caso de que la disponibilidad de combustible requiera posteriormente una fuente de combustible carbonoso sólido.

Muchas modificaciones y otros aspectos de la divulgación expuestos aquí podrán ser tenidos en cuenta por quienes

5 sea expertos en la materia a la que se refiere esta divulgación, teniendo el beneficio de las enseñanzas presentadas en las descripciones precedentes y en los dibujos asociados. Por ejemplo, en algunos aspectos, puede ser necesaria solo una porción del flujo total de la sustancia/fluido de transpiración **210** a y a través del elemento de transpiración interior **332** y hacia la cámara de combustión **222**, para proporcionar el flujo helicoidal del fluido de transpiración dentro de la cámara de combustión **222**. En un caso, por ejemplo, se puede implementar hasta alrededor del 90% del flujo de masa total del fluido de transpiración **210** que entra en la cámara de combustión **222** para proporcionar o inducir el flujo helicoidal, al mismo tiempo que se mantiene suficiente flujo radial del fluido de transpiración **210** hacia la cámara de combustión **222** para prevenir que las partículas sólidas o líquidas o contaminantes choquen sobre las paredes del elemento de transpiración interior **332**, que define la cámara de combustión **222**.

10 Adicionalmente, en algunos aspectos, la disposición de combustión **220** puede estar configurada y dispuesta como un dispositivo de oxidación parcial, por ejemplo, que usa el lodo de combustible sólido (o sea, la hulla). En tales casos se puede configurar la disposición de combustión con oxidación parcial **220** para que tenga una temperatura de operación, por ejemplo, hasta de alrededor de 1600°C o, en otros casos, en la escala de entre alrededor de 1400°C y alrededor de 1500°C, donde el carbón quemado en el combustible debe estar por debajo de alrededor del 2% y, de preferencia, por debajo del 1%. En estos casos, la temperatura de operación relativamente baja facilita la producción de H<sub>2</sub> y CO, reduciendo al mínimo su combustión, al mismo tiempo que facilita una tasa relativamente alta de conversión de carbono y calor utilizable.

15 En otros aspectos, se puede configurar el aparato de combustión **220** para que opere a una temperatura de salida relativamente alta de alrededor de 5000°C o más, que puede estar asociada, por ejemplo, con una temperatura de llama adiabática u otra temperatura suficiente para facilitar la disociación de los gases productos. Por ejemplo, el CO<sub>2</sub> se disocia significativamente por encima de alrededor de 1600°C.

20 En otros aspectos más, el dispositivo quemador **300** puede estar configurado y dispuesto de tal manera que no haya premezcla del combustible carbonoso y el componente CO<sub>2</sub> de difusión corriente arriba del mismo. Además, también se puede introducir el O<sub>2</sub> en la punta del quemador, por ejemplo, a través de una serie separada de boquillas o con un anillo anular concéntrico que circunda la boquilla o las boquillas de inyección. En cada caso, se puede obtener una llama de difusión para los combustibles carbonosos, con un elevado contenido de H<sub>2</sub>. Para obtener temperaturas muy altas en el dispositivo quemador **300**, se puede requerir también el precalentamiento del combustible, el oxígeno y/o cualquier diluyente.

30

## REIVINDICACIONES

1. Un aparato, que comprende:

una disposición de mezclado (250) configurada para mezclar uno de un combustible carbonoso sólido, un combustible carbonoso fluido, y combustible carbonoso gaseoso con oxígeno enriquecido y fluido de trabajo para formar una mezcla de combustibles, siendo el oxígeno enriquecido oxígeno que tiene una pureza molar mayor que aproximadamente el 85% y comprendiendo el fluido de trabajo dióxido de carbono y/o agua; y

una disposición de combustión (220) que define una cámara de combustión (222) que tiene una porción de entrada (222A) separada longitudinalmente de una porción de salida opuesta (222B), estando configurada la porción de entrada (222A) para recibir la mezcla de combustibles para su combustión dentro de la cámara de combustión (222) a una presión de entre aproximadamente 40 barías y aproximadamente 500 barías en la porción de entrada (222A) de la cámara de combustión (222) y a una temperatura de combustión para formar un producto de combustión, estando la cámara de combustión (222) configurada además para dirigir el producto de combustión longitudinalmente hacia la porción de salida (222B); comprendiendo la disposición de combustión (220):

un elemento de contención de presión (338);

un elemento poroso de transpiración perimétrico (230), que define por lo menos parcialmente la cámara de combustión (222), y que está rodeado al menos parcialmente por el elemento de contención de presión (338), estando configurado el elemento de transpiración poroso (230) para dirigir una sustancia de transpiración a través del mismo para fluir en la cámara de combustión (222), de manera sustancialmente uniforme alrededor de su perímetro y longitudinalmente entre la porción de entrada (222A) y la porción de salida (222B), de manera que la sustancia de transpiración se dirige para fluir sustancialmente tangencial al perímetro del elemento de transpiración poroso (230) y helicoidalmente alrededor del mismo, para amortiguar la interacción entre el producto de combustión y el elemento de transpiración poroso (230), comprendiendo la sustancia de transpiración dióxido de carbono y/o agua; y

un dispositivo quemador (300) configurado para recibir la mezcla de combustibles de la disposición de mezclado (250) y dirigir un flujo lineal sustancialmente uniforme de la mezcla de combustibles hacia la porción de entrada (222A) de la cámara de combustión (222), en el que el flujo helicoidal de la sustancia de transpiración está configurado para inducir turbulencia en la mezcla de combustibles dentro de la cámara de combustión (222), y

en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado de manera que el flujo helicoidal de la sustancia de transpiración se invierte de manera alterna a lo largo de por lo menos una sección del mismo para invertir de manera alterna la turbulencia de uno de la mezcla de combustibles y el producto de combustión entre la porción de entrada (222A) y la porción de salida (222B).

2. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la disposición de mezclado (250) está configurada además para mezclar el combustible carbonoso, que comprende un combustible carbonoso sólido en partículas, con una sustancia fluidizante que comprende uno de agua y CO<sub>2</sub> líquido para formar un lodo.

3. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 2, en el que el dispositivo quemador (300) está configurado para inducir turbulencia a la mezcla de combustibles a la salida de la mezcla de combustibles del mismo hacia la cámara de combustión (222).

4. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado para dirigir la sustancia de transpiración a través del mismo de modo que la sustancia de transpiración recibida en la cámara de combustión (222) forma una mezcla de salida con el producto de combustión. para regular una temperatura alrededor de la porción de salida (222B) de la cámara de combustión (222), en particular, en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado para dirigir el dióxido de carbono a través de la sustancia de transpiración y para formar una capa de amortiguación con la sustancia de transpiración, inmediatamente adyacente al elemento de transpiración poroso (230) dentro de la cámara de combustión (222), para amortiguar la interacción entre el elemento de transpiración poroso (230) y los contaminantes incombustibles licuados y el calor asociado con el producto de combustión.

5. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado para impartir un efecto Coanda sobre la sustancia de transpiración dirigida a través del mismo y hacia la cámara de combustión (222), para dirigir la sustancia de transpiración para fluir sustancialmente tangencial al perímetro del elemento de transpiración poroso (230), en particular, en el que la cámara de combustión (222) incluye una sección de combustión (244A) dispuesta hacia la porción de entrada (222A) y una sección posterior a la combustión (244B) dispuesta hacia la porción de salida (222B), y en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado de tal manera que el flujo helicoidal de la sustancia de transpiración sobre la sección posterior a la combustión (244B) es opuesto al flujo helicoidal de la sustancia de transpiración sobre la sección de combustión (244A) para invertir la turbulencia inducida del producto de combustión en la sección posterior a la combustión (244B) con respecto a la turbulencia inducida de la mezcla de combustibles en la sección de combustión (244A).

6. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que el elemento de transpiración poroso (230) incluye además al menos un puerto de transpiración (246) que se extiende a través del mismo, estando configurado el al menos un puerto de transpiración (246) para dirigir un flujo lineal suplementario de la sustancia de transpiración en uno de la mezcla de combustible y el producto de combustión para afectar a sus características de flujo.
- 5 7. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 6, que comprende además un dispositivo de eliminación de calor (350) asociado con el elemento de contención de presión (338) y configurado para controlar una temperatura del mismo, comprendiendo el dispositivo de eliminación de calor (350) una camisa de transferencia de calor (336) que tiene un líquido circulado en su interior.
- 10 8. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado además para definir poros, teniendo el elemento de transpiración poroso (230) además un área de poros acumulativa sustancialmente igual a un área de superficie del elemento de transpiración poroso (230) que define los poros, opcionalmente, estando los poros separados y distribuidos de manera sustancialmente uniforme alrededor del elemento de transpiración poroso (230) y entre sus porciones de entrada (222A) y salida (222B).
- 15 9. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 8, que comprende además un aparato de transformación (500) configurado para recibir el producto de combustión desde la cámara de combustión (222), siendo el aparato de transformación (500) sensible al producto de combustión para transformar energía asociada con el mismo en energía cinética, en particular, en el que el combustible carbonoso es un sólido, y el sistema comprende además un aparato separador (340) dispuesto entre la disposición de combustión (220) y el aparato de transformación (500), estando configurado el aparato separador (340) para eliminar sustancialmente los contaminantes incombustibles licuados del producto de combustión recibidos antes de que el producto de combustión se dirija al aparato de transformación (500), en particular, en el que la sustancia de transpiración está configurada para ser introducida en la cámara de combustión (222) a través del elemento de transpiración poroso (230) configurado para dirigir la sustancia de transpiración hacia la cámara de combustión (222) para formar una mezcla con el producto de combustión que entra en el aparato separador (340) para regular la mezcla a una temperatura superior a la temperatura de licuación de los contaminantes incombustibles, en particular, que comprende además un dispositivo de suministro de sustancia de transpiración (475) dispuesto posteriormente al aparato separador (340) y configurado para suministrar la sustancia de transpiración al producto de combustión que tiene los contaminantes incombustibles licuados sustancialmente eliminados del mismo para regular una temperatura de la mezcla de la sustancia de transpiración y el producto de combustión que entra al aparato de transformación (500), en particular, en el que el aparato separador (340) comprende además una pluralidad de dispositivos separadores centrífugos dispuestos en serie (100), teniendo cada dispositivo separador centrífugo (100) una pluralidad de elementos separadores centrífugos (12) dispuestos operativamente en paralelo, y en el que los contaminantes incombustibles licuados retirados del producto de combustión por el aparato separador (340) se recogen de manera extraíble en un colector (20) asociado con el aparato separador (340), en particular, en el que el aparato de transformación (500) comprende uno de un dispositivo de turbina configurado para responder al producto de combustión para transformar la energía asociada con el mismo en energía cinética, y un dispositivo generador (550) configurado para transformar la energía cinética en electricidad.
- 20 25 30 35
- 40 10. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 9, en el que el elemento de transpiración poroso (230) está configurado para dirigir el fluido de transpiración hacia la cámara de combustión (222) en un ángulo sustancialmente recto con respecto al mismo.
11. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que la disposición de mezcla (250) está configurada para recibir la sustancia de transpiración, también dirigida a través del elemento de transpiración poroso (230), como fluido de trabajo dirigido a la cámara de combustión (222) y que forma la mezcla de combustible con el combustible carbonoso y el oxígeno enriquecido.
- 45 12. Un aparato de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 11, que comprende además al menos una fuente de sustancia de transpiración configurada para suministrar la sustancia de transpiración a al menos uno de la disposición de mezcla (250) como fluido de trabajo y el elemento de transpiración (230) como la sustancia de transpiración.

