



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 306 281**

51 Int. Cl.:

B01D 53/00 (2006.01)

B01D 50/00 (2006.01)

B03C 3/15 (2006.01)

B03C 3/155 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **05825747 .8**

86 Fecha de presentación : **20.12.2005**

87 Número de publicación de la solicitud: **1833593**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **19.09.2007**

54 Título: **Dispositivo de depuración de un flujo gaseoso que contiene vapores condensables.**

30 Prioridad: **27.12.2004 FR 04 13944**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.11.2008

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.11.2008

73 Titular/es:
COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE
25, rue Leblanc, Immeuble "Le Ponant D"
75015 Paris, FR

72 Inventor/es: **Brothier, Méryl;**
Turchet, Jean-Pierre y
Estubier, Pierre

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

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

Dispositivo de depuración de un flujo gaseoso que contiene vapores condensables.

5 **Campo de la invención**

La invención se refiere a un dispositivo de separación de vapores condensables de un flujo gaseoso cargado o no con polvos finos. Más en particular se refiere a un dispositivo que permite un mantenimiento de la composición del flujo gaseoso incondensable y la recuperación de los condensados para su empleo ulterior o simplemente su tratamiento separado.

Antecedentes de la técnica

Numerosos procedimientos de tipo fisicoquímico (termólisis, metanización...) generan gases potencialmente valora-
bles. Sin embargo, deben someterse previamente a depuración para ser compatibles con los criterios de calidad que
permiten su uso en otros procedimientos (cogeneración, síntesis de carburantes...). La problemática del tratamiento
de estos gases es, por tanto, un punto clave en este procedimiento de valoración. Se han puesto a punto numerosas
soluciones técnicas para resolver este problema. Pueden clasificarse en seis grandes familias:

Enfoque térmico: este tipo de técnica constituye la solución radical en la medida en que es admisible llevar a alta
temperatura el gas valorable. Se entiende por admisible el hecho de que existe la posibilidad de calentar el gas sin que
haya pérdida de la calidad de este último. Por el contrario, este enfoque no es siempre admisible (más allá de toda
consideración económica), como por ejemplo en caso de presencia simultánea de carburante y de comburente. Además,
este tipo de tratamiento no permite recuperar las especies separadas (porque conlleva generalmente su destrucción
parcial o total) lo que puede constituir una desventaja absoluta para el caso en que estas especies (excepto el gas
valorable) presenten de por sí un potencial de valoración. Finalmente, consideraciones de rendimiento energético
vuelven a menudo este enfoque poco rentable.

Enfoque oxidante: en este caso la energía aportada a los gases para depurar está en forma de potencial químico,
generalmente mediante un oxidante que es comúnmente oxígeno puro o bien el constitutivo del aire. En esta configura-
ción, al contrario del enfoque puramente térmico que consiste únicamente en aumentar la temperatura del gas a tratar,
el tratamiento a menudo consume menos energía ya que se aprovecha la exotermia de las reacciones de oxidación. No
obstante, la contrapartida de este enfoque es no solamente una destrucción de las especies condensables, lo que es un
inconveniente en el caso en que fueran valorables, sino también una modificación de la calidad de los gases a depurar
unida a una dilución por el producto de oxidación de las especies que pueden serlo en las condiciones del tratamiento.

Enfoque separador por cambio de estado: este enfoque descansa en la diferencia de la temperatura de cambio
de estado de las especies constitutivas del gas a depurar, y sobre todo en su temperatura de condensación. Pueden
ser necesarias temperaturas más o menos bajas, lo que puede conducir a dispositivos de purificación relativamente
complejos de poner en marcha. Además, la separación obtenida no es generalmente total por limitaciones físicas
(consideraciones unidas a las tensiones de vapor, sobre todo). Para mejorar la separación es posible usar un medio
que favorezca la captación de la especie a separar. Este medio puede ser tanto líquido (de tipo disolvente inyectado
por nebulización en el seno del separador) como sólido (de tipo fibra o membrana) que puede constituir el medio
de separación (ver el enfoque separador por absorción-adsorción). La opción de usar el borboteo para depurar el gas
puede revelarse de por sí relativamente eficaz incluso si genera efluentes en cantidades más o menos importantes con
un riesgo concomitante de arrastre de una parte del líquido de burbujeo y, con ello, de contaminación del gas a tratar.

Enfoque separador por efecto mecánico: este enfoque descansa en diferentes efectos:

- El efecto centrífugo aplicado a las especies constitutivas del gas a depurar y que tienen masas diferentes. El
caso de la separación isotópica puede ser resuelto por este tipo de enfoque (ultracentrifugado) incluso si presenta el
inconveniente de ser relativamente costoso.

- El efecto de impacto que favorece la aglomeración de partículas de condensados finas que aumentan de ese modo
el efecto de centrifugado.

- La filtración mediante un medio específico y/o el depósito de filtración (torta) que puede hacer las veces de medio
constituido *in situ*, fenómeno que mejora la filtración.

Enfoque separador por afinidad de carga eléctrica (efecto de polaridad), fenómeno aprovechado sobre todo en los
electroprecipitadores de filtración de gases.

Enfoque separador por absorción-adsorción, fenómeno de mayor eficacia cuando se produce a baja temperatura.

