

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 989 497**

51 Int. Cl.:

F23N 1/02 (2006.01)

F23N 5/00 (2006.01)

F23N 5/18 (2006.01)

F23N 5/12 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.06.2019** **PCT/US2019/039461**

87 Fecha y número de publicación internacional: **02.01.2020** **WO20006203**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2019** **E 19825626 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.07.2024** **EP 3814684**

54 Título: **Quemador que incluye un sensor de llama de permitividad eléctrica o capacitancia eléctrica**

30 Prioridad:

28.06.2018 US 201862691469 P

06.07.2018 US 201862694890 P

24.07.2018 US 201862702475 P

06.11.2018 US 201862756468 P

21.03.2019 US 201962821543 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.11.2024

73 Titular/es:

CLEARSIGN TECHNOLOGIES CORPORATION
(100.0%)

8023 E. 63rd Place, No. 101
Tulsa, OK 74133, US

72 Inventor/es:

GEIGER, ROBERT y
PLEIS, JACKSON MATTHEW

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 989 497 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

Quemador que incluye un sensor de llama de permitividad eléctrica o capacitancia eléctrica

5 Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

La presente solicitud reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. en trámite No. 62/756,468, titulada "PILOTO QUEMADOR CON UN SENSOR DE LLAMA", presentada el 6 de noviembre de 2018. La presente solicitud también reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. en trámite No. 62/821,543, titulada "SISTEMA DE COMBUSTIÓN QUE INCLUYE UN SENSOR DE COMBUSTIÓN Y UN GENERADOR DE PLASMA", presentada el 21 de marzo de 2019. La presente solicitud también reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. en trámite No. 62/694,890, titulada "QUEMADOR INDUSTRIAL QUE INCLUYE UN ESTABILIZADOR DE LLAMA ESTABILIZADO CON PLASMA DE BAJA TEMPERATURA", presentada el 6 de julio de 2018. La presente solicitud también reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. en trámite No. 62/691,469, titulada "SISTEMA DE QUEMADOR QUE INCLUYE ESTABILIZADOR DE LLAMA PERFORADO Y SENSOR ELECTRO-CAPACITIVO", presentada el 28 de junio de 2018. La presente solicitud también reivindica el beneficio de prioridad de la solicitud de patente provisional de EE. UU. en trámite No. 62/702,475, titulada "SENSOR DE MEZCLA DE GASES DE COMPOSICIÓN VARIABLE", presentada el 24 de julio de 2018.

La presente solicitud se refiere a la solicitud de patente internacional PCT titulada "SENSOR DE MEZCLA DE GASES DE COMPOSICIÓN VARIABLE", presentada en la misma fecha que la presente solicitud. La presente solicitud también se refiere a la solicitud de patente internacional PCT titulada "SISTEMA DE COMBUSTIÓN QUE INCLUYE UN SENSOR DE COMBUSTIÓN Y UN GENERADOR DE PLASMA", presentada en la misma fecha que la presente solicitud.

Antecedentes de la invención

La presente invención se refiere a un quemador como se define en el preámbulo de la reivindicación 1, así como a un sistema de combustión como se define en la reivindicación 11 y a un método como se define en la reivindicación 12.

Un quemador como se define en el preámbulo de la reivindicación 1 se conoce a partir del documento US 2014/248 566 A1. Se conocen quemadores adicionales que describen características similares a partir de los documentos WO 2016/140 681 A1 y WO 2015/123 683 A1. Ninguno de los documentos describen nada sobre la permitividad.

Breve descripción de la invención

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un quemador como se define en la reivindicación 1.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un sistema de combustión como se define en la reivindicación 11.

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método como se define en la reivindicación 12.

Breve descripción de los dibujos

La FIG. 1 es un diagrama de bloques de un quemador que tiene un sensor de llama electrónico integral, de acuerdo con una realización.

La FIG. 2 es una representación esquemática de un sistema de combustión, de acuerdo con una realización.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques que ilustra elementos de un circuito de control del quemador de la FIG. 1, de acuerdo con una realización.

La FIG. 4 es una vista oblicua de un quemador, de acuerdo con una realización.

La FIG. 5 es un diagrama simplificado de un sistema de quemador que incluye un estabilizador de llama perforado configurado para contener una reacción de combustión, de acuerdo con una realización.

La FIG. 6 es un diagrama en sección lateral de una parte del estabilizador de llama perforado de las FIGS. 2 y 5, de acuerdo con una realización.

La FIG. 7 es un diagrama de flujo que muestra un método para operar un sistema de quemador que incluye el estabilizador de llama perforado que se muestra y describe en la presente, de acuerdo con una realización.

La FIG. 8A es una vista en perspectiva simplificada de un sistema de combustión, que incluye otro quemador perforado alternativo, de acuerdo con una realización.

La FIG. 8B es un diagrama en sección lateral simplificado de una parte del estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada de la FIG. 8A, de acuerdo con una realización.

La FIG. 9 es un diagrama de flujo que muestra un método, de acuerdo con una realización.

Descripción detallada de la invención

En la siguiente descripción detallada, se hace referencia a los dibujos adjuntos, que forman parte de la presente. En los dibujos, los símbolos similares usualmente identifican componentes similares, a menos que el contexto dicte lo contrario. Se pueden utilizar otras realizaciones y/o se pueden realizar otros cambios sin apartarse del alcance de la invención.

La detección confiable de llamas es un desafío común en muchas aplicaciones de quemadores industriales. Por ejemplo, detectar la presencia de una llama puede facilitar el corte de combustible, iniciar un proceso de reinicio o similares. En otras aplicaciones, la detección de la presencia de una llama en una región particular puede facilitar la modificación de la llama a niveles predeterminados. Los métodos convencionales de detección de llamas adolecen de diversas deficiencias que se abordan en la presente invención.

El aparato y método o métodos descritos en la presente utilizan electrodos dispuestos cerca pero fuera de una llama. Los electrodos pueden detectar pequeños cambios en la permitividad eléctrica en una región donde se espera la llama. Estos cambios pueden ser monitoreados para detectar la presencia o ausencia de llama y en algunos casos pueden detectar cualidades de una llama. Las estructuras y métodos descritos de la presente invención pueden no requerir una ventana óptica, pueden no residir necesariamente o afectar la llama, y pueden disfrutar de un tiempo de respuesta más rápido en comparación con las técnicas de detección de llama convencionales. De acuerdo con realizaciones, el aparato y método o métodos de detección de llama descritos miden cambios en una característica eléctrica (por ejemplo, permitividad, resistencia y/o capacitancia) a través del espacio de llama (por ejemplo, región de llama) adyacente a los electrodos.

El dispositivo puede medir la permitividad a través del espacio de llama transmitiendo una señal de excitación desde un electrodo y midiendo la señal recibida en un segundo electrodo. La magnitud de la señal recibida es directamente proporcional a la permitividad del medio entre ellas y, por lo tanto, puede diferenciar entre aire, o una mezcla no quemada de aire y combustible, y la región ionizada de una llama.

La **FIG. 1** es un diagrama de bloques que muestra las características de un quemador 100 que tiene un sensor de llama electrónico denominado en el presente documento sensor de llama 120, de acuerdo con las realizaciones. El quemador 100 incluye una fuente de combustible y oxidante 110 que incluye una fuente de combustible 112, una fuente de oxidante (por ejemplo, aire) 114 y una cámara de sobrepresión 111 definida por una pared de cámara de sobrepresión 113. La cámara de sobrepresión de aire 111 está configurada para recibir el combustible y el oxidante, respectivamente, de la fuente de combustible 112 y la fuente de oxidante 114. La cámara de sobrepresión de aire 111 además está configurada para transportar el combustible y el oxidante para facilitar la mezcla del combustible y el oxidante en una mezcla de combustible-oxidante. De acuerdo con una realización, el quemador 100 incluye una fuente de ignición 150 dispuesta en una porción distal de la cámara de sobrepresión de aire 111 y orientada para encender la mezcla de combustible-oxidante para producir una llama en una región de llama 130.

El sensor de llama 120 incluye al menos un primer electrodo 122, un segundo electrodo 124 y un circuito de control 300. El primer electrodo 122 y el segundo electrodo 124 están dispuestos adyacentes a la región de llama 130 y configurados para producir un campo electromagnético variable en el tiempo a través de la región de llama 130. Un cambio en la permitividad eléctrica o capacitancia eléctrica en la región de llama 130 se determina a partir del campo electromagnético variable en el tiempo.

De acuerdo con una realización, el quemador 100 es un quemador piloto. El quemador piloto 100 puede configurarse para soportar una llama piloto.

De acuerdo con la invención, al menos el primer electrodo 122 y el segundo electrodo 124 están dispuestos opuestos entre sí a través de la región de llama 130. El primer electrodo 122 está configurado para transmitir una señal de excitación para producir el campo electromagnético variable en el tiempo entre el primer y el segundo electrodo 122, 124. El segundo electrodo 124 está configurado para recibir una señal de detección, donde la señal de detección incluye la señal de excitación de transmisión afectada por el cambio en la permitividad eléctrica entre el primer y el segundo electrodo 122, 124. De acuerdo con una realización, el primer y el segundo electrodo 122, 124 son electrodos de parche.

De acuerdo con otra realización, al menos el primer o el segundo electrodo 122, 124 puede disponerse en una tubería ascendente de combustible (no se muestra) que pasa a través de al menos una parte de la cámara de sobrepresión de aire 111. Una punta de la tubería ascendente de combustible 454, que incluye una boquilla de combustible, se puede ver en la **FIG. 4**, de acuerdo con una realización. El otro de al menos el primer o el segundo electrodo 122, 124 puede disponerse periférico a un extremo distal de la cámara de sobrepresión de aire 111 (por ejemplo, véase 422, 424 de la **FIG. 4**).

De acuerdo con la invención, un circuito de control 300 está configurado para generar la señal de excitación y proporcionar la señal de excitación al primer electrodo 122. El circuito de control 300, descrito con mayor detalle a continuación, además está configurado para recibir la señal de detección del segundo electrodo 124 y para determinar una magnitud de la permitividad eléctrica de la región de llama 130 midiendo o calculando una característica de señal a partir de la señal de detección.

De acuerdo con la invención, el circuito de control 300 además está configurado para identificar una característica de llama comparando la magnitud determinada de la permitividad eléctrica con un índice de características de llama correspondientes a las respectivas magnitudes de permitividad eléctrica. El circuito de control 300 además puede configurarse para alterar una tasa de suministro del combustible suministrado por la fuente de combustible 112 con base en la característica identificada de la llama.

De acuerdo con una realización, la característica identificada de la llama es la presencia o ausencia de la llama como se determina mediante la comparación de la magnitud de la permitividad eléctrica con un umbral de permitividad eléctrica, y el circuito de control 300 termina el suministro de combustible cuando se indica que la llama está ausente. El circuito de control 300 además puede incluir circuitería configurada para accionar la fuente de encendido 150 en respuesta a la característica identificada de la llama.

De manera adicional o alternativa, la característica identificada de la llama es la presencia o ausencia de la llama según se determina mediante la comparación de la magnitud de la permitividad eléctrica con un umbral de permitividad eléctrica y el circuito de control 300 acciona la fuente de ignición 150 cuando se indica que la llama está ausente.

De acuerdo con una realización, el circuito de control 300 además está configurado para comparar la señal de detección con una señal de detección de umbral, y para producir una señal de resultado binario que indica la presencia o ausencia de la llama.

De acuerdo con una realización, el circuito de control 300 está configurado para producir una señal de salida que indica una intensidad de la llama entre el primer y el segundo electrodo 122, 124. La señal de salida puede ser una señal analógica entre 4 mA y 20 mA. La señal analógica puede corresponder a una intensidad de actividad de combustión entre el primer y el segundo electrodo 122, 124.

De acuerdo con una realización, el circuito de control 300 puede configurarse para ajustar las características de la señal de excitación, que incluyen al menos una de magnitud, ciclo de trabajo, anchura de impulso, forma de onda y frecuencia suministrada al primer electrodo 122. De acuerdo con una realización, la señal de excitación es una tensión eléctrica variable en el tiempo. La señal de excitación puede ser una onda electromagnética sinusoidal generada, por ejemplo, mediante síntesis digital directa, o puede tener otra forma de onda tal como una onda cuadrada o pulso, y la emisión de la señal de excitación por el primer electrodo 122 puede dar como resultado un campo electromagnético a través de la región de llama 130. De acuerdo con una realización, la señal de excitación puede generarse periódicamente.

De acuerdo con una realización, el circuito de control 300 además puede controlar una tasa de suministro de la fuente de combustible 112 y la fuente de oxidante 114. El control de las fuentes de combustible y oxidante 112, 114 puede implementarse como controles independientes con una pluralidad de tasas, o puede implementarse como un control maestro de apagado o encendido, por ejemplo, en casos en los que la tasa se controla más finamente de forma manual o por otros medios. En algunas realizaciones, el circuito de control 300 puede incluir circuitería para la comunicación hacia y/o desde otros sensores, actuadores, circuitería o similares a través de uno o más conductores o transmisión inalámbrica 160 (ver, por ejemplo, mención de E/S, conductor o conductores de entrada 260 y conductor o conductores de salida 262 a continuación con respecto a la **FIG. 2**).

De acuerdo con una realización, el quemador 100 además puede incluir un primer conductor 126 en continuidad eléctrica entre el primer electrodo 122 y el circuito de control 300, y al menos parcialmente dispuesto periféricamente a la cámara de sobrepresión que define la cámara de sobrepresión 111, y un segundo conductor 128 en continuidad eléctrica entre el segundo electrodo 124 y el circuito de control 300, y al menos parcialmente dispuesto periféricamente a la cámara de sobrepresión que define la cámara de sobrepresión. El primer y el segundo conductores 126, 128 pueden estar dispuestos al menos parcialmente de forma periférica a la cámara de sobrepresión que define la cámara de sobrepresión 111. El primer o el segundo electrodo 122, 124 pueden estar en continuidad eléctrica con una estructura tubular conductora (por ejemplo, un elevador de combustible) dispuesta axialmente dentro de la cámara de sobrepresión de aire 111. De manera adicional o alternativa, el primer o el segundo electrodo 122, 124 pueden estar en continuidad eléctrica con la estructura tubular conductora dispuesta periféricamente a la cámara de sobrepresión de aire 111. De acuerdo con una realización, el quemador 100 con el sensor de llama 120 puede incorporarse en un sistema de combustión tal como, pero que no se limita al que se describe a continuación en relación con la **FIG. 2**.

La **FIG. 2** es una representación esquemática de un sistema de combustión 200, de acuerdo con una realización. El sistema de combustión 200 incluye una cámara de sobrepresión que define un volumen de combustión 208, un quemador 100 (tal como el quemador 100 descrito anteriormente) y una estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203 dispuesta dentro del volumen de combustión 208. El sistema de combustión 200 incluye un estabilizador de reacción perforado 202 soportado por la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203 y dispuesto a una distancia del quemador 100.

El volumen de combustión 208 está definido por una o más paredes del horno 206. La pared del horno 206 incluye

un piso de volumen de combustión 232. El volumen de combustión 208 incluye una región de mezcla 209 entre un estabilizador de reacción perforado 202 y el suelo del volumen de combustión 232 (o en algunos casos una pared del horno 206). El quemador 100 puede estar dispuesto al menos parcialmente en la región de mezcla 209 del volumen de combustión 208.

El sistema de combustión 200 además incluye una fuente principal de combustible y oxidante 210 configurada para proporcionar y dirigir un combustible principal y un oxidante principal (por ejemplo, aire) hacia el estabilizador de reacción perforado 202 en la región de mezcla 209 de modo que el combustible principal y el oxidante principal se mezclen en una mezcla principal de combustible y oxidante 212 a medida que el combustible principal y el oxidante principal atraviesan una distancia entre la fuente principal de combustible y oxidante 210 y el estabilizador de reacción perforado 202. La región de mezcla 209 está configurada para facilitar la mezcla del combustible principal y el oxidante principal en la mezcla principal de combustible-oxidante 212. La fuente principal de combustible y oxidante 210 puede incluir una fuente principal de combustible 227, una boquilla de combustible 226 y un depósito principal de combustible (no numerado por separado), configurado para proporcionar y dirigir el combustible principal hacia el estabilizador de reacción perforado 202. Una válvula de combustible 244 puede controlar el suministro del combustible principal a la boquilla de combustible 226. La fuente principal de combustible y oxidante 210 además puede incluir una fuente principal de oxidante 228 o conducto configurado para emitir y dirigir el oxidante principal, por ejemplo, a través de un compresor 246, hacia el estabilizador de reacción perforado 202. La boquilla de combustible 226 puede configurarse para emitir el combustible principal a través de un orificio de combustible 230.

