

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 670 833**

51 Int. Cl.:

**B01F 5/04** (2006.01)

**F23D 1/00** (2006.01)

**C10J 3/72** (2006.01)

**C10J 3/50** (2006.01)

**C10J 3/30** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **31.05.2011 PCT/US2011/038600**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2012 WO12166118**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **31.05.2011 E 11725281 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.04.2018 EP 2714854**

54 Título: **Método de mantenimiento de la eficiencia de mezclado entre reactivos inyectados a través de un mezclador de inyección**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.06.2018**

73 Titular/es:  
**GAS TECHNOLOGY INSTITUTE (100.0%)**  
**1700 S Mount Prospect Road**  
**Des Plaines, IL 60018, US**

72 Inventor/es:  
**SONWANE, CHANDRASHEKHAR y**  
**SPROUSE, KENNETH, M.**

74 Agente/Representante:  
**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 670 833 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

Método de mantenimiento de la eficiencia de mezclado entre reactivos inyectados a través de un mezclador de inyección

5

Antecedentes

Se conoce y se usa combustible, tal como carbón pulverizado, en la producción de gas de síntesis o gas sintético (por ejemplo, una mezcla de hidrógeno y monóxido de carbono) en los sistemas de gasificación. En los sistemas de gasificación convencionales, el combustible se alimenta a través de una línea de alimentación a un recipiente de reactor. En el recipiente de reactor, el combustible se mezcla y reacciona con un oxidante para producir el gas de síntesis como un producto de reacción.

10

Un inyector de alta velocidad de un sistema de gasificación incluye, por lo general, una pluralidad de pasajes a través de los cuales se inyectan los reactivos. En un inyector de tipo pentada, el combustible se alimenta a través de un pasaje central y el oxidante se alimenta a través de cuatro pasajes de impacto de tal modo que el oxidante impacta sobre la corriente de combustible en el lado de reacción del inyector.

15

Para el inyector de tipo pentada de alta velocidad, la eficiencia de mezclado de los reactivos depende del caudal másico y de las densidades de los reactivos y el área de los pasajes del inyector, de acuerdo con el número de Elverum - Morey (EM) de Eficiencia de Rupe en el que el ángulo de impacto es de 30°.

20

"*Conceptual Design of an Ultra-Dense Phase Injector and Feed System*" de Kenneth Spouse y col., *Department of Energy Topical Report, Office of Scientific and Technical Information*, 1 de abril de 2006, páginas 1 - 26, es un documento de la técnica anterior que divulga unos inyectores de múltiples elementos para carbón pulverizado.

25

La presente invención proporciona un método de mantenimiento de la eficiencia de mezclado entre reactivos inyectados a través de un mezclador de inyección para un sistema de reactor de gasificación de acuerdo con la reivindicación 1.

30

Breve descripción de los dibujos

Las diversas características y ventajas de los ejemplos divulgados se harán evidentes a los expertos en la materia a partir de la siguiente descripción detallada. Los dibujos que se adjuntan a la descripción detallada se pueden describir brevemente tal como sigue.

35

La figura 1 muestra un mezclador de inyección a modo de ejemplo de acuerdo con la Ecuación (I) que se divulga en el presente documento.

40

La figura 2 muestra una vista en sección transversal del mezclador de inyección de la figura 1.

La figura 3 muestra una gráfica de la Eficiencia de Mezclado de Rupe frente a la Ecuación (I) que se divulga en el presente documento.

La figura 4 muestra un sistema de reactor de gasificación a modo de ejemplo que incorpora un mezclador de inyección de acuerdo con la Ecuación (I).

45

La figura 5 muestra otro mezclador de inyección a modo de ejemplo de acuerdo con la Ecuación (I) que se divulga en el presente documento.

Descripción detallada de la forma de realización preferida

La figura 1 ilustra porciones seleccionadas de un mezclador de inyección 20 a modo de ejemplo para su uso en un sistema de reactor de gasificación. La figura 2 muestra el mezclador de inyección 20 de acuerdo con la línea de sección que se muestra en la figura 1. Tal como se describirá, el mezclador de inyección 20 incluye unas características para obtener una eficiencia de mezclado seleccionada como objetivo entre reactivos en el sistema de reactor de gasificación. Los mezcladores de inyección no son parte de la invención.