Estos diferentes enfoques presentan inconvenientes genéricos (degradación de la calidad de los productos, rendi-
miento, coste...) pero también limitaciones propias de cada aplicación que disminuyen la aplicación industrial. Por
esta razón se han puesto a punto nuevos enfoques que combinan un cierto número de enfoques combinados:

ES 2 306 281 T3

La patente US 4.723.970 se refiere a un dispositivo de separación gas/agua que se basa en una separación centrífuga. Este dispositivo es compacto pero no permite una separación fraccionada.

La patente DE-8.905.182 se refiere a un sistema de separación líquido-vapor con filtración combinada. Este conjunto no presenta sobre todo ninguna función de condensación fraccionada, lo que limita su aplicación a la depuración de vapor constitutivo de un flujo gaseoso sucio o no.

El documento WO 9.208.937 se refiere a un conjunto de extracción de especies condensables de un flujo gaseoso por centrifugado acoplado a enfriamiento. Permite asegurar sólo un nivel de depuración limitado en la medida sobre todo en que no se incluye ningún medio de separación.

El documento US 3.890.122 se refiere a un aparato de filtración multietapa que hace intervenir la separación por centrifugado, condensación y filtración en medio filtrante. Este dispositivo presenta, sin embargo, un cierto número de inconvenientes:

Está dedicado al tratamiento del aire comprimido. Se ha concebido para una depuración específica y limitada sobre todo en lo que se refiere a la posible presencia de vapores condensables más o menos volátiles.

La separación por centrifugado se realiza principalmente mediante un cuerpo de rejilla helicoidal que impone una eficacia de separación en función del caudal o de la presión de funcionamiento (acoplamiento del dispositivo a un compresor). El dispositivo sufre así una falta de grados de libertad relativa a su modo de control automatizado. Finalmente, no es compacto.

La invención tiene, en consecuencia, por objeto proponer un dispositivo de depuración de un flujo gaseoso que remedie estos inconvenientes. Deberá ser compacto a la vista de los caudales de flujo gaseoso que puede tratar, poco sensible a la presencia de polvos finos en el flujo a depurar, y capaz de funcionar en continuo o al menos reduciendo al mínimo la frecuencia de limpieza del dispositivo. Deberá además ser flexible por su modo de funcionamiento para permitir adaptar su comportamiento a las condiciones de separación buscadas, por ejemplo apto para generar un flujo de condensados exentos de aditivos en el caso en el que los condensados constituyan el material noble para recuperar. De manera general, deberá igualmente adaptarse tanto a la depuración del flujo gaseoso propiamente dicho (caso en que el flujo a valorar sea el gas) como a la recuperación de las especies condensables (caso en que los vapores condensables constituyan el material a valorar).

Estos objetivos se alcanzan por el hecho de que el dispositivo de depuración de un flujo gaseoso que contiene vapores condensables comprende una rejilla que define un volumen estanco, un enfriador para humedecer el flujo gaseoso, un conjunto giratorio que comprende un rotor y un casquillo cilíndrico de separación y filtración montado en el rotor y giratorio con él, un tubo de soporte montado en el rotor y que soporta un dispositivo turbulador-raspador, un electrodo que rodea el casquillo de separación y filtración y un contraelectrodo central para la creación de un campo electrostático en la rejilla, una canalización de salida del gas depurado, un tubo de salida de los condensados que asegura la evacuación garantizando siempre la estanqueidad del sistema.

Preferentemente, el casquillo de separación y filtración está constituido por anillos circulares dentados superpuestos, estando al menos una placa de impacto y de separación fijada en cada uno de los anillos del casquillo.

Ventajosamente, el casquillo de separación y filtración está constituido por anillos térmicamente aislantes y por placas de impacto térmicamente conductoras que permiten asegurar una transferencia térmica controlada entre la zona interna en el casquillo de separación-filtración y la zona termostatzada.

Más ventajosamente aún, el casquillo de separación y filtración está constituido por materiales absorbentes aptos para capturar las especies condensables.

En una realización, la zona termostatzada rodea al casquillo de separación y filtración.

La canalización de salida del gas depurado puede desempeñar simultáneamente el papel de contraelectrodo.

Breve descripción de los dibujos

Otras características y ventajas de la invención aparecerán a partir de la lectura de la descripción seguida de ejemplos de realización dados con referencia a las figuras anexas. En estas figuras:

la fig. 1 es un esquema de funcionamiento de un número de etapas teórico fijado por las características del procedimiento del dispositivo;

la fig. 2 es un esquema de funcionamiento que representa los flujos y las funciones principales de un dispositivo de depuración conforme a la invención;

la fig. 3 es una vista en sección transversal de un modo de realización de un dispositivo de depuración conforme a la presente invención;

ES 2 306 281 T3

la fig. 4 es una vista en sección transversal parcial según la línea IV-IV de la fig. 3;

la fig. 5 es una vista de detalle del medio de separación y de filtración del dispositivo de la fig. 3;

5 la fig. 6 es una vista en sección transversal según la marca VI-VI de la fig. 5;

la fig. 7 ilustra el principio de separación y de transferencia de los condensados;

10 la fig. 8 es una vista en sección transversal de un criocondensador destinado a su uso en un dispositivo de depuración conforme a la invención;

la fig. 9 es una vista esquemática en sección transversal de un desvesiculador de placas usado como referencia;

las fig. 10 a 14 son curvas comparativas que ponen de relieve las ventajas de un dispositivo según la invención.