De acuerdo con una realización, la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203 está configurada para soportar el estabilizador de reacción perforado 202 a la distancia de la fuente principal de combustible y oxidante 210. La **FIG. 2** representa la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203 que soporta el estabilizador de reacción perforado 202 desde el suelo del volumen de combustión 232. Sin embargo, se reconocerá que la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203 puede soportar alternativamente el estabilizador de reacción perforado 202 desde otra porción o porciones de un cuerpo de horno 204.

De acuerdo con una realización, el quemador 100 descrito anteriormente con respecto a la **FIG. 1** que incluye un sensor de llama 120, está dispuesto aguas arriba del estabilizador de reacción perforado 202. El quemador 100 está configurado y dispuesto para precalentar el estabilizador de reacción perforado 202, y puede estar configurado para proporcionar una llama al menos durante una puesta en marcha del sistema de combustión 200. En algunas realizaciones, el quemador 100 puede configurarse para proporcionar la llama perpetuamente durante el funcionamiento del sistema de combustión 200. En algunas realizaciones, el quemador 100 puede montarse o disponerse de otro modo en la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado 203, similar a la ilustración en la **FIG. 2**. En otras realizaciones, el quemador 100 puede estar dispuesto en otra ubicación aguas arriba del estabilizador de reacción perforado 202, tal como en el piso del volumen de combustión 232 que está definido por el cuerpo del horno 204. El quemador 100 puede configurarse para provocar el calentamiento del estabilizador de reacción perforado 202. El estabilizador de reacción perforado 202 puede configurarse para soportar una reacción de combustión de la mezcla principal de combustible y oxidante 212 sustancialmente dentro de las perforaciones 216 del estabilizador de llama perforado 202 después de que el quemador 100 precalienta el estabilizador de reacción perforado 202.

El sistema de combustión 200 incluye un circuito de control 300 acoplado operativamente al quemador 100 y otros elementos del sistema de combustión 200. El circuito de control 300 puede incorporar las características descritas con respecto al circuito de control 300 de la **FIG. 1** (que se describe con mayor detalle a continuación con respecto a la **FIG. 3**). Es decir, el circuito de control 300 puede configurarse para incluir una fuente de señal de excitación (véase el elemento 320 en la **FIG. 3**) configurado para generar una señal de excitación y proporcionar la señal de excitación al primer electrodo 122, la circuitería de detección (véase el elemento 330 en la **FIG. 3**) configurado para recibir una señal de detección del segundo electrodo 124, y una salida conectada eléctricamente al menos a una de la fuente de combustible 112 y la fuente de oxidante 114 y configurada para controlar una tasa de suministro de al menos uno del combustible y el oxidante.

De acuerdo con una realización, el sistema de combustión 200 además incluye al menos un sensor dispuesto al menos parcialmente dentro del volumen de combustión 208 y conectado eléctricamente al circuito de control 300. Por ejemplo, el circuito de control 300 puede configurarse para responder a la entrada recibida a través de los conductores de entrada 260 (o en algunas realizaciones a través de una señal inalámbrica) conectada eléctricamente a un sensor de calor 242 y/o un sensor de oxígeno 248 dispuesto en la pared del horno 206.

El circuito de control 300 puede incluir una o más salidas 262 para la conexión eléctrica con los controles del quemador tales como la válvula de combustible principal 244 y el compresor 246 para controlar al menos una de una tasa de suministro de combustible principal y/o una tasa de suministro de oxidante principal, una posición de la boquilla de combustible 226, una orientación de la boquilla de combustible 226 y una distancia entre el soporte de reacción perforado 202 y la fuente de combustible principal. En algunas realizaciones, este control puede responder a una señal del al menos un sensor (por ejemplo, las entradas del sensor indicadas anteriormente).

En una realización, el quemador 100 actúa como un quemador piloto que soporta una llama piloto. La llama piloto puede soportar la combustión de un combustible principal y oxidante en el estabilizador de llama perforado 202.

En una realización, el quemador 100 no está posicionado como se muestra en la **FIG. 2**, sino que el quemador 100 incluye la boquilla de combustible principal 226 y soporta la reacción de combustión dentro del estabilizador de llama perforado 202. El primer y el segundo electrodo 122 y 124 pueden colocarse adyacentes o en lados opuestos del estabilizador de llama perforado 202. El primer y el segundo electrodo 122 y 124 pueden cooperar con el circuito de control 300 para detectar la presencia de una llama dentro del estabilizador de llama perforado 202. El circuito de control 300 puede controlar una o más de la fuente de ignición 150 y la salida del combustible principal y el oxidante en respuesta a las condiciones detectadas por el primer y el segundo electrodo 122, 124.

La **FIG. 3** es un diagrama de bloques que ilustra el circuito de control 300 del quemador 100, de acuerdo con una realización. El circuito de control 300 puede incluir al menos un procesador 310, una fuente de señal de excitación 320 y circuitería de medición y/o detección 330. En algunas realizaciones, el circuito de control 300 también puede incluir uno o más transmisores 340. El o los transmisores 340 pueden estar conectados eléctricamente a la válvula de combustible 244 y/o al compresor 246 para controlar el suministro de combustible principal y oxidante principal. El procesador 310 puede ser un microcontrolador, microprocesador, procesador de señales, ASIC, PLD o similares, configurado para recibir datos de otros elementos del circuito de control 300 y/o de fuentes externas, procesar los datos y transmitir datos a los otros elementos del circuito de control 300 y/o destinos externos. Específicamente, el procesador 310 puede estar dispuesto en comunicación eléctrica con la fuente de señal de excitación 320, la circuitería de medición y/o detección 330 y el transmisor 340, junto con varios componentes discretos y, en algunas realizaciones, un medio no transitorio legible por ordenador tal como una memoria de solo lectura (ROM), memoria de acceso aleatorio (RAM) o variantes de estas, tal como una memoria de solo lectura programable y borrrable eléctricamente (EEPROM).

El procesador 310 además puede comunicarse, por ejemplo, a través de uno o más transmisores 340 con sensores o actuadores correspondientes a otras características de un sistema en el que se puede emplear el quemador 100. Por ejemplo, el quemador 100 se puede utilizar en un sistema de combustión tal como el sistema de combustión 200 que se muestra en la **FIG. 2** y se describió anteriormente, o con sensores relacionados con las temperaturas umbral del quemador, las condiciones ambientales, los interruptores manuales, los temporizadores basados en la hora del día o la temporada, los controles de apagado y/o similares, cualquiera de los cuales puede proporcionar señales al circuito de control 300 para controlar el funcionamiento del quemador 100. Del mismo modo, el circuito de control 300 puede proporcionar señales a la circuitería y/o actuadores distintos del circuito de control 300, a pantallas de monitoreo o pantallas de control, sensores o similares, por ejemplo, para monitorear y/o controlar parámetros o características del quemador 100 y/o elementos del mismo, o para monitorear y/o controlar elementos de otros sistemas externos tales como los descritos en la presente con respecto al sistema de combustión 200 de la **FIG. 2**.

La fuente de señal de excitación 320 puede ser un generador de señal u otra circuitería configurada para proporcionar de forma selectiva una señal de excitación variable en el tiempo (por ejemplo, un voltaje) al primer electrodo 122 a través del primer conductor 126. En algunas realizaciones, el circuito de control 300 puede incluir un amplificador 322 configurado para amplificar la señal de excitación generada proporcionada al primer electrodo 122 desde la fuente de señal de excitación 320. La fuente de señal de excitación 320 puede configurarse para efectuar el anteriormente ajuste mencionado de las características de la señal de excitación, que incluye al menos una de las características que incluyen la forma de onda, la magnitud y la frecuencia de la señal de excitación, o para proporcionar una señal no variable en el tiempo (por ejemplo, corriente continua) al primer electrodo 122.

De acuerdo con una realización, la señal de excitación generada es una onda cuadrada, y la fuente de señal de excitación 320 además puede configurarse para controlar al menos uno o más de la anchura de impulso, el ciclo de trabajo y la modulación. La forma de onda de la señal de excitación generada puede ser otra forma, tal como una senoide, diente de sierra, triángulo u otra forma. La fuente de señal de excitación 320 puede generar la señal de excitación de acuerdo con métodos conocidos, tal como mediante síntesis digital directa. La emisión de la señal de excitación generada por el primer electrodo 122 puede dar como resultado un campo electromagnético a través de la región de llama 130. El procesador 310 puede configurarse para controlar la configuración de la fuente de señal de excitación 320 en respuesta a una entrada. Por ejemplo, la fuente de señal de excitación 320 puede controlarse en respuesta a una entrada de sensor recibida por el procesador 310, o en respuesta a un valor calculado que alcanza un intervalo o valor predeterminado, tal como un valor calculado o recuperado de la memoria por el procesador 310, o en respuesta a un comando ingresado por una persona. Por ejemplo, en algunas realizaciones, el procesador 310 puede recibir una señal de retroalimentación de un sistema de combustión (por ejemplo, el sistema de combustión 200 de la **FIG. 2** descrito en la presente) que indica una condición de temperatura u otro valor en alguna parte del sistema de combustión. Esa señal de retroalimentación se puede utilizar en un cálculo o como una comparación directa con un valor predeterminado, el resultado de tal cálculo o comparación hace que el procesador 310 señale a un actuador o similares para controlar un cambio en la configuración del sistema de combustión 200, tal como la tasa de suministro de la canalización principal o combustible y/o canalización principal u oxidante, velocidad o dirección de un turbulenciador, características de dispersión de combustible o similares.

La circuitería de medición y/o detección 330 pueden estar en comunicación eléctrica con el segundo electrodo 124 a través del segundo conductor 128 para recibir una señal de detección. En algunas realizaciones, el primer y segundo conductores 126, 128 pueden reemplazarse parcialmente por circuitería inalámbrica, de modo que el control de la señal variable en el tiempo y la transmisión de la señal de detección pueden comunicarse de forma inalámbrica entre el circuito de control 300 y la circuitería, tal como un amplificador de señal (no se muestra), dispuesto de forma remota del circuito de control 300 en el quemador 100.

La circuitería de medición y/o detección 330 pueden configurarse para comparar la señal de detección con la señal de excitación para determinar una permitividad o capacitancia de la región de llama 130. De acuerdo con una realización, la circuitería de medición y/o detección 330 pueden recibir la señal de excitación de la fuente de señal de excitación 320 y la señal de detección y amplificar una diferencia entre las dos señales. Esa diferencia refleja la resistencia del campo eléctrico (es decir, la permitividad) del medio entre el primer y el segundo electrodo. Cuanto mayor es el diferencial, mayor es la permitividad del medio. Para los fines de esta solicitud, la permitividad (también denominada "capacitancia distribuida") es una medida de cómo un campo eléctrico se ve afectado por un medio dieléctrico. Se ha reconocido que la permitividad del aire (como medio dieléctrico) es diferente de la permitividad de una llama (como otro medio dieléctrico). Por consiguiente, cuando una llama está presente en la región de llama 130, la permitividad entre el primer y segundo electrodos 122, 124 es diferente de la permitividad cuando una llama no está presente. La permitividad ϵ de un medio en la región de llama 130 se basa en una capacitancia C medida entre los electrodos 122, 124, el área A del electrodo (por ejemplo, el segundo electrodo 124) y la distancia d entre los dos electrodos 122, 124 y se determina de la siguiente manera:

$$\epsilon = C \frac{d}{A} .$$

El circuito de control 300 puede comparar la magnitud de la permitividad medida con una permitividad umbral, o en algunas realizaciones puede simplemente monitorear un cambio significativo en la permitividad medida para detectar la presencia de una llama. Por ejemplo, la permitividad del área entre el primer electrodo 122 y el segundo electrodo 124 puede calcularse periódicamente y compararse con un valor de permitividad umbral predeterminado, o un intervalo de tales valores. Cuando la permitividad calculada excede el valor de permitividad umbral predeterminado, o está fuera del intervalo de tales valores, el circuito de medición y/o detección 330 puede proporcionar una señal al procesador que indica un cambio en la presencia o ausencia de la llama.

De acuerdo con una realización alternativa, el circuito de medición y/o detección 330 puede comparar la permitividad determinada con un índice de valores correspondientes a diferentes características de llama. Por ejemplo, la llama puede tener una permitividad diferente a diferentes tasas de suministro de combustible, o cuando se usan diferentes combustibles, o a diferentes temperaturas de la llama. Por consiguiente, se puede determinar una característica de una llama comparando una permitividad determinada de la región de llama 130 con un índice predeterminado de características de llama. Alternativamente, el circuito de medición y/o detección 330 puede simplemente informar la permitividad determinada de la región de llama 130 al procesador 310, y el procesador 310 puede identificar la característica de llama a través de la permitividad determinada. Cada característica de llama indexada puede hacer que el procesador 310 realice una acción respectiva de acuerdo con una necesidad percibida asociada con la característica de llama correspondiente.

De acuerdo con otra realización, se puede monitorear un cambio en la señal de detección a lo largo del tiempo para detectar la presencia o ausencia de una llama. Por ejemplo, un valor base de la señal de detección puede registrarse en un estado predeterminado. Cuando la señal de detección está fuera de un intervalo predeterminado que incluye ese valor base, se puede determinar que la señal de detección indica un cambio en la permitividad de la región de llama 130, por ejemplo, un cambio de la presencia de una llama a la ausencia de la llama, o viceversa. En algunos casos, se puede monitorear un valor promedio de la señal de detección durante un período predeterminado. Por ejemplo, se puede registrar periódicamente un valor de la señal de detección y se puede promediar una pluralidad de los valores registrados. Esto puede mitigar las variaciones en la posición o composición de la llama que, en algunas circunstancias, de otro modo harían que el circuito de medición y/o detección 330 o el procesador 310 percibieran incorrectamente los cambios en la presencia de la llama, lo que podría conducir, por ejemplo, a un disparo prematuro de combustible con base en un valor instantáneo de la señal de detección.

En los casos en que el área de los electrodos y la distancia entre los electrodos es estática, el circuito de control 300 determina la capacitancia entre el primer y el segundo electrodo 122, 124 para determinar la magnitud de la permitividad. Las características de la señal de excitación se generan intencionalmente y, por lo tanto, se conocen. Por lo tanto, un cambio en una característica de la señal de detección en comparación con la señal de excitación indica un cambio en la permitividad. La capacitancia se puede determinar de varias maneras convencionales, cada una de las cuales es contemplada por los inventores. Por ejemplo, la capacitancia se puede calcular a partir del tiempo (por ejemplo, tiempo de subida) que tarda la señal de detección en alcanzar un voltaje (magnitud) particular.

De acuerdo con una realización, por lo tanto, la permitividad de la región de llama 130 sin una llama será mensurablemente diferente de la permitividad de la región de llama 130 cuando una llama está presente.

El circuito de control 300 puede implementarse en una placa de circuito dispuesta a una distancia del quemador 100. Por ejemplo, el circuito de control 300 puede estar dispuesto fuera del volumen de combustión 208, tal como en un extremo distal del quemador 100, y/o distal de la región de llama 130.

