

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 528 136**

51 Int. Cl.:

B01F 5/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.01.2012 E 12700580 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.10.2014 EP 2663391**

54 Título: **Conjunto de mezclador estático**

30 Prioridad:

15.01.2011 GB 201100673

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

04.02.2015

73 Titular/es:

**STATIFLO INTERNATIONAL LIMITED (100.0%)
Wood Street Mill Wood Street
Macclesfield Cheshire SK11 6JQ, GB**

72 Inventor/es:

BARON, JOHN MICHAEL

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 528 136 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

Conjunto de mezclador estático

5 **Campo**

La presente invención se refiere a métodos y aparatos para mezclar un fluido o fluidos que fluyen a través de una tubería, o para mezclar uno o más ingredientes en dicho fluido, mediante un conjunto de mezclador estático situado en, o que forma parte de la tubería. El conjunto de mezclador estático de la invención es particularmente útil para la
10
homogeneización de fluidos de baja viscosidad tal como gases o líquidos de baja viscosidad y puede utilizarse para la homogeneización de soluciones o dispersiones o para proporcionar un mezclado sustancialmente uniforme de un componente o ingrediente dosificado en el fluido que fluye a través de la tubería en, o aguas arriba, del conjunto de mezclador estático de la invención.

15 **Antecedentes**

Los conjuntos de mezcladores estáticos son conocidos en la técnica. Se han utilizado muchos enfoques en el diseño de conjuntos de mezclador estático dependiendo de grado deseado de mezclado requerido y de la caída o pérdida de presión que puede tolerarse en la disposición del mezclador estático para un caudal volumétrico requerido a
20
través del conjunto de mezclador estático. Generalmente, cuanto mayor es el caudal volumétrico a través de un conjunto de mezclador estático, mayor será la caída de presión requerida en el conjunto para alcanzar el caudal deseado.

Es deseable un alto grado de mezclado en combinación con una baja caída de la presión en el conjunto de
25
mezclador estático y un elevado caudal volumétrico. Normalmente, se utilizan los parámetros no dimensionales, tal como el coeficiente de pérdida del sistema o el factor de fricción de Darcy, para evaluar la pérdida de carga o caída de presión de un caudal volumétrico en particular. Es deseable que estos valores sean lo más bajos posible mientras el conjunto de mezclador estático proporciona un mezclado homogéneo. Mezclado homogéneo quiere decir, por ejemplo, que la concentración de uno o más ingredientes introducidos en una o más ubicaciones aguas arriba o
30
aguas abajo del conjunto de mezclador estático se distribuye de forma uniforme tanto axial como radialmente en una ubicación aguas abajo del conjunto de mezclador estático. Por lo que, por ejemplo, si el mezclador estático logra un mezclado homogéneo a una distancia L aguas abajo del conjunto de mezclador estático, entonces cualquier elemento del área transversal en L mostrará sustancialmente la misma concentración del ingrediente, por ejemplo dentro del +/-1 % de la concentración media del ingrediente, y este también será en el caso en cualquier sección
35
transversal aguas abajo de L. En la industria se utilizan los valores de tiempo promedio del coeficiente de variación de la concentración del ingrediente como medida de homogeneidad del mezclado. Se considera que un valor de 0,05 o menos indica un buen mezclado. Los detalles de la medida de este parámetro se exponen a continuación.

También es deseable la utilización de materiales y técnicas de construcción simples en la fabricación del conjunto de
40
mezclador estático, de tal manera que no se eleven los costes de fabricación. Idealmente, el mezclado requerido se lograría con unos pocos elementos de mezclado sencillos, que conforman el conjunto de mezclador estático dentro de una tubería a través de la cual fluye el fluido. Por definición, los elementos de mezclado se fijan de forma rígida dentro de la tubería (o dentro de una inserción que se ajusta en una tubería), siendo esta una característica fundamental que define un conjunto de mezclador estático (es decir, se requieren partes mecánicas que no se
45
muevan, el mezclado se induce por el flujo de un fluido a través del conjunto de mezclador estático).

Los elementos de mezclado de los conjuntos de mezclador estático de la técnica anterior normalmente son obstáculos alrededor de los cuales se restringe el flujo del fluido que fluye a lo largo de una tubería. Según pasa el
50
flujo alrededor de los obstáculos, se pueden iniciar vórtices en los bordes de los obstáculos y éstos se separarán de los obstáculos en intervalos de tiempo regulares. Según avanzan los vórtices a lo largo de la tubería aguas abajo de los obstáculos, el aditivo que se va a mezclar en el fluido puede incluirse en los vórtices y redistribuirse así en todo el fluido por el flujo vorticial. No obstante, la periodicidad de separación de los vórtices puede llevar a una falta de homogeneidad axial en la distribución del aditivo mezclado. Un conjunto de mezclador estático se desvela en la Patente de Estados Unidos Nº 5.839.828, que desvela una disposición de mezclador estático que comprende una
55
brida circunferencial que se extiende hacia dentro desde una pared interior de una tubería, teniendo la brida al menos un par de aletas opuestas que se extienden hacia dentro desde el mismo y que se inclinan en la dirección del flujo del fluido.

La Patente de Estados Unidos Nº 7.316.503 desvela un mezclador estático para fluidos de baja viscosidad que
60
contiene dispositivos integrados colocados en una tubería que conduce el fluido. Se dispone una pluralidad de obstáculos de flujo para definir restricciones entre los mismos, para el flujo de un fluido viscoso a través de las mismas y para transferir un flujo de un primer orden al flujo de un fluido viscoso que pasa a través de las restricciones, incluyendo esferas vorticiales que separan periódicamente los obstáculos, produciendo las mismas falta de homogeneidad radial y axial en forma de diferencias de concentración axial en el flujo del fluido viscoso.

65

Cada obstáculo del flujo principal de esta técnica anterior tiene un área modificada geoméricamente en al menos una superficie y un borde del mismo para inducir flujos locales, de un segundo orden, en el flujo del fluido viscoso que pasa por el mismo de tal manera que el flujo local de segundo orden se superpone al flujo de primer orden para compensar la falta de homogeneidad radial y axial en el fluido viscoso, producida por el flujo de primer orden. Los obstáculos de flujo desvelados en el documento US 7.316.503 tienen una forma compleja y pueden requerir múltiples etapas de fabricación para su formación. Otros mezcladores de la técnica anterior se describen en el documento EP-A-2098697 y el documento US-A-5800059.

A pesar de que existen varias disposiciones de mezcladores estáticos conocidas, existe una necesidad de desarrollo de mezcladores de este tipo con una mayor eficiencia de mezclado y homogeneidad del fluido mezclado en combinación con una menor longitud del conjunto de mezclador estático para facilitar la incorporación del conjunto de mezclador estático en una planta, y con una menor caída de presión en todo el conjunto de mezclador estático para un caudal volumétrico deseado, para reducir la resistencia al flujo y los requisitos de bombeo de la planta en la que se va a incorporar el mezclador estático.

Sumario de la invención

Es un objetivo de la presente invención, entre otros, abordar sustancialmente uno o más de los problemas de la técnica anterior. Es un objetivo de algunas realizaciones particulares de la presente invención proporcionar un aparato mejorado para proporcionar un mezclado homogéneo de un fluido que fluye a través del mismo, con una baja relación de caída de presión con respecto al caudal volumétrico en todo el aparato.

Un primer aspecto de la presente invención proporciona un conjunto de mezclador estático que comprende un tubo que tiene un eje central con tres pares de solapas que se extienden hacia dentro desde una pared interior del tubo, colocadas de forma simétrica en torno a un plano de simetría que pasa a través del eje central, en el que las primeras solapas centrales se colocan para formar una proa a lo largo del plano de simetría y que apunta aguas arriba, flanqueando los pares de solapas, segundo y tercero, las primeras solapas y estando colocados para solaparse mutuamente de tal manera que se evite el flujo libre de fluido aguas abajo paralelo al eje central del tubo en una región anular periférica limitada del tubo, a la vez que se permite el flujo no obstruido en una región de flujo no obstruido del tubo, comprendiendo la región de flujo no obstruido una región central del tubo en torno al eje central y que se extiende a una región periférica del tubo opuesta a la proa.

Un segundo aspecto de la invención proporciona un aparato de procesado de fluidos que comprende una tubería colocada para el flujo de un fluido a través de la misma y un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención, dispuesto de forma operativa en el mismo.

Un tercer aspecto de la invención proporciona un método de mezclado de un ingrediente en un fluido, comprendiendo el método hacer fluir el fluido a través de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención y e insertar el ingrediente que se va a mezclar en el fluido en una ubicación aguas arriba del conjunto de mezclador estático.

Descripción detallada de la invención

En la presente memoria descriptiva, el término “comprende” o “que comprende” significa que incluye el componente o componentes especificados pero no excluye la presencia de otros. El término “consistiendo esencialmente en” o “que consiste esencialmente en” significa que incluye los componentes especificados pero excluye otros componentes excepto los materiales presentes como impurezas, materiales cuya presencia es inevitable como resultado de procesos utilizados para proporcionar los componentes y componentes añadidos con un fin diferente al de alcanzar el efecto técnico de la invención. Cuando sea apropiado, el uso del término “comprende” o “que comprende” también puede incluir el significado de “consistiendo esencialmente en” o “que consiste esencialmente en”.

El conjunto de mezclador estático de la invención está concebido y es adecuado para su uso en condiciones de flujo turbulento, por ejemplo con un número de Reynolds de 2000 o más, tal como 4000 o más. (Número de Reynolds $Re = \rho U D / \mu$ en el que ρ es densidad, U es velocidad de flujo en masa, D es el diámetro del canal y μ es la viscosidad dinámica del fluido).