15 En la fig. 1 se ha representado un esquema de funcionamiento clásico en ingeniería química que representa de manera simplificada un número de etapas teóricas fijado por las características del procedimiento del dispositivo. Este último comporta un número finito de etapas, 2,4,...n, según se esquematiza en las líneas de puntos 6. Estas etapas se alojan en una rejilla 7.

20 La línea mixta X esquematiza el eje de rotación del dispositivo. El eje vertical indica un grado de purificación creciente del gas y el eje horizontal H la distancia al eje de simetría X del dispositivo. El gas a depurar, esquematizado mediante la flecha 10, penetra en la primera etapa 2. En este nivel se introduce un medio de condensación 12. Una parte de los vapores condensables que contienen partículas mantenidas en un equilibrio sólido-líquido (estado condensado) se extrae del gas a depurar según se esquematiza mediante la flecha 14. Tras el contacto con las placas de impacto, 25 la fase condensada acumulada se licua parcialmente y puede así atravesar (marca 55) el medio 54 limitando en todo momento el arrastre de la fase gaseosa de la zona termostatzada. Entonces se extrae el líquido del dispositivo según se esquematiza mediante la flecha 20. El gas a depurar pasa a continuación a la segunda etapa, designada por la referencia 4, según se esquematiza mediante la flecha 22. Y así sucesivamente. El gas depurado sale del aparato por la parte superior según se representa mediante la flecha 30.

30 La fig. 2 es un esquema de funcionamiento que representa en el plano el flujo y las funciones/elementos, los subsistemas correspondientes a las funciones principales del dispositivo de la invención. En la rejilla 7 ya mencionada se encuentra un intercambiador de calor 32, por ejemplo un criocondensador enfriado con nitrógeno líquido. El gas a depurar, designado por la referencia 10, se mezcla con un medio de condensación designado por la referencia 12. Este 35 medio de condensación, denominado igualmente aditivo, se elige en función de sus propiedades físico-químicas que deben tenerse en cuenta para obtener la mejor nucleación posible.

El flujo gaseoso 10 puede preenfriarse opcionalmente antes de su humidificación en el intercambiador de calor 32, por ejemplo por un paso a través de un termoducto 34. Esta etapa de enfriamiento permite un grado de libertad 40 suplementario con respecto a la posibilidad de humidificación en el intercambiador 32. En este sentido, se considera que el termoducto 34 no forma parte del dispositivo delimitado por la rejilla 7 esquematizada por la línea de trazo discontinuo de la fig. 2.

La función de centrifugado se simboliza por el rombo 36. El flujo gaseoso atraviesa a continuación un medio 54 de filtración dispuesto concéntricamente con respecto al eje de simetría de rotación X del dispositivo. Los condensados se evacuan por la parte inferior del aparato mediante una bomba o un sifón 40 que permiten mantener la estanqueidad del sistema. El gas depurado sale por 37. Éste puede hacerse recircular a la zona termostatzada 18 (flecha 35) antes de salir de esta zona (flecha 37). El flujo gaseoso a tratar 10 puede usarse igualmente para termostatzar la zona 18 en caso necesario.

50 En la fig. 3 se ha representado un ejemplo de realización de un dispositivo de depuración conforme a la invención. Comporta una base 39 y una abrazadera inferior 41 fija con respecto a la base 39. Se monta una rejilla 7 en la abrazadera inferior 41 que lleva en su parte superior una abrazadera superior 52.

Se monta un conjunto giratorio 42 en la base 39 y en la abrazadera 41 por medio de un cojinete 43 de rodamiento de bolas. El conjunto giratorio 42 comprende un eje 44 en el cual se monta una bandeja circular 46 y un tubo perforado 48. Éste se pone en rotación, por ejemplo por medio de un motor eléctrico no representado. En su extremo superior, el tubo perforado 48 lleva tres peines raspadores 50 dispuestos a 120° entre sí (ver fig. 4).

60 Los condensados en el sentido no gaseoso del término (es decir, líquidos o sólidos) tienen naturalmente tendencia a depositarse y a aglomerarse en ciertos ángulos del aparato, en particular en los puntos fríos y fijos, en su caso la pared periférica interior del intercambiador 36. Por tanto, es indispensable, para garantizar la función de enfriamiento, impedir estos depósitos que degradan acusadamente el coeficiente de intercambio térmico del intercambiador. Los peines raspadores tienen precisamente la función de impedirlo agitando el flujo gaseoso en el volumen interior del intercambiador 36.

65 Se monta un casquillo cilíndrico de separación y 54 de filtración en la bandeja 46, y gira al mismo tiempo que esta bandeja. Como puede verse más en particular en las fig. 5 y 6, el casquillo 54 está constituido por anillos 56

superpuestos. Los anillos 56 comportan dientes 60 que delimitan entre sí partes perforadas 62. Se fijan placas de impacto exteriormente a cada uno de los anillos 56. Las placas 64 se fijan, por ejemplo, mediante tornillos 66. Cada placa 64 comporta una parte 68, preferentemente inclinada hacia el interior del casquillo 54, que está situada enfrente de las cavidades 62 y que constituye la placa de impacto propiamente dicha.