La FIG. 4 es una vista oblicua de un quemador 400, de acuerdo con una realización. El quemador 400 incorpora características descritas anteriormente con respecto a las FIGS. 1 y 3. El primer y segundo electrodos 422 y 424 pueden estar dispuestos en una periferia de una región de llama (por ejemplo, la región de llama 130). De manera adicional o alternativa, un primer electrodo 454 puede disponerse o coincidir con un elevador de combustible 454 y los electrodos 422, 424 pueden funcionar como segundos electrodos. El combustible y el oxidante pueden suministrarse a través de una cámara de sobrepresión de aire 411 del quemador 400. El combustible y el oxidante pueden suministrarse cada uno desde un conducto de suministro respectivo (no se muestra) respectivamente en conexión fluida con un depósito de combustible a través de una válvula (por ejemplo, la válvula de control de combustible 244 en la FIG. 2) y un suministro de aire a través de un compresor (por ejemplo, el compresor 246 en la FIG. 2). El primer y segundo electrodos 422, 424 pueden ser electrodos de parche y pueden configurarse en conexión eléctrica con un controlador (por ejemplo, circuito de control 300 descrito anteriormente) respectivamente a través del primer y segundo conductores 426, 428. En una realización, como se ilustra, el quemador 400 puede incluir un turbulenciador 452 configurado para hacer girar el oxidante a medida que se propaga desde la fuente de oxidante (por ejemplo, la fuente de oxidante 114). Esto permite que el oxidante arremolinado arrastre el combustible emitido desde una boquilla de combustible (que puede coincidir con un primer electrodo 454), ayudando así a la mezcla del combustible y el oxidante a una mezcla de combustible y oxidante sustancialmente homogénea. Los elementos 440a, 440b pueden estar conectados eléctricamente a tierra 442 en realizaciones ilustrativas.

En algunas realizaciones, el controlador puede configurarse para compensar una señal variable en el tiempo de dos o más de los electrodos 422, 424, 440a, 440b y/o 454 de modo que el efecto de la señal variable en el tiempo de un electrodo pueda evaluarse en uno o más de los otros electrodos. Mediante esta operación, no solo se puede evaluar la presencia o ausencia, sino también las características adicionales de la llama, como la posición relativa o el tamaño de la llama.

Aunque la invención se centra en el uso del sensor de llama 120 para detectar la presencia o ausencia de una llama, los expertos en la técnica apreciarán que el sensor de llama 120 puede usarse para detectar una llama en otra parte de un sistema de combustión 200. Por ejemplo, un sensor de llama 120 puede colocarse para detectar la presencia de llama u otras características aguas abajo en un estabilizador de llama principal, tal como un estabilizador de llama perforado. En otro ejemplo, un dispositivo de detección de llama similar al sensor de llama 120 del quemador 100 descrito anteriormente puede implementarse para detectar la presencia o ausencia de retroceso no deseado aguas arriba de un estabilizador de llama perforado u otro estabilizador de llama. En algunas realizaciones, el sensor de llama 120 puede configurarse para detectar la presencia, ausencia u otra calidad de productos de combustión sin llama aguas abajo de un estabilizador de llama.

La FIG. 5 es un diagrama simplificado de un sistema de quemador 500 que incluye un estabilizador de llama perforado 202 configurado para mantener una reacción de combustión, de acuerdo con una realización. Como se usa en el presente documento, los términos *estabilizador de llama perforado*, *estabilizador de reacción perforado*, *estabilizador de llama poroso*, *estabilizador de reacción poroso*, *dúplex* y *baldosa dúplex* se considerarán sinónimos a menos que se proporcione una definición adicional.

Los experimentos realizados por los inventores han demostrado que los estabilizadores de llama perforados 202 descritos en la presente pueden soportar una combustión muy limpia. Específicamente, en el uso experimental de los sistemas de quemadores 500 que van desde la escala hasta la escala completa, la producción de óxidos de nitrógeno (NOx) se midió para variar desde partes bajas de un solo dígito por millón (ppm) hasta una concentración indetectable (menos de 1 ppm) de NOx en la chimenea. Estos resultados notables se midieron a una concentración de oxígeno (O₂) (seco) del 3 % con monóxido de carbono (CO) indetectable a temperaturas de chimenea típicas de las aplicaciones de hornos industriales (926,7 - 871,1 °C) (1700 - 1600 °F). Además, estos resultados no requirieron ninguna medida extraordinaria, como la reducción catalítica selectiva (SCR), la reducción selectiva no catalítica (SNCR), la inyección de agua/vapor, la recirculación externa de gases de combustión (FGR) u otros extremos heroicos que pueden ser necesarios para que los quemadores convencionales incluso se acerquen a una combustión tan limpia.

De acuerdo con realizaciones, el sistema de quemador 500 incluye una fuente de combustible y oxidante 502 dispuesta para emitir combustible y oxidante en un volumen de combustión 504 para formar una mezcla de combustible y oxidante 506. Tal como se usa en la presente, los términos *combustible* y *mezcla oxidante* y *corriente de combustible* pueden usarse indistintamente y considerarse sinónimos dependiendo del contexto, a menos que se proporcione una definición adicional. Tal como se usan en la presente, los términos *volumen de combustión*, *cámara de combustión*, *volumen del horno* y similares se considerarán sinónimos a menos que se proporcione una definición adicional. El estabilizador de llama perforado 202 está dispuesto en el volumen de combustión 504 y posicionado para recibir la mezcla de combustible y oxidante 506.

La FIG. 6 es un diagrama en sección lateral 600 de una parte del estabilizador de llama perforado 202 de las FIGS.

2 y 5, de acuerdo con una realización. Con referencia a las **FIGS. 5 y 6**, el estabilizador de llama perforado 202 incluye un cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 que define una pluralidad de perforaciones 510 alineadas para recibir la mezcla de combustible y oxidante 506 de la fuente de combustible y oxidante 502. Tal como se usa en la presente, los términos *perforación*, *poro*, *abertura*, *abertura alargada* y similares, en el contexto del estabilizador de llama perforado 202, se considerarán sinónimos a menos que se proporcione una definición adicional. Las perforaciones 510 están configuradas para mantener colectivamente una reacción de combustión 606 soportada por la mezcla de combustible y oxidante 506.

El combustible puede incluir hidrógeno, un gas de hidrocarburo, un líquido de hidrocarburo vaporizado, un líquido de hidrocarburo atomizado o un sólido en polvo o pulverizado. El combustible puede ser una sola especie o puede incluir una mezcla de gas o gases, vapor o vapores, líquido o líquidos atomizados y/o sólido o sólidos pulverizados. Por ejemplo, en una aplicación de calentador de proceso, el combustible puede incluir gas combustible o subproductos del proceso que incluyen monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂) y metano (CH₄). En otra aplicación, el combustible puede incluir gas natural (principalmente CH₄) o propano (C₃H₈). En otra aplicación, el combustible puede incluir petróleo combustible #2 o petróleo combustible #6. Los inventores contemplan de manera similar aplicaciones de combustible dual y aplicaciones de combustible flexible. El oxidante puede incluir oxígeno transportado por aire, gas de combustión y/o puede incluir otro oxidante, ya sea puro o transportado por un gas portador. Los términos *oxidante* y *comburente oxidante* se considerarán sinónimos en el presente documento.

De acuerdo con una realización, el cuerpo del estabilizador de llama perforado 508 puede estar limitado por una cara de entrada 512 dispuesta para recibir la mezcla de combustible y oxidante 506, una cara de salida 514 orientada en sentido contrario a la fuente de combustible y oxidante 502, y una superficie periférica 516 que define una extensión lateral del estabilizador de llama perforado 202. La pluralidad de perforaciones 510 que están definidas por el cuerpo estabilizador de llama perforado 508 se extiende desde la cara de entrada 512 hasta la cara de salida 514. La pluralidad de perforaciones 510 puede recibir la mezcla de combustible y oxidante 506 en la cara de entrada 512. La mezcla de combustible y oxidante 506 puede entonces quemarse en o cerca de la pluralidad de perforaciones 510 y los productos de combustión pueden salir de la pluralidad de perforaciones 510 en o cerca de la cara de salida 514.

De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado 202 está configurado para contener la mayor parte de la reacción de combustión 606 dentro de las perforaciones 510. Por ejemplo, en una base de estado estacionario, más de la mitad de las moléculas de salida de combustible en el volumen de combustión 504 por la fuente de combustible y oxidante 502 se pueden convertir en productos de combustión entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. De acuerdo con una interpretación alternativa, más de la mitad del calor o la energía térmica emitida por la reacción de combustión 606 puede emitirse entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. Como se usa en este documento, los términos *calor*, *energía calorífica* y *energía térmica* se considerarán sinónimos a menos que se proporcione una definición adicional. Como se usó anteriormente, la *energía calorífica* y la *energía térmica* se refieren generalmente a la energía química liberada inicialmente retenida por los reactivos durante la reacción de combustión 606. Como se usa en otras partes del presente documento, *el calor*, la *energía calorífica* y la *energía térmica* corresponden a un aumento de temperatura detectable experimentado por cuerpos reales caracterizados por capacidades térmicas. En condiciones de funcionamiento nominales, las perforaciones 510 pueden configurarse para contener colectivamente al menos el 80 % de la reacción de combustión 606 entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. En algunos experimentos, los inventores produjeron una reacción de combustión 606 que aparentemente estaba totalmente contenida en las perforaciones 510 entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. De acuerdo con una interpretación alternativa, el estabilizador de llama perforado 202 puede soportar la combustión entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 cuando la combustión se "promedia en el tiempo". Por ejemplo, durante los transitorios, tal como antes de que el estabilizador de llama perforado 202 se caliente completamente, o si se coloca una carga (de enfriamiento) demasiado alta en el sistema, la combustión puede desplazarse un poco aguas abajo de la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. Alternativamente, si la carga de enfriamiento es relativamente baja y/o la temperatura del horno alcanza un nivel alto, la combustión puede desplazarse un poco aguas arriba de la cara de entrada 512 del estabilizador de llama perforado 202.

Si bien una "llama" se describe de una manera destinada a facilitar la descripción, debe entenderse que en algunos casos, no hay llama visible presente. La combustión se produce principalmente dentro de las perforaciones 510, pero el "resplendor" del calor de combustión está dominado por un resplendor visible del propio estabilizador de llama perforado 202. En otros casos, los inventores han observado un "resoplido" o "reacción" transitoria en que una llama visible se enciende momentáneamente en una región que se encuentra entre la cara de entrada 512 del estabilizador de llama perforado 202 y una boquilla de combustible 518, dentro de la región de dilución D_D. Tal inhalación transitoria o retroceso es generalmente de corta duración, de modo que, en una base promediada en el tiempo, la mayoría de la combustión ocurre dentro de las perforaciones 510 del estabilizador de llama perforado 202, entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514. En otros casos, los inventores han observado una combustión aparente que ocurre aguas abajo de la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202,

pero aun así la mayoría de la combustión ocurrió dentro del estabilizador de llama perforado 202 como lo demuestra el resplandor visible continuo del estabilizador de llama perforado 202 que se observó.

El estabilizador de llama perforado 202 puede configurarse para recibir calor de la reacción de combustión 606 y emitir una parte del calor recibido como radiación térmica 604 a estructuras receptoras de calor (por ejemplo, paredes del horno y/o tubos de fluido de trabajo de sección radiante) en o adyacentes al volumen de combustión 504. Tal como se usa en la presente, los términos tales como *radiación*, *radiación térmica*, *calor radiante*, *radiación* térmica, etc., deben interpretarse como sustancialmente sinónimos, a menos que se proporcione una definición adicional. Específicamente, tales términos se refieren a la radiación de tipo cuerpo negro de energía electromagnética, principalmente en longitudes de onda infrarrojas, pero también en longitudes de onda visibles debido a la temperatura elevada del cuerpo estabilizador de llama perforado 508.

Refiriéndose especialmente a la **FIG. 6**, el estabilizador de llama perforado 202 emite otra parte del calor recibido a la mezcla de combustible y oxidante 506 recibida en la cara de entrada 512 del estabilizador de llama perforado 202. El cuerpo estabilizador de llama perforado 508 puede recibir calor de la reacción de combustión 606 al menos en las regiones receptoras de calor 606 de las paredes de perforación 608. La evidencia experimental ha sugerido a los inventores que la posición de las regiones receptoras de calor 606, o al menos la posición correspondiente a una tasa máxima de recepción de calor, puede variar a lo largo de la longitud de las paredes de perforación 608. En algunos experimentos, la ubicación de recepción máxima de calor fue aparentemente entre 1/3 y 1/2 de la distancia desde la cara de entrada 512 hasta la cara de salida 514 (es decir, algo más cerca de la cara de entrada 512 que de la cara de salida 514). Los inventores contemplan que las regiones receptoras de calor 606 pueden estar más cerca de la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202 en otras condiciones. Lo más probable es que no haya un borde claramente definido de las regiones receptoras de calor 606 (o, para el caso, las regiones de salida de calor 610, descritas a continuación). Para facilitar la comprensión, las regiones receptoras de calor 606 y las regiones de salida de calor 610 se describirán como regiones particulares 606, 610.

El cuerpo estabilizador de llama perforado 508 se puede caracterizar por una capacidad de calor. El cuerpo estabilizador de llama perforado 508 puede contener energía térmica de la reacción de combustión 606 en una cantidad correspondiente a la capacidad térmica multiplicada por el aumento de temperatura, y transferir la energía térmica de las regiones receptoras de calor 606 a las regiones de salida de calor 610 de las paredes de perforación 608. Generalmente, las regiones de salida de calor 610 están más cerca de la cara de entrada 512 que las regiones de recepción de calor 606. De acuerdo con una interpretación, el cuerpo estabilizador de llama perforado 508 puede transferir calor desde las regiones receptoras de calor 606 a las regiones de salida de calor 610 a través de radiación térmica, representada gráficamente como 604. De acuerdo con otra interpretación, el cuerpo estabilizador de llama perforado 508 puede transferir calor desde las regiones receptoras de calor 606 a las regiones de salida de calor 610 a través de la conducción de calor a lo largo de las vías de conducción de calor 612. Los inventores contemplan que múltiples mecanismos de transferencia de calor que incluyen conducción, radiación y posiblemente convección pueden ser operativos en la transferencia de calor desde las regiones receptoras de calor 606 a las regiones de salida de calor 610. De esta manera, el estabilizador de llama perforado 202 puede actuar como una fuente de calor para mantener la reacción de combustión 606, incluso en condiciones en las que una reacción de combustión 606 no sería estable cuando se soporta desde un estabilizador de llama convencional.

Los inventores consideran que el estabilizador de llama perforado 202 hace que la reacción de combustión 606 comience dentro de las capas límite térmicas 614 formadas adyacentes a las paredes 608 de las perforaciones 510. En la medida en que generalmente se entiende que la combustión incluye una gran cantidad de reacciones individuales, y dado que una gran parte de la energía de combustión se libera dentro del estabilizador de llama perforado 202, es evidente que al menos la mayoría de las reacciones individuales ocurren dentro del estabilizador de llama perforado 202. A medida que la mezcla de combustible y oxidante relativamente fría 506 se acerca a la cara de entrada 512, el flujo se divide en porciones que se desplazan respectivamente a través de perforaciones individuales 510. El cuerpo de estabilizador de llama perforado caliente 508 transfiere calor al fluido, especialmente dentro de las capas límite térmicas 614 que se espesan progresivamente a medida que se transfiere más y más calor a la mezcla de combustible y oxidante entrante 506. Después de alcanzar una temperatura de combustión (por ejemplo, la temperatura de autoignición del combustible), los reactivos continúan fluyendo mientras transcurre un tiempo de retraso de la ignición química, tiempo durante el cual se produce la reacción de combustión 606. Por consiguiente, se muestra que la reacción de combustión 606 ocurre dentro de las capas límite térmicas 614. A medida que avanza el flujo, las capas límite térmicas 614 se fusionan en un punto de fusión 616. Idealmente, el punto de fusión 616 se encuentra entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 que definen los extremos de las perforaciones 510. En alguna posición a lo largo de la longitud de una perforación 510, la reacción de combustión 606 emite más calor al cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 que el que recibe del cuerpo de estabilizador de llama perforado 508. El calor se recibe en la región receptora de calor 606, se mantiene por el cuerpo estabilizador de llama perforado 508 y se transporta a la región de salida de calor 610 más cerca de la cara de entrada 512, donde el calor se transfiere a los reactivos fríos (y cualquier diluyente incluido) para llevar los reactivos a la temperatura de ignición.

