

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 686 503**

51 Int. Cl.:

**B01J 8/18** (2006.01)

**F26B 3/06** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.04.2010 PCT/US2010/030076**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.10.2010 WO10118008**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.04.2010 E 10762294 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.06.2018 EP 2424653**

54 Título: **Dispositivos para la inyección de corrientes gaseosas en un lecho de sólidos fluidificados**

30 Prioridad:

**06.04.2009 US 418943**

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

**18.10.2018**

73 Titular/es:

**LUMMUS TECHNOLOGY LLC (100.0%)  
1515 Broad Street  
Bloomfield, New Jersey 07003-3096, US**

72 Inventor/es:

**CASTAGNOS, JR., LEONCE FRANCIS;  
CHAN, TING YEE;  
PIEPER, RONALD EUGENE y  
KOLB, NORMAN PAUL**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 686 503 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

Dispositivos para la inyección de corrientes gaseosas en un lecho de sólidos fluidificados

**Antecedentes de la invención**

Campo de la invención

- 5 Las realizaciones que se describen en esta memoria se refieren generalmente a un aparato para la inyección de una corriente gaseosa en un lecho de sólidos fluidificados.

Antecedentes

10 En las industrias de refino y de tratamiento químico, así como en otras industrias de tratamiento, es a menudo necesario inyectar una corriente gaseosa en el seno de un lecho de sólidos finamente divididos, repartiendo el gas uniformemente en toda la sección transversal del lecho. La inyección del gas se ha diseñado para favorecer un contacto uniforme e íntimo del medio gaseoso con el lecho de sólidos, al objeto de conseguir un propósito cual es una reacción química entre el gas y los sólidos y/o una operación de transferencia de masa entre el gas y los sólidos.

15 Un aparato para la inyección de gas en el seno de un lecho fluidificado consiste, por lo común, en una placa de rejillas plana provista de orificios, un sistema de rejillas de tuberías, o una serie de anillos concéntricos. Estos distribuidores se han diseñado para cubrir físicamente la sección transversal del lecho tanto como sea posible con el fin de favorecer la distribución uniforme del gas a todo lo largo y ancho del lecho. El gas es introducido en el espacio situado por debajo del distribuidor de placa plana o en el interior de la cabecera principal de una rejilla de tuberías y/o del distribuidor de anillos desde una fuente de aporte central. Desde allí, el gas fluye por toda la rejilla de tuberías o sistema de anillos y, a continuación, se descarga al seno del lecho a través de una multiplicidad de toberas que distribuyen el gas uniformemente en el lecho. Los distribuidores de rejillas planos no son, por lo común, completamente planos, sino que tienen una ligera forma de plato hacia arriba o hacia abajo con el fin de soportar mejor la presión ejercida por el gas y/o por el peso del lecho de sólidos situado por encima. Los distribuidores de rejillas planos pueden contener o no toberas, pero, por lo común, tan solo utilizan una configuración de orificios extendida por la placa para permitir que el gas fluya al seno del lecho. Otras realizaciones de distribuidores de gas para lechos fluidos de sólidos incluyen distribuidores del tipo de cúpula y los denominados distribuidores «de sombrerete».

20 A fin de conseguir una distribución uniforme del medio de gas, las toberas de inyección se han diseñado, por lo común, con un área en sección transversal que provocará que se produzca una caída de presión, o pérdida de carga, conforme el gas fluye a través de las toberas de inyección, desde la cabecera de distribución al seno del lecho de sólidos. El mantenimiento de una caída de presión positiva a través de las toberas de inyección garantiza que el gas fluya uniformemente a todas las toberas de inyección a pesar de las diferencias que pueden producirse en la presión en el lecho en el momento de la descarga. Una vez que el gas ha fluido hacia arriba a través del lecho de sólidos, el lecho queda «fluidificado» y comienza a comportarse como un líquido. Semejante lecho fluidificado de sólidos ejercerá una presión proporcional a la profundidad del lecho y a la densidad de la mezcla de gas / sólidos, de la misma manera que lo haría un líquido de similares densidad y profundidad. Por lo común, tales lechos de sólidos fluidificados oscilarán en profundidad desde unos pocos metros (unos pocos pies) hasta tanto como 9 m (30 pies) o más y exhibirán una densidad medida que oscila entre unos pocos g/cm<sup>3</sup> (unas pocas libras por pie cúbico) hasta por encima de 5 g/cm<sup>3</sup> (40 libras por pie cúbico). La presión resultante que se ejerce por la columna de sólidos fluidificados oscilará entre tan poco como 6.985 Pa (1 libra por pulgada cuadrada (psi –“pound per square inch”–)) hasta tanto como 68.946 Pa (10 psi) o más. Es más, el lecho de sólidos es, a menudo, bastante turbulento, lo que significa que la presión en cualquier punto del lecho fluctúa con el tiempo y variará de un punto a otro a una profundidad dada del lecho. Por esta razón, es importante diseñar los distribuidores de gas con la caída de presión suficiente, a fin de superar las fluctuaciones de presión que se esperan en el emplazamiento del distribuidor de gas en el lecho. Una «regla del pulgar» típica para el diseño de distribuidores de gas es que la caída de presión mínima deberá ser el 15% de la caída de presión en el lecho para las toberas de inyección que apuntan hacia abajo, y el 30% de la caída de presión en el lecho para distribuidores apuntados hacia arriba.

25 Además de mantener una caída de presión mínima para una distribución uniforme del medio de gas, las toberas de inyección se han diseñado también para descargar el gas al seno del lecho a una velocidad relativamente elevada. Si la velocidad del gas es demasiado baja, las pulsaciones en la presión pueden causar momentáneamente que los sólidos sean empujados hacia atrás por presión y fluyan desde el lecho al interior de la tobera de inyección. Tal flujo de retorno de sólidos al interior de la tobera de inyección es indeseable puesto que puede conllevar una erosión en la tobera de inyección por la acción abrasiva continuada de los sólidos, y/o un taponamiento de una tobera de inyección si los sólidos quedan alojados formando una masa sólida. Es más, si los sólidos son presurizados lo suficientemente lejos dentro de una tobera de inyección, pueden entonces entrar en la cabecera principal, donde son recogidos por el gas fluyente para ser descargados al interior de una o más toberas de inyección situadas más aguas abajo. En este último caso, el resultado puede ser una grave erosión en una o más toberas de inyección situadas aguas abajo con respecto a la tobera a través de la cual han entrado los sólidos en la cabecera. A fin de

evitar el flujo de retorno de los sólidos al interior de las toberas de inyección, la velocidad en las toberas se mantiene generalmente por encima de un cierto valor mínimo, por lo común, por encima de aproximadamente 6 m por segundo (20 pies por segundo (fps –“feet per second”–)).

5 Un problema que continúa azotando los distribuidores de gas en lechos de fluido es la erosión de las toberas de inyección en el momento de la descarga al seno del lecho de sólidos. A lo largo de un periodo de tiempo prolongado, el impacto de las partículas sólidas en el borde de descarga del inyector provocará un desgaste gradual en la punta del inyector. A medida que aumenta el desgaste, el extremo de la tobera puede retroceder por erosión lo suficiente como para destruir el lugar de fijación en que la tobera del inyector pasa a través de la cabecera. El resultado es un agujero en la cabecera y una pérdida de rendimiento del distribuidor. Cuando esto ocurre, son necesarias costosas y  
10 prolongadas reparaciones para restablecer el rendimiento de la rejilla o anillo.

Un procedimiento utilizado de forma generalizada en la industria del refino del petróleo, que hace uso de lechos de sólidos finamente divididos, es el procedimiento de craqueo catalítico de fluido (FCC –“fluid catalytic cracking”–). El procedimiento de FCC se utiliza para el craqueo de corrientes de gasóleo pesado en ebullición para obtener productos más valiosos de ebullición más ligera, tales como la gasolina e hidrocarburos más ligeros. El  
15 procedimiento de FCC se sirve de catalizadores sólidos en forma de polvo para facilitar la rotura de los enlaces atómicos carbono-carbono del gasóleo suministrado, a fin de formar moléculas más pequeñas que se encuentran dentro de los márgenes de ebullición de la gasolina. Además del producto de gasolina, el procedimiento también da lugar a cantidades sustanciales de gases más ligeros, tales como el butano o el propano, que se recuperan y convierten en productos de valor. El craqueo catalítico de fluido es el procedimiento «de conversión» más  
20 ampliamente utilizado en el refino del petróleo, y se han instalado varios millones de barriles por día de capacidad de FCC desde que se concibió el procedimiento a comienzo de los años 40. Así, pues, el procedimiento de FCC es de gran valor económico y es, por lo común, la unidad de mayor aprovechamiento de una refinería de petróleo en los Estados Unidos así como en la mayor parte de refinerías de todo el mundo.

El catalizador que se utiliza en el procedimiento de FCC es un sólido finamente dividido compuesto, en su mayor parte, de sílice y alúmina, en forma tanto cristalina como amorfa. El uso de un catalizador en polvo ha sido la característica clave que ha contribuido al éxito del procedimiento de FCC y ha traído consigo el desarrollo de toda un área de operaciones de procedimiento que se ha dado en llamar «fluidificación». El catalizador en polvo finamente dividido puede hacerse comportar como un fluido cuando es apropiadamente aireado o «fluidificado» por medio de  
25 aire u otro gas. El polvo fluidificado puede hacerse fluir en líneas o vetas y establecerá un cierto nivel dentro de un recipiente, como lo haría un líquido. Un polvo fluidificado también generará una cabeza de presión hidráulica proporcional a la densidad y a la profundidad de la mezcla contenida en un recipiente o en una tubería montante vertical, como lo haría un fluido. El polvo puede ser también transportado neumáticamente por una corriente de gas cuando el gas tiene una velocidad suficiente. La capacidad para hacer fluir el catalizador en polvo entre recipientes ha sido tremendamente beneficiosa en el desarrollo de un procedimiento de craqueo catalítico viable. Las primeras  
30 tentativas para utilizar un lecho fijo de pastillas de catalizador se vieron grandemente perjudicadas por la necesidad de regenerar el catalizador de forma frecuente al objeto de eliminar depósitos de «coque» que constituyen un producto secundario del craqueo. El coque, en su mayor parte carbono, con algo de hidrógeno y azufre, desactiva el catalizador y ha de ser eliminado por medio de una etapa de combustión. Al hacer uso de un catalizador «fluidificable», el catalizador puede hacerse circular de manera continua entre los recipientes de reacción y de  
35 regeneración de una unidad de FCC, de tal modo que no es necesario un procedimiento cíclico para llevar a efecto las etapas de reacción y regeneración.