El primer aspecto de la invención proporciona un conjunto de mezclador estático que comprende un tubo que tiene un eje central con tres pares de solapas que se extienden hacia dentro desde una pared interior del tubo, colocadas simétricamente en torno a un plano de simetría que pasa a través del eje central.

Las primeras solapas, o solapas centrales, se colocan para formar una proa a lo largo de un plano de simetría que pasa a través del eje central del tubo, y la proa o el saliente en forma de V se coloca para apuntar aguas arriba en relación a la dirección de flujo del fluido prevista a través del mezclador estático.

El flujo del fluido que entra en el conjunto de mezclador estático será un flujo turbulento sustancialmente lineal orientado en la dirección del flujo en masa paralela al eje central del tubo.

5 Los pares de solapas segundo y tercero se colocan de manera que flanquean las primeras solapas y se superponen mutuamente entre sí y con las solapas centrales, de tal manera que se evita el flujo libre de fluido aguas abajo, paralelo al eje central del tubo en una región anular periférica limitada del tubo.

10 En otras palabras, visto desde un punto de observación a lo largo del eje central y mirando el conjunto de mezclador estático en una dirección aguas abajo, los bordes delanteros de las segundas solapas están enfrente de los bordes traseros de las primeras solapas y los bordes delanteros de las terceras solapas están enfrente de los bordes traseros de las segundas solapas, de tal manera que se fuerce el fluido a fluir por canales fuera del eje formados entre las primeras y segundas solapas y las segundas y terceras solapas en una región anular periférica limitada del tubo.

15 El flujo no obstruido se permite en una región de flujo no obstruido del tubo, comprendiendo la región de flujo no obstruido una región central del tubo en torno al eje central. Esta se extiende a una región periférica del tubo opuesta a la proa, por ejemplo en la pared interior de un tubo cerrado. Las solapas no están presentes en esta región del flujo no obstruido y por lo tanto el fluido puede pasar libremente en una dirección paralela al eje central.

20 Sin pretender limitarse a ninguna teoría, se estima que las solapas fuerzan al fluido a fluir hacia fuera a lo largo de la periferia de las paredes interiores desde la proa o saliente en forma de V central de las primeras solapas hacia la región periférica no obstruida opuesta a la proa central. Además el fluido puede derramarse fuera de los canales sobre los bordes interiores de las solapas y en la región central de flujo no obstruido del tubo.

25 Se estima que las combinaciones del flujo periférico, flujo vertido y flujo axial en la región de flujo no obstruido del tubo proporcionan características de mezclado excelentes para el conjunto de mezclador estático de la invención sin provocar caídas de presión elevadas en el conjunto para caudales volumétricos aceptables. El conjunto de mezclador estático de la invención puede utilizarse para la homogeneización de fluido o de las características de un fluido que fluye a través del mismo. Por ejemplo, en el caso del flujo de un fluido con una distribución no uniforme de la temperatura aguas arriba del conjunto de mezclador estático de la invención, esta puede homogeneizarse pasando a través del conjunto de mezclador estático.

35 La invención también es útil para la incorporación homogénea de ingredientes en el flujo de un fluido. Los ingredientes insertados en la región periférica no obstruida opuesta a la proa se homogeneizan rápidamente en el flujo del fluido. "Rápidamente" significa que el mezclado homogéneo se logra a una distancia relativamente corta aguas abajo del conjunto de mezclador estático. En la técnica anterior, pueden emplearse los métodos de inyección para introducir un ingrediente secundario como "corriente secundaria" en el flujo en masa principal ("corriente principal") del material que fluye. Normalmente, dichos métodos requieren tuberías de inyección, para llevar la corriente secundaria al cuerpo de la corriente principal, así como deflectores para proporcionar un mezclado adecuado. Dichos componentes adicionales, necesarios para la homogeneidad del mezclado dificultan la corriente principal y aumentan así la caída de presión en todo el mezclador. Dichos componentes también pueden ser propensos a romperse y pueden sufrir la acumulación de sólidos o fibras depositadas por el flujo. La disposición de la presente invención, con sus solapas internas inclinadas, desvía la corriente principal a la corriente secundaria en las paredes del mezclador en la región periférica no obstruida, eliminando así la necesidad de tuberías de inyección, o deflectores que llevarían a una excesiva caída de la presión que se extendería en la corriente principal. Esto reduce el riesgo de rotura y reduce la probabilidad de deposición en las superficies internas del mezclador.

50 El primer aspecto de la invención se expondrá a continuación con mayor detalle en relación al mezclador estático en forma de un tubo sustancialmente cilíndrico.

La pared cilíndrica interior del conjunto de mezclador estático puede extenderse entre las caras aguas arriba y aguas abajo, siendo cada una de las caras sustancialmente normal a un eje central del tubo y al plano de simetría que pasa a través del eje central y un diámetro del tubo puede definir un primer y segundo eje largo, cada uno de los cuales es paralelo al eje central y está situado donde el plano de simetría se encuentra con la pared interior del tubo.

55 El plano de simetría y los ejes central y largo, tal y como se hace referencia a los mismos en la presente descripción, son virtuales o hipotéticos, y se utilizan únicamente como referencia para ayudar en la descripción de la configuración y colocación del aparato de la invención. No es necesaria la presencia física o manifestación de la presencia de estas características.

60 Cualquier ubicación dentro de o en la pared cilíndrica interior puede definirse por las coordenadas cilíndricas r , t , z , donde t es el ángulo delimitado en el eje central entre el primer eje largo y la ubicación, en un plano de medición, que pasa a través de la ubicación y normal al eje central, en la que r es la distancia desde el eje central a la ubicación, medida en el plano de medición y en la que z es la distancia, medida a lo largo del eje central, entre el punto donde el plano aguas arriba intersecta el eje central y el punto donde el eje central intersecta el plano de medición. Esto se muestra esquemáticamente en la Figura 9. En la Figura 9, la cara aguas arriba 4 se muestra situada normal al eje central 20 con el primer eje largo 21, también mostrado, pasando a través de la intersección

entre el plano de simetría 23 y la cara aguas arriba 4.

Las coordenadas del punto X mostradas en la Figura se definen de la siguiente manera. El valor de r se establece mediante el radio r del plano circular 30, pasando su circunferencia a través del punto X y situándose normal al eje central 20. El valor de z es la distancia entre la intersección de la cara aguas arriba 4 y la intersección del plano 30 y el eje central 20, medida a lo largo del eje central 20. El valor del ángulo t se mide entre una línea que se extiende entre la intersección del plano 30 y el eje central 20 y el primer eje largo 21 situado normal a estos ejes y paralelo al plano 30, y una línea en el plano circular 30 que pasa a través del eje central 20 y el punto X.

5
10 Por lo tanto, $r = R$ en la pared cilíndrica interior, $z = Z$ en el plano aguas abajo y $T = 0^\circ$ y $r = R$ en el primer eje largo y $T = 180^\circ$ y $r = R$ en el segundo eje largo.

15 Cada solapa del primer, segundo y tercer par de solapas puede extenderse hacia dentro desde un borde de unión en la pared interior del tubo y cada miembro de cada par de solapas se sitúa sustancialmente simétrico con respecto al otro miembro de su par respectivo en el lado opuesto del plano de simetría.

20 Cada solapa puede tener un borde delantero que se extiende hacia dentro desde la pared interior en una ubicación aguas arriba, y un borde trasero que se extiende hacia dentro desde la pared interior en una ubicación aguas abajo. El borde de unión tiene una longitud que conecta su solapa respectiva a la pared interior entre las ubicaciones aguas arriba y aguas abajo y un eje de desviación opuesto al borde de unión.

25 La ubicación aguas arriba de las dos primeras solapas puede estar en, o cerca de la cara aguas arriba, en $r, t, z = R, 0, Z_{u1}$ con los bordes delanteros de las primeras solapas unidos para formar una proa que se extiende hacia dentro desde la ubicación aguas arriba de las primeras solapas. Las ubicaciones aguas abajo de las primeras solapas se sitúan en lados opuestos del plano de simetría en $r, t, z = R, T_{d1}, Z_{d1}$ y $R, -T_{d1}, Z_{d1}$.

30 Las ubicaciones aguas arriba de las segundas solapas pueden estar en o cerca de la cara aguas arriba, en lados opuestos del plano de simetría, en $r, t, z = R, T_{u2}, Z_{u2}$ y $R, -T_{u1}, Z_{u2}$ con las ubicaciones aguas abajo de las segundas solapas en $r, t, z = R, T_{d2}, Z_{d2}$ y $r, t, z = R, -T_{d2}, Z_{d2}$.

Las ubicaciones aguas arriba de las terceras solapas pueden estar en la cara aguas arriba, en lados opuestos del plano de simetría, en $r, t, z = R, T_{u3}, Z_{u3}$ y $R, -T_{u3}$, con las ubicaciones aguas abajo de las terceras solapas en $r, t, z = R, T_{d3}, Z_{d3}$ y $R, -T_{d3}, Z_{d3}$.

35 Específicamente, puede ocurrir que $0 \leq Z_{u1} \leq Z_{u2} \leq Z_{u3}$, lo que significa que las ubicaciones aguas arriba de las solapas primera, segunda y tercera están todas en la misma posición axial, o que los bordes delanteros de las segundas solapas están aguas abajo de los bordes delanteros de las primeras solapas y que los bordes delanteros de las terceras solapas están nivelados con o aguas abajo de los bordes delanteros de las segundas solapas.