Gracias a esta realización en forma de anillos, el casquillo 54 puede desmontarse y limpiarse fácilmente. Una abrazadera 70 de sujeción asegura la sujeción del conjunto de los anillos. La abrazadera 70 se monta giratoria con el rotor. Gira con respecto a un cojinete fijo 72 con el cual puede obtenerse un nivel de estanqueidad giratorio, más o menos importante.

Además, esta concepción permite unir el aislamiento necesario entre las zonas frías y termostatizadas con el mantenimiento de una transferencia de calor para permitir al condensado migrar hacia la parte termostatizada.

Como puede verse igualmente en la fig. 4, el tubo 48 comporta dos luces 10 longitudinales 49 que tienen como función permitir la evacuación del flujo gaseoso a través del tubo 78.

Se monta un intercambiador de calor 36 bajo la abrazadera superior 52. Presenta la forma de un casquillo cilíndrico que rodea el tubo perforado 48 respecto al cual se dispone coaxialmente. Los peines 50 giran en el espacio delimitado por el intercambiador 36. Se prevé una ligera holgura entre el extremo de los peines y la pared interior del intercambiador 36.

El tubo 78 se monta coaxialmente al eje X del dispositivo. El extremo inferior del tubo 78 se aloja en el interior del tubo perforado 48. La parte superior del tubo 78 atraviesa la abrazadera superior 52. El tubo 78 permite la salida del gas tratado. La entrada del gas a tratar se hace, de por sí, mediante un tubo 80 que atraviesa la abrazadera superior 52. El tubo 80 desemboca en el volumen definido por la pared interna del intercambiador cilíndrico 36, es decir, en el volumen barrido por los peines 50. Unas canalizaciones 82 y 84 permiten respectivamente el aporte y la evacuación de un fluido criogénico, por ejemplo, nitrógeno líquido, en el intercambiador 36.

Opcionalmente, un elemento calefactor 86 puede rodear a la rejilla 7. Además, la totalidad o una parte del flujo tratado (es decir, el que se va a tratar) evacuado por el tubo 78 puede recircularse al volumen anular definido entre la periferia del casquillo 54 y la rejilla 7 por la canalización 88 de manera que constituya una zona termostatizada 18.

Puede inyectarse además un fluido auxiliar mediante una boquilla 90. El orificio 90 tiene por función la introducción del medio de condensación correspondiente al número de referencia 12 (ver fig. 2) y favorecer así la nucleación. Permite la precipitación de una niebla de condensado. Este aditivo nebulizado antes de la humidificación se elige por sus propiedades físico-químicas (temperatura de condensación, polaridad, miscibilidad, permitividad) adaptadas al caso de depuración que se busca alcanzar, sobre todo si se trata de recuperar el condensado o prioritariamente de depurar el flujo que entra en el sistema.

En un modo de realización preferido, se dispone un electrodo cilíndrico 94 en el exterior del casquillo 54. El electrodo 94 puede colocarse en el interior de la rejilla 7, según se representa en la fig. 3, o exteriormente a esta rejilla. Ventajosamente, el tubo de evacuación del flujo gaseoso tratado 78 desempeña el papel de contraelectrodo. Se establece una diferencia de potencial, generalmente fija, entre el electrodo 94 y el contraelectrodo 78 de manera que favorezca una precipitación electrostática. El medio de condensación se elegirá preferentemente de manera que se favorezca esta precipitación (consideración conjugada entre el diámetro de partículas formadas por la condensación de la mezcla) medio-auxiliar (canalización 90)/condensado y la permitividad de estas partículas.

El conjunto giratorio 42 permite un centrifugado del flujo a velocidades suficientes para un índice de separación de partículas de condensado adaptado al caso de depuración deseado. Esta etapa permite hacer migrar las partículas hacia el medio filtrante, en su caso el casquillo 54 de filtración y de separación, a una velocidad suficiente con respecto a su tiempo de permanencia en el dispositivo de depuración. Para la concepción de la zona de centrifugado, es posible en primera aproximación determinar la velocidad límite de migración de una partícula suponiendo la igualdad de las fuerzas centrífuga y de Stokes de manera que sea posible calcularla para partículas cuyo diámetro medio equivalente está comprendido aproximadamente entre 1 y 50 μm . El tiempo necesario para que una partícula sedimente puede expresarse, por tanto, del modo siguiente:

$$t = Kc \cdot \frac{\log(a / R_{\text{tubo}})}{(ND)^2} \quad (1) \quad \text{con} \quad Kc = \frac{9\eta}{2\pi^2\Delta\rho}$$

y

N: frecuencia de rotación

a: radio de rotación

R_{tubo} : radio del tubo de salida de los gases a depurar (zona no libre)

D: diámetro de las partículas

η : viscosidad del gas a depurar

$\Delta\rho$: diferencia de masa por volumen entre la partícula de condensado y el gas a tratar.