En una realización, cada una de las perforaciones 510 se caracteriza por una longitud L definida como una longitud

de la trayectoria de propagación del fluido de reacción entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. Tal como se usa en la presente, el término *fluido de reacción* se refiere a la materia que se desplaza a través de una perforación 510. Cerca de la cara de entrada 512, el fluido de reacción incluye la mezcla de combustible y oxidante 506 (que incluye opcionalmente nitrógeno, gas de combustión y/u otras especies "no reactivas"). Dentro de la región de reacción de combustión 606, el fluido de reacción puede incluir plasma asociado con la reacción de combustión 606, moléculas de reactivos y sus partes constituyentes, cualquier especie no reactiva, intermedios de reacción (incluidos los estados de transición) y productos de reacción. Cerca de la cara de salida 514, el fluido de reacción puede incluir productos de reacción y subproductos, gas no reactivo y exceso de oxidante.

La pluralidad de perforaciones 510 puede caracterizarse cada una por una dimensión transversal D entre paredes de perforación opuestas 608. Los inventores han determinado que se puede mantener una combustión estable en el estabilizador de llama perforado 202 si la longitud L de cada perforación 510 es al menos cuatro veces la dimensión transversal D de la perforación 510. En otras realizaciones, la longitud L puede ser mayor que seis veces la dimensión transversal D . Por ejemplo, se han realizado experimentos donde L es al menos ocho, al menos doce, al menos dieciséis y al menos veinticuatro veces la dimensión transversal D . Preferentemente, la longitud L es lo suficientemente larga para que las capas límite térmicas 614 se formen adyacentes a las paredes de perforación 608 en un fluido de reacción que fluye a través de las perforaciones 510 para converger en los puntos de fusión 616 dentro de las perforaciones 510 entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. En experimentos, los inventores han encontrado que las relaciones L/D entre 12 y 48 funcionan bien (es decir, producen bajo NO_x , producen bajo CO y mantienen una combustión estable).

El cuerpo estabilizador de llama perforado 508 se puede configurar para transportar calor entre perforaciones adyacentes 510. El calor transportado entre las perforaciones adyacentes 510 se puede seleccionar para provocar la salida de calor de la parte de reacción de combustión 606 en una primera perforación 510 para suministrar calor para estabilizar una parte de reacción de combustión 606 en una perforación adyacente 510.

Refiriéndose especialmente a la **FIG. 5**, la fuente de combustible y oxidante 502 además puede incluir la boquilla de combustible 518, configurada para emitir el combustible, y una fuente de oxidante 520 configurada para emitir un fluido que incluye el oxidante. Por ejemplo, la boquilla de combustible 518 se puede configurar para producir combustible puro. La fuente de oxidante 520 puede configurarse para emitir aire de combustión que transporta oxígeno y, opcionalmente, gas de combustión.

El estabilizador de llama perforado 202 puede sostenerse mediante una estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 configurada para sostener el estabilizador de llama perforado 202 a una distancia de dilución D_D lejos de la boquilla de combustible 518. La boquilla de combustible 518 puede configurarse para emitir un chorro de combustible seleccionado para arrastrar el oxidante para formar la mezcla de combustible y oxidante 506 a medida que el chorro de combustible y el oxidante se desplazan a lo largo de una trayectoria hasta el estabilizador de llama perforado 202 a través de la distancia de dilución D_D entre la boquilla de combustible 518 y el estabilizador de llama perforado 202. Adicional o alternativamente (particularmente cuando se usa un compresor para suministrar el oxidante contenido en el aire de combustión), la fuente de oxidante o aire de combustión 520 puede configurarse para arrastrar el combustible y el combustible y el oxidante se desplazan a través de la distancia de dilución D_D . En algunas realizaciones, se puede proporcionar una vía de recirculación de gases de combustión 524. Adicional o alternativamente, la boquilla de combustible 518 puede configurarse para emitir un chorro de combustible seleccionado para arrastrar el oxidante y para arrastrar el gas de combustión a medida que el chorro de combustible se desplaza a través de la distancia de dilución D_D entre la boquilla de combustible 518 y la cara de entrada 512 del estabilizador de llama perforado 202.

La boquilla de combustible 518 puede configurarse para emitir el combustible a través de uno o más orificios de combustible 526 que tienen una dimensión de diámetro interior que se denomina "diámetro de boquilla". La estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede soportar el estabilizador de llama perforado 202 para recibir la mezcla de combustible y oxidante 506 a la distancia D_D de la boquilla de combustible 518 mayor que 20 veces el diámetro de la boquilla. En otra realización, el estabilizador de llama perforado 202 está dispuesto para recibir la mezcla de combustible y oxidante 506 a la distancia D_D lejos de la boquilla de combustible 518 entre 100 veces y 1100 veces el diámetro de la boquilla. Preferentemente, la estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 está configurada para mantener el estabilizador de llama perforado 202 a una distancia de aproximadamente 200 veces o más el diámetro de la boquilla lejos de la boquilla de combustible 518. Cuando la mezcla de combustible y oxidante 506 se desplaza aproximadamente 200 veces el diámetro de la boquilla o más, la mezcla se homogeneiza lo suficiente como para hacer que la reacción de combustión 606 produzca un mínimo de NO_x .

La fuente de combustible y oxidante 502 puede incluir alternativamente una fuente de combustible y oxidante de premezcla, de acuerdo con una realización. Una fuente de combustible y oxidante de premezcla puede incluir una cámara de premezcla (no se muestra), una boquilla de combustible configurada para emitir combustible a la cámara de premezcla y un canal de oxidante (por ejemplo, aire de combustión) configurado para emitir el oxidante a la cámara de premezcla. Se puede disponer un supresor de llama entre la fuente de combustible y oxidante de

premezcla y el estabilizador de llama perforado 202 y configurarse para evitar el retroceso de la llama en la fuente de combustible y oxidante de premezcla.

La fuente de oxidante 520, ya sea configurada para el arrastre en el volumen de combustión 504 o para la premezcla, puede incluir un compresor configurado para forzar al oxidante a través de la fuente de combustible y oxidante 502.

La estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede configurarse, por ejemplo, para soportar el estabilizador de llama perforado 202 desde un piso o pared (no se muestra) del volumen de combustión 504. En otra realización, la estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 soporta el estabilizador de llama perforado 202 desde la fuente de combustible y oxidante 502. Alternativamente, la estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede suspender el estabilizador de llama perforado 202 de una estructura elevada (tal como un conducto de humos, en el caso de un sistema de encendido ascendente). La estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede soportar el estabilizador de llama perforado 202 en varias orientaciones y direcciones.

El estabilizador de llama perforado 202 puede incluir un único cuerpo de estabilizador de llama perforado 508. En otra realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede incluir una pluralidad de secciones de estabilizador de llama perforadas adyacentes que proporcionan colectivamente un estabilizador de llama perforado en mosaico 202.

La estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede configurarse para soportar la pluralidad de secciones de estabilizador de llama perforadas. La estructura de soporte del estabilizador de llama perforada 522 puede incluir una superaleación de metal, un material cementoso y/o refractario cerámico. En una realización, la pluralidad de secciones estabilizador de llama perforadas adyacentes se pueden unir con un cemento refractario reforzado con fibra.

El estabilizador de llama perforado 202 puede tener una dimensión de anchura W entre lados opuestos de la superficie periférica 516 al menos dos veces una dimensión de espesor T entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514. En otra realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede tener una dimensión de anchura W entre lados opuestos de la superficie periférica 516 al menos tres veces, al menos seis veces o al menos nueve veces la dimensión de espesor T entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202.

En una realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede tener una dimensión de anchura W menor que una anchura del volumen de combustión 504. Esto puede permitir que la vía de recirculación de gases de combustión 524 desde arriba hacia abajo del estabilizador de llama perforado 202 se encuentre entre la superficie periférica 516 del estabilizador de llama perforado 202 y la pared del volumen de combustión (no se muestra).

Con referencia de nuevo a ambas **FIGS. 5 y 6**, las perforaciones 510 pueden ser de varias formas. En una realización, las perforaciones 510 pueden incluir cuadrados alargados, cada uno con una dimensión transversal D entre lados opuestos de los cuadrados. En otra realización, las perforaciones 510 pueden incluir hexágonos alargados, cada uno con una dimensión transversal D entre lados opuestos de los hexágonos. En aun otra realización, las perforaciones 510 pueden incluir cilindros huecos, cada uno tiene una dimensión transversal D correspondiente a un diámetro del cilindro. En otra realización, las perforaciones 510 pueden incluir conos truncados o pirámides truncadas (por ejemplo, cono truncado), cada uno tiene una dimensión transversal D radialmente simétrica con respecto a un eje de longitud que se extiende desde la cara de entrada 512 hasta la cara de salida 514. En algunas realizaciones, cada una de las perforaciones 510 puede tener una dimensión lateral D igual o mayor que una distancia de extinción de la llama con base en las condiciones de referencia estándar. Alternativamente, las perforaciones 510 pueden tener una dimensión lateral D menor que una distancia de extinción de referencia estándar.

En un intervalo de realizaciones, cada una de la pluralidad de perforaciones 510 tiene una dimensión lateral D entre 0,12 centímetros y 2,54 centímetros (0,05 pulgadas y 1,0 pulgadas). Preferentemente, cada una de la pluralidad de perforaciones 510 tiene una dimensión lateral D entre 0,25 centímetros y 1,27 centímetros (0,1 pulgadas y 0,5 pulgadas). Por ejemplo, la pluralidad de perforaciones 510 cada una puede tener una dimensión lateral D de aproximadamente 0,50 a 1,01 centímetros (0,2 a 0,4 pulgadas).

La *fracción vacía* de un estabilizador de llama perforado 202 se define como el volumen total de todas las perforaciones 510 en una sección del estabilizador de llama perforado 202 dividido por un volumen total del estabilizador de llama perforado 202 que incluye el cuerpo del estabilizador de llama perforado 508 y las perforaciones 510. El estabilizador de llama perforado 202 debe tener una fracción de vacío entre 0,10 y 0,90. En una realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede tener una fracción vacía entre 0,30 y 0,80. En otra realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede tener una fracción vacía de aproximadamente 0,70. Se encontró que el uso de una fracción vacía de aproximadamente 0,70 era especialmente eficaz para producir NOx muy bajos.

- El estabilizador de llama perforado 202 puede formarse a partir de un material refractario fundido reforzado con fibra y/o un material refractario tal como un material de silicato de aluminio. Por ejemplo, el estabilizador de llama perforado 202 se puede formar para incluir mullita o cordierita. Adicional o alternativamente, el cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede incluir una superaleación metálica tal como Inconel o Hastelloy. El cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede definir un dispositivo en panal. Dispositivo en panal es un término industrial de arte que no necesita referirse estrictamente a una sección transversal hexagonal y la mayoría de las veces incluye celdas de sección transversal cuadrada. También se conocen dispositivos en panal de otras áreas transversales.
- Los inventores han determinado que el estabilizador de llama perforado 202 se puede formar a partir de un dispositivo en panal de cerámica VERSAGRID®, disponible en Applied Ceramics, Inc. de Doraville, Carolina del Sur.
- Las perforaciones 510 pueden ser paralelas entre sí y normales a las caras de entrada y salida 512, 514. En otra realización, las perforaciones 510 pueden ser paralelas entre sí y formarse en un ángulo con respecto a las caras de entrada y salida 512, 514. En otra realización, las perforaciones 510 pueden no ser paralelas entre sí. En otra realización, las perforaciones 510 pueden ser no paralelas entre sí y no intersecantes. En otra realización, las perforaciones 510 pueden intersecarse. El cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede ser de una sola pieza o puede formarse a partir de una pluralidad de secciones.
- En otra realización, que no se prefiere necesariamente, el estabilizador de llama perforado 202 puede formarse a partir de material cerámico reticulado. El término "reticulado" se refiere a una estructura similar a una red. El material cerámico reticulado a menudo se fabrica disolviendo una suspensión en una esponja de porosidad especificada, permitiendo que la suspensión se endurezca, quemando la esponja y curando la cerámica.
- En otra realización, que no se prefiere necesariamente, el estabilizador de llama perforado 202 puede formarse a partir de un material cerámico que se ha perforado, taladrado o moldeado para crear canales.
- En otra realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede incluir una pluralidad de tubos o tuberías agrupados. La pluralidad de perforaciones 510 puede incluir cilindros huecos y opcionalmente también puede incluir espacios intersticiales entre los tubos agrupados. En una realización, la pluralidad de tubos puede incluir tubos cerámicos. El cemento refractario puede incluirse entre los tubos y configurarse para adherir los tubos entre sí. En otra realización, la pluralidad de tubos puede incluir tubos de metal (por ejemplo, superaleación). La pluralidad de tubos puede mantenerse unida mediante un miembro de tensión metálico circunferencial a la pluralidad de tubos y dispuesto para mantener unida la pluralidad de tubos. El miembro de tensión de metal puede incluir acero inoxidable, un alambre de metal de superaleación y/o una banda de metal de superaleación.
- El cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede incluir alternativamente láminas perforadas apiladas de material, cada lámina tiene aberturas que se conectan con aberturas de láminas subyacentes y superyacentes. Las láminas perforadas pueden incluir láminas metálicas perforadas, láminas cerámicas y/o láminas expandidas. En otra realización, el cuerpo estabilizador de llama perforado 508 puede incluir cuerpos de empaque discontinuos de modo que las perforaciones 510 se formen en los espacios intersticiales entre los cuerpos de empaque discontinuos. En un ejemplo, los cuerpos de empaque discontinuos incluyen formas de empaque estructuradas. En otro ejemplo, los cuerpos de empaque discontinuos incluyen formas de empaque aleatorias. Por ejemplo, los cuerpos de empaque discontinuos pueden incluir anillos Raschig de cerámica, sillas Berl de cerámica, sillas Intalox de cerámica y/o anillos metálicos u otras formas (por ejemplo, anillos Super Raschig) que pueden mantenerse unidos por una jaula metálica.
- Los inventores contemplan varias explicaciones de por qué los sistemas de quemadores 500 que incluyen el estabilizador de llama perforado 202 proporcionan tal combustión limpia.
- De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede actuar como una fuente de calor para mantener la reacción de combustión 606 incluso en condiciones en las que la reacción de combustión 606 no sería estable cuando se soporta por un estabilizador de llama convencional. Esta capacidad se puede aprovechar para apoyar la combustión utilizando una mezcla de combustible y oxidante más pobre de lo que normalmente es factible. Por lo tanto, de acuerdo con una realización, en el punto donde la corriente de combustible 506 entra en contacto con la cara de entrada 512 del estabilizador de llama perforado 202, una relación promedio de combustible a oxidante de la corriente de combustible 506 está por debajo de un límite de combustión inferior (convencional) del componente de combustible de la corriente de combustible 506; el *límite de combustión inferior* define la concentración más baja de combustible a la que la mezcla de combustible y oxidante 506 se quemará cuando se expone a una fuente de ignición momentánea a presión atmosférica normal y una temperatura ambiente de 25° C (77° F).
- Se determinó que el estabilizador de llama perforado 202 y los sistemas que incluyen el estabilizador de llama perforado 202 descritos en la presente proporcionan una combustión sustancialmente completa de CO (ppm de un solo dígito hasta ser indetectable, dependiendo de las condiciones experimentales), al tiempo que soportan

bajos niveles de NOx. De acuerdo con una interpretación, tal rendimiento se puede lograr debido a una mezcla suficiente utilizada para reducir las temperaturas máximas de la llama (entre otras estrategias). Las temperaturas de la llama tienden a alcanzar su punto máximo en condiciones ligeramente ricas, lo que puede ser evidente en cualquier llama de difusión que no esté suficientemente mezclada. Mediante una mezcla suficiente, se puede lograr una mezcla homogénea y ligeramente pobre antes de la combustión. Esta combinación puede dar como resultado temperaturas de llama reducidas y, por lo tanto, una menor formación de NOx. En una realización, "ligeramente pobre" puede referirse a 3 % O₂, es decir, una relación de equivalencia de -0,87. Es posible el uso de mezclas aún más pobres, pero puede resultar en niveles elevados de O₂. Además, los inventores creen que las paredes de perforación 608 pueden actuar como un disipador de calor para el fluido de combustión. Este efecto puede reducir alternativa o adicionalmente las temperaturas de combustión y disminuir los NOx.