40 Adecuadamente, $Z_{d1} > Z_{u1}$, $Z_{d2} > Z_{u2}$ y $Z_{d3} > Z_{u3}$, y $T_{u2} < T_{d2}$, $T_{u3} < T_{d3}$.

45 Esto significa que los bordes aguas abajo de cada solapa están aguas abajo de los bordes aguas arriba de la solapa respectiva, y las solapas están inclinadas para formar un saliente en forma de V con solapas exteriores laterales. De esta forma las solapas se colocan para formar canales entre las solapas adyacentes primeras y segundas y segundas y terceras, estando colocados los canales para dirigir el flujo del líquido periféricamente hacia fuera a lo largo de la pared interior desde la proa central formada entre las primeras solapas, desviando el flujo en masa del fluido desde su dirección original paralela al eje central. Además, con $T_{u2} < T_{d1}$, $T_{u3} < T_{d2}$, no queda ningún hueco entre las solapas que pudiera permitir que el paso de fluido libre que fluye paralelo al eje central pase entre el borde aguas abajo de la primera solapa y el borde aguas arriba de la segunda solapa, o el borde aguas abajo de la segunda solapa y el borde aguas arriba de la tercera solapa.

50 Además, adecuadamente, Z_{d1} , Z_{d2} y Z_{d3} son menores o iguales a Z. Esto significa que las ubicaciones aguas abajo de las solapas no se proyectan más allá de la cara aguas abajo del conjunto de mezclador estático.

55 La longitud del borde de unión de cada solapa, medida a lo largo de una línea recta entre las ubicaciones aguas arriba y aguas abajo de la solapa respectiva, es adecuado de $0,2 R$ a $3 R$, preferentemente de $0,3 R$ a $2,5 R$.

60 El valor de r para cualquier punto a lo largo de cada borde de desviación de cada solapa es adecuadamente $0,4 R$ o más, de tal manera que una región central de la tubería que se extiende al menos $0,4 R$ hacia fuera desde el eje central proporciona una trayectoria libre de flujo de fluido. Este valor r mínimo para el borde de desviación de cada solapa puede ser $0,5 R$ o más, incluso $0,6 R$ o más. Este define una región central del mezclador estático de la invención en la que es posible el flujo no obstruido de fluido paralelo al eje central, ya que las solapas no se proyectan hacia dentro desde la pared cilíndrica interior en esta región.

65 Los pares de solapas están configurados adecuadamente para proporcionar una región perimetral de la tubería que se extiende al menos $0,2 R$ hacia dentro desde el eje de la pared cilíndrica interior entre $t = +90^\circ$ y $t = -90^\circ$ en el que

se evita una trayectoria de flujo libre de fluido paralela al eje central. Esto define la región anular periférica limitada del tubo.

5 Por ejemplo, pueden configurarse los pares de solapas para proporcionar una región perimetral de la tubería que se extienda al menos $0,2 R$ hacia dentro desde el eje de la pared cilíndrica interior entre $t = +160^\circ$ y $t = -160^\circ$ en la que se evita una trayectoria de flujo no desviado de fluido paralela al eje central.

10 Los pares de solapas pueden configurarse para proporcionar una trayectoria de flujo periférico libre por al menos una región definida por $170^\circ \leq t \leq -170^\circ$ y $r \leq R$. Esto define la parte de la región de flujo no obstruido que se extiende a una región periférica del tubo en la pared cilíndrica interior opuesta a la proa en la que es posible el flujo no obstruido de fluido paralelo al eje central. Esto se combina con la región central en la que es posible el flujo no obstruido de fluido paralelo al eje central para formar la región general de flujo no obstruido en la que no se proyectan las solapas.

15 Puede ocurrir que $Zu1 = Zu2 = Zu3$, de tal manera que las ubicaciones aguas arriba de las solapas están niveladas entre sí (es decir, en la misma ubicación axial).

Puede ocurrir que $Zu1 = Zu2 = Zu3 = 0$, de tal manera que las ubicaciones aguas arriba de los bordes delanteros están todos en la misma ubicación axial en la cara aguas arriba del conjunto de mezclador estático.

20 Adecuadamente, $Zd3 > Zd2 > Zd1$ de tal manera que las terceras solapas más exteriores se extienden más aguas abajo que las segundas solapas intermedias, que a su vez se extienden más aguas abajo que las primeras solapas centrales.

25 Adecuadamente, $Zd3$ va de $0,3 R$ a $1,5 R$ para proporcionar un buen mezclado en combinación con una relación razonable entre la caída de presión en el conjunto y un caudal volumétrico.

30 Por ejemplo, puede ocurrir que $Zu1 = 0$ y $Zd3 = Z$, de tal manera que la ubicación aguas arriba de las primeras solapas esté en la cara aguas arriba del conjunto de mezclador estático y que la ubicación aguas abajo de la solapa más exterior esté en la cara aguas abajo del conjunto de mezclador estático. Esto proporciona el uso más económico de los materiales para conformar el conjunto de mezclador.

35 El conjunto de mezclador de la invención puede proporcionarse con un medio de sujeción adecuado en las caras aguas arriba y aguas abajo de tal manera que el conjunto de mezclador estático puede incorporarse a un aparato de procesado de fluidos. Por ejemplo, el conjunto de la invención puede proporcionarse con bridas exteriores en las caras aguas arriba y aguas abajo adaptadas para encajar con las bridas de tubería de las tuberías en un aparato de procesado de fluidos de tal manera que el conjunto de mezclador estático puede ajustarse, por ejemplo, entre dos secciones de tubería, para incorporarlo a un aparato de procesado de fluidos.

40 Resultará evidente que el conjunto de mezclador estático de la invención puede incorporarse a un aparato de procesado de fluidos mediante cualquier medio adecuado. Por ejemplo, el diámetro exterior de un conjunto de acuerdo con la invención puede disponerse para que permita deslizar el conjunto de mezclador estático dentro de una tubería de un aparato de procesado de fluidos donde pueda fijarse posteriormente en su sitio.

45 $Tu3$ es adecuadamente 120° o menos, por ejemplo 90° o menos. $Td3$ puede ser 170° o menos, por ejemplo 160° o menos.

50 Normalmente, la diferencia angular entre la ubicación aguas arriba y aguas abajo de cada solapa es de 25° a 70° . Preferentemente, las solapas a cada lado del plano de simetría se sitúan sustancialmente paralelas entre sí, de tal manera que se forman entre ellas canales sustancialmente uniformes para desviar el flujo de fluido que pasa a través de la disposición de mezclador estático.

55 Normalmente, el conjunto de mezclador estático de la invención tendrá adecuadamente un diámetro interno ($2R$) de 100 mm a 3 m . La relación de la longitud Z del conjunto de mezclador estático y el radio R puede seleccionarse para proporcionar un mezclador con el grado de mezclado aguas abajo requerido y una caída de presión correspondiente. Cuanto menor sea el valor de Z/R , mayor será la caída de presión, pero mayor será la velocidad de mezclado (es decir, se requiere menor distancia aguas abajo para lograr un mezclado homogéneo). Normalmente, Z/R puede ir de $0,1$ a 3 , por ejemplo de $0,2$ a 2 , preferentemente de $0,25$ a $1,5$, por ejemplo de $0,3$ a 1 .

60 Puede utilizarse cualquier material de construcción rígido, adecuado para el conjunto de mezclador estático de la invención, tal como metal o un polímero rígido, y se pueden utilizar mezclas de materiales de construcción.

Adecuadamente, cada solapa es una placa sustancialmente plana. Cada solapa puede colocarse sustancialmente normal a la pared cilíndrica interior y extenderse hacia dentro hacia el eje central.

65

Para facilitar la construcción del conjunto de mezclador estático de la invención, cada solapa puede situarse en una ranura recta respectiva en la pared cilíndrica interior configurada para aceptar una solapa. Por ejemplo, puede utilizarse un aparato de serrado o fresado para abrir ranuras adecuadas en la pared cilíndrica interior del tubo y unir las solapas dentro de estas ranuras, por ejemplo, adheridas o soldadas en su sitio. Esto permite que el conjunto de mezclador estático de la invención se monte fácilmente a partir de una sección de tubería y una lámina de material simplemente cortándola y soldándola o adhiriéndola sin necesidad de llevar a cabo etapas especiales de moldeo o curvado.

El conjunto de mezclador estático de la invención puede incluir además un puerto de inserción del ingrediente. Este normalmente estará conectado de forma operativa a un medio para suministrar el ingrediente tal como una vasija y una bomba dispuestas para dosificar el ingrediente en el flujo de fluido a través del puerto de inserción del ingrediente. Preferentemente, este puerto de inserción del ingrediente puede ubicarse en la región de flujo no obstruido de fluido, más preferentemente en la parte de la región de flujo no obstruido que se extiende hasta una región periférica del tubo en la pared cilíndrica interior opuesta a la proa. Por ejemplo, el puerto de inyección del ingrediente puede situarse adecuadamente en una posición R_p , T_p , Z_p donde $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq -170^\circ$ y $0 \leq Z_p \leq Z$.

Cada solapa puede tener adecuadamente un espesor de $R/30$ o menos. Los bordes de las solapas pueden redondearse o alisarse para retirar cualquier borde angular.

Las características anteriormente expuestas en el presente documento en relación al primer aspecto de la invención también pueden aplicarse a los aspectos de la invención segundo y tercero expuestos a continuación, cuando sea apropiado.

El segundo aspecto de la invención proporciona un aparato de procesamiento de fluidos que comprende una tubería dispuesta para el flujo de un fluido a través de la misma y un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención, dispuesto en el mismo de forma operativa.

El aparato del segundo aspecto de la invención puede comprender además un puerto de inserción del ingrediente. Este puede situarse de la manera anteriormente expuesta en relación al conjunto de mezclador estático del primer aspecto de la invención, o puede situarse para inyectar un ingrediente, o uno o más ingredientes, en el fluido dentro de la tubería en una ubicación aguas arriba o aguas abajo del conjunto de mezclador estático de tal manera que pueda lograrse el mezclado homogéneo del ingrediente o ingredientes con dicho fluido aguas abajo del conjunto de mezclador estático.