Según la relación (1), es posible representar el tiempo de sedimentación de las partículas en función de su diámetro medio para un dimensionamiento y una velocidad de rotación dados. Se obtiene así la expresión de una recta en escala logarítmica de la forma siguiente:

$$\text{Log}(t) = -2 \log(D) + (\log K - 2 \log N) \\ \text{siendo } K = K_c \log(a/R_{\text{tubo}})$$

Así es posible definir el caudal de gas límite (Q) a la salida de la centrifugadora según la expresión siguiente para un volumen de centrifuga dado (V):

$$Q = V/t$$

Por encima de los tiempos de sedimentación en función de la velocidad de rotación, es útil poder estimar la sobre-presión en la pared debida a la fuerza centrífuga aplicada. Por encima de consideraciones relativas al cálculo de los elementos de estructura, la sobrepresión inducida por el centrifugado debe favorecer el procedimiento de condensación.

Suponiendo un movimiento de base que lleva a una rotación de cuerpo rígido y despreciando la influencia de las partículas sobre el gradiente de presión, es posible expresar un perfil de presión radial en la centrífuga mediante la relación siguiente:

$$\frac{P(r)}{P(a)} = \exp \left[\frac{M(\Omega a)^2}{2RT} \left(1 - \frac{r^2}{a^2} \right) \right]$$

en la que

P(r): presión local en la cota radial r

P(a): presión local en la cota a

M: masa del gas vector

T: temperatura del medio

Ω : velocidad angular de rotación

Se puede así deducir los órdenes de magnitudes de dimensionamiento y de velocidad de rotación para un flujo que se tratará.

El centrifugado se favorece opcionalmente por la acción combinada de un campo electrostático generado en el seno de la zona de separación, según se explica anteriormente. La velocidad U_c de migración (o de recogida) de las partículas de condensados sólo por el efecto electrostático puede expresarse mediante una relación del tipo:

$$U_c = \left(1 + 2 \frac{\varepsilon_r - 1}{\varepsilon_r + 2} \right) \frac{I \cdot D}{k\mu}$$

Para una naturaleza (permitividad relativa (ε_r) y un diámetro (D)) de partículas de condensado dadas, es posible deducir la intensidad (I) que se ha de aplicar al electrodo de recogida para obtener una velocidad de migración dada. Este efecto electrostático se suma al efecto de separación inercial en la medida en que las partículas son electrificables en las condiciones estándar de funcionamiento de los electroprecipitadores.

Debe observarse igualmente que, aplicando una velocidad de rotación suficiente, una sobrepresión local en el medio filtrante 54 inducida por la fuerza centrífuga favorece el fenómeno de condensación.

El medio filtrante 54 permite constituir una barrera de impacto que favorece la recondensación de partículas de condensado y el enriquecimiento en condensados en el lado de la rejilla 7. Los elementos constitutivos del medio están constituidos ventajosamente por elementos aislantes térmicamente y después por elementos conductores térmicos en el

sentido radial que va de la zona interna del medio filtrante 54 hacia su cara externa (enfrente de la zona termostatzada 18); todo ello para asegurar un mantenimiento de la temperatura tanto en el lado de la centrífuga (el interior del casquillo 54) como en el lado de la rejilla 7 con el fin de favorecer la transferencia del condensado y después su vertido antes de que sea evacuado por los sistemas de purga en continuo 40.

El objetivo es formar agregados de partículas sólidas/líquidas 69 en las caras internas de las placas de impacto 68 (fig. 5 y 6). El ligero gradiente de temperatura controlado e impuesto por la zona termostatzada 18 permite entonces una licuefacción y la formación de una película 98 de condensado (fig. 7) evacuable por las holguras 69 dispuestas entre los elementos de impacto y de distribución de temperatura 68 y haciendo igualmente el medio (el casquillo 54) de separación las veces de barrera térmica. Un chorro de líquido de 71 golpea la rejilla 7 y se deposita en ésta una película de líquido 73. Los pasos 69 permiten además controlar la pérdida de carga del medio y compensar su colmatación, sobre todo en el caso en que éste esté constituido por elementos de captación por absorción-adsorción.

Los rendimientos del dispositivo de la invención se basan en los efectos combinados del centrifugado, del impacto, del enfriamiento, del campo electrostático, de la nucleación y finalmente de la adsorción. No obstante, más allá de la combinación de estos enfoques separadores y de la adaptabilidad del procedimiento, la originalidad de la presente invención reside en el procedimiento de separación/purificación que une un cambio de fase y una separación combinada. Para llegar a este resultado y reducir al mínimo a la vez el arrastre de gas en los condensados o a la inversa, condensados en el flujo gaseoso, una película de material sólido constituida por los materiales condensables (mezclados o no con un medio de condensación si el objetivo es recuperar los condensables o más bien valorar el flujo gaseoso) constituye en sí una interfase que garantiza la separación de los flujos. En efecto, el flujo de calor impuesto en la zona exterior del medio de filtración (zona termostatzada) permite mantener un equilibrio y un gradiente de temperatura entre la película sólida y las placas de impacto y de distribución térmica. Así, pasando progresivamente de un estado sólido a un estado líquido, los condensables migran al exterior de la zona de admisión del gas cargado de condensables hacia la zona termostatzada formando una película que evita el arrastre del gas cargado. La concepción del aparato permite además jugar con el grosor de la película (aplicando, por ejemplo, una temperatura adaptada en la zona termostatzada) para obtener niveles de rendimiento de separación más o menos importantes según la naturaleza de los condensables.