50

En un ejemplo, la mezcla de combustible es una mezcla de combustible de fase doble que incluye un material combustible (por ejemplo, carbón pulverizado) que se arrastra en un gas portador (por ejemplo, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.). En un ejemplo adicional, el material particulado carbonoso es un material de carbón pulverizado de fase ultra densa que se comporta como un plástico de Bingham (a unas fracciones de vacío por debajo de un 57 %). En un ejemplo adicional, el material de carbón pulverizado está seco (de menos de un 18 % en peso de humedad) y tiene, nominalmente, un 70 % en peso de las partículas que pasan a través de un tamiz de 200 de malla (74 micrómetros). Tal como se describirá, el mezclador de inyección 20 incluye unas características que permiten que un usuario obtenga una eficiencia de mezclado seleccionada como objetivo del carbón y vapor de agua / oxígeno para diferentes ángulos de impacto del vapor de agua / oxígeno sobre la corriente de carbón. Se ha de entender que los ejemplos que se divulgan en el presente documento no se limitan a carbón y se pueden usar con otros tipos de combustibles, tales como, pero sin limitarse a, coque de petróleo y biomasa.

60

65

En el ejemplo ilustrado, el mezclador de inyección 20 incluye un cuerpo de inyector 22 que, en general, se extiende entre una primera cara 24a y una segunda cara 24b. Por ejemplo, el cuerpo de inyector 22 es una placa circular y la primera cara 24a y la segunda cara 24b se encuentran en planos paralelos una con respecto a otra. En algunas formas de realización, el mezclador de inyección 20 es un elemento de inyección de un diseño de inyector de múltiples elementos para inyectar reactivos en un reactor de gasificación.

El cuerpo de inyector 22 incluye un primer pasaje 26 (por ejemplo, un tubo) que se extiende al menos entre la primera cara 24a y la segunda cara 24b y a lo largo de un primer eje central 26a. El cuerpo de inyector 22 también incluye al menos un segundo pasaje de impacto 28 (por ejemplo, un tubo) que también se extiende entre la primera cara 24a y la segunda cara 24b. En el ejemplo ilustrado, el cuerpo de inyector 22 incluye cuatro de los segundos pasajes 28 (es decir, un inyector de tipo pentada), y los segundos pasajes 28 se disponen en sentido circunferencial en torno al primer pasaje 26. Como alternativa, el cuerpo de inyector 22 incluye un único segundo pasaje 28 que se extiende enteramente en torno al primer pasaje (es decir, un inyector cónico), a pesar de que el número y la disposición del segundo pasaje o pasaje 28 no se limitan a un diseño particular alguno. En el ejemplo ilustrado, los segundos pasajes 28 se extienden a lo largo de unos segundos ejes centrales 28a respectivos que tienen un ángulo  $\theta$ , que se representa en 30, con el primer eje 26a. Para un inyector cónico que tiene un único segundo pasaje 28 en forma de anillo troncocónico en torno al primer pasaje 26, el segundo pasaje tiene un eje asociado, que es paralelo con respecto a una superficie de la forma troncocónica, que forma el ángulo  $\theta$  (es decir, el semiángulo del cono). Con independencia del diseño específico, el ángulo  $\theta$  no es igual a  $30^\circ$  y satisface la Ecuación de eficiencia de mezclado (I):

$$\text{Ec. (I)} \quad 2 \leq 2 \operatorname{sen} \theta \left( \frac{\dot{m}_{\text{stox}}}{\dot{m}_{\text{combust}}} \right)^2 \left( \frac{\rho_{\text{combust}}}{\rho_{\text{stox}}} \right) \left( \frac{A_{\text{combust}}}{A_{\text{stox}}} \right)^{3,1} \leq 7$$

en donde  $\dot{m}_{\text{stox}}$  es el caudal másico de un oxidante a través del al menos un segundo pasaje 28;  
 $\dot{m}_{\text{combust}}$  es el caudal másico del material combustible a través del primer pasaje 26;  
 $\rho_{\text{stox}}$  es la densidad del oxidante;  
 $\rho_{\text{combust}}$  es la densidad del material combustible;  
 $A_{\text{combust}}$  es el área en sección transversal del primer pasaje 26; y  
 $A_{\text{stox}}$  es el área en sección transversal total del segundo pasaje o pasajes 28.

En un ejemplo, la mezcla de combustible es una mezcla de combustible de fase doble que incluye un material combustible (por ejemplo, carbón) que se arrastra en un gas portador (por ejemplo, nitrógeno, dióxido de carbono, etc.). A este respecto, la mezcla de combustible incluye un material de carbón particulado sólido y el gas portador de tal modo que la densidad de la corriente de combustible es según la Ecuación (II):

$$\text{Ec. (II)} \quad \rho_{\text{combust}} = \varepsilon \rho_{\text{cg}} + (1 - \varepsilon) \rho_{\text{s}}$$

en donde  $\varepsilon$  es una fracción de volumen de vacío previamente determinada del carbón,  $\rho_{\text{s}}$  es la densidad verdadera de los sólidos inherente en el carbón y  $\rho_{\text{cg}}$  es la densidad inherente en el gas portador.