El puerto de inserción del ingrediente puede ubicarse aguas arriba para suministrar el ingrediente que va a entrar en el conjunto de mezclador estático en una posición R_p , T_p , Z_p , donde $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq -170^\circ$ y $Z = 0$.

El tercer aspecto de la invención proporciona un método de mezclado de un ingrediente en un fluido, comprendiendo dicho método: hacer pasar el flujo de fluido a través de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención e introducir el ingrediente que se va a mezclar en el fluido en una ubicación aguas arriba o aguas abajo, preferentemente aguas arriba del conjunto de mezclador estático.

Preferentemente, el ingrediente se introduce en una posición en el fluido de tal manera que el ingrediente se entrega en la región de flujo no obstruido de fluido, más preferentemente en parte del flujo no obstruido del conjunto de mezclador estático, preferentemente en la parte de la región de flujo no obstruido que se extiende a la región periférica del tubo en la pared cilíndrica interior opuesta a la proa. Por ejemplo, el ingrediente puede suministrarse de tal manera que entre en el conjunto de mezclador estático en una posición R_p , T_p , Z_p donde $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq -170^\circ$ y $Z = 0$.

El término fluido incluye cualquier material que sea capaz de fluir, incluyendo gases, polvos fluidificados, líquidos, pastas, dispersiones, emulsiones, cristales líquidos y similares. El aparato de la invención es particularmente adecuado para su uso con líquidos de una viscosidad relativamente baja, por ejemplo líquidos que tengan una viscosidad de 100 mPa.s o menos a una velocidad de corte de 21 sec^{-1} , por ejemplo de 0,01 a 200 mPa.s. No obstante, también se pueden utilizar fluidos más viscosos con el aparato. Tal y como se ha explicado anteriormente en el presente documento, el conjunto de mezclador estático de la invención está concebido para su uso con flujos de fluido de tal manera que el flujo sea turbulento (por ejemplo, con un valor de Re de 2000 o más, normalmente 4000 o más).

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones específicas de la presente invención se describirán a continuación únicamente a modo de ejemplo, en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La Figura 1 muestra una vista en perspectiva de una primera realización de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención,

La Figura 2 muestra una vista transversal lateral a través de la primera realización con el plano de la sección transversal que corresponde al plano de simetría del conjunto de mezclador estático 1,

5 La Figura 3 muestra una vista en planta frontal del conjunto de mezclador estático de la primera realización tal y como se ve en la dirección A mostrada en la Figura 2,

La Figura 4 muestra una vista en planta posterior de la primera realización vista desde la dirección directamente opuesta a la dirección A mostrada en la Figura 2,

10 La Figura 5 muestra una vista en perspectiva frontal de una segunda realización de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención,

15 La Figura 6 muestra una vista transversal lateral esquemática a través de la segunda realización, con el plano transversal situado en el plano de simetría 23,

La Figura 7 muestra una vista en planta frontal de la segunda realización tal y como se ve en la dirección A mostrada en la Figura 6,

20 La Figura 8 muestra una vista en planta posterior de la segunda realización tal y como se ve en la dirección opuesta a de la Figura 6, y

La Figura 9 muestra una vista esquemática que explica cómo se miden las coordenadas cilíndricas anteriormente expuestas en el presente documento para un punto.

25 La Figura 10 muestra una vista en perspectiva esquemática del aparato utilizado para evaluar la eficiencia de mezclado de los conjuntos de mezclador estático de la invención mediante Fluorescencia Inducida por Láser.

Descripción detallada de los dibujos

30 La Figura 9, un diagrama esquemático que explica cómo se miden las coordenadas polares utilizadas en esta descripción, ya se ha descrito en detalle anteriormente en el presente documento y no se repetirá aquí. No obstante, puede resultar útil hacer referencia a la Figura 9 para entender el significado de las coordenadas r , t , z referidas a continuación.

35 Volviendo a la primera realización de la invención tal y como se muestra en las Figuras 1, 2, 3 y 4, el conjunto de mezclador estático 1 de la primera realización tiene un tubo 2 en forma de un cilindro que se extiende entre una cara aguas arriba 4 y una cara aguas abajo 5, siendo cada cara normal al eje central 20 del tubo 2. El tubo tiene una pared cilíndrica interior que sostiene tres pares de solapas. El primer par de solapas 6, 7 se encuentra en una proa 8 que se sitúa en el plano de simetría 23. La solapa 6 tiene un borde de unión 11 que se extiende desde una ubicación aguas arriba de la solapa 6 a su ubicación aguas abajo desde la que se extiende el borde trasero 9 de la solapa 6 hacia dentro desde la pared interior. El borde delantero 8 y el borde trasero 9 se extienden hacia fuera hasta el borde de desviación 13 de la solapa 6. La primera solapa 7 correspondiente se dispone simétricamente en torno al plano de simetría 23 con respecto a la primera solapa 6. La primera solapa 7 se extiende desde su borde delantero 8 hasta su borde trasero 10 entre un bode unión 12 y un borde de desviación 14. El borde delantero 8 y el borde trasero 10 se encuentran con la pared interior 3 en las ubicaciones aguas arriba y aguas abajo de la primera solapa 7.

50 Las segundas solapas 15, 16 están unidas a la pared interior 3 y situadas sustancialmente paralelas a las primeras solapas 6, 7 correspondientes a cada lado del plano de simetría 23. Las ubicaciones aguas arriba de la segundas solapas 15, 16 están en la cara aguas arriba 4 con valores para r , t , z de R , $-20^\circ, 0$ para la segunda solapa 15 y R , $+20^\circ, 0$ para la segunda solapa 16.

55 Las terceras solapas 17, 18 se disponen para situarse sustancialmente paralelas tanto a las primeras como a las segundas solapas en los lados respectivos del plano de simetría. La ubicación aguas arriba de las segundas solapas 17, 18 está en R , $-90^\circ, 0$ y R , $90^\circ, 0$, en la cara aguas arriba, para la tercera solapa 17 y la tercera solapa 18 respectivamente.

60 Tal y como se puede ver en las Figuras 3 y 4, las solapas están colocadas para solaparse de tal manera que los bordes aguas arriba de las terceras solapas 17, 18 se solapan a los bordes aguas abajo de las segundas solapas 15, 16 y que los bordes aguas arriba de las segundas solapas 15, 16 se solapan a los bordes aguas abajo de las primeras solapas 6, 7 respectivamente. Tal y como se puede ver en las Figuras 3 y 4, esto lleva a una región anular periférica limitada del tubo formada por la superposición de solapas, a la vez que se permite el flujo no obstruido en una región central del tubo C y una región periférica del tubo P opuesta a la proa 8 formada donde se encuentran las primeras solapas 6, 7 en un borde delantero.

65

Para el conjunto de mezclador estático de acuerdo con la primera realización de la invención tal y como se muestra en las Figuras 1 a 4, la longitud del tubo Z medida a lo largo del eje central 20 es igual al diámetro interno del tubo 2 (2R).

5 La Figura 2 también muestra las ubicaciones del primer eje largo 21 y segundo eje largo 22, utilizadas para definir las coordenadas polares cilíndricas utilizadas en la descripción de la invención expuestas anteriormente. El ángulo utilizado en las coordenadas se mide entre una línea que pasa desde el eje central 20 al primer eje largo 21 y una línea dibujada normal al eje central 20 y que pasa a través del punto cuyas coordenadas se requieren.

10 Volviendo a las Figuras 5 a 6, estas muestran una segunda realización de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con el primer aspecto de la invención. Los detalles son exactamente iguales a los expuestos para la primera realización, pero en esta realización la longitud del tubo del conjunto de mezclador estático, medida a lo largo del eje central 20, es $\frac{1}{4}$ del diámetro 2R del interior del tubo. En otras palabras la longitud Z es R/2.

15 En el uso, el conjunto de mezclador estático de la invención, tal y como se muestra en la primera o segunda realizaciones expuestas anteriormente, está situado dentro de una tubería de tal manera que el fluido pasa a través del conjunto de mezclador estático en dirección A, pasando desde una cara aguas arriba 4 a través de una cara aguas abajo 5 del conjunto de mezclador estático. Un ingrediente que se va a mezclar en el fluido puede inyectarse en el mismo en una ubicación aguas arriba del conjunto de mezclador estático de tal manera que se logra el mezclado homogéneo del ingrediente con el fluido aguas abajo del conjunto de mezclador estático.

20 Se ha descubierto que resulta particularmente efectivo introducir un ingrediente que se va a mezclar en el fluido mediante una posición de inserción del ingrediente aguas arriba de la región periférica P del conjunto de mezclador estático. Tal y como se ha explicado en la descripción, el conjunto de mezclador estático puede incluir un puerto de inserción del ingrediente (no mostrado en las Figuras) situado para inyectar un ingrediente en el fluido. En dicha realización de la invención, la inyección tiene lugar dentro del conjunto de mezclador estático en lugar de aguas arriba del mismo.

30 Una característica particularmente ventajosa del diseño de los conjuntos de mezcladores estáticos de la invención es que estos se pueden formar fácilmente. Puede verse en las realizaciones mostradas que las solapas 6, 7, 15, 16, 17, 18 pueden mecanizarse de forma simple a partir de una placa de material, tal como una lámina de metal, e insertarse en el tubo 2, por ejemplo, abriendo ranuras en la pared 3 del tubo 2 y encajando las solapas en su sitio dentro de las ranuras y fijándolas a continuación, por ejemplo mediante soldadura.

35 El diseño del conjunto de mezclador estático 6 de la invención también se presta a proporcionar una serie de conjuntos de mezclador estático que proporcionan una serie de conjuntos estáticos que ofrecen diferentes grados de mezclado dependiendo de la caída de presión que se pueda tolerar en todo el conjunto de mezclador estático. Por ejemplo, en referencia a la primera y segunda realización, la segunda realización, tal y como se muestra en las Figuras 5 a 8, tendrá como resultado una caída de presión considerablemente mayor que la primera realización mostrada en las Figuras 1 a 4, pero también producirá un mayor grado de mezclado a una menor distancia aguas abajo del mezclador que la distancia requerida para proporcionar el mismo grado de mezclado aguas abajo del mezclador de la primera realización.