Lo que se ha explicado anteriormente para la parte de placa de distribución es aplicable igualmente (opcionalmente) a la zona del medio filtrante en el caso en que ésta esté constituida por materiales absorbentes aptos para captar las especies condensables. El ajuste (regulando, por ejemplo, la velocidad de rotación del dispositivo o eligiendo una naturaleza de medio de absorción específica) entre fuerza de absorción y fuerza centrípeta permite controlar el índice de obstrucción del medio y, de ese modo, la cantidad de especies condensables que migran hacia la zona de recogida.

Según la naturaleza de los condensables (es decir, principalmente según su comportamiento frente al efecto de condensación, de formación de sólido o de líquido más o menos viscoso), será posible así primar una u otra de las adaptaciones tecnológicas separadoras citadas anteriormente.

En la fig. 8 se ha representado una vista en sección transversal de otra forma de realización de un criocondensador que puede usarse en el marco de un dispositivo de depuración de flujo gaseoso conforme a la invención. Comporta un haz de tubos 100 (en la fig. 8 se han representado solamente dos tubos) en el interior de un casquillo cilíndrico 102 fijo él mismo en una abrazadera 104. Los tubos 100 son solidarios, en sus extremos superiores, con una abrazadera 105, y en sus extremos inferiores, con una abrazadera 106. Un casquillo 108, realizado por ejemplo en acero inoxidable, se monta bajo la abrazadera 106. El gas a depurar se introduce en el haz de tubos 100, según se esquematiza mediante las flechas 112. Desemboca en el volumen interior definido por el casquillo 108. Un líquido criogénico, por ejemplo nitrógeno líquido, circula alrededor de los tubos 100 de manera que se realiza una humidificación del gas a depurar.

En la fig. 9 se ha representado un desvesiculador de placas usado como referencia para comparar sus rendimientos con el de un dispositivo constitutivo y conforme a la invención (criocondensador). Este aparato de constitución simple comporta un cono 120 en su parte superior. Este cono está unido a un cilindro exterior 122 en cuya pared interna se dispone una serie de placas de forma cónica 124. Se dispone un tubo interior 126 en el tubo 122 coaxialmente con este último. El tubo interior 126 lleva también placas 128 cónicas o troncocónicas. El tubo interior 122 y el tubo exterior 126 se enfrían a una temperatura de -5°C a -10°C mediante circulación de un fluido termoportador, generalmente agua glicolada. La entrada del agua glicolada en el tubo exterior se ha representado mediante la flecha 130 y su salida mediante la flecha 132. Las flechas 134 y 136 esquematizan respectivamente la introducción y la evacuación de agua glicolada en el tubo interior 126.

El flujo a depurar se introduce por la parte superior del cono según se esquematiza mediante la flecha 140. Sigue un recorrido sinuoso definido por los elementos troncocónicos 124 y 128 antes de salir del aparato por su parte inferior según se esquematiza mediante la flecha 142.

Ejemplo

Depuración de condensados de tipo alquitranes

Sin otros efectos que una condensación de las especies condensables por medio de un desvesiculador de placas, el flujo de gas a tratar (gas de pirólisis de biomasa realizada a 500°C aproximadamente) comporta todavía suficientes condensados para perturbar la medida de caudal mediante un caudalímetro de tipo Coriolis. El contenido en condensado en el flujo pasa de 100 g/Nm³ a 10 g/Nm³ aproximadamente (ver fig. 10).

ES 2 306 281 T3

Los tiempos de paso de los gases a tratar son del orden de la decena de segundos. En el caso actual se han usado dos desvesiculadores de placas dispuestos en serie, por ejemplo del tipo representado en la fig. 9, para obtener el nivel de depuración citado anteriormente.

Para mejorar la depuración del flujo gaseoso frente a alquitranes, se ha usado un dispositivo criocondensador como el representado en la fig. 8 y se ha implantado complementariamente a continuación de los dos desvesiculadores de placas. Las pruebas de depuración complementarias con este dispositivo (temperatura superficial de -90°C aproximadamente) han permitido observar la posibilidad de formar partículas de condensados de diámetros variables que raramente superan 0,5 mm según la humedad presente en el gas a depurar. Los tiempos de permanencia en este aparato son próximos al segundo.

El resultado de esta depuración se ha representado en la fig. 14.

Las curvas de las fig. 10, 11 y 12 dan elementos cifrados en orden de magnitud de los parámetros de sobrepresión local en el medio de separación y de manera que los rendimientos pueden alcanzarse para diámetros de partículas (vesícula y/o sólido) y velocidades de rotación dadas.

La fig. 10 da la proporción entre la presión local y la presión en la pared ($P(r)/P(a)$) en función de la cota (r/a). La fig. 11 da el tiempo de sedimentación en función del diámetro de las partículas (efecto de inercia en solitario) y la fig. 12 el caudal máximo de gas que permite alcanzar el tiempo de sedimentación de las partículas. La fig. 13 indica el caudal medido por efecto Coriolis con un separador de placas y la fig. 14 con criocondensador y medio filtrante.