De acuerdo con otra interpretación, la producción de NOx puede reducirse si la reacción de combustión 606 ocurre durante un período de tiempo muy corto. La combustión rápida hace que los reactivos (incluidos el oxígeno y el nitrógeno arrastrado) se expongan a la temperatura de formación de NOx durante un tiempo demasiado corto para que la cinética de formación de NOx cause una producción significativa de NOx. El tiempo requerido para que los reactivos pasen a través del estabilizador de llama perforado 202 es muy corto en comparación con una llama convencional. La baja producción de NOx asociada con la combustión del estabilizador de llama perforado puede estar relacionada con la corta duración de tiempo requerida para que los reactivos (y el nitrógeno arrastrado) pasen a través del estabilizador de llama perforado 202.

La **FIG. 7** es un diagrama de flujo que muestra un método 700 para operar un sistema de quemador que incluye el estabilizador de llama perforado que se muestra y describe en la presente. Para operar un sistema de quemador que incluye un estabilizador de llama perforado, el estabilizador de llama perforado se calienta primero a una temperatura suficiente para mantener la combustión de la mezcla de combustible y oxidante.

De acuerdo con una descripción simplificada, el método 700 comienza con la etapa 702, donde el estabilizador de llama perforado se precalienta a una temperatura de arranque, T_s. Después de que el estabilizador de llama perforado se eleva a la temperatura de arranque, el método avanza a la etapa 704, en donde el combustible y el oxidante se proporcionan al estabilizador de llama perforado y la combustión se mantiene por el estabilizador de llama perforado.

De acuerdo con una descripción más detallada, la etapa 702 comienza con la etapa 706, en donde se proporciona energía de arranque en el estabilizador de llama perforado. Simultáneamente o después de proporcionar energía de arranque, una etapa de decisión 708 determina si la temperatura T del estabilizador de llama perforado es igual o superior a la temperatura de arranque, T_s. Siempre que la temperatura del estabilizador de llama perforado esté por debajo de su temperatura de arranque, el método 700 realiza un bucle entre las etapas 706 y 708 dentro de la etapa de precalentamiento 702. En la etapa de decisión 708, si la temperatura T de al menos una parte predeterminada del estabilizador de llama perforado es mayor o igual que la temperatura de arranque, el método 700 pasa a la etapa general 704, donde el combustible y el oxidante se suministran y la combustión se mantiene por el estabilizador de llama perforado.

La etapa 704 puede dividirse en varias etapas discretas, al menos algunos de los cuales pueden ocurrir simultáneamente.

A partir de la etapa de decisión 708, se proporciona una mezcla de combustible y oxidante al estabilizador de llama perforado, como se muestra en la etapa 710. El combustible y el oxidante pueden ser proporcionados por una fuente de combustible y oxidante que incluye, por ejemplo, una boquilla de combustible separada y una fuente de oxidante (por ejemplo, aire de combustión). En este enfoque, el combustible y el oxidante se emiten en una o más direcciones seleccionadas para hacer que la cara de entrada del estabilizador de llama perforado reciba la mezcla de combustible y oxidante. El combustible puede arrastrar el aire de combustión (o alternativamente, el aire de combustión puede diluir el combustible) para proporcionar una mezcla de combustible y oxidante en la cara de entrada del estabilizador de llama perforado a una dilución de combustible seleccionada para una reacción de combustión estable que se puede mantener dentro de las perforaciones del estabilizador de llama perforado.

Pasando a la etapa 712, la reacción de combustión se mantiene mediante el estabilizador de llama perforado.

En la etapa 714, el estabilizador de llama perforado puede emitir calor. La salida de calor del estabilizador de llama perforado se puede utilizar para alimentar un proceso industrial, calentar un fluido de trabajo, generar electricidad o proporcionar energía motriz, por ejemplo.

En la etapa opcional 716, se puede detectar la presencia de combustión. Se han utilizado diversos enfoques de detección y se contemplan por los inventores. En general, la combustión mantenida por el estabilizador de llama perforado es muy estable y no se impone ningún requisito de detección inusual en el sistema. La detección de combustión se puede realizar usando un sensor infrarrojo, un sensor de video, un sensor ultravioleta, un sensor de especies cargadas, termopar, pila térmica, varilla de llama y/u otros aparatos de detección de combustión. En una variante adicional o alternativa de la etapa 716, se puede proporcionar una llama u otra fuente de ignición para

provocar la ignición de la mezcla de combustible y oxidante en caso de que se pierda la combustión en el estabilizador de llama perforado.

Pasando a la etapa de decisión 718, si se detecta que la combustión no es estable, el método 700 puede salir a la etapa 724, en donde se ejecuta un procedimiento de error. Por ejemplo, el procedimiento de error puede incluir apagar el flujo de combustible, volver a ejecutar la etapa de precalentamiento 702, emitir una señal de alarma, encender un sistema de combustión en espera u otras etapas. De acuerdo con las realizaciones, el procedimiento de error puede incluir introducir partículas activadas en la región de llama 130 para iniciar y/o estabilizar la combustión. Las partículas activadas pueden incluir radicales (como un plasma de baja temperatura) y/o iones y electrones (como un plasma de alta temperatura).

Si, en la etapa de decisión 718, se determina que la combustión en el estabilizador de llama perforado es estable, el método 700 pasa a la etapa de decisión 720, en la que se determina si se deben cambiar los parámetros de combustión. Si no se deben cambiar los parámetros de combustión, el método vuelve (dentro de la etapa 704) a la etapa 710, y el proceso de combustión continúa. Si se indica un cambio en los parámetros de combustión, el método 700 pasa a la etapa 722, donde se ejecuta el cambio del parámetro de combustión. Después de cambiar el parámetro o parámetros de combustión, el método vuelve (dentro de la etapa 704) a la etapa 710, y la combustión continúa.

Los parámetros de combustión pueden programarse para ser cambiados, por ejemplo, si se encuentra un cambio en la demanda de calor. Por ejemplo, si se requiere menos calor (por ejemplo, debido a la disminución de la demanda de electricidad, la disminución del requisito de potencia motriz o un menor rendimiento del proceso industrial), el flujo de combustible y oxidante puede disminuir en la etapa 722. Por el contrario, si se aumenta la demanda de calor, entonces se puede aumentar el flujo de combustible y oxidante. De manera adicional o alternativa, si el sistema de combustión está en un modo de arranque, entonces el flujo de combustible y oxidante puede aumentarse gradualmente al estabilizador de llama perforado durante una o más iteraciones del bucle dentro de la etapa 704.

Con referencia nuevamente a la **FIG. 5**, el sistema de quemador 500 incluye un calentador 528 acoplado operativamente al estabilizador de llama perforado 202. Como se describe en conjunto con las **FIGS. 6 y 7**, el estabilizador de llama perforado 202 funciona emitiendo calor a la mezcla de combustible y oxidante entrante 506. Después de que se establece la combustión, este calor es proporcionado por la reacción de combustión 606; pero antes de que se establezca la combustión, el calor es proporcionado por el calentador 528.

Se han utilizado diversos aparatos de calentamiento y los inventores los contemplan. En algunas realizaciones, el calentador 528 puede incluir un estabilizador de llama configurado para soportar una llama dispuesta para calentar el estabilizador de llama perforado 202. La fuente de combustible y oxidante 502 puede incluir una boquilla de combustible 518 configurada para emitir una corriente de combustible 506 y una fuente de oxidante 520 configurada para emitir oxidante (por ejemplo, aire de combustión) adyacente a la corriente de combustible 506. La boquilla de combustible 518 y la fuente de oxidante 520 pueden configurarse para emitir la corriente de combustible 506 para que el oxidante la diluya progresivamente (por ejemplo, aire de combustión). El estabilizador de llama perforado 202 puede disponerse para recibir una mezcla de combustible y oxidante diluida 506 que soporta una reacción de combustión 606 que se estabiliza por el estabilizador de llama perforado 202 cuando el estabilizador de llama perforado 202 está a una temperatura de funcionamiento. Un estabilizador de llama de arranque, por el contrario, puede configurarse para soportar una llama de arranque en una ubicación correspondiente a una mezcla de combustible y oxidante relativamente sin mezclar que es estable sin la estabilización proporcionada por el estabilizador de llama perforado calentado 202.

El sistema de quemador 500 además puede incluir un controlador 530 acoplado operativamente al calentador 528 y a una interfaz de datos 532. Por ejemplo, el controlador 530 puede configurarse para controlar un actuador de estabilizador de llama de arranque configurado para hacer que el estabilizador de llama de arranque mantenga la llama de arranque cuando el estabilizador de llama perforado 202 necesita precalentarse y no mantenga la llama de arranque cuando el estabilizador de llama perforado 202 está a una temperatura de funcionamiento (por ejemplo, cuando $T \geq T_s$).

Se contemplan varios enfoques para accionar una llama de arranque. En una realización, el estabilizador de llama de arranque incluye un cuerpo achatado accionado mecánicamente configurado para ser accionado para interceptar la mezcla de combustible y oxidante 506 para causar vórtices de reciclaje de calor y/o estabilización y, por lo tanto, mantener una llama de arranque; o para ser accionado para no interceptar la mezcla de combustible y oxidante 506 para hacer que la mezcla de combustible y oxidante 506 avance hacia el estabilizador de llama perforado 202. En otra realización, se puede usar una válvula de control de combustible, compresor y/o amortiguador para seleccionar una tasa de flujo de la mezcla de combustible y oxidante 506 que sea suficientemente baja para que una llama de arranque se estabilice por chorro; y al alcanzar una temperatura de funcionamiento del estabilizador de llama perforado 202, la tasa de flujo se puede aumentar para "apagar" la llama de arranque. En otra realización, el calentador 528 puede incluir un suministro de energía eléctrica acoplado operativamente al controlador 530 y configurado para aplicar una carga eléctrica o voltaje a la mezcla de

combustible y oxidante 506. Un estabilizador de llama de arranque eléctricamente conductor puede acoplarse de forma selectiva a una tierra de voltaje u otro voltaje seleccionado para atraer la carga eléctrica en la mezcla de combustible y oxidante 506. Los inventores determinaron que la atracción de la carga eléctrica provoca que una llama de arranque sea retenida por el estabilizador de llama de arranque eléctricamente conductor.

En otra realización, el calentador 528 puede incluir un calentador de resistencia eléctrica configurado para emitir calor al estabilizador de llama perforado 202 y/o a la mezcla de combustible y oxidante 506. El calentador de resistencia eléctrica 528 se puede configurar para calentar el estabilizador de llama perforado 202 a una temperatura de funcionamiento. El calentador 528 además puede incluir una fuente de alimentación y un interruptor operable, bajo el control del controlador 530, para acoplar selectivamente la fuente de alimentación al calentador de resistencia eléctrica 528.

Un calentador de resistencia eléctrica 528 se puede formar de varias maneras. Por ejemplo, el calentador de resistencia eléctrica 528 puede formarse a partir de alambre KANTHAL® (disponible en la división Sandvik Materials Technology de Sandvik AB de Hallstahammar, Suecia) roscado a través de al menos una porción de las perforaciones 510 definidas por el cuerpo de estabilizador de llama perforado 508. Alternativamente, el calentador 528 puede incluir un calentador inductivo, un calentador de haz de alta energía (por ejemplo, microondas o láser), un calentador por fricción, recubrimientos cerámicos electro-resistivos u otros tipos de tecnologías de calentamiento.

Se contemplan otras formas de aparatos de arranque. Por ejemplo, el calentador 528 puede incluir un encendedor de descarga eléctrica o un encendedor de superficie caliente configurado para emitir un encendido pulsado al oxidante y al combustible. Adicional o alternativamente, un aparato de arranque puede incluir un aparato de llama piloto dispuesto para encender la mezcla de combustible y oxidante 506 que de otro modo entraría en el estabilizador de llama perforado 202. El encendedor de descarga eléctrica, el encendedor de superficie caliente y/o el aparato de llama piloto pueden acoplarse operativamente al controlador 530, lo que puede hacer que el encendedor de descarga eléctrica o el aparato de llama piloto mantengan la combustión de la mezcla de combustible y oxidante 506 en o aguas arriba del estabilizador de llama perforado 202 antes de que el estabilizador de llama perforado 202 se caliente lo suficiente como para mantener la combustión.

El sistema de quemador 500 además puede incluir un sensor 534 acoplado operativamente al controlador 530. El sensor 534 puede incluir un sensor de calor configurado para detectar radiación infrarroja o una temperatura del estabilizador de llama perforado 202. El circuito de control 530 se puede configurar para controlar el calentador 528 en respuesta a la entrada del sensor 534. Opcionalmente, una válvula de control de combustible 536 puede estar acoplada operativamente al controlador 530 y configurada para controlar un flujo del combustible a la fuente de combustible y oxidante 502. De manera adicional o alternativa, un compresor o amortiguador de oxidante 538 puede acoplarse operativamente al controlador 530 y configurarse para controlar el flujo del oxidante (o aire de combustión).

El sensor 534 además puede incluir un sensor de combustión acoplado operativamente al circuito de control 530, el sensor de combustión 534 está configurado para detectar una temperatura, imagen de video y/o característica espectral de la reacción de combustión 606 sostenida por el estabilizador de llama perforado 202. La válvula de control de combustible 536 se puede configurar para controlar un flujo del combustible desde una fuente de combustible a la fuente de combustible y oxidante 502. El controlador 530 se puede configurar para controlar la válvula de control de combustible 536 en respuesta a la entrada del sensor de combustión 534. El controlador 530 puede configurarse para controlar la válvula de control de combustible 536 y/o el compresor o amortiguador de oxidante 538 para controlar un tipo de calentador de llama de precalentamiento 528 para calentar el estabilizador de llama perforado 202 a una temperatura de funcionamiento. El controlador 530 puede controlar de manera similar la válvula de control de combustible 536 y/o el compresor o amortiguador de oxidante 538 para cambiar el flujo de la mezcla de combustible y oxidante 506 en respuesta a un cambio de demanda de calor recibido como datos a través de la interfaz de datos 532.

La **FIG. 8A** es una vista en perspectiva simplificada de un sistema de combustión 800, que incluye otro estabilizador de llama perforado alternativo 202, de acuerdo con una realización. El estabilizador de llama perforado 202 es un estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada, de acuerdo con una realización. La **FIG. 8B** es un diagrama en sección lateral simplificado de una parte del estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 de la **FIG. 8A**, de acuerdo con una realización. El estabilizador de llama perforado 202 de las **FIGS. 8A, 8B** se pueden implementar en los diversos sistemas de combustión descritos en la presente, de acuerdo con una realización. El estabilizador de llama perforado 202 está configurado para soportar una reacción de combustión (por ejemplo, la reacción de combustión 602 de la **FIG. 6**) de la mezcla de combustible y oxidante 506 recibida de la fuente de combustible y oxidante 502 al menos parcialmente dentro del estabilizador de llama perforado 202. De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado 202 puede configurarse para soportar una reacción de combustión de la mezcla de combustible y oxidante 506 aguas arriba, aguas abajo, dentro y adyacente al estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202.

De acuerdo con una realización, el cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede incluir fibras reticuladas

839. Las fibras reticuladas 839 pueden definir perforaciones de ramificación 510 que se tejen alrededor y a través de las fibras reticuladas 839. De acuerdo con una realización, las perforaciones 510 se forman como pasajes entre las fibras reticuladas 839.

De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 se forman como una espuma cerámica reticulada. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 se forman usando una espuma de polímero reticulado como plantilla. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 pueden incluir silicato de alúmina. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 pueden formarse a partir de mullita o cordierita extrudida. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 pueden incluir Circonia. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 pueden incluir carburo de silicio.