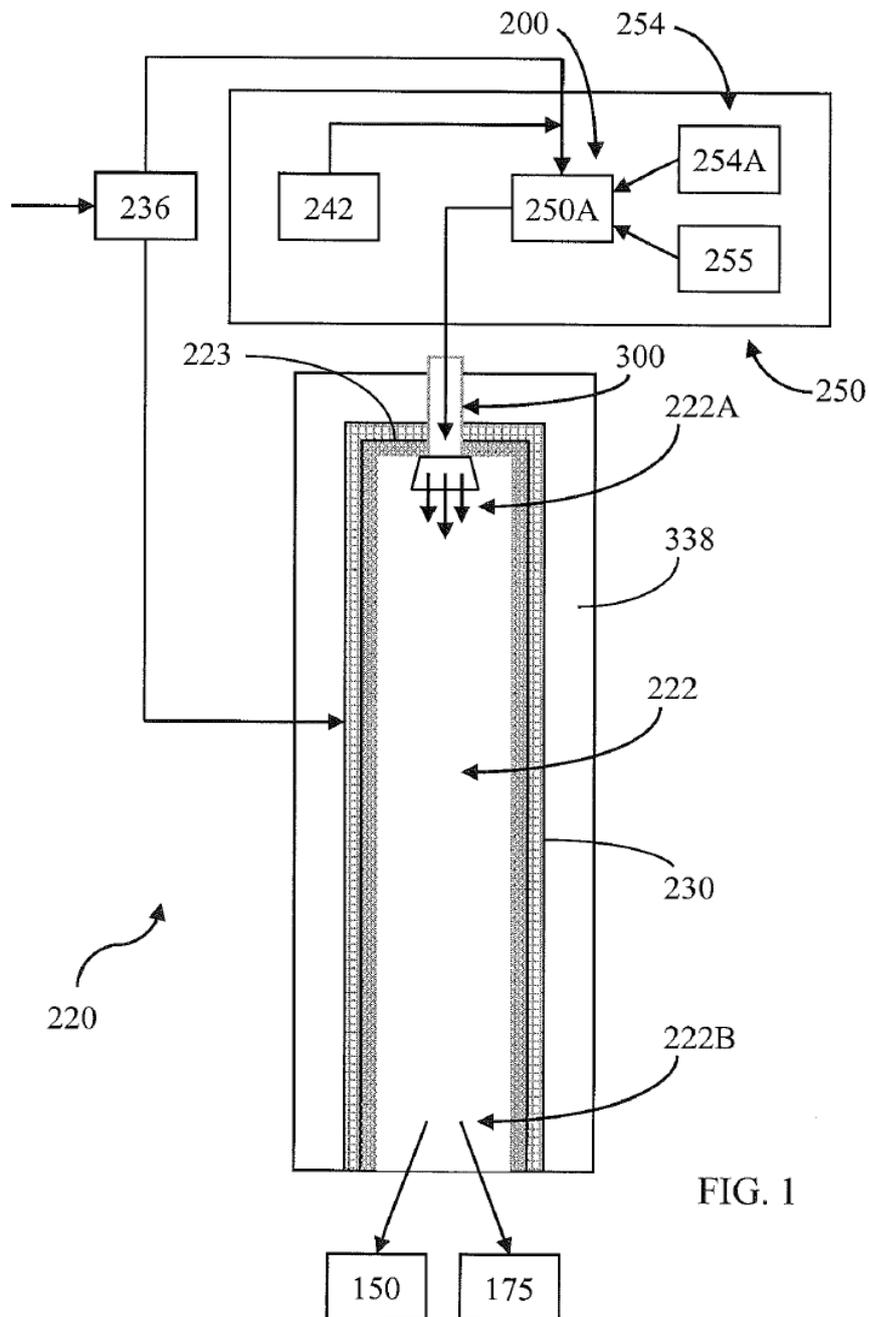


FIG. 1

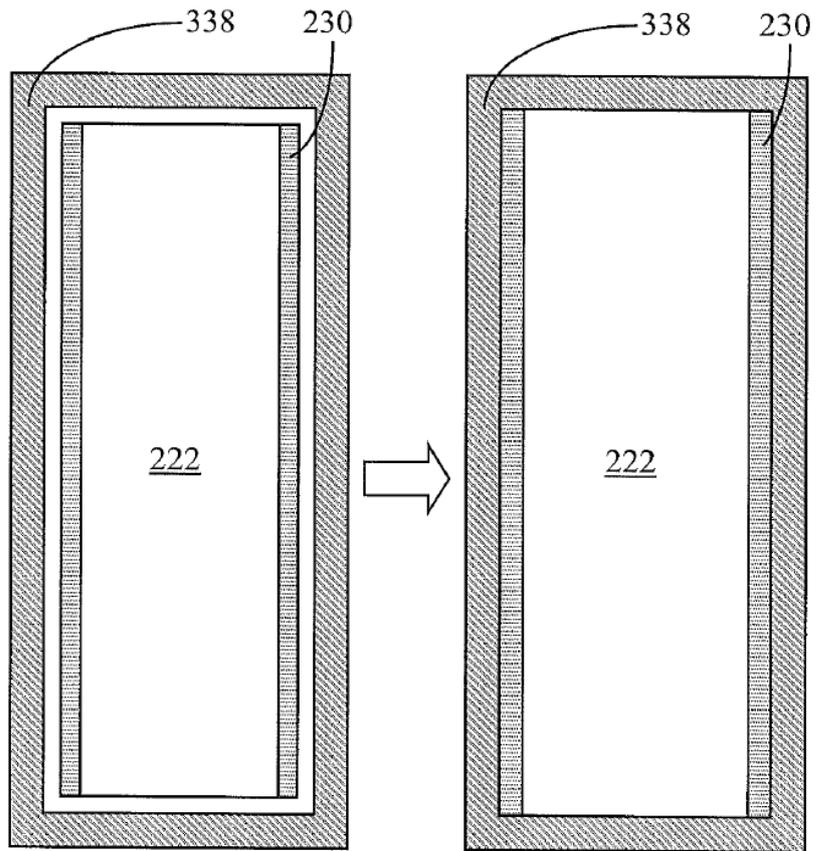


FIG. 3A