45 Puede verse a partir de las Figuras que los bordes aguas arriba de las solapas están alineados sustancialmente normales a la pared interior 3 del tubo 2. De forma similar, los bordes aguas abajo de las solapas también se sitúan para ser sustancialmente normales a la pared interior 3 del tubo 2, dentro de $\pm 30^\circ$ de la normal a la pared en la ubicación aguas abajo del borde trasero.

50 Se puede apreciar que las realizaciones anteriores se describen únicamente a modo de ejemplo, y que diversas alternativas resultarán evidentes al experto en la materia dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por ejemplo, la invención se ha expuesto principalmente en referencia a un tubo cilíndrico, pero la invención también es aplicable a un tubo de cualquier sección transversal adecuada, tal como cuadrada, rectangular o elipsoide. La invención también se puede utilizar con un tubo abierto tal como un canal adaptado para el flujo de líquido (por ejemplo un canal de sección transversal semicircular o en forma de U). En dicha realización de la invención, la ubicación aguas arriba de las primeras solapas puede estar en la parte inferior del canal y no habrá ninguna pared interior opuesta a la proa.

Resultados experimentales

60 Los datos experimentales expuestos a continuación presentan los resultados de una investigación acerca de las características de mezclado y la pérdida de carga de tres realizaciones del conjunto de mezclador estático de la invención, referidas en adelante como E1, E2 y E3.

65 E1 es tal y como se muestra en las Figuras 1 a 4, con una longitud igual al diámetro del conjunto del mezclador y con una diferencia angular entre la ubicación aguas arriba y aguas abajo de cada solapa de aproximadamente 30° .

E3 es tal y como se muestra en las Figuras 5 a 8, con una longitud de 0,25 veces el diámetro del conjunto de mezclador, y con una diferencia angular entre la ubicación aguas arriba y aguas abajo de cada solapa de aproximadamente 70°.

- 5 E2 no se muestra en las Figuras, pero tiene una forma intermedia entre la de E1 y E2, con una longitud de 0,5 veces el diámetro del conjunto de mezclador, y con una diferencia angular entre la ubicación aguas arriba y aguas abajo para cada solapa de aproximadamente 50°.

10 La Figura 10 muestra de forma esquemática la disposición experimental utilizada para medir la eficiencia de mezclado. La técnica utilizada para la medición es la Fluorescencia Inducida por Láser (FIL).

La siguiente nomenclatura se utilizará a continuación:

- 15 C_{avg} promedio de la concentración de aditivo medida (ppb-partes por 10⁹ por peso)
 c_i concentración en la iésima posición de sondeo (ppb-partes por 10⁹ por peso)
 iésima ubicación del pixel
 CoV coeficiente de variación (sin dimensiones)
 D tubería o canal principal (m)
 D_H diámetro hidráulico (m)
 20 F_D factor de fricción de Darcy (sin dimensiones)
 g aceleración debida a la gravedad (ms⁻²)
 ΔH pérdida de carga (m)
 K coeficiente de pérdida del sistema (sin dimensiones)
 L_m longitud del mezclador estático entre las caras de las bridas (m)
 25 n número de ubicaciones del pixel
 Δp caída de la presión (N.m⁻²)
 q caudal del aditivo (ml.s⁻¹)
 Q caudal en masa (ls⁻¹)
 U velocidad del flujo en masa (m.s⁻¹) ρ densidad (kgm⁻³)
 30 μ viscosidad dinámica (Pa.s)

Los siguientes grupos sin dimensiones también se discuten a continuación:

- 35 **K , coeficiente de pérdida del sistema** $K = \frac{\Delta H_{mezclador}}{U^2/2g}$
 Re , número de Reynolds $Re = \frac{\rho U D}{\mu}$
 F_D , factor de fricción de Darcy $F_D = \frac{\Delta p D_H L}{L_m U^2 \rho}$

40 La Figura 10 muestra la disposición experimental utilizada. La tubería de entrada 51 con un diámetro interior de 10 cm se conecta al conjunto de mezclador estático 50 que se va a analizar, también con un diámetro interior de 10 cm, y una sección de tubería 52 transparente PerspexTM con un diámetro interior de 10 cm se conecta a la cara aguas abajo del mezclador estático.

45 Un láser 57 con una longitud de onda adecuada para inducir la fluorescencia de un tinte RhodamineTM WT se hace pasar a través de una disposición óptica 59 configurada para formar una lámina de luz láser normal al eje central de la tubería en una ubicación 1 m aguas abajo del borde trasero del mezclador estático 50 que se va a analizar.

50 Una solución aditiva (que contiene el tinte fluorescente RhodamineTM WT en solución/dispersión acuosa) se inyecta en el flujo en masa (que se mueve en dirección A con un caudal en masa Q) a una velocidad de adición q, de tal manera que la concentración media del tinte aditivo en el flujo en masa es C_{avg} .

55 El tubo de inserción 54 con el puerto de inserción 55 en su extremo distal se monta en la tubería 51 a través de un medio de ajuste sellado 56 de tal manera que la posición del puerto de inserción 51 puede estar ajustada en relación al eje central de la tubería. En la Figura se muestra una disposición con un puerto de inyección central, pero retirando el tubo de inserción 54 mediante el medio de ajuste 56, el puerto de inyección puede situarse para que esté alineado con la pared interior de la tubería 51.

60 Una caja de visualización PerspexTM (no mostrada para mayor claridad) rodea la sección de tubería transparente 52 donde está presente la lámina de luz láser 60. El espacio entre la caja de visualización y la tubería 52 se llena con agua destilada para evitar distorsiones ópticas debido a la superficie curva de la tubería según se observa desde la cámara. Un lado de la caja de visualización se coloca de tal manera que la superficie sea perpendicular a la trayectoria óptica desde la sección de tubería 52 iluminada por una lámina de luz láser 60 hasta la cámara 62, de tal

manera que se reducen los efectos refractivos. La señal de la cámara 62, en forma de datos de imágenes, se transfiere al ordenador 66 para el procesamiento de la señal.

La FIL (fluorescencia inducida por láser) es una técnica no intrusiva que permite la distribución de la concentración (y por tanto la calidad del mezclado) por toda la sección transversal de la tubería en la lámina del láser para medirla de forma muy precisa. La tinta fluorescente (en este caso Rhodamine™ TW) se dosifica en el aparato y la mezcla resultante pasa a través de la lámina de luz láser 60 situada 1 m aguas abajo del mezclador. Según pasa el tinte a través de la lámina del láser 60, este se vuelve fluorescente y las imágenes resultantes se capturan mediante una cámara CCD (dispositivo de carga acoplada, por sus siglas en inglés) 62. Para cada medición del CoV, se capturan un total de 150 imágenes en un periodo de 7,5 segundos, en la que cada imagen consiste en 200.000 píxeles. Se analizó cada imagen y se midió la intensidad de la fluorescencia (que es proporcional a la concentración del indicador) para cada pixel. Esto dio como resultado una serie de mediciones altamente fiables a partir las cuales puede derivarse el CoV y un registro digital de la calidad de la mezcla a una distancia específica aguas abajo del mezclador.

Los experimentos se plantearon para medir la calidad de la mezcla (Coeficiente de Variación, CoV) y la pérdida de carga a 1 m aguas abajo del borde trasero de las tres realizaciones E1, E2 y E3, en un intervalo de relaciones de caudales y dosificación del ingrediente. El posicionamiento variable del puerto de inserción 55 también permitió el efecto de reposicionarlo que se iba a evaluar. El puerto de inserción se colocó 10 cm aguas arriba del borde delantero del conjunto de mezclador en cada caso. Se utilizó agua como fluido en masa.

Las velocidades de flujo del agua en el flujo principal para cada conjunto de experimentos detallados a continuación fueron de aproximadamente 0,1 a 1 m/s (Re de 13.000 a 116.000). Se utilizaron tres valores de Q/q, 100, 1.000 y 10.000, donde Q es el caudal en masa en litros/segundo y q es el caudal del aditivo en ml/segundos. La corriente del aditivo tenía la misma viscosidad y densidad que la corriente de agua en masa. El tinte se inyectó en el mezclador mediante una bomba de engranajes. Los caudales se midieron por medio de un caudalímetro digital calibrado para los caudales mayores y de un conjunto de rotámetros para los caudales menores.

Las concentraciones del tinte indicador utilizadas fueron 30,00, 3.000 y 300 ppm, para Q/q en 10.000, 1.000 y 100 respectivamente, para lograr una concentración de 3 ppb de Rhodamine WT en el flujo en masa mezclado (téngase en cuenta que Q está litros/segundos y q en ml/seg). Las imágenes de calibrado se obtuvieron para las concentraciones de tinte de 2, 3 y 4 ppb. Utilizando estas imágenes de calibrado con las imágenes de intensidad de fluorescencia, pudo obtenerse la concentración real de tinte.

$$CoV_{Tavg} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c_{avg})^2}{n} \right]^{0,5} \frac{1}{c_{avg}}$$

Se calculó el promedio de tiempo CoV_{Tavg} para cada una de las 150 imágenes. Se calculó el promedio de tiempo de las concentraciones para cada pixel, tal y como se expone en la ecuación anterior, donde,

- c_i = valor promedio de tiempo del pixel (ppb)
- c_{avg} = c_i promedio para todos los píxeles (ppb)
- n = número total de ubicaciones del pixel.