En el procedimiento de FCC, se utilizan grandes volúmenes de aire en el recipiente regenerador para eliminar el coque del catalizador y restituir la actividad del catalizador. El aire es, por lo común, inyectado al seno de un lecho de catalizador con contenido de coque por medio de distribuidores del tipo de rejillas de tuberías o de anillos. El  
45 procedimiento de FCC también hace uso de distribuidores de gran tamaño del tipo de tuberías o de anillos en la sección de decapado, en la que el catalizador gastado se pone en contacto con el vapor para eliminar los hidrocarburos arrastrados, antes de que el catalizador sea enviado al regenerador. Se utilizan distribuidores de tuberías o anillos de menor tamaño en los demás lugares del procedimiento de FCC para inyectar vapor o aire al objeto de mantener el catalizador en polvo en un estado «fluidificado» o aireado. Las toberas de inyección que se  
50 utilizan en cada una de estas zonas del procedimiento de FCC pueden verse sometidas a erosión, como se ha descrito en lo anterior.

Se han llevado a cabo diversas tentativas para mejorar el diseño de las toberas de inyección, con el fin de reducir los efectos nocivos de la erosión y alargar la vida útil del distribuidor. Estas incluyen el uso de aleaciones exóticas y materiales cerámicos para hacer la tobera de inyección, en sí, más dura y más resistente a la erosión, la protección  
55 del extremo de descarga de la tobera de inyección con un acabado superficial duro, tal como capas de revestimiento de metal o capas refractantes, y/o cambios en el diseño de la tobera.

Un diseño de distribuidor de aire del actual estado de la técnica para un regenerador de FCC hace uso de un distribuidor de rejillas de tuberías y de un diseño de tobera de inyección de dos etapas. Tal diseño se ha mostrado en la Figura 1A, que es una vista en planta de un distribuidor de rejillas de tuberías que consiste en tres rejillas  
60 idénticas en una disposición triangular, a fin de cubrir la sección transversal circular de un regenerador de FCC. La Figura 1B es una vista en alzado de una de las rejillas de tuberías, que muestra el modo como la arteria de aporte

de aire principal entra desde la parte inferior, con tres ramas que también soportan la rejilla. Todas las rejillas están instaladas a la misma altura en el lecho de catalizador en polvo, de manera que tienen, de forma tan aproximada como sea posible, una presión uniforme con la que se descarga el aire. La Figura 1C es una sección transversal de uno de los brazos de la rejilla, que muestra la disposición de las toberas, dirigidas hacia abajo a 45 grados con respecto a la vertical. Este diseño de rejilla de tuberías ha demostrado ser muy eficaz a la hora de distribuir físicamente el aire sobre la sección transversal del lecho de catalizador, de manera que el quemado del coque sea uniforme.

La Figura 1D es una vista en corte de una de las toberas de inyección de aire, que utiliza un tubo de dos etapas, también denominado de «Borda». Las Figuras 1E-1H contiene varias vistas que muestran la disposición de tobera dentro de uno de los brazos de la rejilla. Los brazos de rejilla de metal se cubren con un material refractario resistente a la erosión para proteger tanto los propios brazos de rejilla como la longitud final de las toberas de la inyección de la erosión por la acción de desgaste de las partículas de catalizador.

El tubo de Borda o tobera de dos etapas consiste en un tubo recto con un orificio concéntrico en el extremo de entrada. En el diseño de tubo de Borda, el orificio se ha dimensionado para proporcionar una caída de presión suficiente para favorecer una distribución uniforme del aire a través de la rejilla, de tal modo que la caída de presión está comprendida, por lo común, entre aproximadamente 6.895 Pa y 20.684 Pa (entre 1 y 3 psi). El orificio es seguido por una sección tubular de diámetro más grande, que ralentiza el gas de un modo tal, que la velocidad de descarga al seno del lecho de sólidos no provoca una erosión y/o degradación excesivas del catalizador. Véase, por ejemplo, la divulgación de Joseph W. Wilson: "Fluid Catalytic Cracking" (Craqueo catalítico de fluido), págs. 140-141, Penwell Publishing, 1997, que describe el uso de un tubo de Borda como tobera de inyección en aplicaciones de FCC.

La longitud recomendada para el tubo de Borda es un mínimo de seis veces el diámetro del tubo, a fin de permitir que llegue a desarrollarse por completo el flujo dentro del tubo a continuación del orificio de tobera. Se ha establecido en la práctica que, si la tobera es demasiado corta, el flujo en la descarga será turbulento y tendrá como resultado una erosión excesiva en la punta de la tobera.

Si bien el diseño del tubo de Borda y el uso de materiales duros para la construcción de la tobera y/o la protección de la punta de la tobera han mejorado en gran medida la vida de los distribuidores de rejillas para dar servicio al FCC, estos diseños siguen estando sometidos a un desgaste excesivo que requiere el remplazo periódico, ya sea toberas individuales de un brazo de rejilla, ya sea de todo el brazo de rejilla. Estos tipos de reparaciones son difíciles de llevar a cabo y pueden alargar el tiempo necesario para realizar el mantenimiento rutinario durante los periodos de parada programada.

Otro ejemplo de distribuidor de aire que se utiliza para el procedimiento de regeneración catalítica por FCC se divulga en la Patente de los EE.UU. N° 4.223.843. Como se divulga en este documento, el distribuidor de aire incluye una pluralidad de toberas en un anillo de cabecera y en un alojamiento cilíndrico, de manera que cada tobera se ha formado con un ánima divergente para eyectar aire a alta presión. El ánima divergente de cada una de las toberas se ha formado con un semiángulo de menos de 7° con el fin de proporcionar una velocidad máxima del aire sin que se destruya el catalizador gastado.

La Patente de los EE.UU. N° 4.460.130 divulga una tobera inyectora dispuesta externamente al colector, que tiene una abertura central en una entrada, que se extiende desde la tobera hasta el paso central. El área en sección transversal de la abertura central de la tobera en la dirección del flujo es más pequeña, en al menos un lugar, que la de la entrada, de tal modo que una parte principal de la caída de presión en el gas que fluye desde el paso central a través de la entrada y de la tobera, es creada por la tobera. La abertura central diverge hacia fuera en un ángulo de menos de 15°, a fin de evitar la formación de un chorro así como la formación de corrientes parásitas.

Persiste en la técnica la necesidad de dispositivos de distribución de gas que estén sometidos a un menor desgaste erosivo.

### **Compendio de la invención**

En un aspecto, realizaciones divulgadas en esta memoria se refieren a un aparato de distribución de gas como se define en la reivindicación 1. En algunas realizaciones, el aparato de distribución de gas anteriormente descrito puede haberse dispuesto dentro de un recipiente, tal como para distribuir un gas dentro de un recipiente al objeto de llevar a cabo reacciones de polimerización, regeneración de catalizador gastado o gasificación de carbón.

En las reivindicaciones dependientes se definen realizaciones adicionales del aparato de distribución de gas.

Otros aspectos y ventajas resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción y de las reivindicaciones que se acompañan.

### **Breve descripción de los dibujos**

Las Figuras 1A (vista en planta) y 1B (vista en alzado) ilustran un distribuidor de rejillas de tuberías de la técnica

anterior.

La Figura 1C es una vista en corte transversal de un brazo de rejilla del distribuidor de rejillas de tuberías de la técnica anterior mostrado en la Figura 1A, que incluye una tobera de inyección de tubo de Borda.

La Figura 1D es una vista en detalle de un tubo de Borda utilizado en la Figura 1C.

5 Las Figuras 1E-1H presentan varias vistas en perspectiva de la disposición de tubos de Borda dentro del brazo de rejilla de la Figura 1C.

La Figura 2A (vista en corte transversal) y la Figura 2B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

10 La Figura 3A (vista en corte transversal) y la Figura 3B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria.

La Figura 4A (vista en corte transversal) y la Figura 4B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria.

La Figura 5A (vista en corte transversal) y la Figura 5B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria.

15 La Figura 6A (vista en corte transversal) y la Figura 6B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

La Figura 7A (vista en corte transversal) y la Figura 7B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

20 La Figura 8A (vista en corte transversal) y la Figura 8B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

La Figura 9A (vista en corte transversal) y la Figura 9B (vista desde el extremo de entrada) ilustran toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

La Figura 10 es una vista en corte transversal de un brazo de rejilla de distribuidor de tuberías que incluye toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

25 La Figura 11 es una vista en corte transversal de un brazo de rejilla de distribuidor de tuberías que incluye toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

La Figura 12 es una vista en corte transversal de un recipiente que incluye un distribuidor de placa plana que incluye toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción.

30 La Figura 13 es una vista en corte transversal de un recipiente que incluye un distribuidor de placa plana que incluye toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria.

Las Figuras 14A-14E muestran la configuración de flujo interno para una tobera de inyección de tubo de Borda convencional, tal como se ha desarrollado por análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD –“computation fluid analysis”–).

35 Las Figuras 15A-15K muestran fotogramas secuenciales de animación de CFD de una tobera de inyección de tubo de Borda convencional, que ilustran el movimiento y la inestabilidad del chorro proveniente del orificio y el modo como está presente la inestabilidad a lo largo de todo el camino hasta el extremo del tubo.

Las Figuras 16A-20 muestran la configuración de flujo interno para tubos de Borda y tubos de Borda modificados basándose en el análisis de CFD.