El ángulo  $\theta$  que satisface la Ecuación de eficiencia de mezclado (I) mantiene una eficiencia de mezclado entre el carbón y las corrientes de vapor de agua / oxígeno para que se encuentre dentro de un intervalo de eficiencia de mezclado seleccionado como objetivo de 2 a 7. Tal como se ilustra en la figura 3, la eficiencia de mezclado es representada por la Ecuación (I) se corresponde con una Eficiencia de Mezclado de Rupe del material combustible y el oxidante. La Eficiencia de Mezclado de Rupe representa lo bien que los reactivos se mezclan entre sí y, por lo tanto, es un indicador de la eficiencia de la reacción de gasificación. En este ejemplo, para lograr una eficiencia de mezclado de Rupe seleccionada como objetivo elevada por encima de un 90 %, el ángulo  $\theta$  del mezclador de inyección 20 se selecciona de tal modo que la Ecuación (I) se encuentra dentro del intervalo de 2 a 7.

En un ejemplo adicional, la geometría del primer pasaje 26 y su eje central 26a y el segundo pasaje o pasajes 28 y los segundos ejes centrales 28a respectivos establecen un punto (P) en el espacio más allá de la primera cara 24a en el que se cortan el primer eje central 26a y los segundos ejes centrales 28a (véase la figura 2). El punto (P) se encuentra a una distancia, que se representa en 29, de más de 1,94 pulgadas / 4,93 centímetros con respecto a la primera cara 24a.

El mezclador de inyección 20 con la característica de que el ángulo  $\theta$  satisface la Ecuación (I) también dota a un diseñador del mezclador de inyección 20 y / o un sistema de reactor de gasificación de otro grado de libertad a la hora de diseñar el mezclador de inyección 20 para obtener una eficiencia de mezclado seleccionada como objetivo elevada. Dicho de otra forma, un diseñador del mezclador de inyección 20 puede seleccionar el ángulo  $\theta$  con respecto a unos valores dados, conocidos o calculados de las otras variables en la Ecuación (I) para lograr una eficiencia de mezclado dentro del intervalo divulgado y, de ese modo, lograr una eficiencia de mezclado alta. Como alternativa, un diseñador puede ajustar uno o ambos de  $A_{\text{combust}}$  y  $A_{\text{stox}}$  en un inyector previamente existente, en donde sería difícil cambiar de forma retroactiva el ángulo, para cumplir la Ecuación (I). Por ejemplo,  $A_{\text{combust}}$  y / o  $A_{\text{stox}}$

5 se ajusta mediante la instalación de un tubo de un diámetro más pequeño en uno cualquiera del primer pasaje 26 y/o el segundo pasaje o pasajes 28. En otra alternativa, un diseñador puede cambiar la relación de áreas  $A_{combust} / A_{stox}$  en el diseño en combinación con cambiar el ángulo  $\theta$ , y mantener una eficiencia de mezclado seleccionada como objetivo. En un ejemplo, la relación de áreas  $A_{combust} / A_{stox}$  es de 1 a 2 y el ángulo  $\theta$  no es igual a 30°. En un ejemplo adicional, la relación de áreas  $A_{combust} / A_{stox}$  es de 1,33 y el ángulo  $\theta$  es de menos de 30°.

10 La expresión "estableciendo / que establece" o variaciones de la misma se refieren a la selección del ángulo  $\theta$  y / u otras variables de tal modo que los valores seleccionados satisfacen la Ecuación (I), al diseño del ángulo  $\theta$  y / u otras variables de tal modo que los valores seleccionados satisfacen la Ecuación (I), a la fabricación del mezclador de inyección 20 con el ángulo  $\theta$  y otras variables de tal modo que los valores seleccionados satisfacen la Ecuación (I) y / o a la implementación o el uso del mezclador de inyección 20 con el ángulo  $\theta$  y otras variables de tal modo que los valores seleccionados satisfacen la Ecuación (I).

15 La figura 4 ilustra un sistema de reactor de gasificación 40 a modo de ejemplo que utiliza el mezclador de inyección 20. Se ha de entender que el sistema de reactor de gasificación 40 incluye una diversidad de componentes que se muestran en el ejemplo ilustrado pero que la presente divulgación no se limita a la disposición particular que se muestra. Otros sistemas de reactor de gasificación también se beneficiarán de los ejemplos que se divulgan en el presente documento. Los sistemas de reactor de gasificación no se incluyen en la invención.