Los cálculos se han realizado con las hipótesis siguientes:

$$A = 0,1 \text{ m}$$

$$T = 310 \text{ K}$$

$$M = 28 \text{ g/mol}$$

$$R_{\text{tubo}} = 0,01 \text{ m}$$

$$\Delta\rho = 984,4 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 1,65 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}\cdot\text{s}$$

$$V = 0,013 \text{ m}^3$$

Naturaleza de alquitranes: naftaleno

Características indicativas (órdenes de magnitudes) del separador	
Potencia frigorífica por volumen	70 W/m ³
Volumen de separador por caudal por volumen de gas a tratar	0,002 m ³ / (m ³ /h)
T entrada	500 K
ΔT (entrada-salida)	200 K
Diámetro crítico de partículas a atrapar	10 μm
Concentración anterior en condensable (C ₁₀ H ₈)	De 50 a 5 g/m ³
Concentración posterior en condensable (C ₁₀ H ₈)	<0,1 g/m ³
Contenido en agua máximo admisible en el gas a tratar	10% en volumen

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de depuración de un flujo gaseoso que contiene vapores condensables, **caracterizado** porque comprende una rejilla (7) que define un volumen estanco, en la rejilla (7) se alojan un enfriador (36) para humedecer el flujo gaseoso, un tubo (80) de entrada para el flujo gaseoso a tratar que desemboca en el volumen interior del enfriador (36), un conjunto giratorio (42) que comprende un rotor (44) y un casquillo cilíndrico (54) de separación y filtración montado en el rotor y giratorio con él, un tubo (48) de soporte montado en el rotor (44) y que soporta un dispositivo turbulador-raspador (50) en el volumen interior del enfriador (36), un electrodo (94) que rodea al casquillo de separación y filtración (54) y un contraelectrodo central (78) para la creación de un campo electrostático en la rejilla, un tubo (78) de salida del gas depurado, una canalización (40) de salida de los condensados que asegura la evacuación garantizando siempre la estanqueidad del sistema.
2. Dispositivo de depuración según la reivindicación 1, **caracterizado** porque el casquillo de separación y filtración (54) está constituido por anillos circulares dentados superpuestos (56), estando fijada una placa de impacto y de separación (64) en cada uno de los anillos (56) del casquillo.
3. Dispositivo de depuración según la reivindicación 2, **caracterizado** porque el casquillo de separación y de filtración (54) está constituido por anillos térmicamente aislantes y placas térmicamente conductoras para asegurar una transferencia térmica dominada entre la zona interna al casquillo de separación-filtración y una zona termostatizada (18).
4. Dispositivo de depuración según la reivindicación 2 ó 3, **caracterizado** porque el casquillo de separación y filtración (54) está constituido por materiales absorbentes aptos para captar las especies condensables.
5. Dispositivo de depuración según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizado** porque la zona termostatizada (18) rodea al casquillo (54) de separación y de filtración.
6. Dispositivo de depuración según una de las reivindicaciones 1 a 5, **caracterizado** porque comporta un tubo (78) de salida del gas depurado que desempeña simultáneamente el papel de contraelectrodo.