FIG. 3B

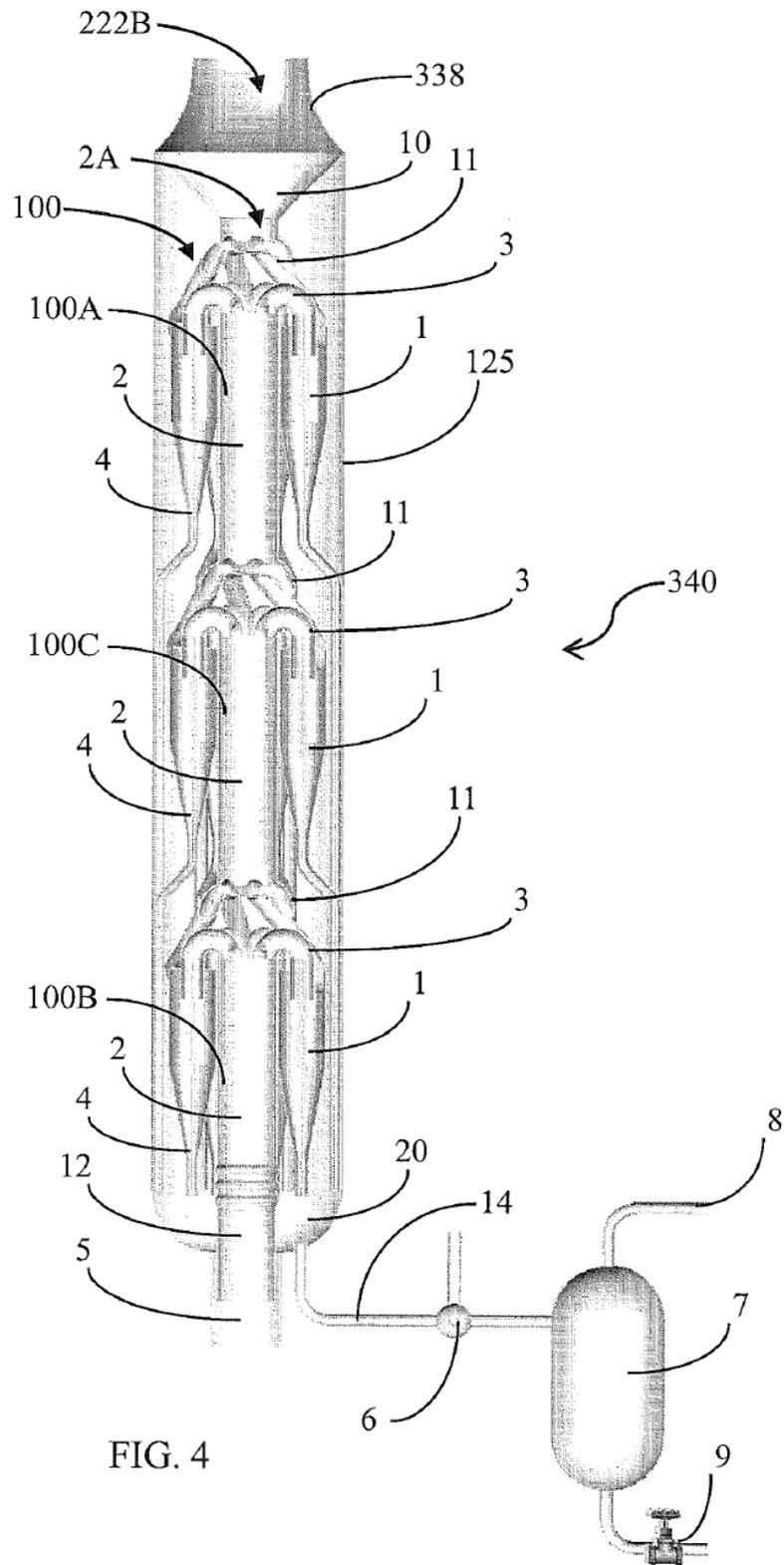


FIG. 4

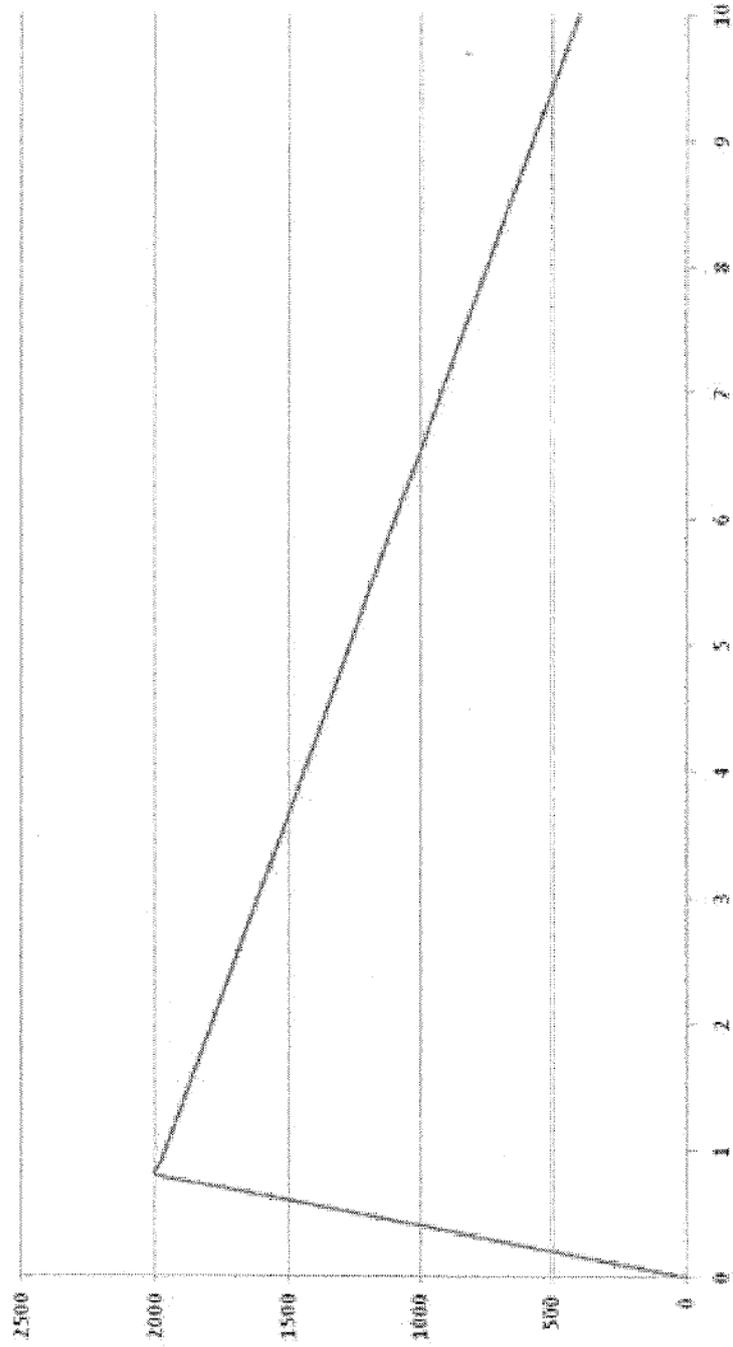