20 En el ejemplo ilustrado, el sistema de reactor de gasificación 40 incluye, en general, un recipiente de reactor 42, una fuente de combustible 44 y una línea de alimentación 46 que conecta mediante conexión de fluidos la fuente de combustible 44 y el recipiente de reactor 42.

25 La fuente de combustible 44 incluye una tolva de freno de combustible 48 que, en general, se opera a presión atmosférica para proporcionar la mezcla de combustible a una bomba de sólidos secos 50. Como ejemplo, la tolva de freno de combustible 48 incluye un silo de almacenamiento y se puede dimensionar de acuerdo con la capacidad del sistema de reactor de gasificación 40.

30 La bomba de sólidos secos 50 es una bomba de extrusión para mover la mezcla de combustible desde el entorno a presión atmosférica de la tolva de freno de combustible 48 al entorno a alta presión (por ejemplo, 1200 psia / 8,3 MPa o mayor) de la porción restante del sistema de reactor de gasificación 40. Como alternativa, la bomba de sólidos secos 50 es una bomba de correa u otra bomba adecuada para mover la mezcla de combustible desde el entorno a presión atmosférica hasta la parte de cabeza del entorno a alta presión de la porción restante del sistema de reactor de gasificación 40.

35 La bomba de sólidos secos 50 alimenta la mezcla de combustible a una tolva de alimentación de combustible 52. La mezcla de combustible se alimenta a continuación a partir de la tolva de alimentación de combustible 52 a la línea de alimentación 46. El gas portador se introduce y se regula en la tolva de alimentación de combustible 52 de una forma conocida.

40 A pesar de que no se muestran, la fuente de combustible 44 y la línea de alimentación 46 también incluyen unos sensores que se pueden operar para proporcionar señales de realimentación. Por ejemplo, la tolva de alimentación de combustible 52 y la línea de alimentación 46 incluyen una o más células de carga, transductores de presión estática, medidores de caudal de gas, transductores de presión diferencial y medidores de velocidad para calcular la velocidad del material combustible, presión de gas del gas portador y fracción de volumen de vacío del material combustible en la mezcla de combustible. La viscosidad del gas portador es una función de al menos la temperatura y la presión y se puede hallar en valores de referencia conocidos o determinarse de una forma conocida.

45 La línea de alimentación 46 conecta con el recipiente de reactor 42. El recipiente de reactor 42 incluye una cámara de gasificación 54 para contener la reacción de los reactivos. En general, la cámara de gasificación 54 es una cámara cilíndrica de una arquitectura conocida para las reacciones de gasificación.

50 El recipiente de reactor 42 incluye el mezclador de inyección 20 en la parte de arriba de la cámara de gasificación 54. Tal como se muestra en las figuras 1 y 2, el mezclador de inyección 20 es un inyector de tipo pentada, con la mezcla de combustible alimentándose a través del primer pasaje 26 y el oxidante alimentándose a través de los segundos pasajes 28. Como alternativa, la mezcla de combustible se alimenta a través del segundo pasaje o pasajes 28 y el oxidante se alimenta a través del primer pasaje 26.

55 En el ejemplo ilustrado, el sistema de reactor de gasificación 40 también incluye una diversidad de sistemas de soporte 58 para suministrar el oxidante, enfriar el mezclador de inyección 20, enfriar la cámara de gasificación 54 y / o enfriar bruscamente los productos de reacción de una forma conocida.

60 Tal como se muestra, se instala un divisor de flujo 56 en la línea de alimentación 46 entre la fuente de combustible 44 y el recipiente de reactor 42. Por lo tanto, el recipiente de reactor 42 y su mezclador de inyección 20 se encuentran en una comunicación de recepción de flujo con el divisor de flujo 56.

65

En el ejemplo ilustrado, el divisor de flujo 56 recibe un único flujo de entrada a partir de la línea de alimentación 46. El divisor de flujo 56 divide el flujo a partir de la línea de alimentación 46 en dos corrientes, o más, que se descargan al recipiente de reactor 42. Por ejemplo, cada una de las corrientes divididas se alimenta a uno diferente de múltiples mezcladores de inyección 20 del recipiente de reactor 42. En otros ejemplos, una o más de las corrientes divididas se envían a otro recipiente de reactor (que no se muestra).