El término "fibras reticuladas" se refiere a una estructura en forma de red. De acuerdo con una realización, las fibras reticuladas 839 se forman como un material cerámica extrudido. En realizaciones de fibra reticulada, la interacción entre la mezcla de combustible y oxidante 506, la reacción de combustión y la transferencia de calor hacia y desde el cuerpo de estabilizador de llama perforado 508 puede funcionar de manera similar a la realización mostrada y descrita anteriormente con respecto a las **FIGS. 5-7**. Una diferencia en la actividad es una mezcla entre las perforaciones 510, porque las fibras reticuladas 839 forman un cuerpo de estabilizador de llama perforado discontinuo 508 que permite el flujo hacia adelante y hacia atrás entre las perforaciones vecinas 510.

De acuerdo con una realización, la red de fibras reticuladas 839 está suficientemente abierta para que las fibras reticuladas aguas abajo 839 emitan radiación para su recepción por las fibras reticuladas aguas arriba 839 con el fin de calentar las fibras reticuladas aguas arriba 839 lo suficiente como para mantener la combustión de una mezcla de combustible y oxidante 506. En comparación con un cuerpo de estabilizador de llama perforado continuo 508, las vías de conducción de calor (tales como las vías de conducción de calor 612 en la **FIG. 6**) entre las fibras reticuladas 839 se reducen debido a la separación de las fibras reticuladas 839. Esto puede hacer que se transfiera relativamente más calor desde una región o área receptora de calor (tal como la región receptora de calor 606 en la **FIG. 6**) a una región o área de salida de calor (tal como la región de salida de calor 610 de la **FIG. 6**) de las fibras reticuladas 839 a través de radiación térmica (que se muestra como elemento 604 en la **FIG. 6**).

De acuerdo con una realización, las perforaciones individuales 510 pueden extenderse entre una cara de entrada 512 y una cara de salida 514 del estabilizador de llama perforado 202. Las perforaciones 510 pueden tener longitudes variables L. De acuerdo con una realización, debido a que las perforaciones 510 se ramifican dentro y fuera entre sí, las perforaciones individuales 510 no están claramente definidas por una longitud L.

De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado 202 está configurado para soportar o mantener una reacción de combustión (véase el elemento 602 de la **FIG. 6**) o una llama al menos parcialmente entre la cara de entrada 512 y la cara de salida 514. De acuerdo con una realización, la cara de entrada 512 corresponde a una superficie del estabilizador de llama perforado 202 proximal a la boquilla de combustible 518 o a una superficie que primero recibe combustible. De acuerdo con una realización, la cara de entrada 512 corresponde a una extensión de las fibras reticuladas 839 proximal a la boquilla de combustible 518. De acuerdo con una realización, la cara de salida 514 corresponde a una superficie distal a la boquilla de combustible 518 u opuesta a la cara de entrada 512. De acuerdo con una realización, la cara de entrada 512 corresponde a una extensión de las fibras reticuladas 839 distal a la boquilla de combustible 518 u opuesta a la cara de entrada 512.

De acuerdo con una realización, la formación de capas límite térmicas 614, la transferencia de calor entre el cuerpo del estabilizador de llama perforado 508 y los gases que fluyen a través de las perforaciones 510, una dimensión de anchura de perforación característica D y la longitud L pueden considerarse cada una relacionada con una trayectoria promedio o general a través del soporte de reacción perforado 202. En otras palabras, la dimensión D se puede determinar como una media cuadrática de los valores individuales de D_n determinados en cada punto a lo largo de una trayectoria de flujo. De manera similar, la longitud L puede ser una longitud que incluye la longitud aportada por la tortuosidad de la trayectoria de flujo, que puede ser algo más larga que una distancia en línea recta T_{RH} desde la cara de entrada 512 hasta la cara de salida 514 a través del soporte de reacción perforado 202. De acuerdo con una realización, la fracción vacía (expresada como (volumen total del soporte de reacción perforado 202 - volumen de fibra reticulada 839)/volumen total)) es de aproximadamente 70 %.

De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 es una baldosa de aproximadamente 2,54 cm x 10,16 cm x 10,16 cm (1" x 4" x 4"). De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 incluye aproximadamente 100 poros por 6,45 centímetros cuadrados (por pulgada cuadrada) de área de superficie. También se pueden utilizar otros materiales y dimensiones para un estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 de acuerdo con los principios de la presente invención.

De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 puede incluir formas y dimensiones distintas a las descritas en la presente. Por ejemplo, el estabilizador de llama perforado 202 puede incluir baldosas cerámicas reticuladas que son más grandes o más pequeñas que las dimensiones establecidas anteriormente. Además, el estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 puede incluir formas

distintas a las formas generalmente cuboides.

De acuerdo con una realización, el estabilizador de llama perforado de cerámica reticulada 202 puede incluir múltiples baldosas de cerámica reticulada. Las múltiples baldosas cerámicas reticuladas se pueden unir entre sí de modo que cada baldosa cerámica esté en contacto directo con una o más baldosas cerámicas reticuladas adyacentes. Las múltiples baldosas cerámicas reticuladas pueden formar colectivamente un único estabilizador de llama perforado 202. Alternativamente, cada baldosa cerámica reticulada puede considerarse un estabilizador de llama perforado distinto 202.

La **FIG. 9** es un diagrama de flujo que muestra un método 900, de acuerdo con una realización.

De acuerdo con una realización, en la etapa 902, el método 900 incluye recibir, en una cámara de sobrepresión de aire, combustible y oxidante. En la etapa 904, el método 900 incluye formar una mezcla de combustible-oxidante transportando el combustible y el oxidante en la cámara de sobrepresión de aire. En la etapa 906, el método 900 incluye producir una llama en una región de llama encendiendo la mezcla de combustible-oxidante con una fuente de ignición dispuesta en una extensión de la cámara de sobrepresión. En la etapa 908, el método 900 incluye producir un campo electromagnético variable en el tiempo a través de la región de llama con un primer y un segundo electrodo dispuestos adyacentes a la región de llama. En la etapa 910, el método 900 incluye determinar un cambio en la permitividad eléctrica en la región de llama con base en el campo electromagnético variable en el tiempo. En la etapa 912, el método 900 incluye controlar la llama con base en el cambio en la permitividad eléctrica.

Si bien se han descrito diversos aspectos y realizaciones en la presente, se contemplan otros aspectos y realizaciones. Los distintos ejemplos y realizaciones descritos tienen el propósito de ser ilustrativos y no buscan ser limitativos, el alcance verdadero es el que se indica con las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un quemador (100, 400), que comprende:

- una fuente de combustible (112, 227);
- una fuente de oxidante (114, 228);
- una pared de la cámara de sobrepresión (113) que define una cámara de sobrepresión de aire (111, 411), la cámara de sobrepresión de aire está configurada para recibir combustible y oxidante respectivamente de la fuente de combustible (112, 227) y la fuente de oxidante (114, 228), la cámara de sobrepresión de presión (111, 411) configurada además para transportar el combustible y el oxidante para facilitar la mezcla del combustible y el oxidante en una mezcla de combustible y oxidante;
- una fuente de ignición (150) dispuesta en una porción distal de la cámara de sobrepresión de aire (111, 411) y orientada para encender la mezcla de combustible-oxidante para producir una llama en una región de llama; y
- al menos un primer electrodo (122, 422) y un segundo electrodo (124, 424) dispuestos adyacentes a una región de llama (130) y configurados para producir un campo electromagnético variable en el tiempo a través de la región de llama (130); en donde un cambio en la permitividad eléctrica o capacitancia eléctrica en la región de llama (130) se determina a partir del campo electromagnético variable en el tiempo, en donde al menos el primer electrodo (122, 422) y el segundo electrodo (124, 424) están dispuestos opuestos entre sí a través de la región de llama (130), el primer electrodo (122, 422) configurado para transmitir una señal de excitación para producir el campo electromagnético variable en el tiempo entre el primer y segundo electrodos, el segundo electrodo (124, 424) está configurado para recibir una señal de detección, la señal de detección incluye la señal de excitación de transmisión como afectada por el cambio en la permitividad eléctrica entre el primer y segundo electrodos,
- en donde el quemador (100, 400) además comprende un circuito de control (300) configurado para generar la señal de excitación y proporcionar la señal de excitación al primer electrodo (122, 422), **caracterizado porque** el circuito de control (300) además está configurado para recibir la señal de detección del segundo electrodo (124, 424) y para determinar una magnitud de la permitividad eléctrica de la región de llama midiendo o calculando una característica de señal a partir de la señal de detección, y porque el circuito de control (300) además está configurado para identificar una característica de llama comparando la magnitud determinada de la permitividad eléctrica con un índice de características de llama correspondientes a las respectivas magnitudes de permitividad eléctrica.

2. El quemador (100, 400) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el quemador (100, 400) es un quemador piloto.

3. El quemador (400) de acuerdo con la reivindicación 1 o 2,

- en donde el circuito de control (300) además está configurado para alterar una tasa de suministro del combustible suministrado por la fuente de combustible (112, 227) con base en la característica identificada de la llama,
- en donde la característica identificada de la llama es la presencia o ausencia de la llama como se determina mediante la comparación de la magnitud de la permitividad eléctrica con un umbral de permitividad eléctrica, y el circuito de control (300) termina el suministro de combustible cuando se indica que la llama está ausente, y/o
- en donde el circuito de control (300) además está configurado para accionar la fuente de encendido (150) en respuesta a la característica identificada de la llama cuando se indica que la llama está ausente.

4. El quemador (100, 400) de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde el circuito de control (300) además está configurado para comparar la señal de detección con una señal de detección de umbral y para producir una señal de resultado binario que indica la presencia o ausencia de la llama.

5. El quemador (100, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

- en donde el circuito de control 300 está configurado para producir una señal de salida que indica una intensidad de la llama entre el primer y el segundo electrodo (122, 422, 124, 424),
- en donde la señal de salida es una señal analógica,
- en donde la señal analógica corresponde a una intensidad de actividad de combustión entre el primer y el segundo electrodo (122, 422, 124, 424) y en donde la señal de salida tiene una intensidad de entre 4 mA y 20 mA.

6. El quemador (100, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores,

- en donde el circuito de control (300) incluye una fuente de señal de excitación (320) configurada para controlar al menos uno o más de: forma de onda, magnitud y frecuencia de la señal de excitación,
- en donde la señal de excitación generada es una onda cuadrada y la fuente de señal de excitación 320 además

puede configurarse para controlar al menos uno o más de: la anchura de impulso, el ciclo de trabajo y la modulación o en donde la señal de excitación generada es sinusoidal y se genera mediante síntesis digital directa.

7. El quemador (100, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el circuito de control (300) incluye un amplificador (322) configurado para amplificar la señal de excitación generada proporcionada al primer electrodo (122, 422).

8. El quemador (100, 400) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el primer y segundo electrodos (122, 422, 124, 424) son electrodos de parche.

9. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que además comprende:

- un primer conductor (426) en continuidad eléctrica entre el primer electrodo (422) y el circuito de control (300) y al menos parcialmente dispuesto periféricamente a la cámara de sobrepresión que define la cámara de sobrepresión de aire (411); y
- un segundo conductor (428) en continuidad eléctrica entre el segundo electrodo (424) y el circuito de control (300) y al menos parcialmente dispuesto periféricamente a la cámara de sobrepresión que define la cámara de sobrepresión de aire (411).

10. El quemador (100, 400) de acuerdo con la reivindicación 1,

- en donde el primer o segundo electrodo (122, 124, 422, 424) está en continuidad eléctrica con una estructura tubular conductora dispuesta axialmente dentro de la cámara de sobrepresión de aire (111, 411) o
- en donde el primer o segundo electrodo (122, 124, 422, 424) está en continuidad eléctrica con la estructura tubular conductora dispuesta periféricamente a la cámara de sobrepresión de aire (111, 411).

11. Un sistema de combustión (200), que comprende:

- una cámara de sobrepresión que define un volumen de combustión (208);
- un quemador (100, 400) como se define en cualquiera de las reivindicaciones anteriores dispuesto al menos parcialmente en el volumen de combustión (208);
- una estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado (203) dispuesta dentro del volumen de combustión (208);
- un estabilizador de reacción perforado (202) soportado por la estructura de soporte del estabilizador de reacción perforado (203) y dispuesto a una distancia del quemador (100, 400), el estabilizador de reacción perforado (202) orientado para recibir una mezcla principal de combustible-oxidante; en donde la fuente de combustible (112, 227) es una fuente de combustible principal (227) orientada para proporcionar y dirigir un combustible principal hacia el estabilizador de reacción perforado (202); y
- en donde la fuente de oxidante (114, 228) es una fuente de oxidante principal (228) orientada para proporcionar y dirigir un oxidante principal hacia el estabilizador de reacción perforado (202), en donde el quemador (100, 400) está configurado para precalentar el estabilizador de reacción perforado (202), en donde el volumen de combustión (208) está definido por una o más paredes del horno (206), la pared del horno incluye un piso de volumen de combustión (232)

- el circuito de control (300) que tiene:

- una salida conectada eléctricamente al menos a una de la fuente de combustible (227) y la fuente de oxidante (228) y configurada para controlar la tasa de suministro de al menos uno del combustible y el oxidante,

el sistema de combustión (200) que además comprende:

- al menos un sensor (120) dispuesto dentro del volumen de combustión (208) y conectado eléctricamente al circuito de control (300), en donde el circuito de control (300) además está configurado para controlar, además de la tasa de suministro del combustible principal, al menos uno de: la tasa de suministro del oxidante principal, una posición de una boquilla de combustible (226), una orientación de la boquilla de combustible (226) y una distancia entre el estabilizador de reacción perforado (202) y la fuente de combustible principal (227) y en donde el control de al menos uno de la tasa de suministro del combustible principal, la tasa de suministro del oxidante principal, la posición de la boquilla de combustible (226), la orientación de la boquilla de combustible (226) y la distancia entre el estabilizador de reacción perforado (202) y la fuente de combustible principal (227) responde a una señal del al menos un sensor (120).

12. Un método, que comprende:

- recibir, en una cámara de sobrepresión de aire (111, 411), combustible y oxidante;
- formar una mezcla de combustible-oxidante transportando el combustible y el oxidante en la cámara de sobrepresión de aire (111, 411);
- producir una llama en una región de llama encendiendo la mezcla de combustible-oxidante con una fuente de ignición (150) dispuesta en una extensión de la cámara de sobrepresión (111, 411);
- producir un campo electromagnético variable en el tiempo a través de la región de llama (130) con un primer y un segundo electrodo (122, 124, 422, 424) dispuestos adyacentes a la región de llama (130);

caracterizado por

- determinar un cambio en la permitividad eléctrica en la región de la llama con base en el campo electromagnético variable en el tiempo; y
- controlar la llama con base en el cambio en la permitividad eléctrica.