40 Las Figuras 21, 22 y 25 muestran la configuración de flujo interno para toberas de inyección, que no forman parte de la presente descripción, basada en el análisis de CFD.

Las Figuras 23 y 24 muestran la configuración de flujo interno para toberas de inyección, de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria, basada en el análisis de CFD.

Las Figuras 26-31 comparan la configuración de flujo interno para toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción, basada en análisis de CFD, con la de tubos de Borda convencionales.

45 **Descripción detallada**

En un aspecto, realizaciones de esta memoria se refieren a un aparato para la inyección de una corriente gaseosa en el seno de un lecho de sólidos fluidificados. Más específicamente, realizaciones divulgadas en la presente

memoria se refieren a toberas de inyección que pueden dar como resultado un cierto perfil de velocidades del gas, a fin de reducir o evitar la erosión de la tobera de inyección.

Las toberas de inyección pueden tener una entrada de fluido, en comunicación de fluido con un colector de distribución de gas, y una salida de fluido, en comunicación de fluido con un recipiente, por ejemplo. La entrada de fluido de las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria puede incluir más recorridos de fluido, paralelos, perpendiculares o transversales al eje de la tobera. Los recorridos de fluido puede haberse diseñado y distribuido en la tobera de un modo tal, que resulte en uno o más de: una caída de presión, o pérdida de carga, deseada a través de la tobera; un perfil de velocidades de gas estable; un perfil de velocidades uniforme que puede estar centrado con la salida de la tobera; y una velocidad máxima menor que la que puede causar la degradación de las partículas sólidas que se están fluidificando.

Ejemplos de toberas de inyección de acuerdo con realizaciones divulgadas en esta memoria se han ilustrado en las Figuras 3-5, los ejemplos de la Figura 2 y 6-9 no forman parte de la presente descripción. Si bien se han ilustrado en las figuras características de las toberas de inyección como generalmente circulares / cilíndricas, pueden utilizarse otras formas / perfiles, tales como cuadrada, rectangular, hexagonal, octagonal, etc. Así, pues, cuando se hace referencia al diámetro en esta memoria, se entiende que el diámetro es un diámetro equivalente para formas distintas de la circular.

Haciendo referencia, a continuación, a las Figuras 2A (vista en corte transversal) y 2B (vista desde el extremo de entrada), se ilustra en ellas una tobera de inyección que no forma parte de la presente descripción. La tobera de inyección 10 puede incluir un tubo 12 que tiene un extremo de entrada de fluido 14 y una salida de fluido 16. El extremo de entrada de fluido 14 puede estar formada, por ejemplo, por una pluralidad de orificios de restricción de flujo radiales 17, distribuidos circunferencialmente a través del tubo 12. Tal como se utiliza en esta memoria, «pluralidad» se refiere a dos o más, incluso si se ilustra de manera que presente un número diferente. Tal y como se muestra en la Figura 2B, el extremo de entrada puede estar taponado por una placa trasera 18 que carece de aberturas de flujo, de tal modo que únicamente se permite el flujo de gas radialmente al interior del tubo 12, a través de los orificios de restricción de flujo radiales 17.

El número y diámetro de los orificios de restricción de flujo radiales puede depender de la caída de presión deseada a través del tubo 12. La pluralidad de orificios de restricción de flujo radiales 17 pueden estar distribuidos a través del tubo 12 en una hilera circunferencial. Otras realizaciones pueden incluir hileras circunferenciales adicionales de orificios de restricción de flujo radiales.

La relación entre un diámetro interior  $D_T$  de la salida del tubo y un diámetro  $D_O$  de un orificio de restricción de flujo radial puede ser mayor que 2:1. En otras realizaciones, la relación entre un diámetro interior  $D_T$  de la salida del tubo y un diámetro  $D_O$  de un orificio de restricción de flujo radial puede estar comprendida dentro del intervalo entre 2:1 y 20:1.

La pluralidad de orificios de restricción de flujo radiales puede haberse dispuesto a través del tubo en una longitud  $L$  desde un extremo axial de entrada del tubo próximo a la abertura de entrada. En algunas realizaciones, la longitud  $L$  puede ser menor que 2 veces el diámetro interior de la salida de fluido 16; menor que 1,5 veces el diámetro interior de la salida de fluido 16 en otras realizaciones; y menor que 0,5 veces el diámetro interior de la salida de fluido 16, en aún otras realizaciones. En otras realizaciones, los orificios de restricción de flujo radiales pueden estar situados tan cerca del extremo axial como sea posible, con el fin de proporcionar tanto susceptibilidad de fabricación como integridad estructural.

Haciendo referencia, a continuación, a las Figuras 3A (vista de perfil) y 3B (vista desde el extremo de entrada), se ilustra en ellas una tobera de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria. La tobera de inyección 10 puede incluir el tubo 12, que tiene una entrada de fluido 24 y una salida de fluido 26. La entrada de fluido 24 puede estar formada, por ejemplo, por una pluralidad de orificios de restricción de flujo axial 27, distribuidos axialmente a través de la placa de entrada 28.

Como se muestra en la Figura 3B, los orificios de flujo axial 26 pueden estar distribuidos sobre la placa de entrada 28 utilizando una separación uniforme. El uso de una separación uniforme puede hacer posibles la facilidad de fabricación y la integridad estructural. De forma más importante, orificios de restricción de flujo axial con la misma separación entre ellos pueden hacer posible el desarrollo de un perfil de flujo centrado y uniforme.

Comparando la Figura 3A y la Figura 4A, en las que los mismos números representan partes similares, los orificios de restricción de flujo axial 27 pueden tener una longitud  $L_O$  que puede ser ajustada para conseguir una caída de presión o un perfil de velocidades deseados. En algunas realizaciones, la longitud  $L_O$  puede permitir que el flujo dentro del orificio de restricción de flujo axial 27 se estabilice, con lo que sale del orificio con un perfil de velocidades más uniforme, con el resultado correspondiente de un perfil de velocidades más uniforme en la salida de fluido 26. Por ejemplo, la longitud  $L_O$  puede ser al menos 4 veces el diámetro de un orificio de restricción de flujo axial en algunas realizaciones; y al menos 5 veces el diámetro de un orificio de un orificio de restricción de flujo axial en aún otras realizaciones.

La longitud desde un extremo de salida 32 de un orificio hasta la salida de fluido 26 deberá ser también suficiente

para desarrollar un perfil de velocidades uniforme y estable. En algunas realizaciones, la relación entre una longitud axial del tubo y una longitud axial de la pluralidad de orificios de restricción de flujo puede ser al menos 4:1; y estar comprendida en el intervalo entre 5:1 y 50:1 en otras realizaciones.

5 El número y el diámetro de los orificios de restricción de flujo axial pueden también depender de la caída de presión deseada a través del tubo 12. En algunas realizaciones, una relación entre un diámetro interior de la salida del tubo y un diámetro de un orificio de restricción de flujo axial es mayor que 2:1; y está comprendida en el intervalo entre 2:1 y 20:1 en otras realizaciones.

10 Como se ilustra en las Figuras 5A (vista de perfil) y 5B (vista desde el extremo de entrada), en las que los mismos números representan partes similares, los orificios de restricción de flujo axial 27 pueden haberse hecho gradualmente estrechados. Por ejemplo, los orificios de flujo axial 27 pueden aumentar de diámetro desde un extremo de entrada 30 del orificio hasta un extremo de salida 32 del orificio, de tal manera que el diámetro exterior puede estrecharse gradualmente en un ángulo  $\alpha$  de hasta aproximadamente 15° en algunas realizaciones; en un ángulo  $\alpha$  entre aproximadamente 5° y 15° en otras realizaciones; y en un ángulo  $\alpha$  comprendido entre 7,5° y 12,5° en aún otras realizaciones.

15 Haciendo referencia, a continuación, a las Figuras 6A (vista de perfil) y 6B (vista desde el extremo de entrada), se ilustra en ellas una tobera de inyección que no forma parte de la presente descripción. La tobera de inyección 60 puede incluir un tubo 62 que tiene una entrada de fluido 64 y una salida de fluido 66. La entrada de fluido 64 puede haberse hecho, por ejemplo, como un orificio anular 68 que rodea un dispositivo de restricción de flujo 70. Como se ha ilustrado en la Figura 6A, el dispositivo de restricción de flujo 70 puede incluir un disco 70D, apropiadamente suspendido del centro del extremo de entrada del tubo 62.

La anchura  $W$  del orificio anular 68 puede depender de la caída de presión deseada a través de la tobera 60, entre otros factores. En algunas realizaciones, el diámetro del disco 70D puede oscilar entre 0,5 y 0,95 veces el diámetro interior del tubo 62; y entre 0,6 y 0,85 veces el diámetro interior del tubo 62 en otras realizaciones.

25 Comparando la Figura 6A y la Figura 7A, en las que los mismos números representan partes similares, el dispositivo de restricción de flujo 70 puede tener una longitud  $L_A$  que puede ser ajustada para conseguir una caída de presión o perfil de velocidades deseados. En algunas realizaciones, la longitud  $L_A$  puede permitir que se establezca el flujo dentro del orificio anular 68, por lo que sale del orificio con un perfil de velocidades más uniforme, con el correspondiente resultado de un perfil de velocidades más uniforme en la salida de fluido 66. Por ejemplo, la longitud  $L_A$  puede ser al menos 4 veces la anchura  $W$ ; y al menos 5 veces la anchura  $W$  en aún otras realizaciones.

30 La longitud desde un extremo de salida del orificio anular hasta la salida de fluido 66 ha de ser también suficiente para desarrollar un perfil de velocidades uniforme y estable. En algunas realizaciones, una relación entre una longitud axial  $L_T$  del tubo y una longitud  $L_A$  del orificio de flujo anular puede ser al menos 4:1; y estar comprendida en el intervalo entre 5:1 y 50:1, en otras realizaciones.