El promedio de tiempo del CoV se utiliza como un estándar de la industria para comparar el rendimiento del mezclador. Generalmente, un valor de CoV de 0,05 se considera un buen mezclado.

Los resultados experimentales, utilizando el aparato y los experimentos tal y como se han expuesto anteriormente, se incluyen a continuación en la Tabla 1 para los tres conjuntos de mezclador estático E1, E2 y E3 de acuerdo con la invención.

Tabla 1

Q/q	E3(pared)	E2(pared)	E3(centro)	E1(pared)
100	0,027	0,037	0,051	0,017
1.000	0,033	0,021	0,016	0,034
10.000	0,047	0,032	0,038	0,044

Los números de la tabla representan los promedios sobre los caudales Q de 1 a 9 l.s⁻¹ (R₃ de 13.000 a 116.000).

5 Por lo tanto, puede verse que el aparato de la invención ofrece buenos resultados de mezclado, tal y como evaluó el coeficiente de variación (CoV), en amplios intervalos de configuraciones del mezclador, punto de inserción, caudales en masa y relaciones del aditivo y el flujo en masa.

10 La pérdida de carga se midió mediante un manómetro diferencial de agua conectado al aparato tal y como se ha descrito anteriormente. El manómetro se conectó a tomas de presión, 1,3 m aguas arriba y 1,8 m aguas abajo del mezclador. La pérdida de carga se midió como la diferencia vertical en el nivel del agua entre los dos brazos del manómetro. Para calcular la pérdida de carga debida al mezclador, se midió la pérdida de carga en la longitud de 3,1 m de la tubería recta y se restó de la pérdida de carga total medida por el manómetro.

15 La pérdida de carga se midió en tres mezcladores de la invención. $\Delta H(Total)$ incluye la caída de la presión debida al mezclador y la longitud de 3,1 m de la tubería recta $\Delta H(Tubería)$ entre las tomas de presión. $\Delta H(Tubería)$ es aproximadamente del 10 al 35 % de la pérdida de carga total y supone una contribución significativa a la pérdida de carga medida. $\Delta H(Mezclador)$ se calculó como $\Delta H(Total) - \Delta H(Tubería)$. Los coeficientes de pérdida del sistema fueron casi constantes en $Re > 25.000$.

20 Los coeficientes de pérdida del sistema del mezclador y los factores de fricción de Darcy se calcularon a partir de las pérdidas de carga de los tres mezcladores (utilizando la densidad del agua) para el intervalo de R_e estudiado de 13.000 a 116.000. Los resultados medios, en el intervalo de R_e estudiado, se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Mezclador	F _D (Número de Darcy)	K (Coeficiente de pérdida del sistema)
E3	23,0	5,7
E2	6,1	3,0
E1	1,6	1,7

25 Estos valores variaron un poco con R_e, menos de +/-5 % de la media. Claramente, la versión más larga del mezclador (E1) ofrece los valores más bajos de estos tres números.

30 Las realizaciones descritas e ilustradas se consideran de carácter ilustrativo y no restrictivo, entendiéndose que únicamente se han mostrado y descrito las realizaciones preferidas y que se desea proteger todos los cambios y modificaciones que se encuentren dentro del alcance de las invenciones tal y como se definen en las reivindicaciones. Deberá entenderse que, aunque el uso de palabras como "preferente", "preferentemente", "preferido" o "más preferido" en la descripción sugieren que una característica así descrita puede ser deseable, no obstante no tiene por qué ser necesaria y las realizaciones que carezcan de dicha característica pueden contemplarse dentro del alcance de la invención tal y como se define en las reivindicaciones adjuntas. En relación a las reivindicaciones, se pretende que al utilizar palabras tal como "un", "una", "al menos uno o una" o "al menos una porción" para introducir una característica, no se tiene intención de limitar la reivindicación únicamente a esa característica, a menos que se especifique lo contrario en la reivindicación. Cuando se utilice la expresión "al menos una porción" y/o "una porción", el artículo puede incluir una porción y/o todo el artículo a menos que se especifique lo contrario.

40

REIVINDICACIONES

1. Un conjunto de mezclador estático que comprende un tubo que tiene un eje central con tres pares de solapas que se extienden hacia dentro desde una pared interior del tubo, colocadas simétricamente en torno a un plano de simetría que pasa a través del eje central, donde las primeras solapas centrales están colocadas para formar una proa a lo largo del plano de simetría y que apuntan aguas arriba, con un segundo y un tercer pares de solapas que flanquean las primeras solapas y que están colocados para superponerse entre sí de tal manera que se evita el flujo libre de fluido aguas abajo paralelo al eje central del tubo en una región anular periférica limitada del tubo, mientras que se permite el flujo no obstruido en una región de flujo no obstruido del tubo, comprendiendo la región de flujo no obstruido una región central del tubo en torno al eje central y que se extiende a una región periférica del tubo opuesta a la proa.
2. Un conjunto de mezclador estático de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el tubo es un tubo sustancialmente cilíndrico y la pared cilíndrica interior se extiende entre caras aguas arriba y aguas abajo, siendo cada cara sustancialmente normal a un eje central del tubo y al plano de simetría que pasa a través del eje central y un diámetro del tubo define un primer y un segundo ejes largos, cada uno de los cuales es paralelo al eje central y está ubicado donde el plano de simetría se encuentra con la pared interior del tubo, siendo definible cualquier ubicación dentro o en la pared cilíndrica interior mediante coordenadas cilíndricas r, t, z , en donde t es el ángulo limitado en el eje central entre el primer eje largo y la ubicación, en un plano de medición, que pasa a través de la ubicación y que es normal al eje central, en donde r es la distancia desde el eje central a la ubicación, medida en el plano de medición y en donde z es la distancia, medida a lo largo del eje central, entre el plano aguas arriba y el plano de medición en un punto donde el eje central intersecta el plano de medición, en donde $r = R$ en la pared cilíndrica interior, $z = Z$ en el plano aguas abajo y $T = 0^\circ$ y $r = R$ en el primer eje largo y $T = 180^\circ$ y $r = R$ en el segundo eje largo, en donde cada solapa del primer, del segundo y del tercer par de solapas se extiende hacia dentro desde un borde de unión en la pared interior del tubo y en donde cada miembro de cada par de solapas está situado de manera sustancialmente simétrica con respecto al otro miembro de su par respectivo en el lado opuesto del plano de simetría, teniendo cada solapa un borde delantero que se extiende hacia dentro desde la pared interior en una ubicación aguas arriba, un borde trasero que se extiende hacia dentro desde la pared interior en una ubicación aguas abajo, teniendo el borde de unión una longitud que conecta su solapa respectiva a la pared interior entre las ubicaciones aguas arriba y aguas abajo y un borde de desviación opuesto al borde de unión, en donde la ubicación aguas arriba de las dos primeras solapas está en la cara aguas arriba, en $r, t, z = R, 0, Z_{u1}$ con los bordes delanteros de las primeras solapas unidos para formar una proa que se extiende hacia dentro desde la ubicación aguas arriba de las primeras solapas y en donde las ubicaciones aguas abajo de las primeras solapas se sitúan en lados opuestos del plano de simetría en $r, T, z = R, Td1, Zd1$ y $R, -Td1, Zd1$, en donde las ubicaciones aguas arriba de las segundas solapas están en la cara aguas arriba, en lados opuestos del plano de simetría, en $r, t, z = R, Tu2, Zu2$ y $R, -Tu1, Zu2$ con las ubicaciones aguas abajo de las segundas solapas en $r, t, z = R, Td2, Zd2$ y $R, -Td2, Zd2$, en donde las ubicaciones aguas arriba de las terceras solapas están en la cara aguas arriba, en lados opuestos del plano de simetría en $r, t, z = R, Tu3, Zu3$ y $R, -Tu3, Zu3$ con las ubicaciones aguas abajo de las terceras solapas en $r, t, z = R, Td3, Zd3$ y $R, -Td3, Zd3$, en donde $0 \leq Z_{u1} \leq Z_{u2} \leq Z_{u3}$, y $Zd1 > Z_{u1}$, $Zd2 > Z_{u2}$, $Zd3 > Z_{u3}$, en donde $Zd1, Zd2$ y $Zd3 \leq Z$, en donde $Tu2 < Td2$, $Tu3 < Td3$, y $Tu2 < Td1$, $Tu3 < Td2$.
3. Un mezclador estático de acuerdo con la reivindicación 2 en el que la longitud del borde de unión de cada solapa, medido a lo largo de una línea recta entre las ubicaciones aguas arriba y aguas abajo de la solapa respectiva, va de $0,2 R$ a $3 R$.
4. Un mezclador estático de acuerdo con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el que el valor de r para cualquier punto a lo largo de cada borde de desviación de cada solapa es $0,4 R$ o más, de tal manera que una región central de la tubería que se extiende al menos $0,4 R$ hacia fuera desde el eje central proporciona una trayectoria de flujo libre de fluido; y, opcionalmente, en donde los pares de solapas se configuran para proporcionar una región perimetral de la tubería que se extiende al menos $0,2 R$ hacia dentro desde el eje de la pared cilíndrica interior entre $t = +90^\circ$ y $t = -90^\circ$ en el que se evita una trayectoria de flujo no desviado de fluido paralela al eje central; y, opcionalmente, en donde los pares de solapas se configuran para proporcionar una región perimetral de la tubería que se extiende al menos $0,2 R$ hacia dentro desde el eje de la pared cilíndrica interior entre $t = +160^\circ$ y $t = -160^\circ$ en el que se evita una trayectoria de flujo no desviado de fluido paralela al eje central.
5. Un mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4 en el que los pares de solapas se configuran para proporcionar una trayectoria de flujo libre en al menos una región definida por $170^\circ \leq t \leq -170^\circ$ y

$r \leq R$.