DIBUJOS

FIG. 1

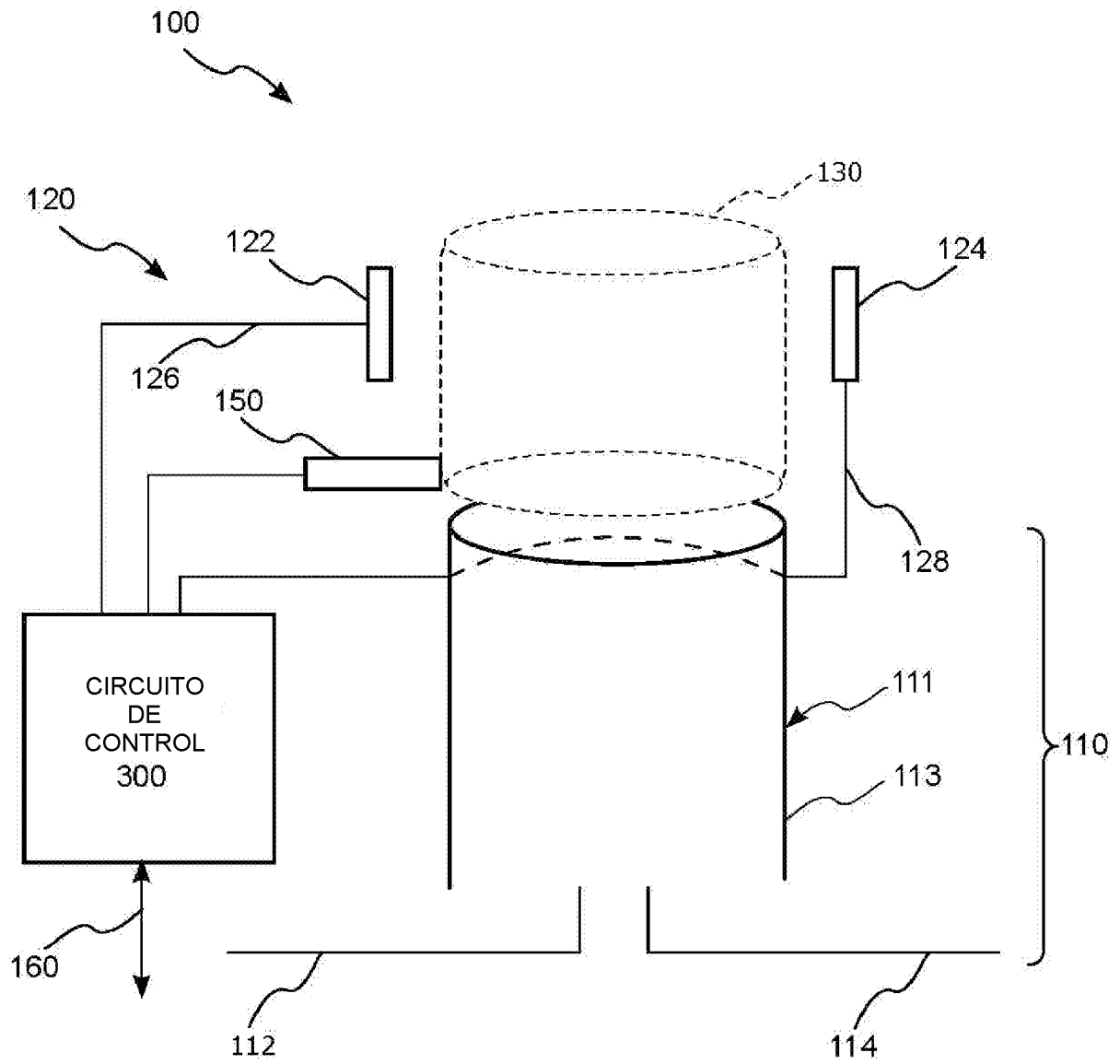


FIG. 2

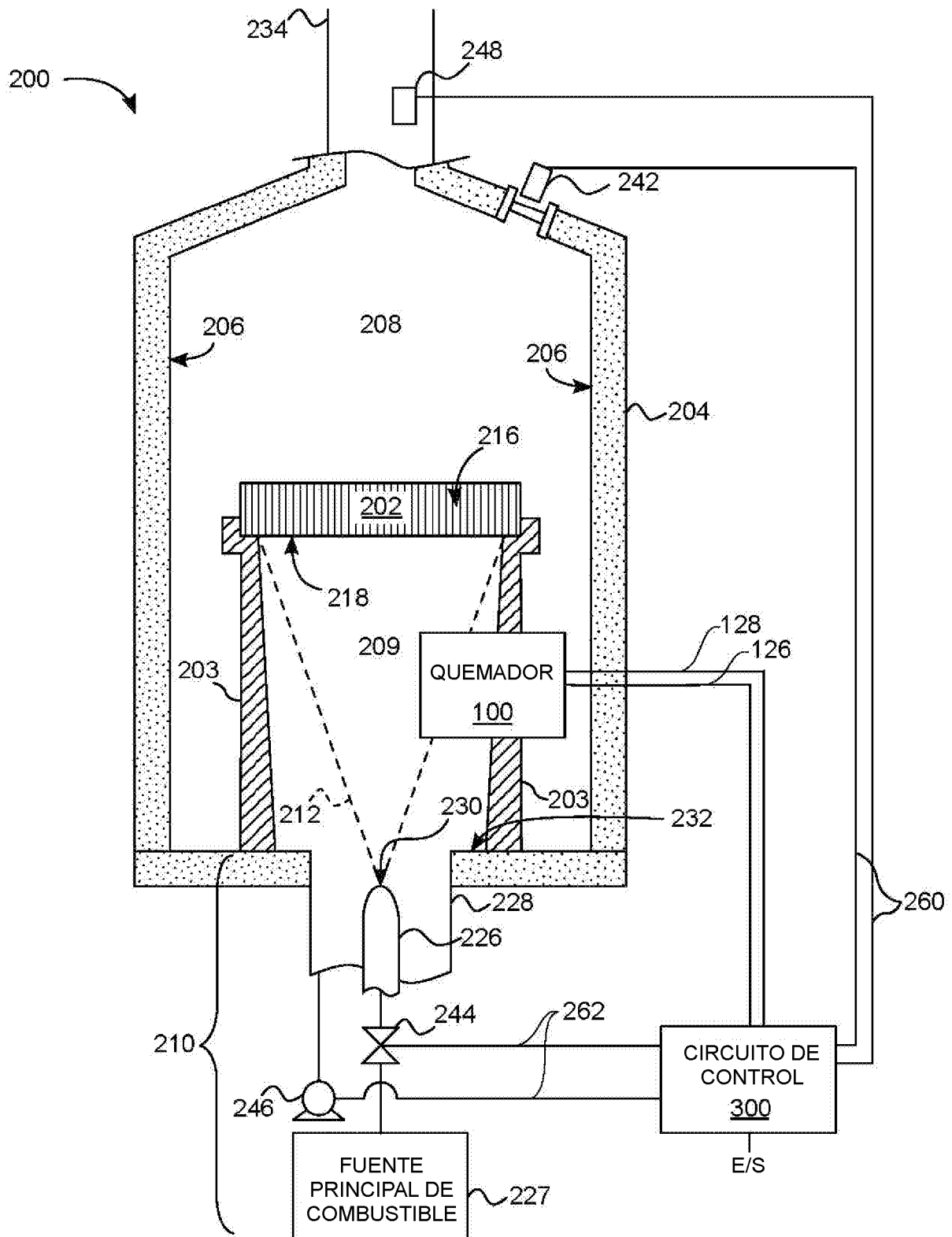


FIG. 3

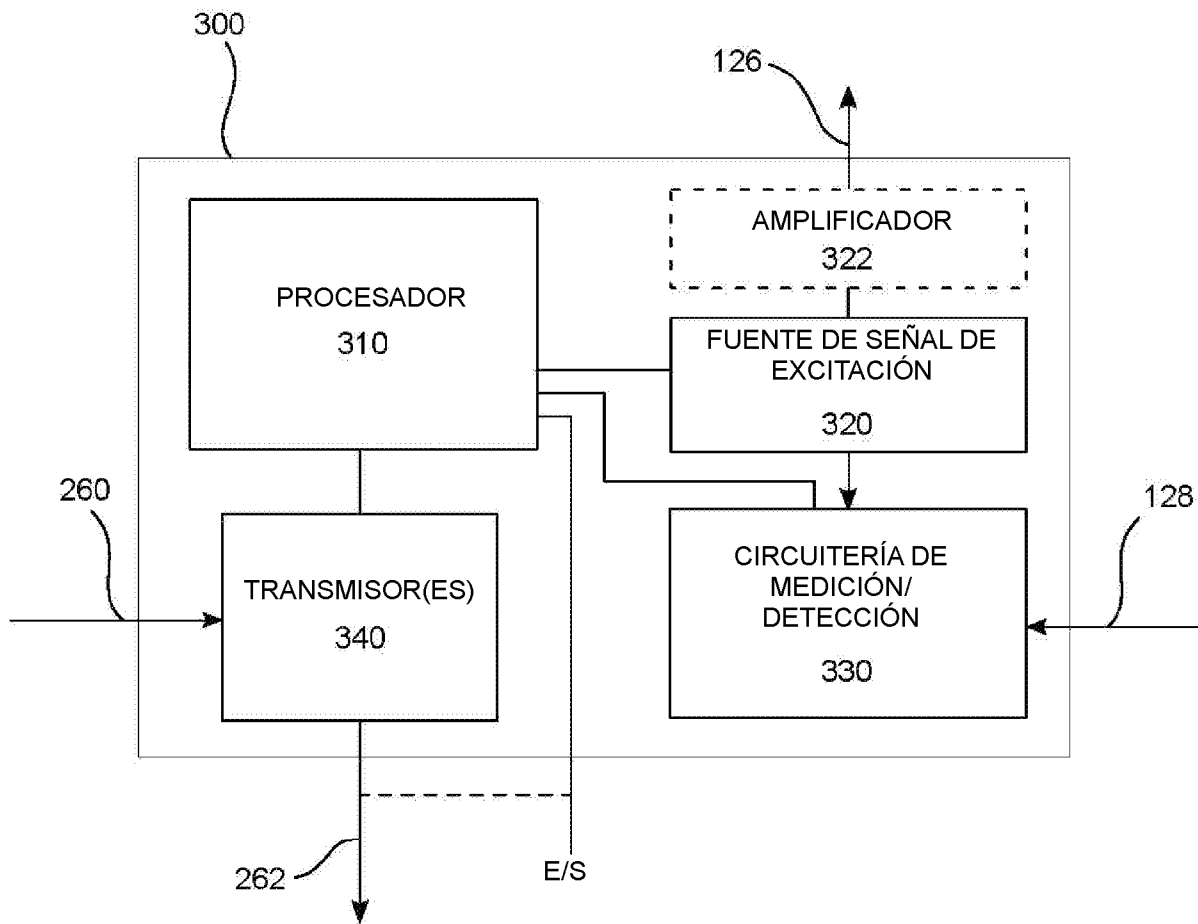


FIG. 4

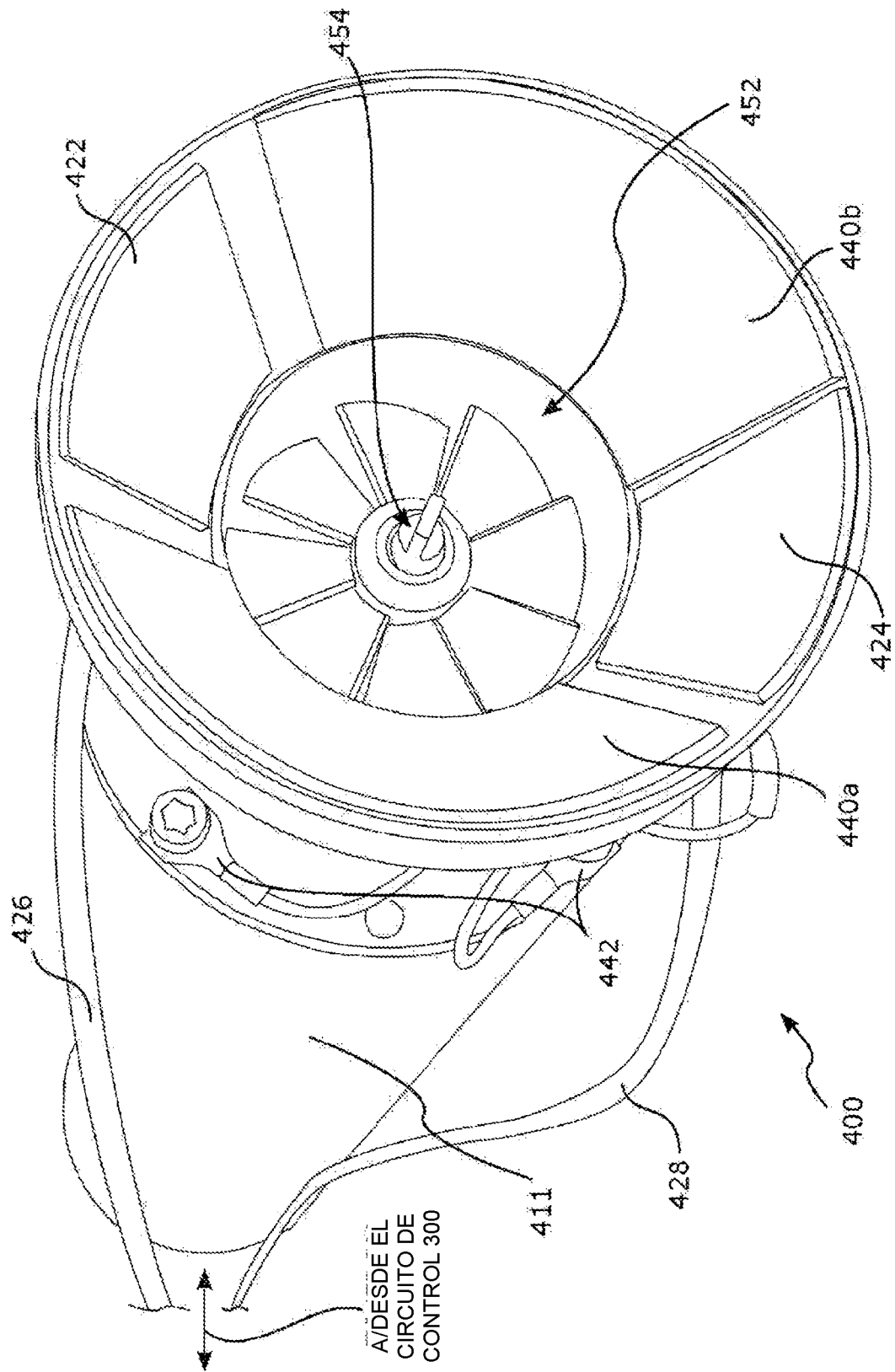


FIG. 5