35 Como se ha ilustrado en las Figuras 8A (vista de perfil), 8B (vista desde el extremo de entrada), 9A (vista de perfil) y 9B (vista desde el extremo de entrada), en las cuales los mismos números representan partes similares, el orificio de flujo anular 66 puede estar gradualmente estrechado, tal como mediante el uso de un dispositivo de restricción de flujo 70C que puede ser cónico. Por ejemplo, el orificio de flujo anular 66 puede aumentar de diámetro desde un extremo de entrada del orificio hasta un extremo de salida del orificio, de tal manera que el diámetro exterior puede estrecharse gradualmente en un ángulo  $\beta$  de hasta aproximadamente 15° en algunas realizaciones; en un ángulo  $\beta$  comprendido entre aproximadamente 5° y 15° en otras realizaciones; y en un ángulo  $\beta$  comprendido entre 7,5° y 12,5° en aún otras realizaciones. Como se ilustra en la Figura 9A, el extremo de salida del dispositivo de restricción de flujo cónico 70C puede estar truncado (de lo que resulta un dispositivo de restricción de flujo troncocónico 70F).

45 Las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria, tal y como se ha descrito anteriormente, pueden hacer posible un perfil de velocidades estable. Tales toberas de inyección pueden hacer posible un perfil de velocidades uniforme centrado en la salida de la tobera. Las toberas de inyección con arreglo a las realizaciones divulgadas en esta memoria pueden evitar la generación de zonas que presentan una velocidad elevada o chorros localizados que pueden causar la degradación de las partículas. De manera adicional, las toberas de inyección divulgadas en esta memoria pueden evitar la generación de zonas que presentan una velocidad axial negativa cerca de la salida de la tobera, de lo que resulta una baja velocidad de erosión de la tobera.

50 Las toberas de inyección descritas en lo anterior pueden disponerse en un aparato de distribución de gas. Las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria pueden ser utilizadas con cualquier tipo de aparato de distribución en el que se esté distribuyendo una única fase gaseosa al seno de un lecho de sólidos fluidificados. Por ejemplo, un distribuidor del tipo de cúpula y un distribuidor de sombrerete, entre otros. Tales distribuidores pueden disponerse dentro de recipientes destinados a llevar a cabo diversas reacciones o transferencia de masa entre el gas y los sólidos, incluyendo recipientes de regeneración catalítica por FCC, recipientes de polimerización en fase gaseosa, gasificación de carbón y reducción de mineral de hierro, entre otros.

55 Haciendo referencia, a continuación, a la Figura 11, en las que los mismos números representan partes similares, se ilustran toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria dispuestas dentro

- de un aparato de distribución de gas. La Figura 10 muestra toberas de inyección que no forman parte de la presente descripción, dispuestas en un aparato de distribución de gas. El aparato de distribución de gas 80 puede incluir un distribuidor del tipo de anillos (no ilustrado) que tiene un colector de distribución de gas 82, en comunicación de fluido con una fuente de aporte de gas y una pluralidad de toberas de inyección 84. Cada una de las toberas de inyección puede incluir una entrada de fluido 86, dispuesta en el interior del colector de distribución, y una salida de fluido 88. En algunas realizaciones, tales como la mostrada en la Figura 10, la salida de fluido 88 puede estar situada próxima a una circunferencia exterior 89 del colector de distribución de gas 82. En otras realizaciones, tal como se muestra en la Figura 11, la salida de fluido 88 termina en un punto externo al colector de distribución de gas 82.
- 10 Similarmente, haciendo referencia a continuación a las Figuras 12 y 13, en las que los mismos números representan partes similares, se ilustran en ellas toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria, dispuestas dentro de un aparato de distribución de gas. El aparato de distribución de gas 90 puede incluir un distribuidor de placa plana 91 dentro de un recipiente 92, que tiene un colector de distribución de gas 93 en comunicación de fluido con una fuente de aporte de gas 94 y una pluralidad de toberas de inyección 95. Cada una de las toberas de inyección puede incluir una entrada de fluido 96, dispuesta dentro del colector de distribución, y una salida de fluido 97. En algunas realizaciones, tales como la mostrada en la Figura 12, la salida de fluido 97 puede estar situada próxima a una superficie superior 98 de la placa plana 99. En otras realizaciones, tales como la mostrada en la Figura 13, las salidas de fluido 97 pueden terminar en un punto por encima de la superficie superior 98 de la placa plana 99.
- 20 Como se ha mencionado anteriormente, las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria pueden ser utilizadas en aparatos de distribución de gas empleados para regeneración catalítica por FCC, por ejemplo. Las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria pueden, adicionalmente, ser utilizadas igualmente en otras partes de un procedimiento de craqueo, tal y como se ilustra en, y se describe con respecto a, la Figura 1 de la Patente de los EE.UU. N° 5.314.610. Como se describe en la Patente 5.314.610, pueden utilizarse aparatos de distribución de gas para la inyección de un medio de decapado, tal como vapor de agua o nitrógeno, en un recipiente de reacción de craqueo catalítico, o para la inyección de oxígeno o de aire para la combustión y eliminación de coque de un catalizador gastado.

#### Ejemplos

- 30 Los siguientes ejemplos se han deducido por técnicas de modelización, y, si bien el trabajo se llevó ciertamente a efecto, los inventores no presentan estos ejemplos en el tiempo pasado para satisfacer las reglas aplicables.
- Simulaciones de toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente memoria se han comparado con tubos de Borda y con tubos de Borda modificados utilizando la «dinámica de fluidos computacional» (CFD). La CFD se utiliza para examinar y comparar las pautas de flujo que resultan de una configuración de tobera de inyección dada, tal y como se ilustra en las Figuras 14-17. Como se mostrará, las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en la presente invención pueden reducir la posibilidad de que se produzcan inestabilidades de flujo y la posibilidad de que se produzca un desgaste erosivo en la punta de la tobera. Los estudios de CFD se llevaron a cabo utilizando condiciones idénticas para cada configuración de tobera de inyección simulada, de tal manera que los flujos de aire y las caídas de presión eran los mismos para cada diseño.

#### Ejemplo comparativo 1

- 40 Haciendo referencia a las Figuras 14A-14E, se ilustran en ellas los resultados de CFD para una tobera de inyección del tipo de Borda convencional que se utiliza de manera generalizada para distribuidores de gas en lechos fluidificados. La tobera es de 22,8 cm (9 pulgadas) de longitud, tiene un diámetro interior en la salida de 3,8 cm (1,5 pulgadas), y el orificio de entrada es de 2,6 cm (1,04 pulgadas) de diámetro. La Figura 14A es una vista en corte transversal de una cabecera de distribución de gas, que muestra los vectores de velocidad de flujo dentro de la cabecera, el tubo de Borda y el lecho circundante de sólidos. Como era de esperar, se produce un chorro a alta velocidad a medida que el gas se acelera a través del orificio y diverge al interior del diámetro más grande del tubo de Borda, aguas abajo del orificio.

- La Figura 14B muestra los vectores de velocidad en un único plano que corta a través de una sección transversal de la cabecera y del tubo de Borda y sale fuera, al interior de un lecho de sólidos. El plano se ha orientado de manera que es paralelo a la dirección del flujo de gas general en la cabecera. Los resultados de CFD indican que el chorro de gas que sale del orificio se ve influenciado por el flujo de gas dentro de la cabecera. Es más, la CFD animada muestra que el chorro de gas no es estable, sino que oscila de un lado a otro dentro del tubo de Borda.

- Las Figuras 14C y 14D son capturas de imagen ampliadas del chorro de gas procedente del orificio, visto desde dos direcciones diferentes, siendo una de las vistas en la dirección del flujo de gas dentro de la cabecera, y siendo la segunda vista perpendicular a la dirección del flujo de gas. Queda claro de estas vistas que el chorro procedente del orificio se ve influenciado por el flujo de gas en la cabecera.

La Figura 14E es una vista a lo largo de un único plano que pasa por el centro del tubo de Borda, de tal manera que la orientación del plano es perpendicular a la dirección del flujo de gas dentro de la cabecera. Es sorprendente el

hallazgo de que la inestabilidad del chorro de gas persiste más allá del final de la tobera y hasta el seno del lecho de sólidos fluidificados, a pesar de que la tobera tenga la relación mínima recomendada entre longitud y diámetro (L/D) de 6,0. Es más, la inestabilidad del chorro de gas tiene realmente como resultado una velocidad axial negativa en una parte del tubo. La versión animada del estudio de CFD muestra que la región de velocidad negativa no es estable, sino que se mueve de un lado a otro dentro del tubo, tal como se ilustra en la Figura 15A, una vista desde un extremo de la entrada de la tobera, y en las Figuras 15B-15K, que contienen capturas de imagen secuenciales (a intervalos de tiempo iguales) tomadas del análisis de CFD de una tobera de inyección de tubo de Borda, que muestran el modo como el chorro de mueve de un lado a otro dentro del tubo de Borda. Queda claro de estos resultados que este diseño de tobera puede permitir que los sólidos fluyan hacia detrás al interior de la región de velocidad axial negativa, solo para ser recogidos y eyectados a alta velocidad cuando el chorro de gas se cambia de lado en el tubo. El comportamiento del chorro de gas inestable coincide con la configuración de desgaste que se observa en estos tipos de toberas tras uso durante un cierto tiempo.

#### Ejemplos comparativos 2-5

Haciendo referencia, a continuación, a las Figuras 16-20 (Ejemplos comparativos 1-5), se muestran en ellas vistas de captura de imagen a lo largo de un plano axial que pasa por diversas configuraciones de tubo de Borda de inyección modificado. Todas las toberas de inyección se han evaluado bajo las mismas condiciones de presión de entrada, con las aberturas de los orificios dimensionadas para proporcionar una caída de presión constante de 14.479 Pa (2,1 psi) a través del inyector. Cada tobera tiene una longitud de 22,8 cm (9 pulgadas) y tiene un diámetro interior de 3,8 cm (1,5 pulgadas) (L/D de 6).