- 5 6. Un conjunto de mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5 en el que $Zu1 = Zu2 = Zu3$;
y opcionalmente,
en el que $Zu1 = Zu2 = Zu3 = 0$, de tal manera que la ubicación aguas arriba de los bordes delanteros está en la cara
aguas arriba del conjunto de mezclador estático.
- 10 7. Un conjunto de mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 6,
en el que $Zd3 > Zd2 > Zd1$;
y/o
en el que $Tu3$ es 120° o menos, y opcionalmente, en el que $Tu3$ es 90° o menos; y/o
en el que la diferencia angular entre la ubicación aguas arriba y aguas abajo de cada solapa va de 25° a 70° ;
y/o
15 en el que $Zd3$ va de $0,3 R$ a $1,5 R$ y opcionalmente, en el que $Zu1 = 0$ y $Zd3 = Z$.
- 20 8. Un mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7,
en el que cada solapa es una placa sustancialmente plana
y/o
en el que cada solapa se dispone sustancialmente normal a la pared cilíndrica interior y se extiende hacia dentro
hacia el eje central.
- 25 9. Un conjunto de mezclador estático de acuerdo con la reivindicación 8 en el que cada solapa se sitúa en una
ranura recta respectiva en la pared cilíndrica interior configurada para aceptar una solapa.
- 30 10. Un conjunto de mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 9,
que incluye además un puerto de inserción del ingrediente situado en una posición R_p , T_p , Z_p , en donde
 $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq 170^\circ$ y $0 \leq Z_p \leq Z$;
y/o
en el que cada solapa tiene un espesor de $R/30$ o menos.
- 35 11. Un aparato de procesado de fluidos que comprende una tubería dispuesta para el flujo de un fluido a través de la
misma y un conjunto de mezclador estático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores dispuesto
de forma operativa en el mismo.
- 40 12. Un aparato de procesado de fluidos de acuerdo con la reivindicación 11 que comprende además un puerto de
inserción del ingrediente situado para inyectar un ingrediente en el fluido dentro de la tubería en una ubicación aguas
arriba o aguas abajo del conjunto de mezclador estático de tal manera que se puede lograr una mezcla homogénea
de dicho ingrediente con dicho fluido aguas abajo del conjunto de mezclador estático.
- 45 13. Un aparato de procesado de fluidos de acuerdo con la reivindicación 12 en el que el puerto de inserción del
ingrediente está situado para suministrar el ingrediente que va a entrar en el conjunto de mezclador estático en una
posición R_p , T_p , Z_p en la que $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq 170^\circ$ y $Z = 0$.
- 50 14. Un método para el mezclado de un ingrediente en un fluido, comprendiendo dicho método:

hacer fluir el fluido a través de un conjunto de mezclador estático de acuerdo con una cualquiera de las
reivindicaciones 1 a 10, e
insertar el ingrediente que se va a mezclar en el fluido en una ubicación aguas arriba del conjunto de mezclador
estático.
- 55 15. Un método de acuerdo con la reivindicación 14 en el que el ingrediente se inserta en una posición en el fluido de
tal manera que el ingrediente se suministra al conjunto de mezclador estático en una posición R_p , T_p , Z_p en la que
 $0,8R \leq R_p \leq R$, $170^\circ \leq T_p \leq 170^\circ$ y $Z = 0$.