El divisor de flujo 56 divide de manera uniforme el flujo de la mezcla de combustible. La inyección de las corrientes divididas de manera uniforme en diferentes mezcladores de inyección 20 en la cámara de gasificación 54 facilita la consecución de "flujo de pistón" a través del recipiente de reactor. La expresión "flujo de pistón" se refiere al movimiento axial (hacia abajo en la ilustración) continuo de los reactivos y los productos de los reactivos en el recipiente de reactor 42, más que a un flujo que incluye una porción de un flujo de retorno turbulento de los reactivos y los productos de los reactivos hacia los mezcladores de inyección 20 tras la inyección en la cámara de gasificación 54. El flujo de pistón facilita el mezclado directo de los reactivos, una conversión de reacción más alta y un flujo de calor más bajo a través de la cara de los mezcladores de inyección 20. En algunos ejemplos, el flujo de pistón da como resultado un aumento en la eficiencia de gas frío para un tiempo de residencia dado y una tasa de conversión de más de un 99 %. Por ejemplo, la eficiencia de gas frío puede ser de un 80 - 85 %. En ejemplos adicionales, la eficiencia de gas frío es de un 90 %, un 92 % o un 95 %. En algunos ejemplos, el flujo de pistón puede aumentar la eficiencia del sistema y, de ese modo, bajar el coste del sistema en aproximadamente un 50 %. Adicionalmente, el gas de síntesis de alta presión y de alta densidad que se produce requiere unos volúmenes más pequeños en las unidades de aguas abajo.

En el ejemplo ilustrado, la capacidad de seleccionar el ángulo  $\theta$  y otras variables de tal modo que los valores seleccionados de las variables satisfacen la Ecuación (I) también facilita la reducción del flujo de calor a través de la primera cara 24a del mezclador de inyección 20, que se encuentra en el lado de reacción en la cámara de gasificación 54. Por lo tanto, la reducción en el flujo de calor también alivia la carga sobre el diseño de enfriamiento del mezclador de inyección 20. Adicionalmente, reducir el ángulo  $\theta$  permite una densidad más alta de empaque de los mezcladores de inyección 20 en un diseño de inyector de múltiples elementos y, por lo tanto, un recipiente de reactor 42 más compacto. En algunos ejemplos, el tamaño del recipiente de reactor 42 se puede reducir en un 90 %, lo que facilita la modificación retroactiva en los sistemas de gasificación existentes.

La figura 5 ilustra otra forma de realización de un mezclador de inyección 120, en la que unos números de referencia semejantes designan unos elementos semejantes. En el ejemplo ilustrado, además del primer pasaje 26 y el segundo pasaje 28, el cuerpo de inyector 122 también incluye al menos un tercer pasaje de impacto 160 (por ejemplo, un tubo) que se extiende entre la primera cara 24a y la segunda cara 24b a lo largo del eje central 160a. El eje central 160a tiene un ángulo  $\theta_2$ , que se representa en 130, con el primer eje 26a que es diferente de un ángulo  $\theta_1$ , que se muestra en 30, que se forma entre el eje 28a y el eje 26a. Los ángulos ( $\theta_1$  y  $\theta_2$ ) satisfacen la Ecuación de eficiencia de mezclado (I), tal como se ha descrito en lo que antecede.

El segundo pasaje o pasajes 28 y el tercer pasaje o pasajes 160 que forman unos ángulos diferentes con respecto al eje 26a permiten que el ángulo de impacto se cambie durante el funcionamiento. Es decir, para un conjunto dado de parámetros operativos, el segundo pasaje o pasajes 28 que tienen un ángulo  $\theta_1$  se usan para satisfacer la Ecuación (I). Para los mismos o diferentes parámetros operativos, el tercer pasaje o pasajes 160 que tienen un ángulo  $\theta_2$  se usan para satisfacer la Ecuación (I). El mezclador de inyección 120 puede ser de tipo pentada, de tipo cónico o de otro tipo.

A pesar de que en los ejemplos ilustrados se muestra una combinación de características, no es necesario que la totalidad de las mismas se combinen para lograr los beneficios de diversas formas de realización de la presente divulgación. Dicho de otra forma, un sistema que se diseña de acuerdo con una forma de realización de la presente divulgación no incluirá necesariamente la totalidad de las características que se muestran en una cualquiera de las figuras o la totalidad de las porciones que se muestran de forma esquemática en las figuras. Además, características seleccionadas de una forma de realización a modo de ejemplo se pueden combinar con características seleccionadas de otras formas de realización a modo de ejemplo.