FIG. 1A

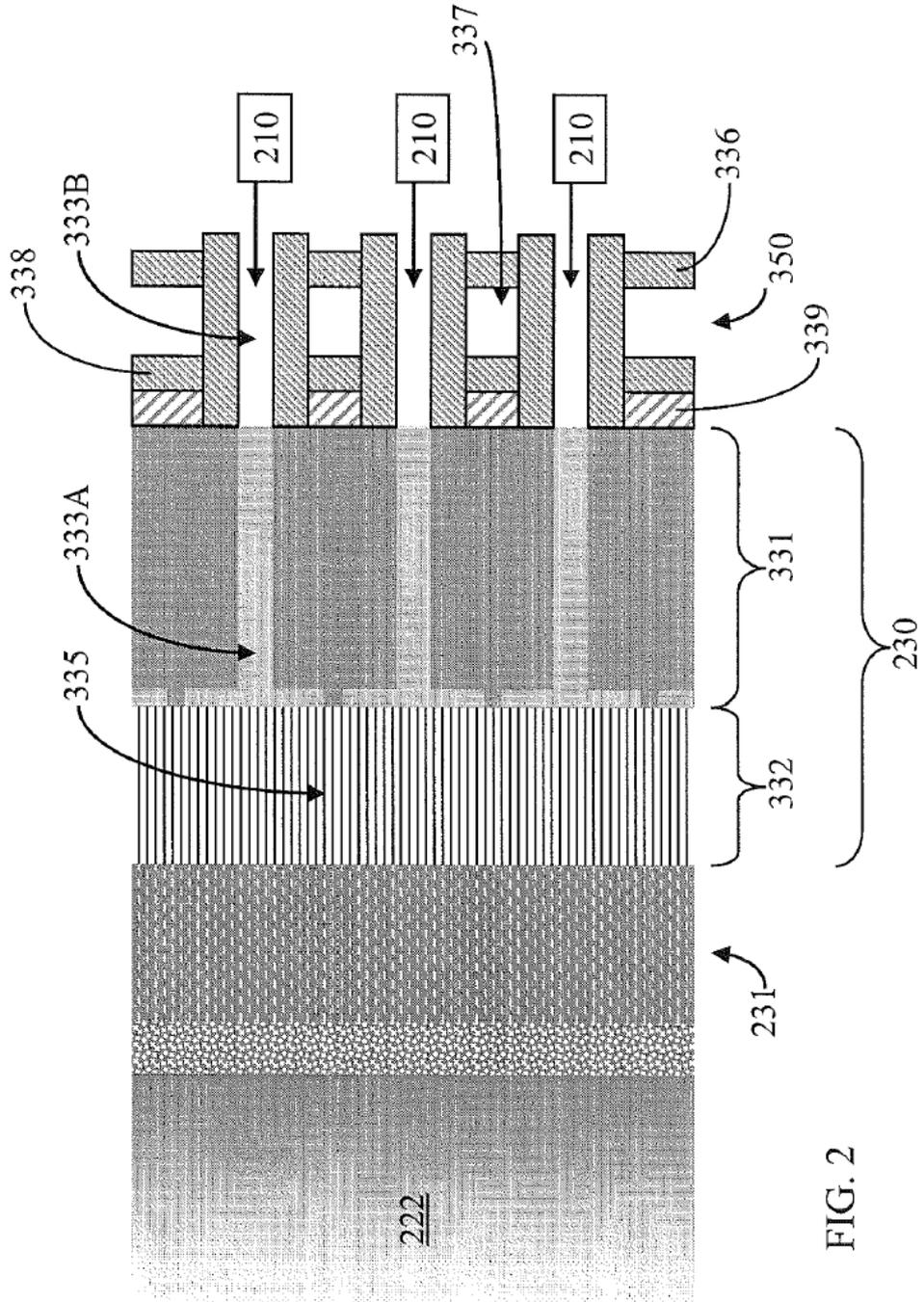
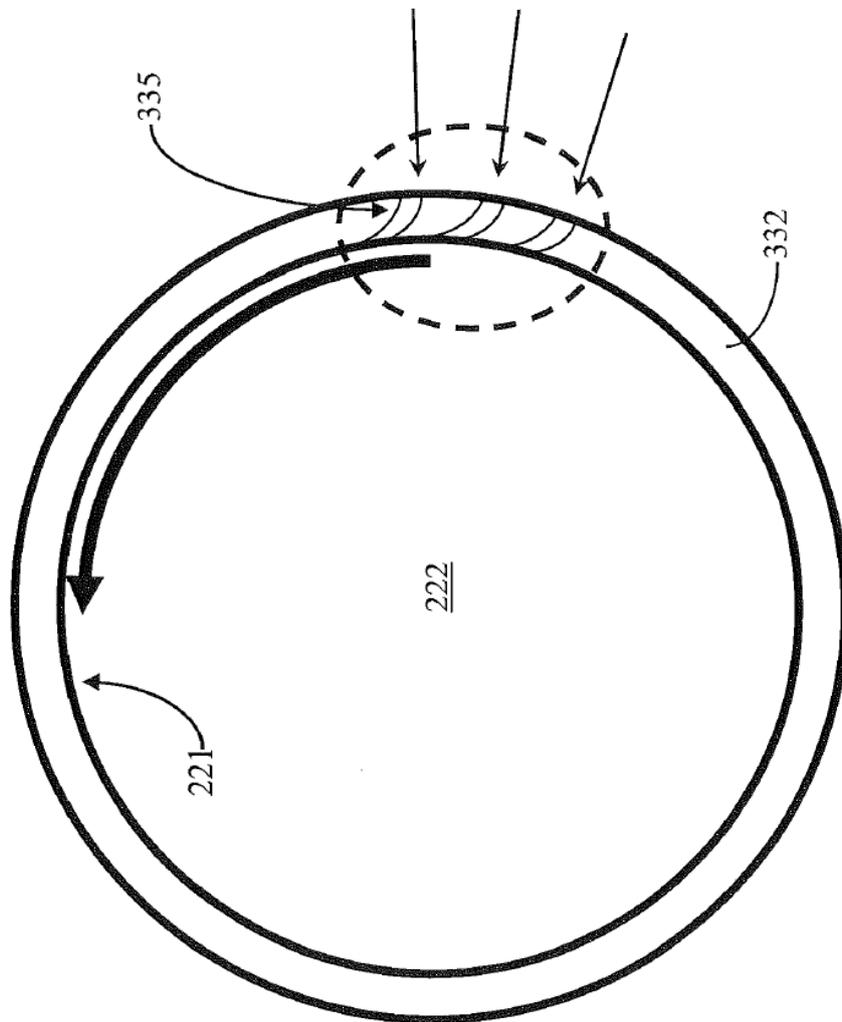