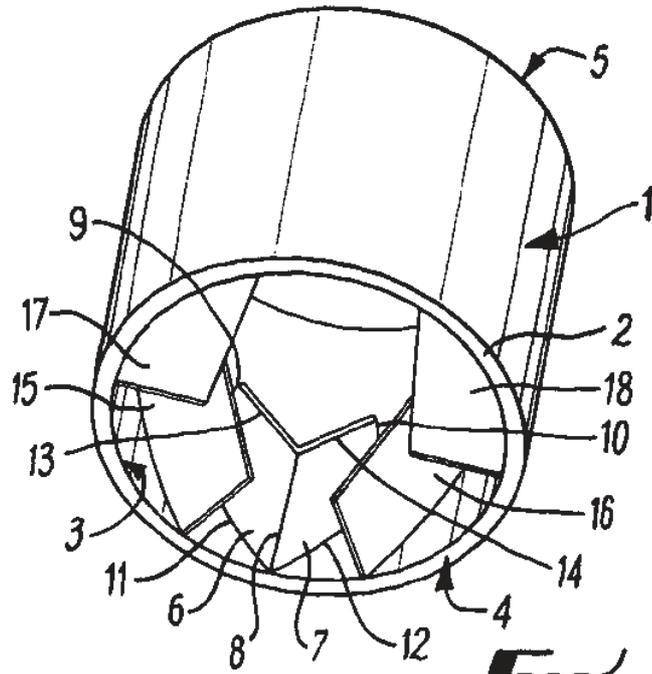


FIG. 1

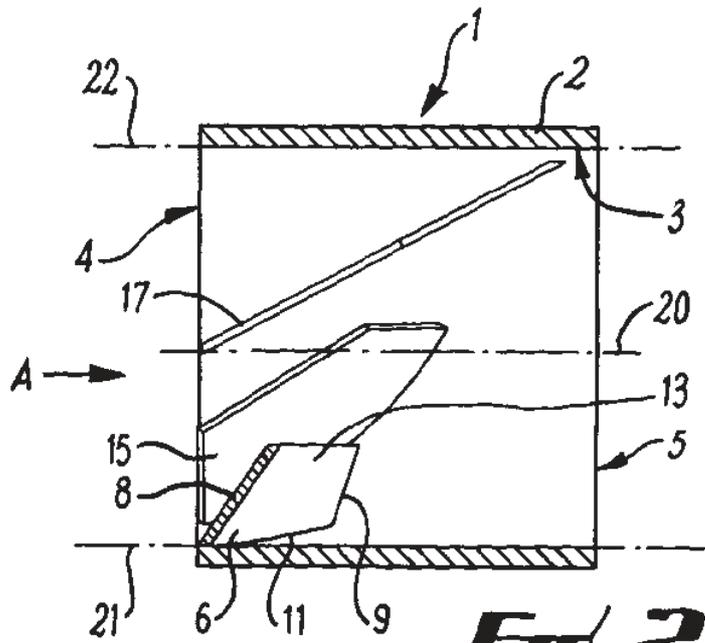
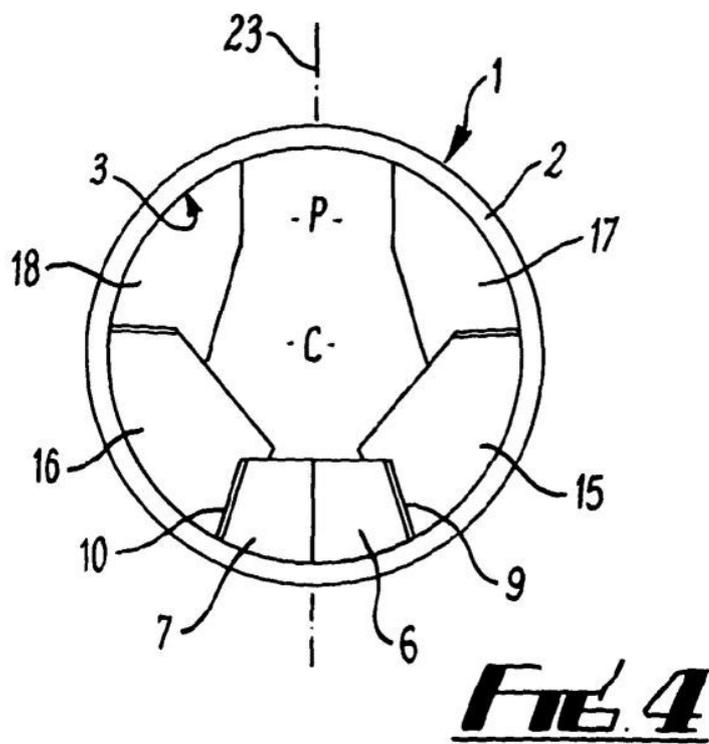
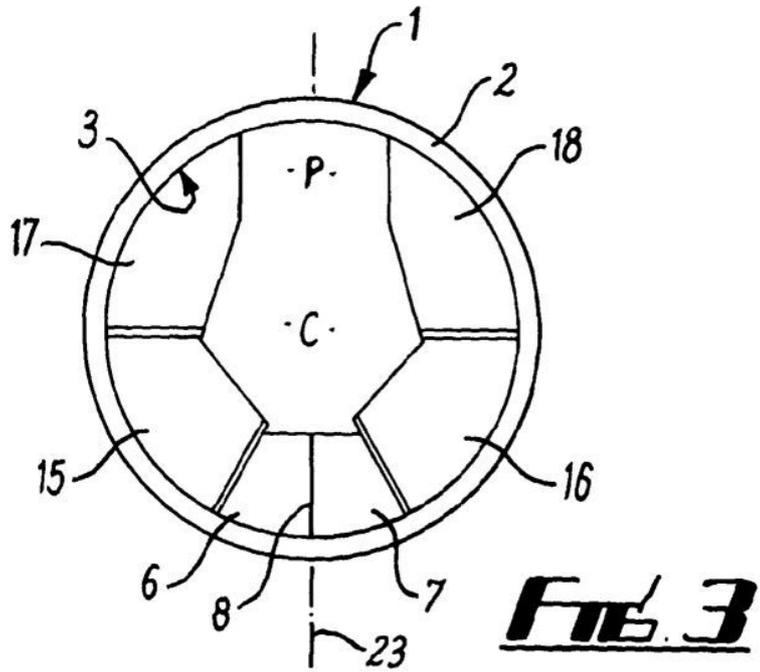
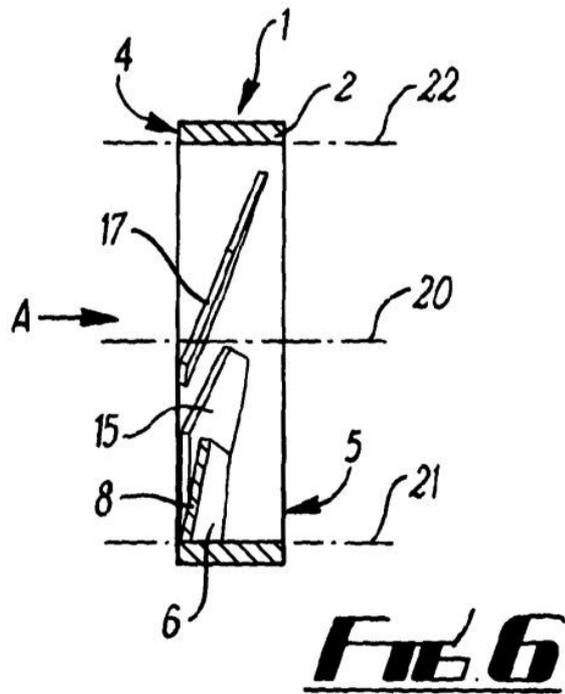
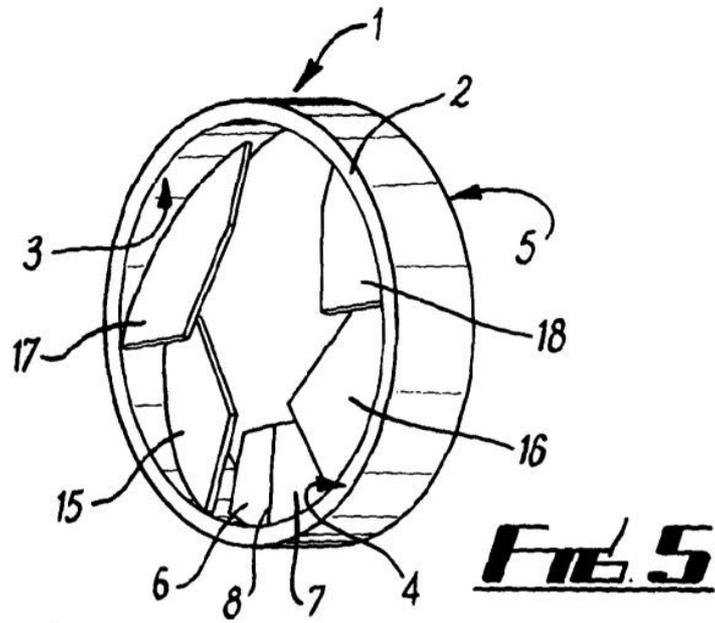
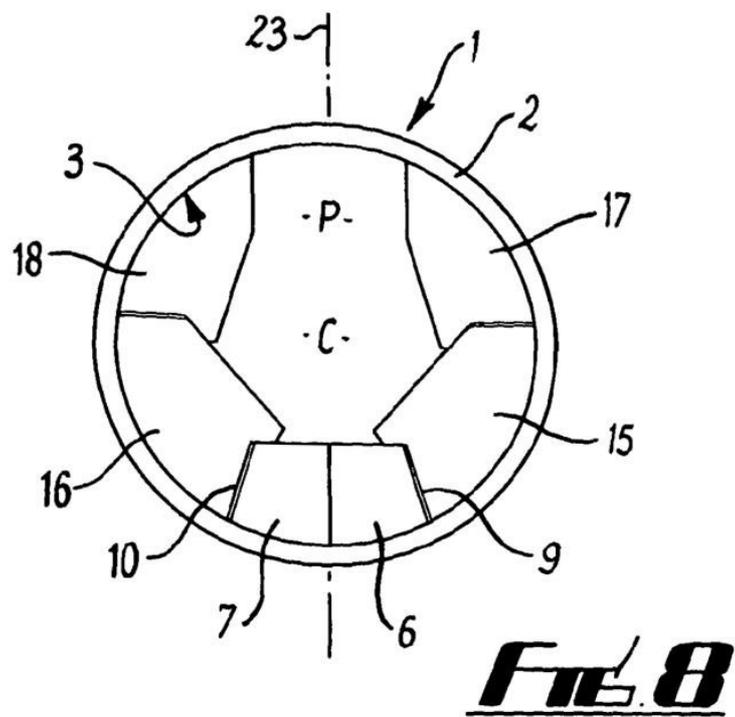
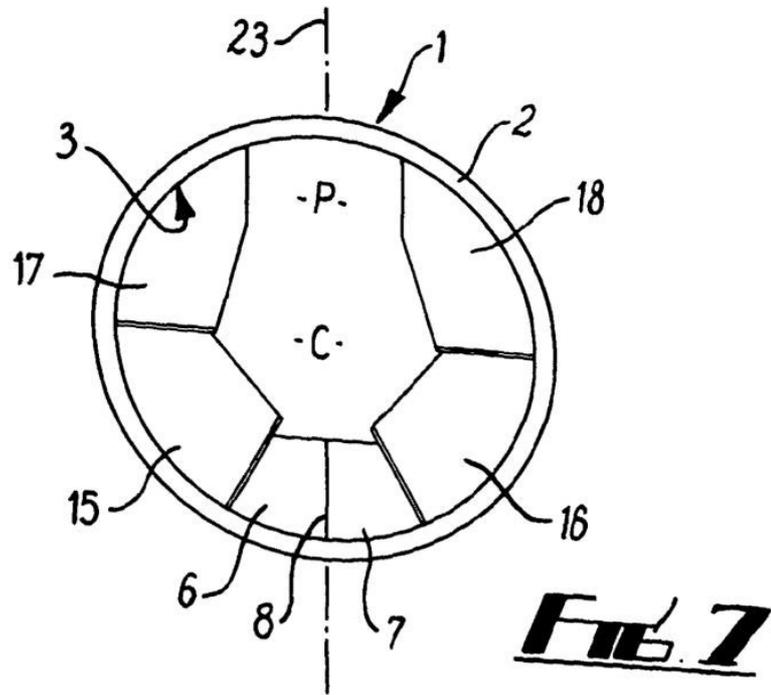


FIG. 2







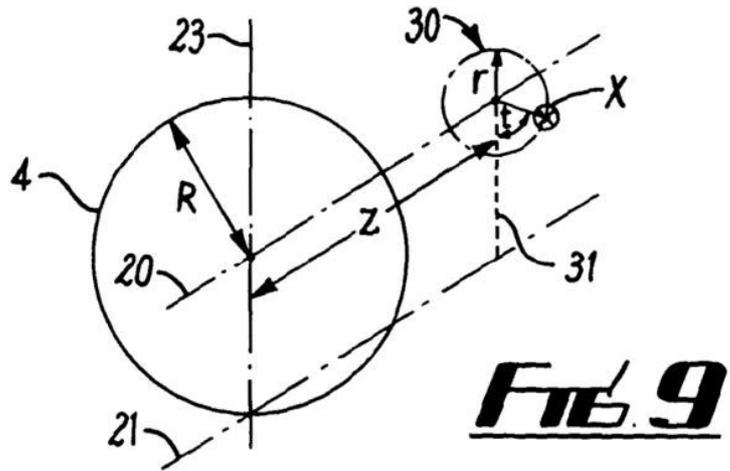


FIG. 9

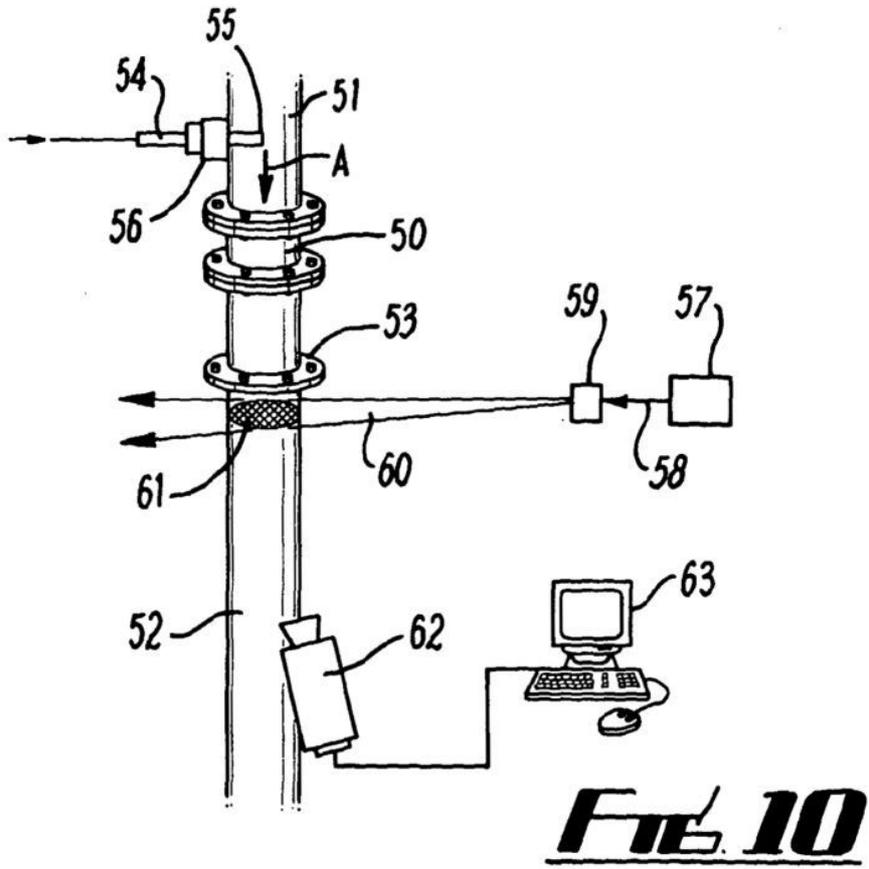


FIG. 10