Ejemplo comparativo 1 (repetición): La Figura 16A es el tubo de Borda convencional con un único orificio, tal y como se ha mostrado anteriormente en las Figuras 14 y 15 y que se muestra de nuevo aquí como referencia.

Ejemplo comparativo 2: En la Figura 17, el tubo de Borda incluye un orificio doble (cada uno de 0,6 cm (1/4 pulgada) de longitud y que tiene un diámetro de 2,6 cm (1,04 pulgadas)), con 1,9 m (0,75 pulgadas) de espacio entre los orificios. Los resultados de la CFD no indican ninguna mejora en la estabilidad del chorro ni en la presencia de regiones de velocidad axial negativa en el tubo de tobera, en comparación con un tubo de Borda convencional.

Ejemplo comparativo 3: En la Figura 18, el orificio incluye una corta sección en pendiente en el extremo de aguas abajo. De nuevo, los resultados de CFD no indican mejora alguna en la estabilidad del chorro ni en la presencia de regiones de velocidad axial negativa en el tubo de la tobera.

Ejemplo comparativo 4: En las Figuras 19A (vista de perfil) y 19B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera), el espesor del orificio se incrementa de 0,6 cm (1/4 pulgada) a 2,5 cm (1 pulgada) de longitud. Esta disposición muestra menos inestabilidad en los resultados de CFD. Sin embargo, la región de velocidad axial negativa sigue estando presente, si bien la posición de la región de velocidad negativa es más estable.

Ejemplo comparativo 5: En las Figuras 20A (vista de perfil) y 20B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera), la gruesa tobera incluye una larga región en pendiente en el extremo de salida del orificio. Esta disposición muestra un perfil de velocidades muy estable. Sin embargo, el chorro de gas no está centrado en el tubo y hay una zona relativamente grande, aunque estable, de velocidad axial negativa.

Los análisis de CFD de un tubo de Borda y de los tubos de Borda modificados de las Figuras 16A – 16E exhiben un flujo inestable y/o velocidad axial negativa, cada uno de los cuales es una característica de flujo indeseable de una tobera de inyección de gas.

#### Ejemplos 1-5

Haciendo referencia, a continuación, a las Figuras 23 y 24 (Ejemplos 3 y 4), se ilustran en ellas vistas de captura de imagen a lo largo de un plano axial a través de las toberas de inyección utilizadas en aparatos de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria. Todas las toberas de inyección se han evaluado bajo las mismas condiciones que las de los Ejemplos comparativos 1-5 (la misma presión de entrada, con las aberturas de los orificios dimensionadas para proporcionar una caída de presión constante de 14.479 Pa (2,1 psi) a través del inyector). Cada tobera tiene 22,8 cm (9 pulgadas) de longitud y tiene 3,8 cm (1,5 pulgadas) de diámetro interior (L/D de 6).

Ejemplo 1: Las Figuras 21A (vista de perfil) y 21B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera) ilustran un análisis de CFD de un orificio similar al ilustrado en las realizaciones descritas en relación con las Figuras 6A y 6B. el Ejemplo 1 no forma parte de la presente descripción. La configuración del orificio incluye una abertura anular que rodea un disco plano (1,9 cm (0,75 pulgadas) de diámetro y 0,6 cm (1/4 pulgada) de longitud), suspendido en el centro de la entrada de la tobera de inyección. Esta tobera tiene un perfil de velocidades muy estable. Sin embargo, el perfil de velocidades no está centrado en la salida. Adicionalmente, puede haber regiones localizadas en las que podría producirse un flujo de retorno, y la tobera puede resultar difícil de fabricar.

Ejemplo 2: Las Figuras 22A (vista de perfil) y 22B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera) ilustran un análisis de CFD de un orificio similar al que se ha ilustrado en la realización descrita con respecto a las Figuras 9A y

9B. El Ejemplo 2 no forma parte de la presente descripción. La configuración del orificio incluye un cono gradualmente estrechado, suspendido en la entrada de la tobera para formar la abertura del orificio anular. Esta tobera se comporta tan bien como la de las Figuras 21A y 21B desde el punto de vista de la estabilidad, pero muestra una mejora en tanto en cuanto el perfil de velocidades está centrado casi perfectamente en el tubo de la tobera. Sin embargo, la tobera puede resultar difícil de fabricar.

Ejemplo 3: Las Figuras 23A (vista de perfil) y 23B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera) ilustran un análisis de CFD de un orificio similar al que se ha ilustrado en la realización descrita con respecto a las Figuras 3A y 3B. La configuración de orificios incluye siete (7) orificios más pequeños para proporcionar la misma caída de presión que la disposición de orificio único. Esta disposición exhibe un perfil de velocidades bastante estable, y el perfil de velocidades en la salida de la tobera es muy uniforme. Existen algunas zonas de velocidad axial negativa, pero estas están confinadas a la mitad de entrada de la tobera y no llegan hasta la punta de la tobera.

Ejemplo 4: Las Figuras 24A (vista de perfil) y 24B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera) ilustran un análisis de CFD de un orificio similar al que se ha ilustrado en la realización descrita en relación con las Figuras 4A y 4B. La configuración de orificios incluye una disposición de múltiples orificios (7 agujeros) similar a la del Ejemplo 3, a excepción de que la placa de orificios delgada (0,6 cm (1/4 pulgada)) se ha reemplazado por una placa gruesa (2,5 cm (1 pulgada)). La inclusión de la placa de orificios gruesa mejora la estabilidad del perfil de velocidades, en comparación con el Ejemplo 3, al tiempo que muestra también un perfil de velocidades muy uniforme en la salida de la tobera de inyección. Es más, el punto en el que el perfil de velocidades se hace uniforme se produce más pronto que con la disposición de orificio delgado del Ejemplo 3.

Ejemplo 5: Las Figuras 25A (vista de perfil) y 25B (vista desde un extremo de la entrada de la tobera) ilustran un análisis de CFD de un orificio similar al que se ha ilustrado en la realización descrita en relación con las Figuras 2A y 2B. El Ejemplo 5 no forma parte de la presente descripción. La configuración de orificios incluye una realización de múltiples orificios con ocho (8) agujeros que han sido trasladados al lado del tubo, en lugar de estar colocados en la placa trasera. No hay aberturas en la placa trasera. De nuevo, el área de los orificios se ha dimensionado para proporcionar la misma caída de presión total en la tobera de 14.479 Pa (2,1 psi), como se mantiene para todas las disposiciones previas. Los estudios de CFD muestran que esta disposición tiene como resultado un perfil de velocidades uniforme y estable. En el resultado animado de CFD, no se ha detectado casi ningún movimiento en el perfil de velocidades. Es más, el diseño de la tobera es fácil de fabricar con respecto al tubo de Borda convencional del Ejemplo comparativo 1.

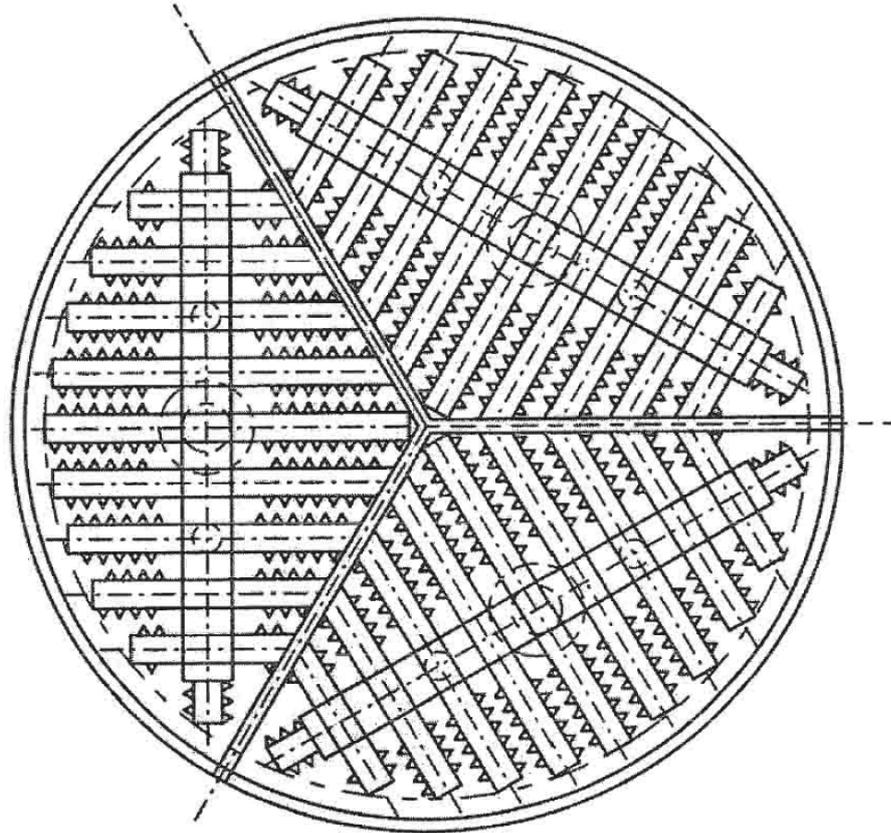
Ejemplo 6: Las Figuras 26-31 comparan análisis de CFD de un orificio similar al que se ha ilustrado en las Figuras 2A y 2B, con un análisis de CFD del tubo de Borda convencional del Ejemplo comparativo 1 (ilustrado en la Figura 16 y repetido en las Figuras 27, 20 y 31 por conveniencia, de manera que las 27A, 29A y 31A representan una vista de perfil, y las 27B, 29B y 31B representan una vista desde un extremo de la entrada de la tobera). Las configuraciones de orificios incluyen disposiciones de múltiples orificios con ocho (8) agujeros (Figuras 26A (vista desde un extremo) y 26B (vista de perfil de la entrada de la tobera)), seis (6) agujeros (Figuras 28A (vista desde un extremo) y 28B (vista de perfil de la entrada de la tobera)), y cuatro (4) agujeros (Figuras 30A (vista desde un extremo) y 30B (vista de perfil de la entrada de la tobera)), que se han trasladado al lado del tubo, en lugar de colocarse en la placa trasera. No hay aberturas en la placa trasera. De nuevo, el área de los orificios se ha dimensionado para proporcionar la misma caída de presión total en la tobera de 14.479 Pa (2,1 psi), según se mantiene para todas las realizaciones previas. Los estudios de CFD muestran que estas disposiciones dan como resultado perfiles de velocidades uniformes y estables (con una oscilación reducida a lo largo del tiempo), en comparación con el tubo de Borda convencional. Los estudios de CFD también muestran que cambiando de ocho (8) a seis (6) y a cuatro (4) aberturas, se mejoraba la uniformidad en la velocidad a la salida.