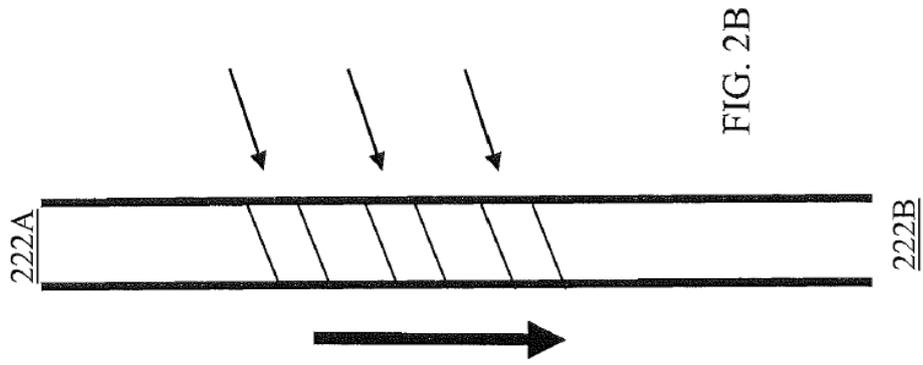
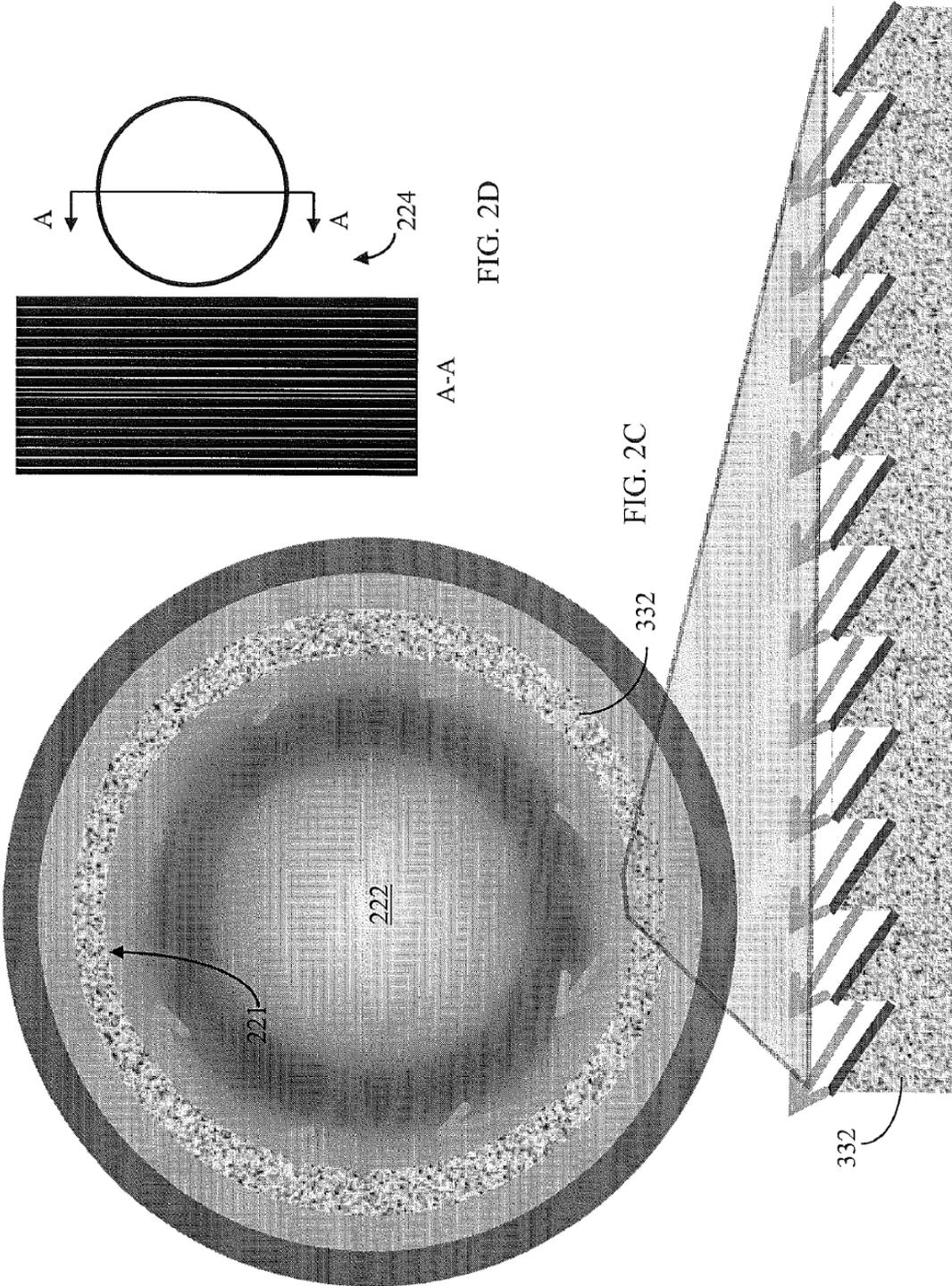
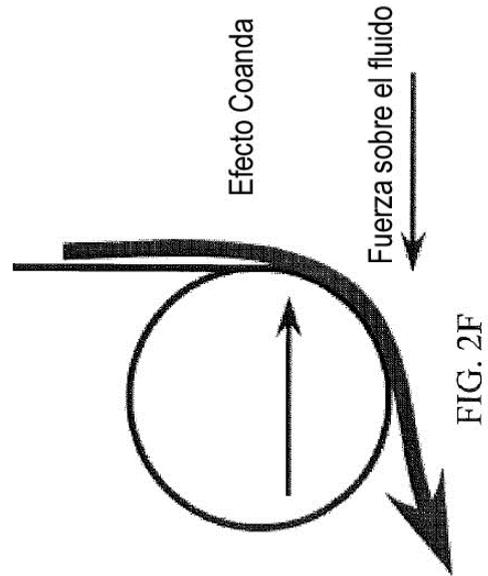