La descripción precedente es de naturaleza a modo de ejemplo más que limitante. A los expertos en la materia se les pueden hacer evidentes algunas variaciones y modificaciones a los ejemplos divulgados que no se apartan necesariamente de la esencia de la presente divulgación. El alcance de la protección legal que se da a la presente divulgación solo se puede determinar mediante el estudio de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de mantenimiento de la eficiencia de mezclado entre reactivos inyectados a través de un mezclador de inyección (20) para un sistema de reactor de gasificación (40), que comprende un cuerpo de inyector (22) que se extiende entre una primera cara (24a) y una segunda cara (24b), incluyendo el cuerpo de inyector (22) un primer pasaje (26) que se extiende entre la primera cara (24a) y la segunda cara (24b) y que tiene un primer eje central (26a) y al menos un segundo pasaje de impacto (28) que se extiende entre la primera cara (24a) y la segunda cara (24b) y que tiene un segundo eje central (28a) asociado que tiene un ángulo ( $\theta$ ) con el primer eje central (26a), comprendiendo el método establecer unas variables de parámetro de gasificación  $\dot{m}_{stox}$ ,  $\dot{m}_{combust}$ ,  $\rho_{combust}$ ,  $A_{combust}$  y  $A_{stox}$  para satisfacer la Ecuación de eficiencia de mezclado (I):

$$\text{Ec. (I)} \quad 2 \leq 2 \sin \theta \left( \frac{\dot{m}_{stox}}{\dot{m}_{combust}} \right)^2 \left( \frac{\rho_{combust}}{\rho_{stox}} \right) \left( \frac{A_{combust}}{A_{stox}} \right)^{3,1} \leq 7$$

en donde  $\dot{m}_{stox}$  es el caudal másico de un reactivo oxidante a través del al menos un segundo pasaje (28);  
 $\dot{m}_{combust}$  es el caudal másico de un reactivo material combustible a través del primer pasaje (26);  
 $\rho_{stox}$  es la densidad del reactivo oxidante;  
 $\rho_{combust}$  es la densidad del reactivo material combustible;  
 $A_{combust}$  es el área en sección transversal del primer pasaje; y  
 $A_{stox}$  es el área en sección transversal total del al menos un segundo pasaje (28), y en donde el ángulo ( $\theta$ ) no es igual a 30°.

2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde el al menos un segundo pasaje (28) incluye cuatro segundos pasajes (28) que se disponen en sentido circunferencial en torno al primer pasaje (26).

3. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye establecer:

el ángulo ( $\theta$ ) para que sea menor que 30°; o  
 un punto (p) en el espacio más allá de la primera cara (24a) del mezclador de inyección (20) en el que se cortan el primer eje (26a) y el segundo eje central (28a), y  
 establecer el punto (p) para que se encuentre a una distancia de más de 4,93 centímetros (1,94 pulgadas) con respecto a la primera cara (24a).

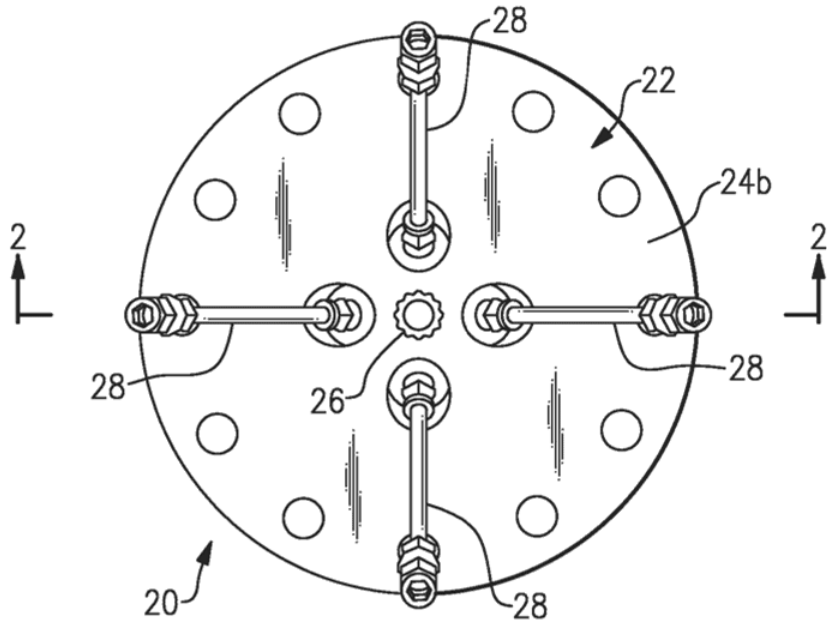
4. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye establecer la relación de áreas  $A_{combust} / A_{stox}$  para que sea de 1 a 2, o de 1,33.