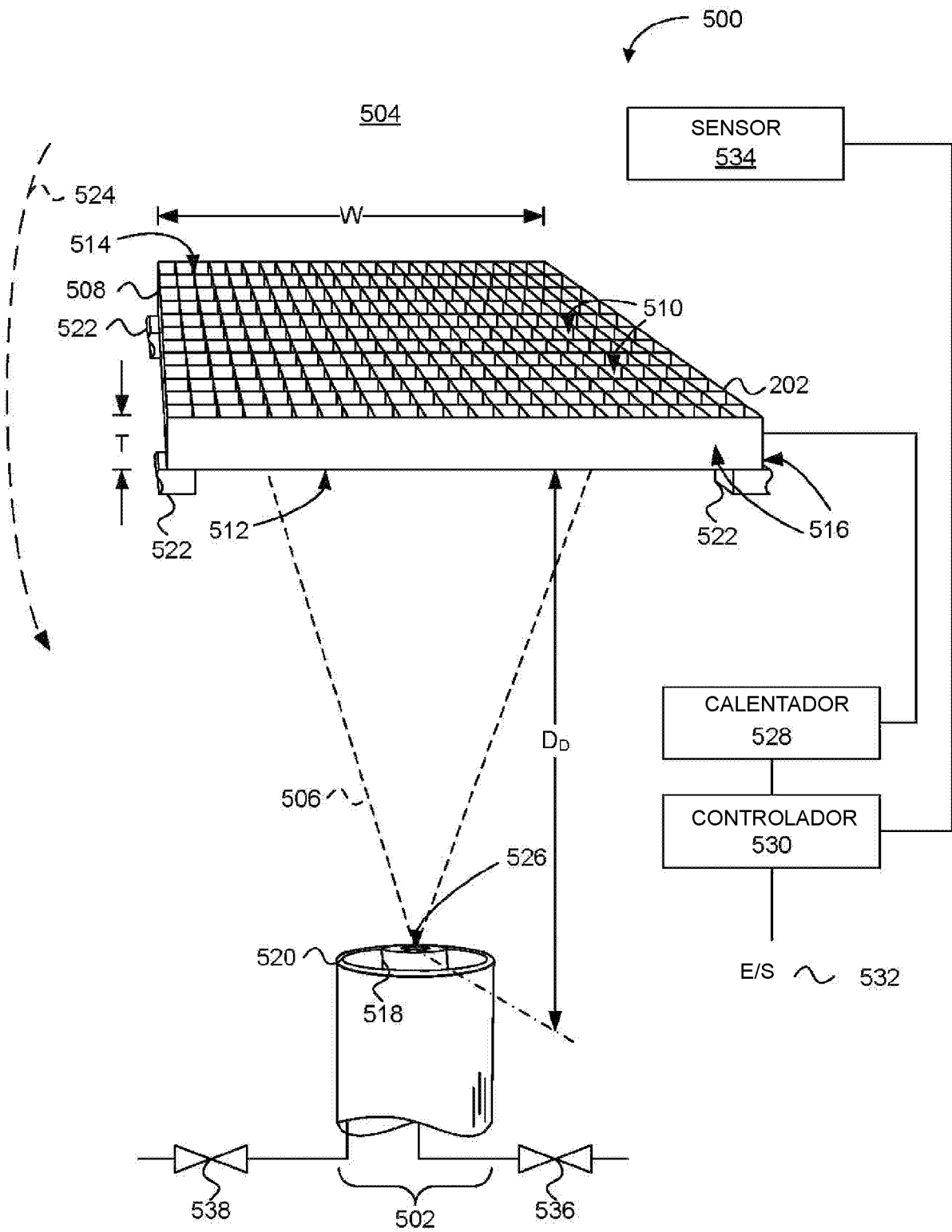


FIG. 6

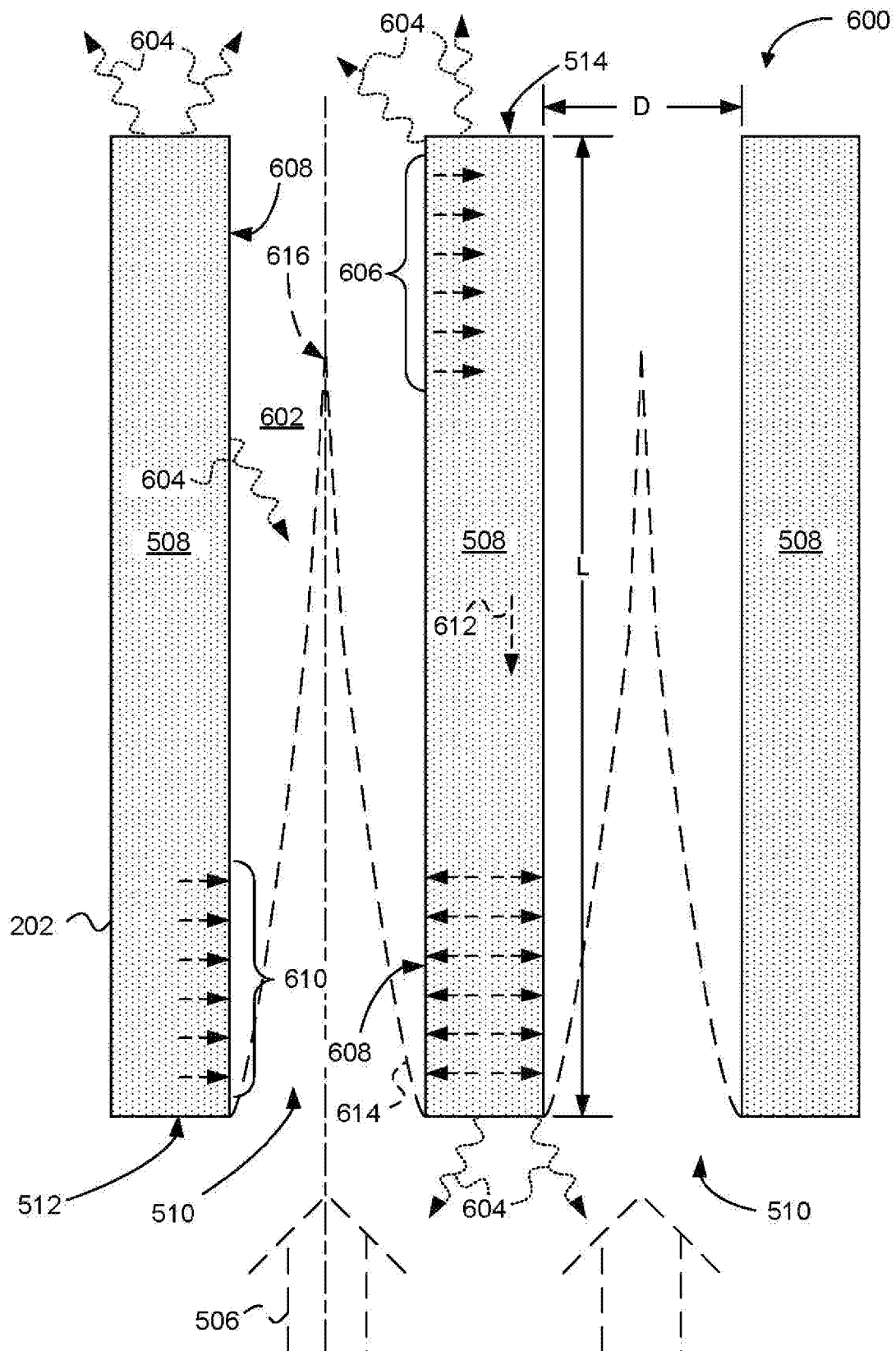


FIG. 7

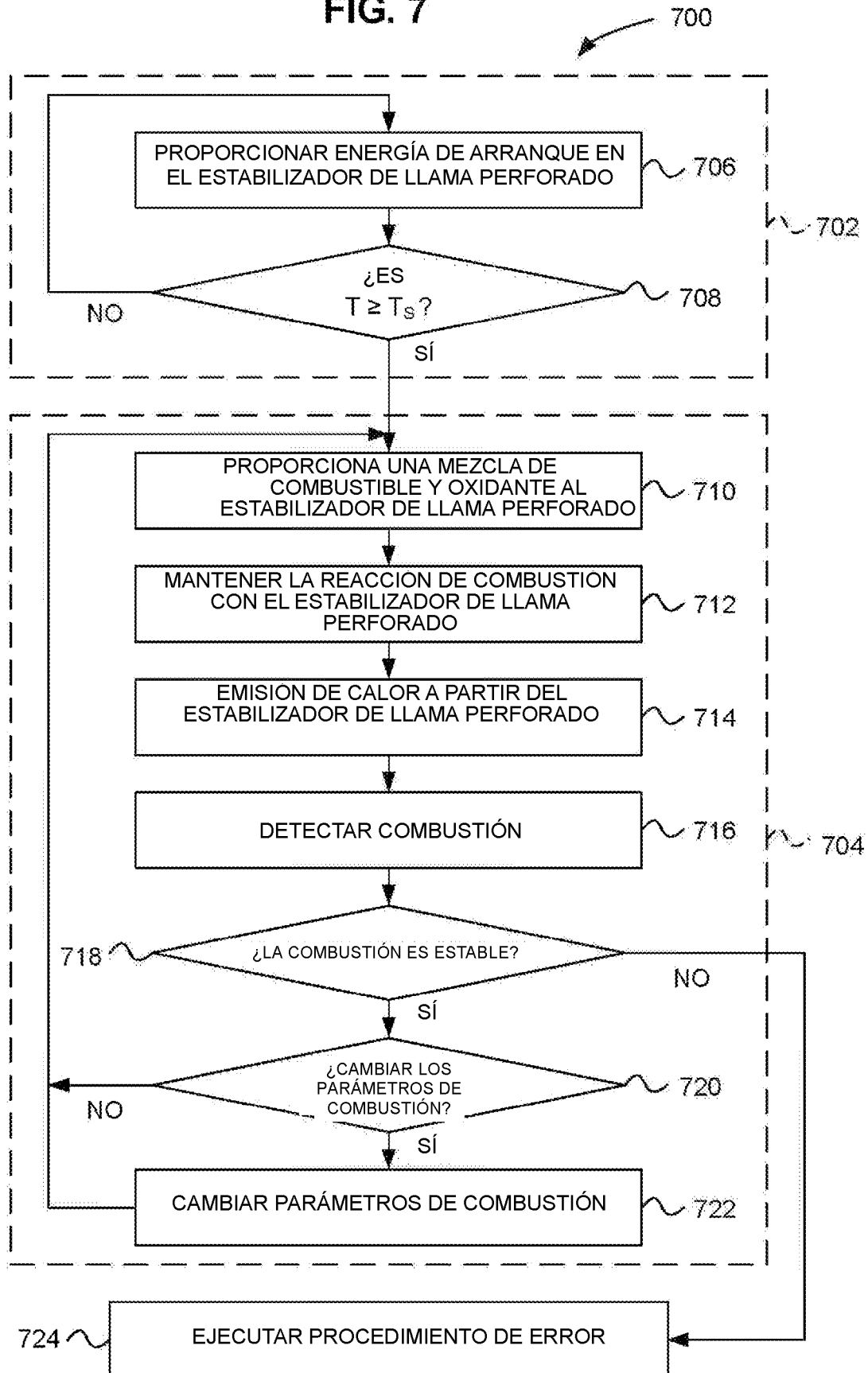


FIG. 8A

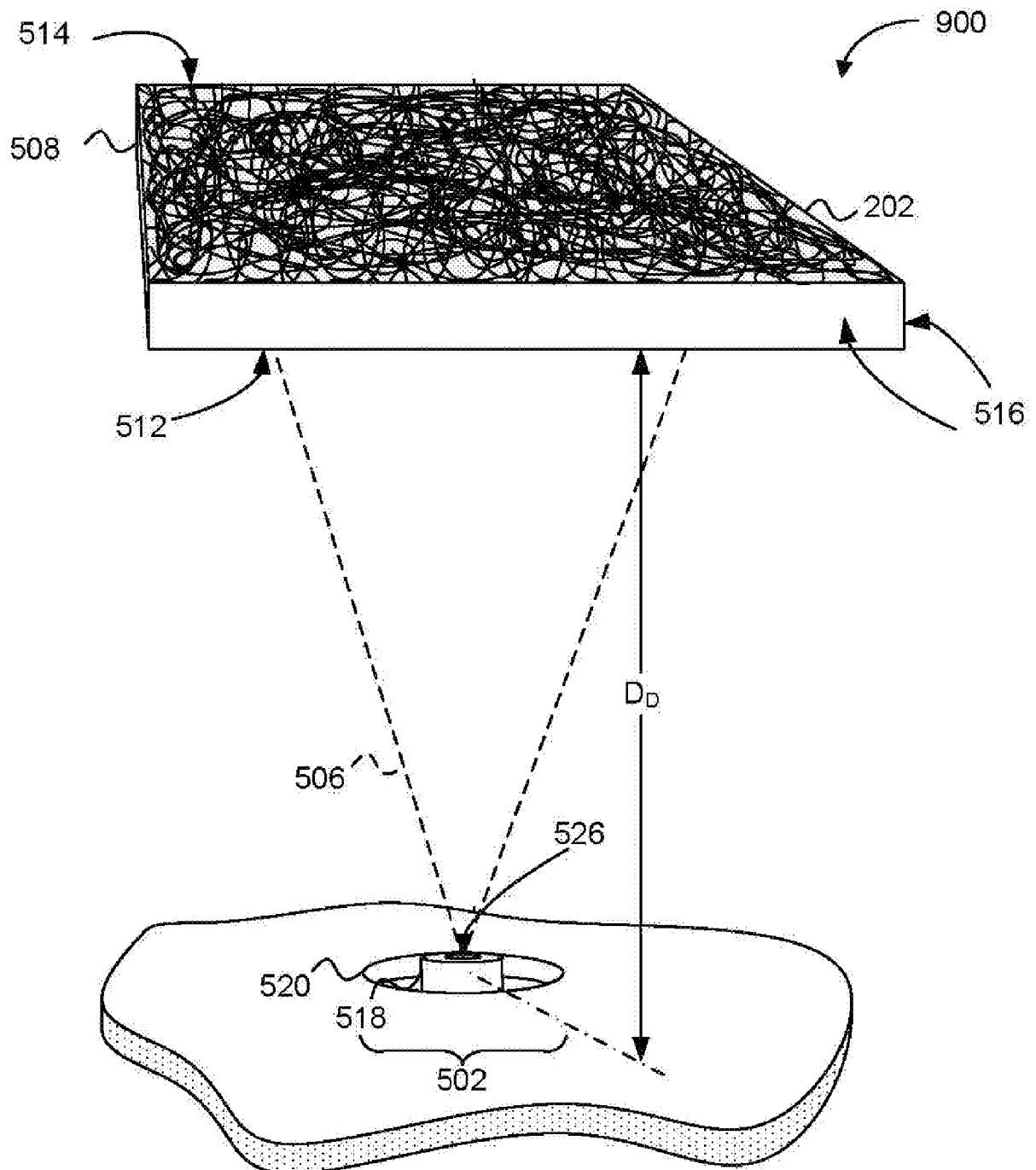


FIG. 8B

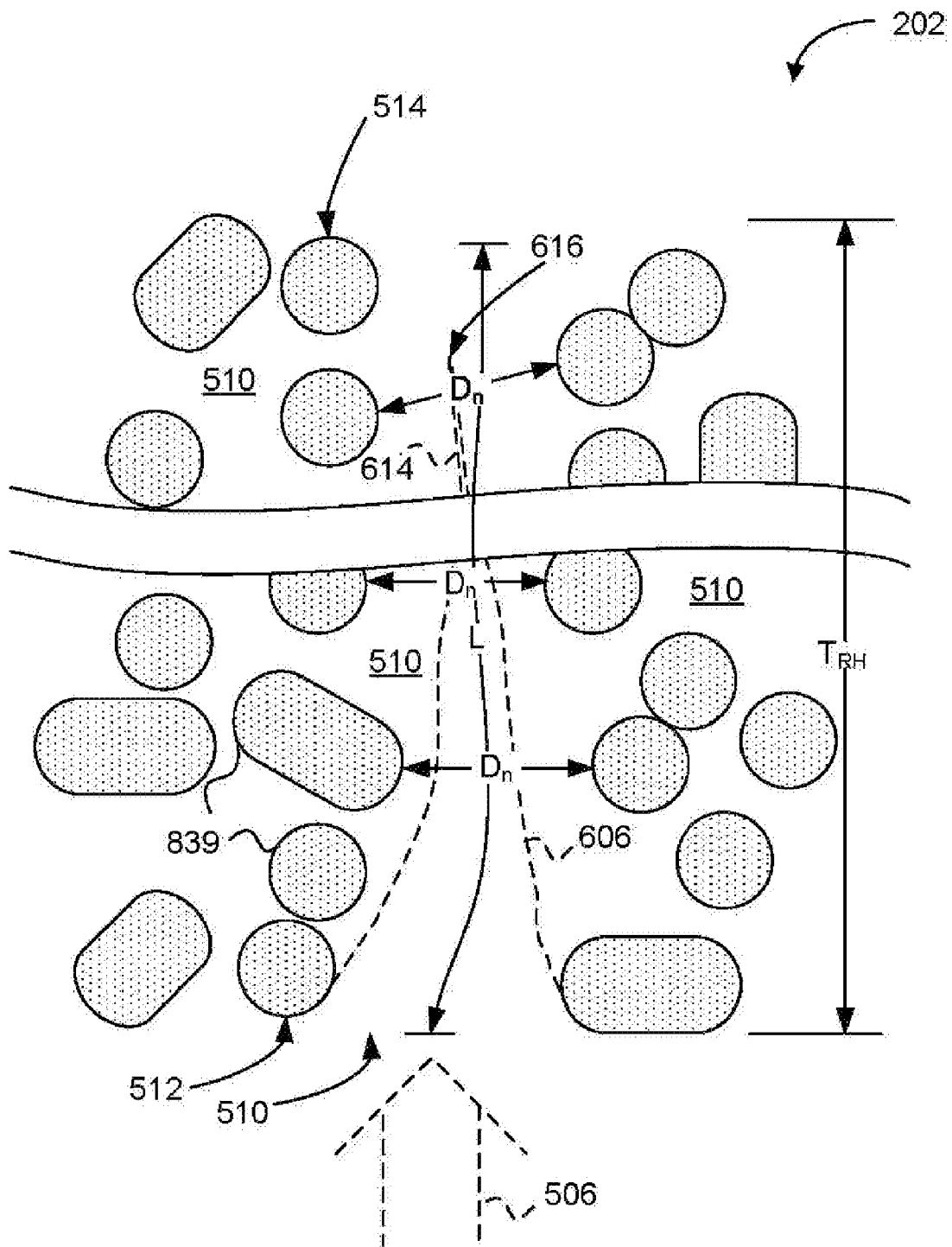


FIG. 9