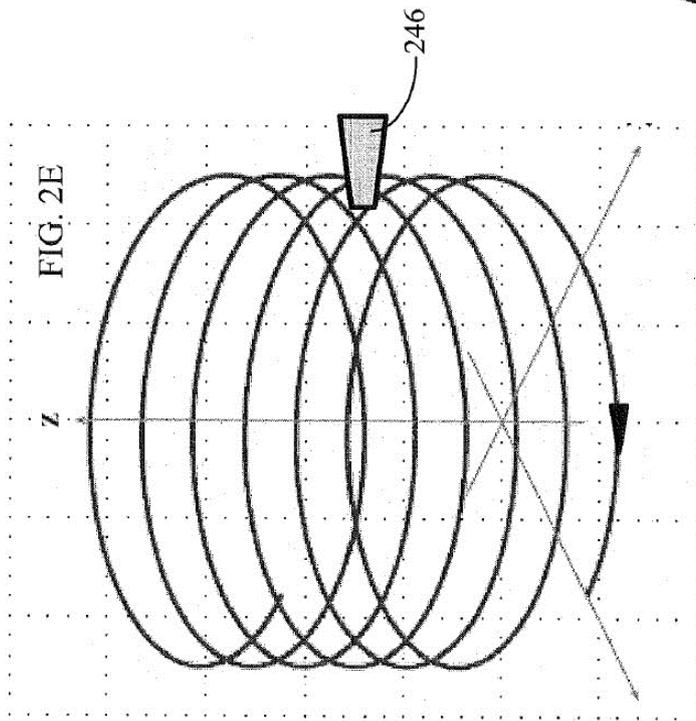
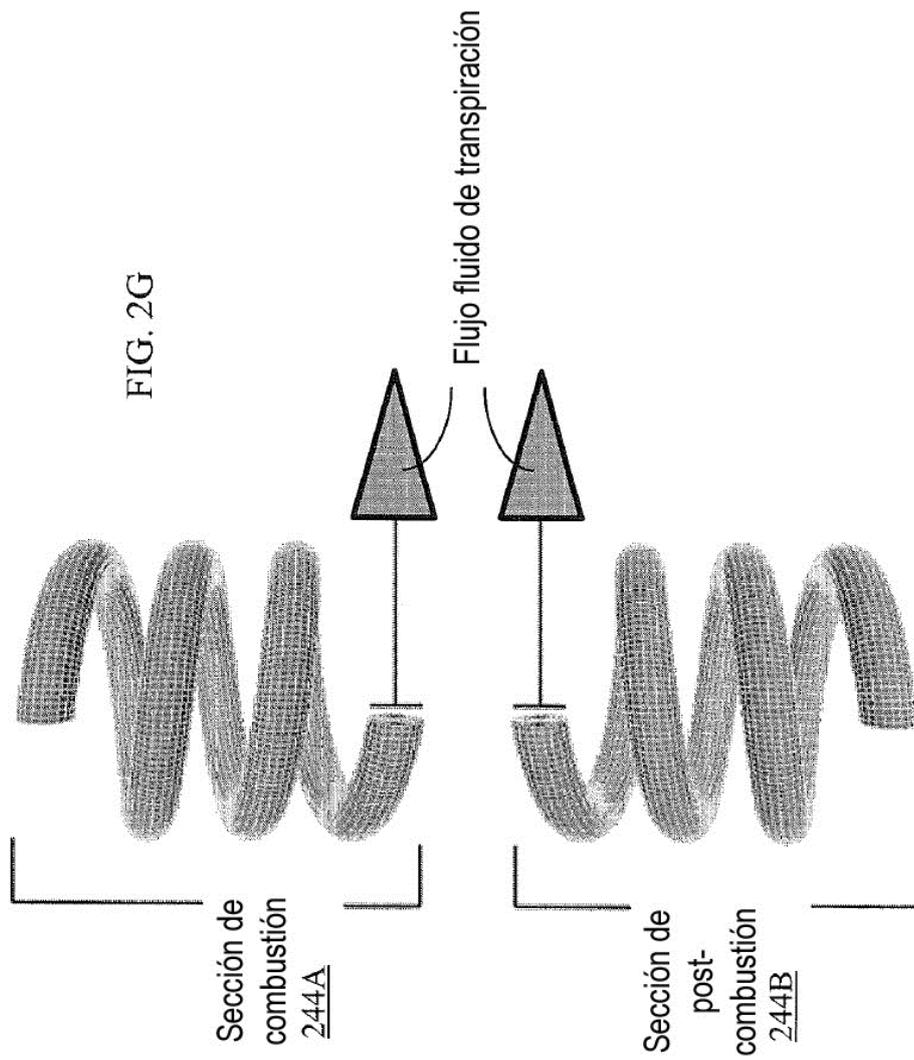