5. El método de acuerdo con la reivindicación 1, que incluye ajustar al menos uno de  $A_{combust}$  y  $A_{stox}$  para satisfacer la Ecuación de eficiencia de mezclado (I).

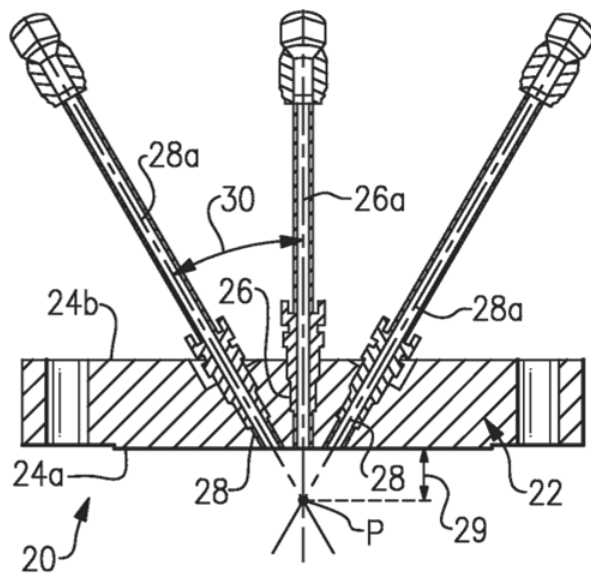
6. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la mezcla de combustible es una mezcla de fase doble que incluye un material particulado sólido y un gas portador de tal modo que la densidad de la corriente de combustible es según la Ecuación (II):

$$\text{Ec. (II)} \quad \rho_{combust} = \epsilon \rho_{cg} + (1 - \epsilon) \rho_s$$

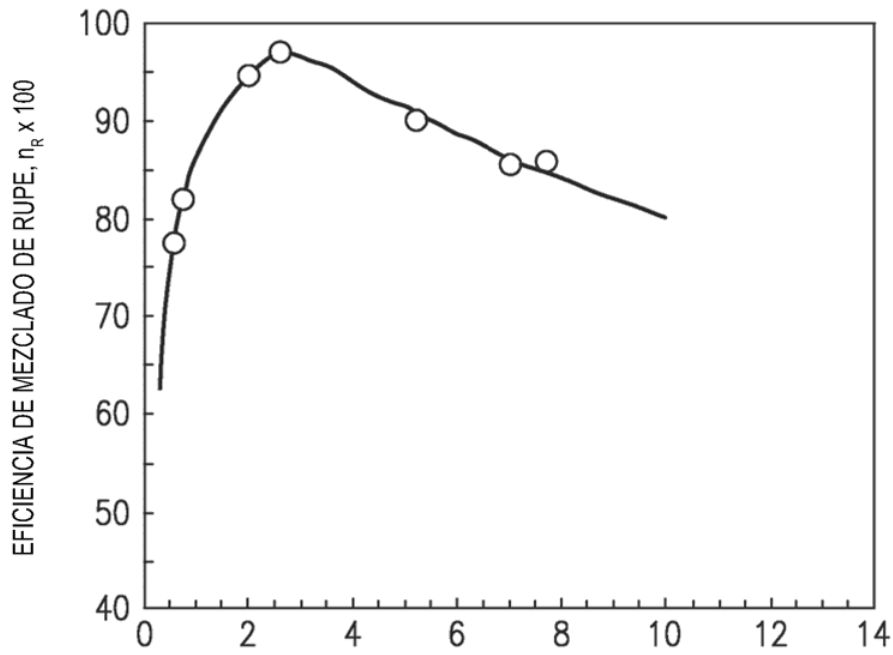
en donde  $\epsilon$  es una fracción de volumen de vacío previamente determinada del material combustible;  
 $\rho_s$  es la densidad verdadera de los sólidos inherente en el material combustible; y  
 $\rho_{cg}$  es la densidad inherente en el gas portador.