Como se ha descrito anteriormente, las toberas de inyección de acuerdo con las realizaciones divulgadas en esta memoria pueden, ventajosamente, hacer posible uno o más de entre un perfil de velocidades estable, una velocidad uniforme en la salida de la tobera de inyección, y regiones que presentan una velocidad de flujo negativa limitadas. De forma ventajosa, tales toberas de inyección pueden dar como resultado uno o más de entre una erosión reducida, una degradación del catalizador reducida y una distribución del gas mejorada.

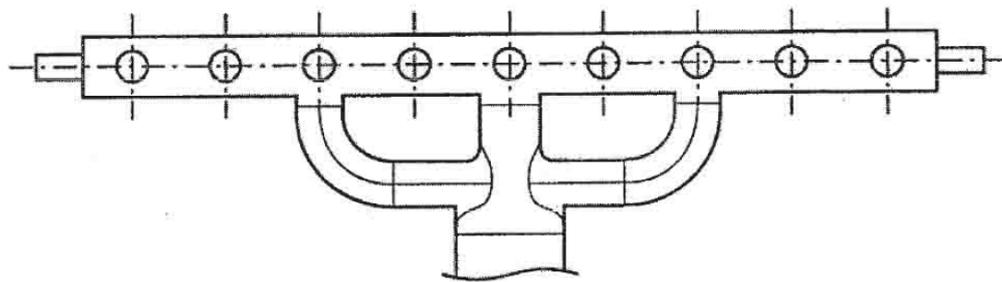
Si bien la divulgación incluye un número limitado de realizaciones, los expertos de la técnica, con el beneficio de esta divulgación, apreciarán que pueden contemplarse otras realizaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un aparato de distribución de gas (90), que comprende:  
un colector de distribución (93) en comunicación fluida con una fuente de aporte de gas (94) y una pluralidad de toberas de inyección (10);
- 5 en el que cada una de la pluralidad de toberas de inyección (10) comprende un tubo (12) que tiene una entrada de fluido (24), una salida de fluido (26) y una longitud axial,  
en el que la entrada de fluido (24) de al menos una de la pluralidad de toberas de inyección (10) está dispuesta dentro del colector de distribución (93), y
- 10 en el que la entrada de fluido (24) comprende una pluralidad de orificios de restricción de flujo (27) distribuidos axialmente a través de una placa de entrada (28).
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que la salida de fluido (26) está próxima a una circunferencia exterior del colector de distribución (93).
3. El aparato de la reivindicación 1, en el que la salida de fluido (26) es externa a una circunferencia exterior del colector de distribución (93).
- 15 4. El aparato de la reivindicación 1, en el que una relación de un diámetro interior de la salida de fluido (26) a un diámetro de al menos uno de los orificios de restricción de flujo (27) es mayor que 2:1.
5. El aparato de la reivindicación 1, en el que la longitud axial del tubo (12) es al menos 5 veces el diámetro interno de la salida de fluido (26).
- 20 6. El aparato de la reivindicación 1, en el que la pluralidad de orificios de restricción de flujo (27) están alineados axialmente con el tubo (12).
7. El aparato de la reivindicación 1, en el que una relación de una longitud axial del tubo (12) a una longitud axial de al menos uno de la pluralidad de orificios de restricción de flujo (27) es al menos 4:1.
8. Un recipiente que comprende el aparato de la reivindicación 1 dispuesto dentro del recipiente.
- 25 9. El recipiente de la reivindicación 8, en el que el recipiente se selecciona del grupo que consiste en un regenerador de catalizador gastado, un recipiente de reacción de polimerización y gasificación de carbón.