FIG. 2

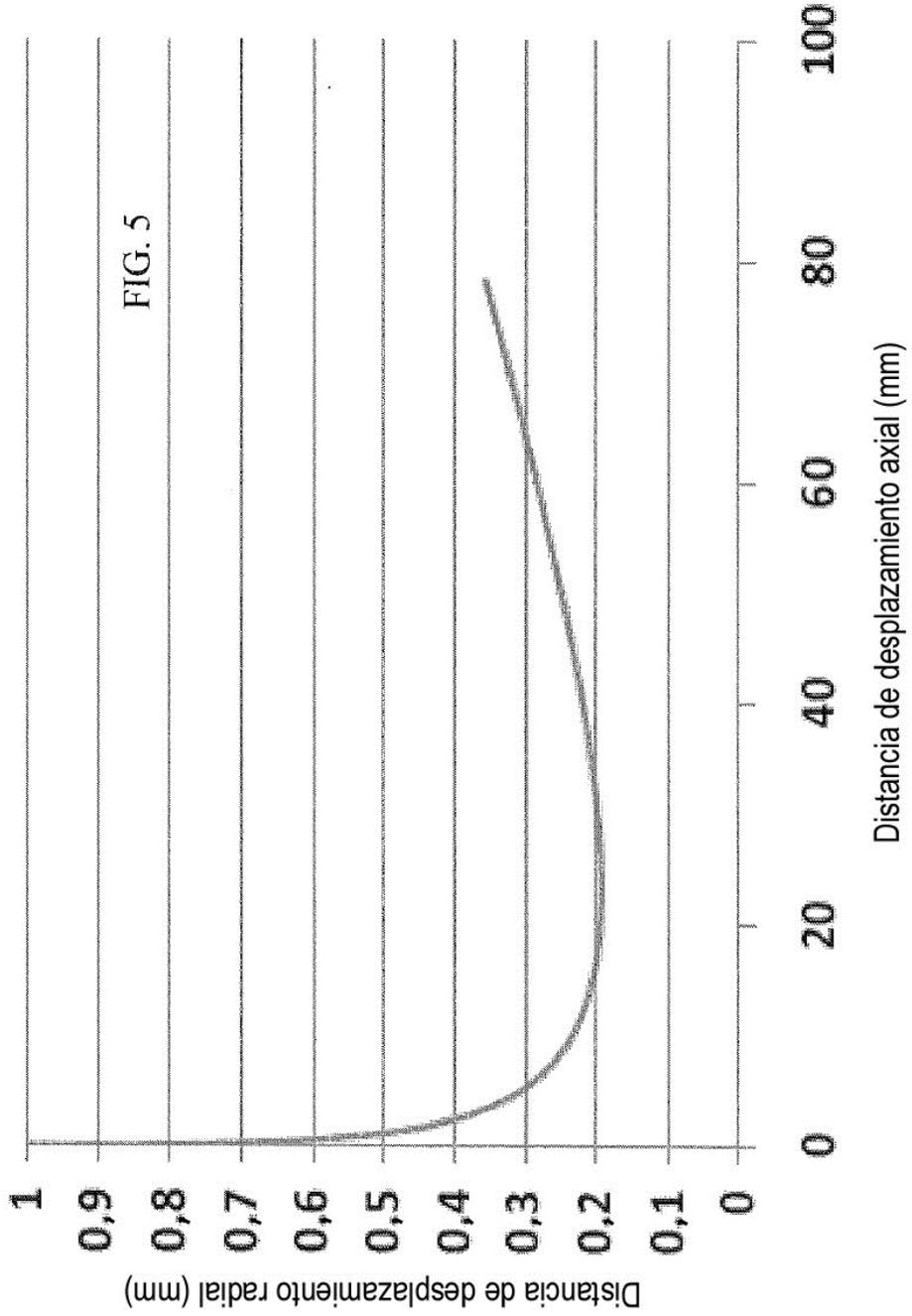








Trayectoria de las partículas de ceniza de 50 micrómetros con 100 % de flujo de transpiración  
Velocidad de partículas inicial de 50 m/s perpendicular a la pared de la cámara de combustión



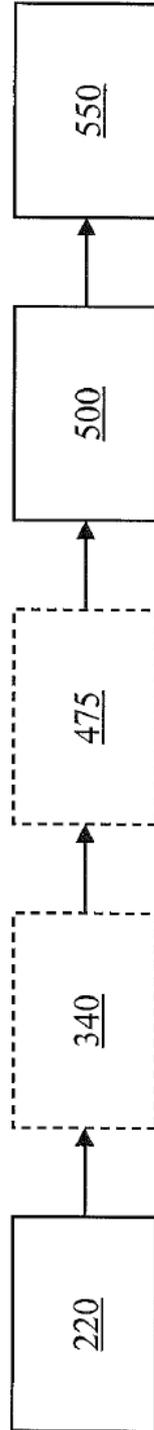


FIG. 6