**FIG. 1**

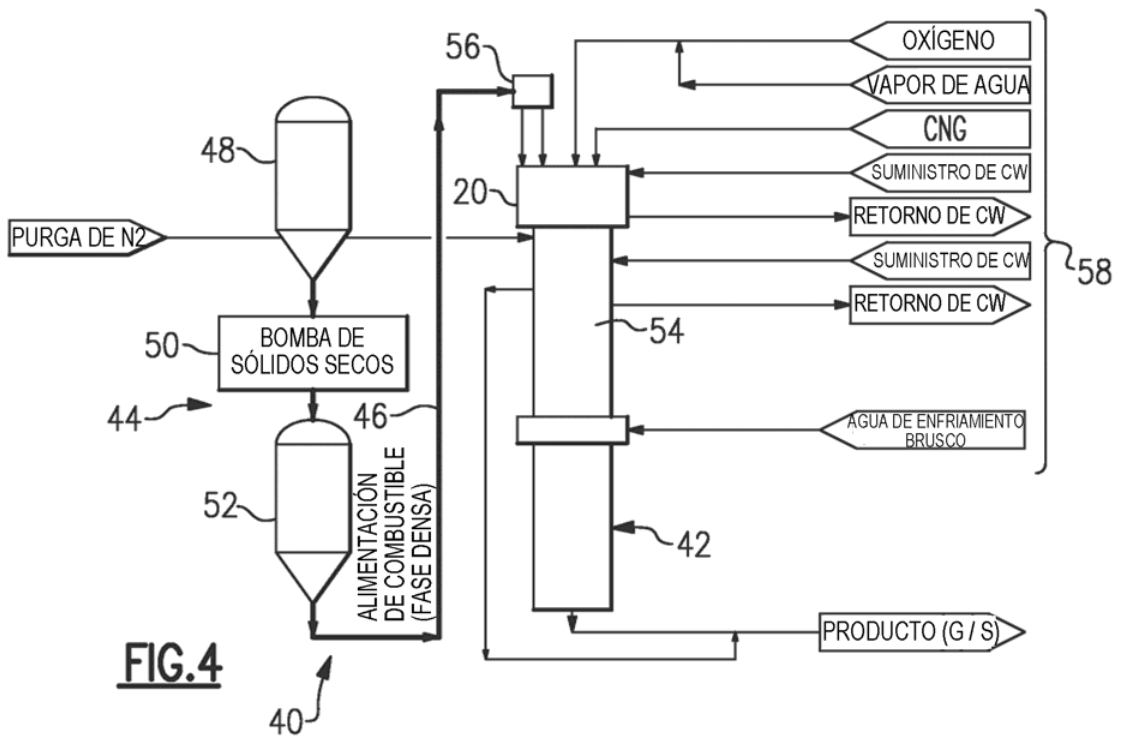


**FIG. 2**



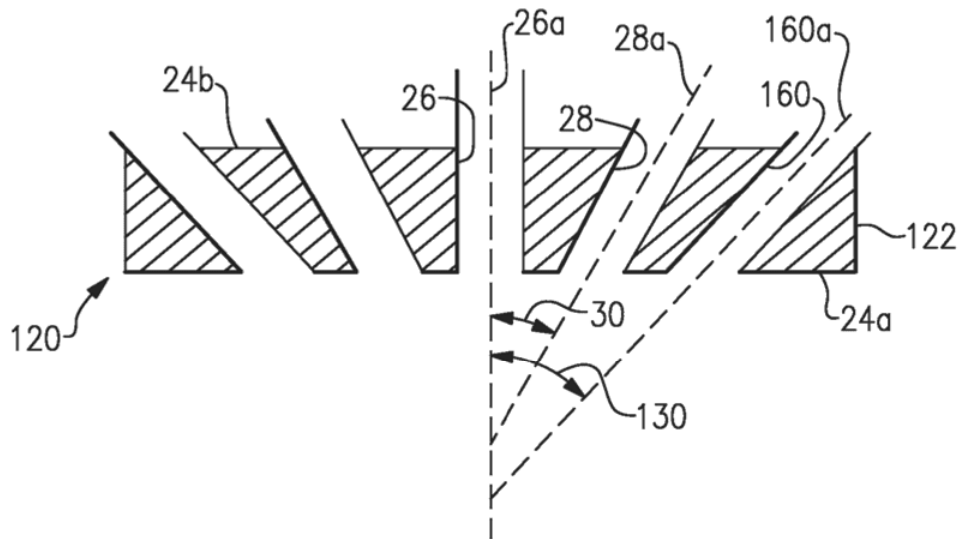
EFICIENCIA DE MEZCLADO Ec. (I),  $2 \operatorname{sen} \theta \left( \frac{\dot{m}_{\text{stox}}}{\dot{m}_{\text{carbón}}} \right)^2 \left( \frac{P_{\text{carbón}}}{P_{\text{stox}}} \right) \left( \frac{A_{\text{carbón}}}{A_{\text{stox}}} \right)^{3,1}$

**FIG.3**



**FIG.4**





**FIG. 5**