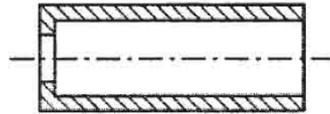
**FIG. 1A**



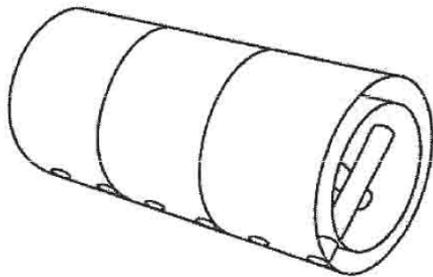
**FIG. 1B**



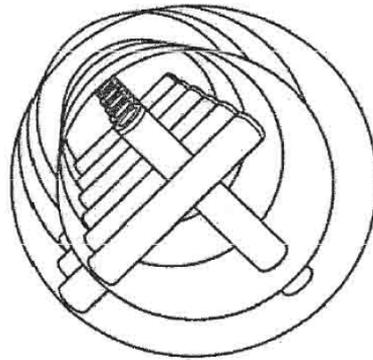
**FIG. 1C**



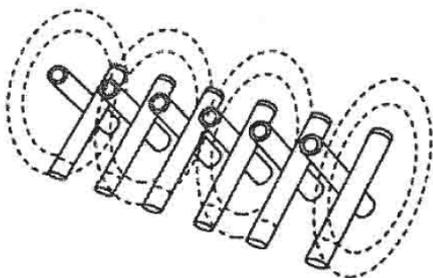
**FIG. 1D**



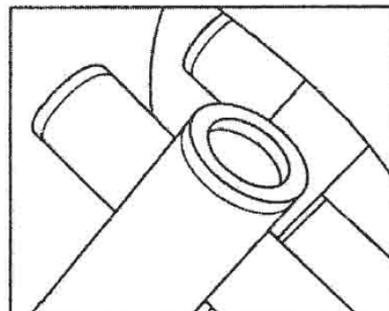
**FIG. 1E**



**FIG. 1F**



**FIG. 1G**



**FIG. 1H**

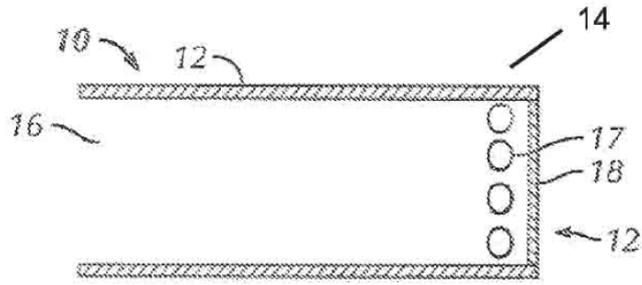


FIG. 2A

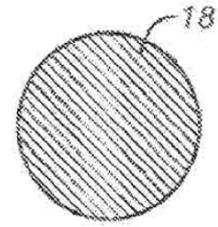


FIG. 2B

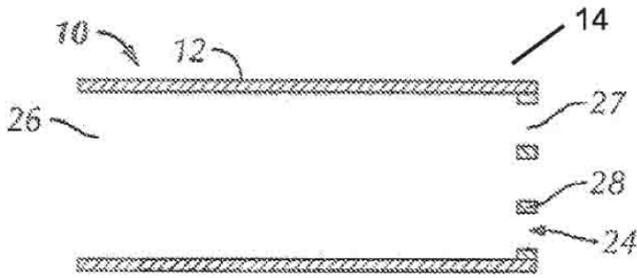


FIG. 3A

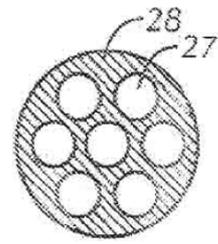


FIG. 3B

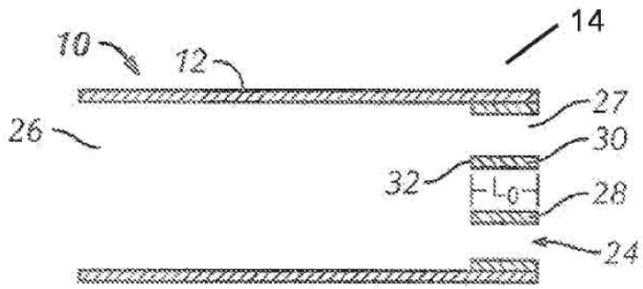


FIG. 4A

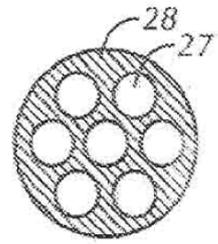


FIG. 4B

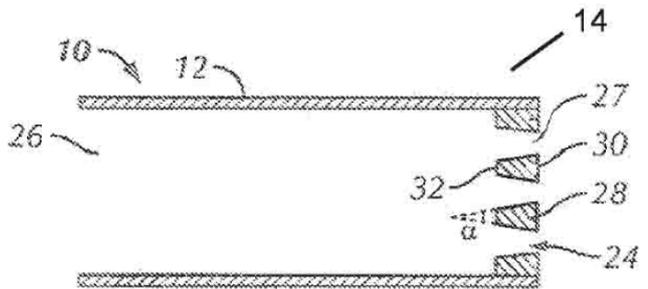


FIG. 5A

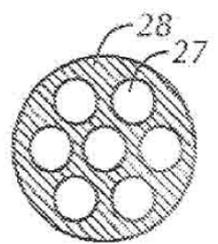


FIG. 5B

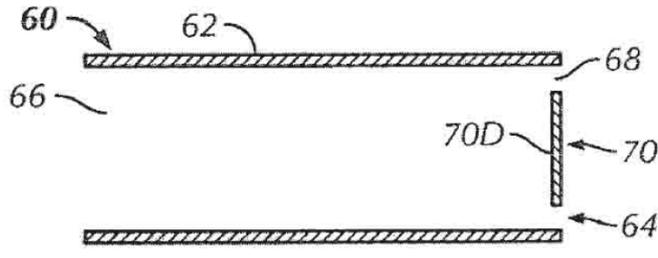


FIG. 6A

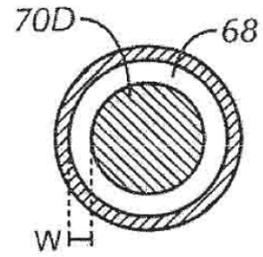


FIG. 6B

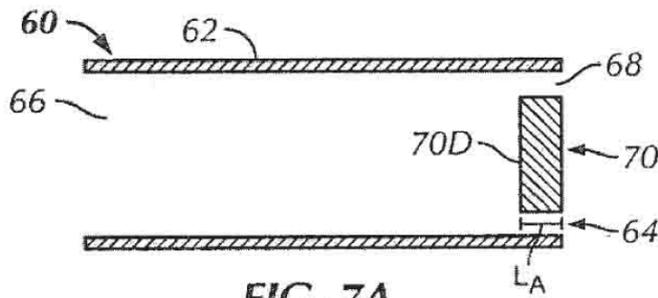


FIG. 7A

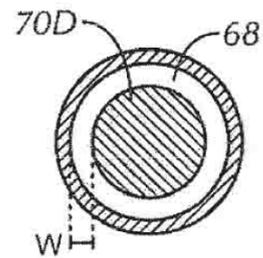


FIG. 7B

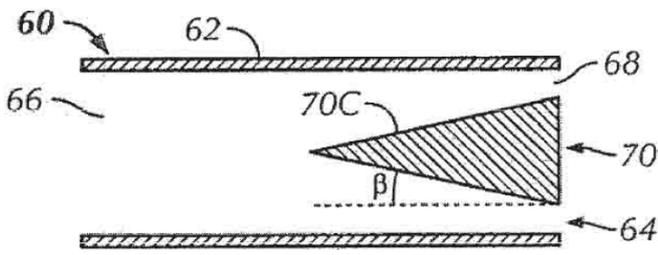


FIG. 8A

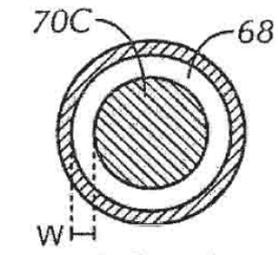


FIG. 8B

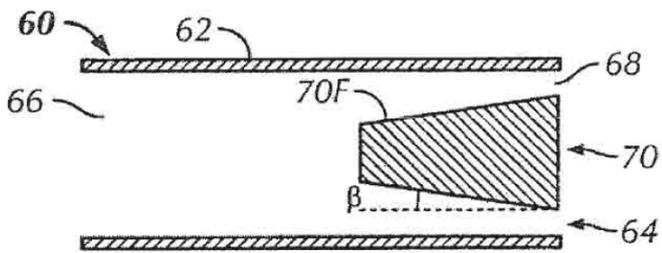


FIG. 9A

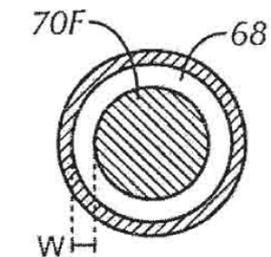


FIG. 9B

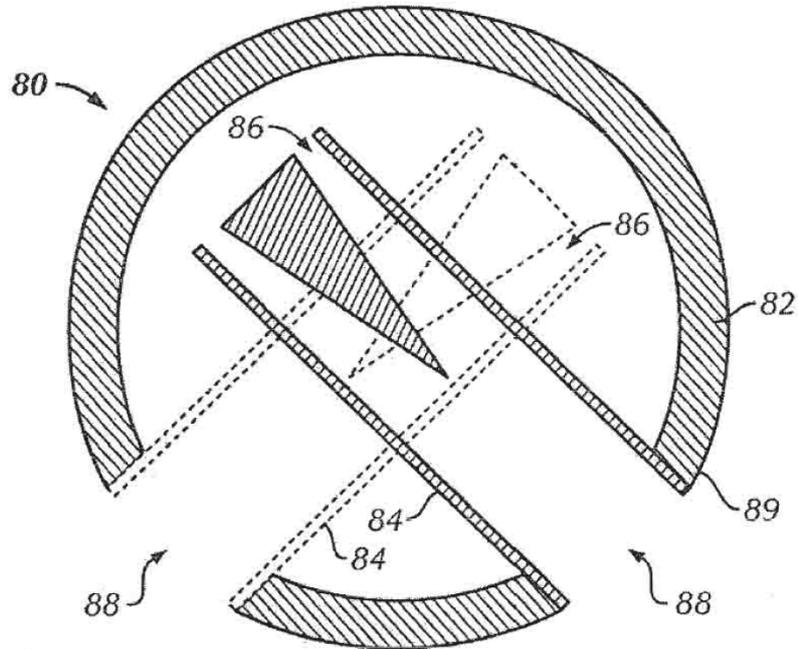


FIG. 10

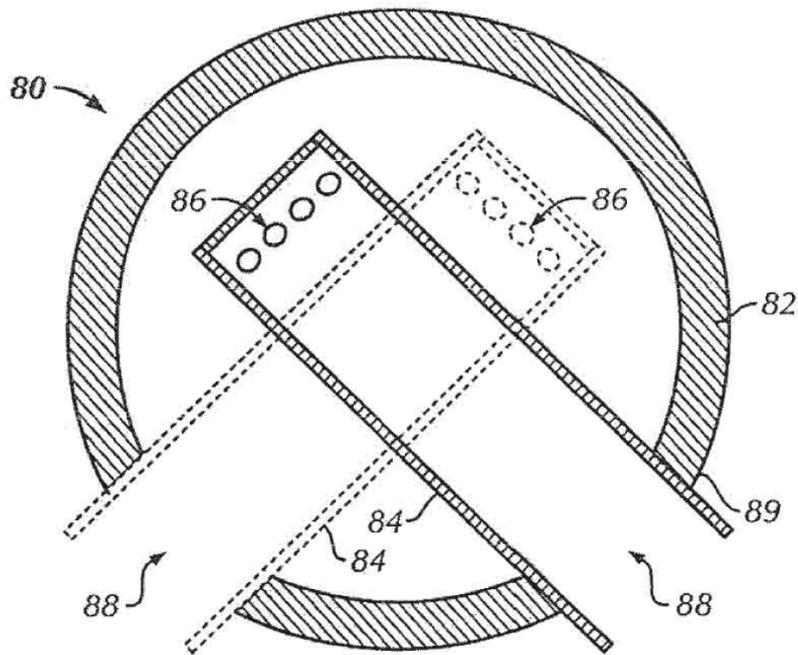


FIG. 11

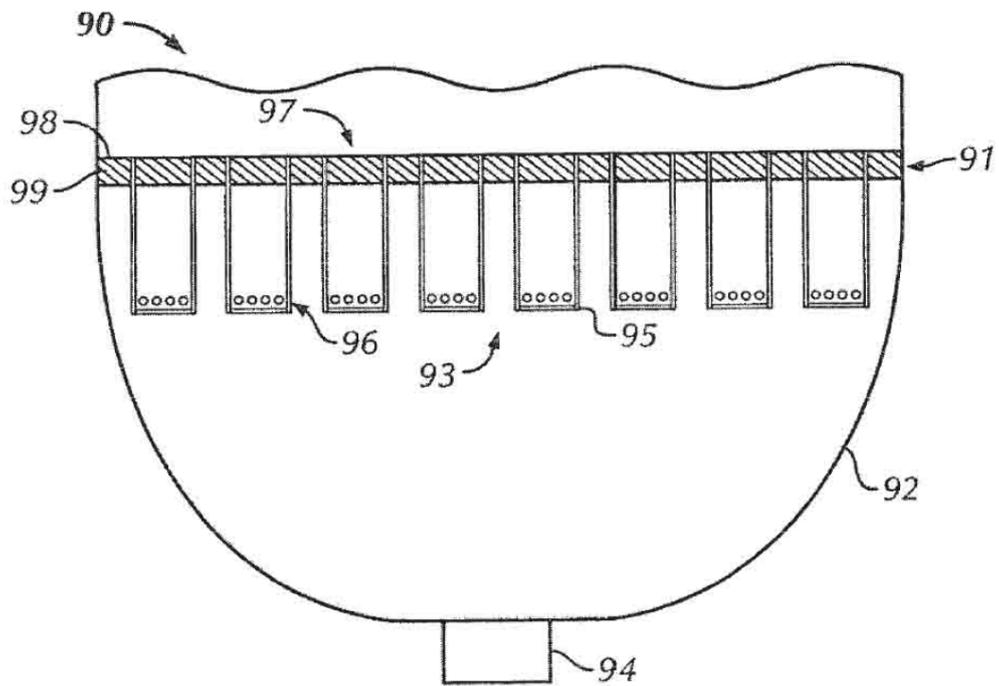


FIG. 12

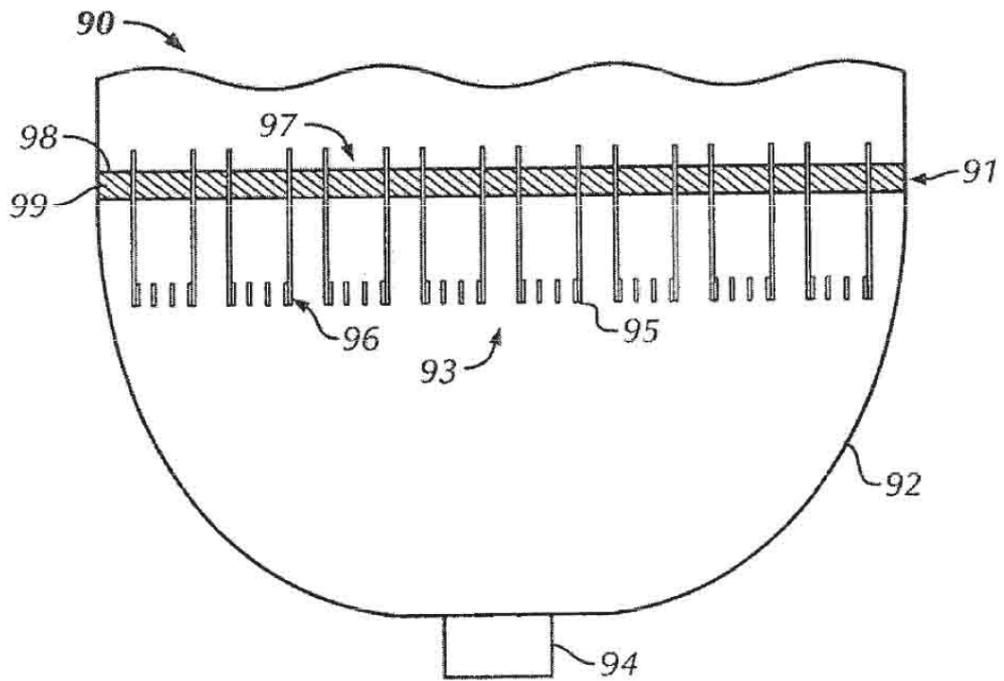
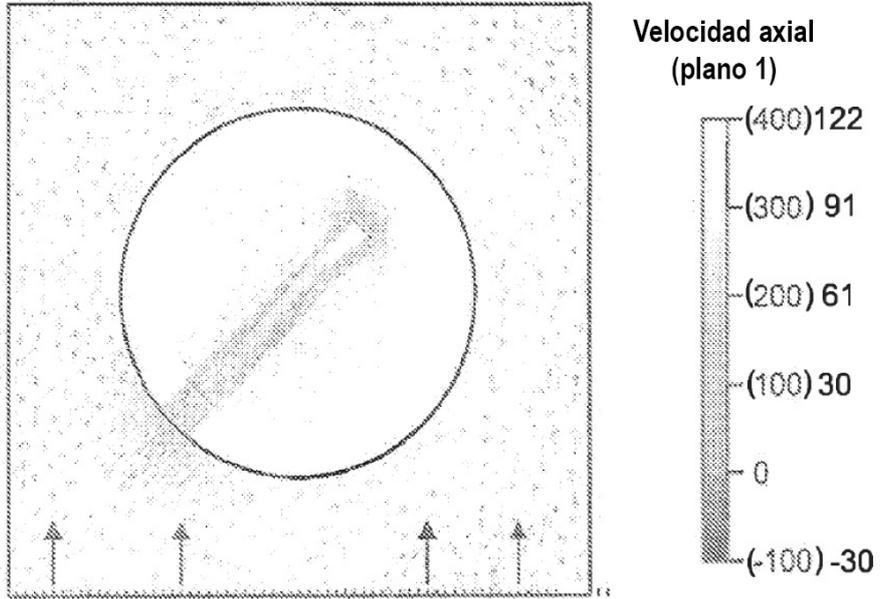


FIG. 13



Catalizador + aire  
Velocidad superficial  
1,2 m/s (4 ft/sec) (celda representativa)

FIG. 14A

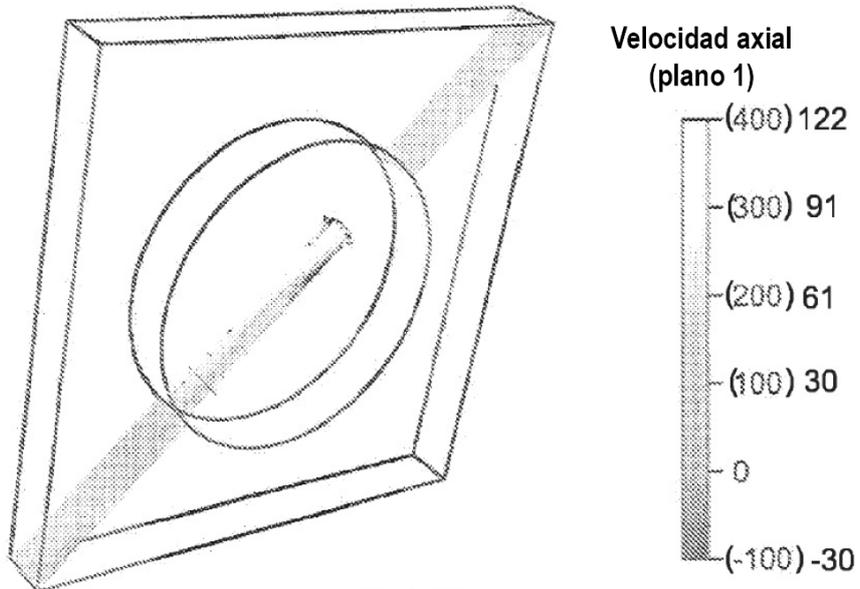
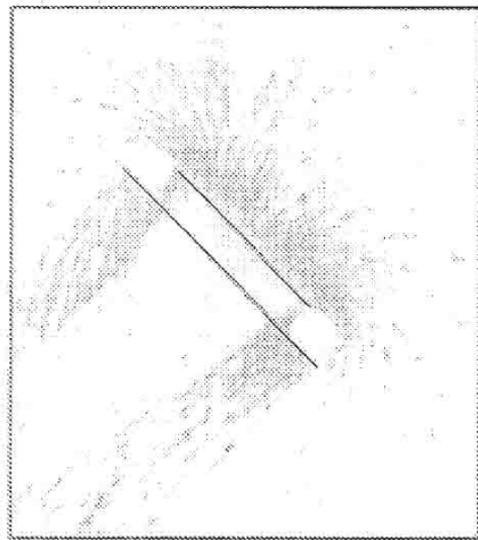
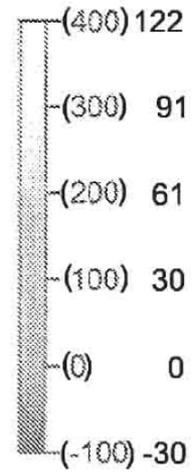


FIG. 14B

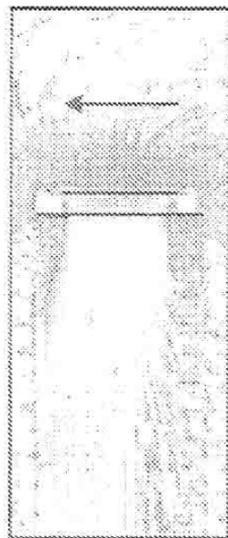


Velocidad axial  
(plano 1)

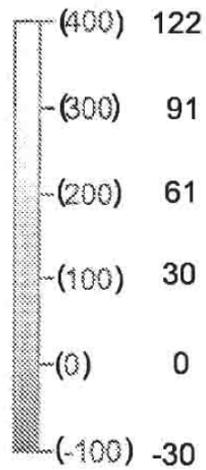


Mirando por la rama de cabecera,  
en la dirección del flujo de aire

FIG. 14C



Velocidad axial  
(plano 1)



Velocidad de rama  
10,7 m/s (35 ft/sec)

FIG. 14D

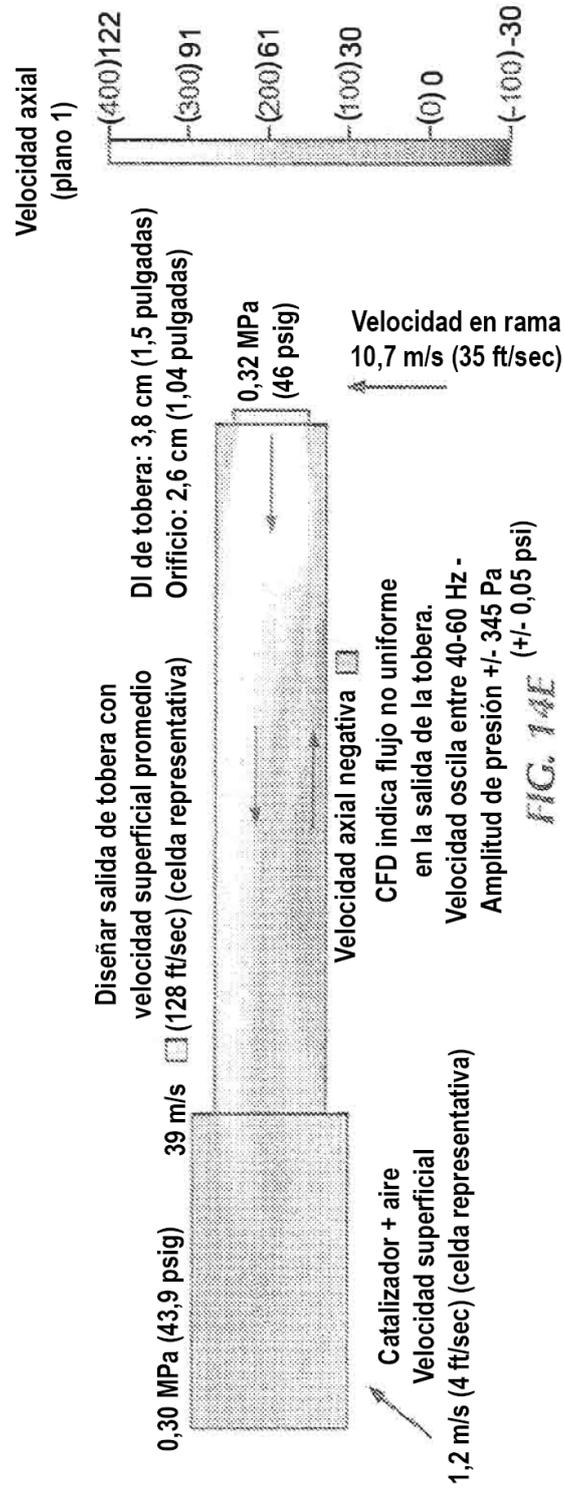


FIG. 14E



FIG. 15A