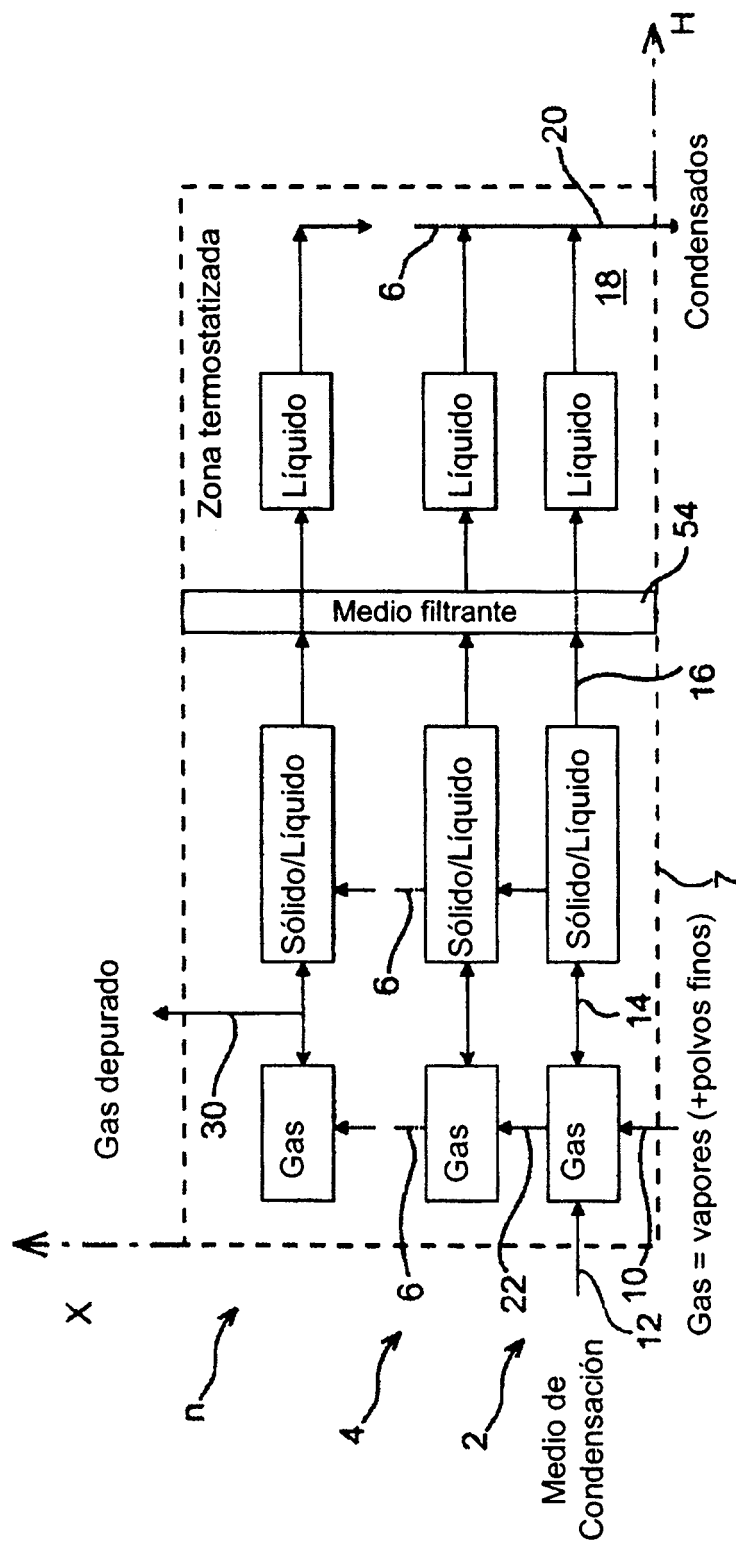


FIG. 1

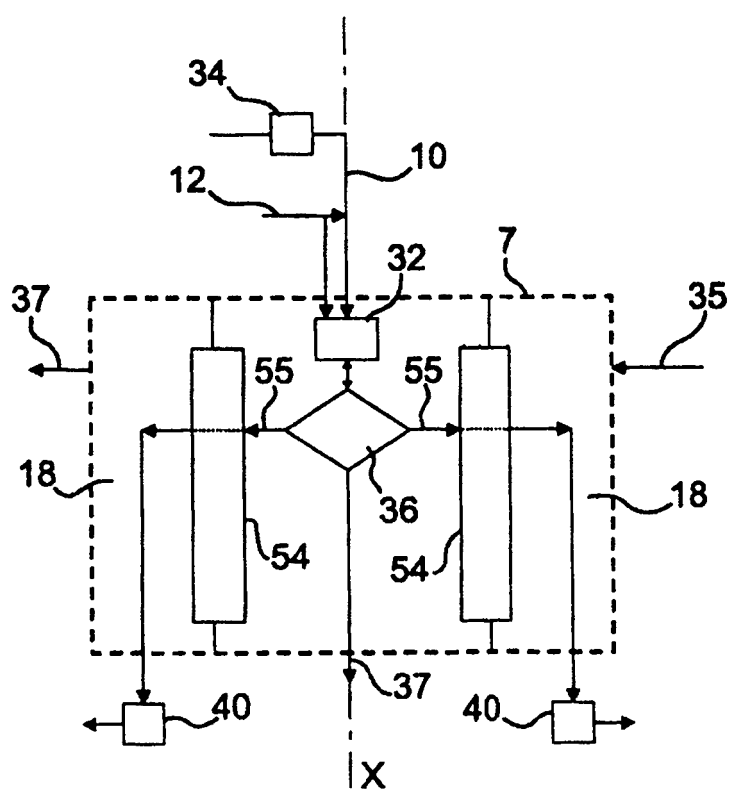


FIG. 2

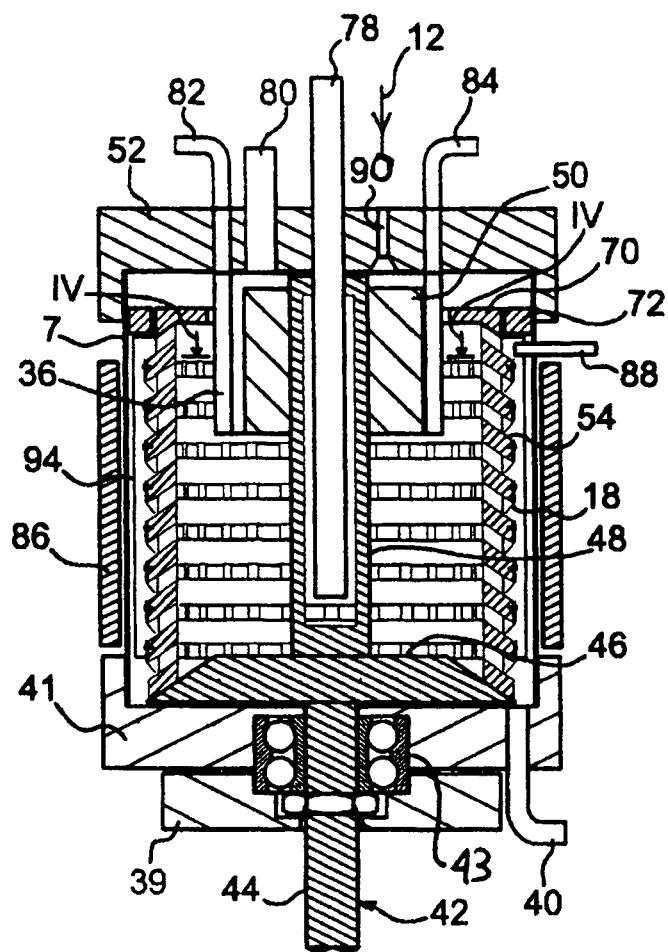


FIG. 3

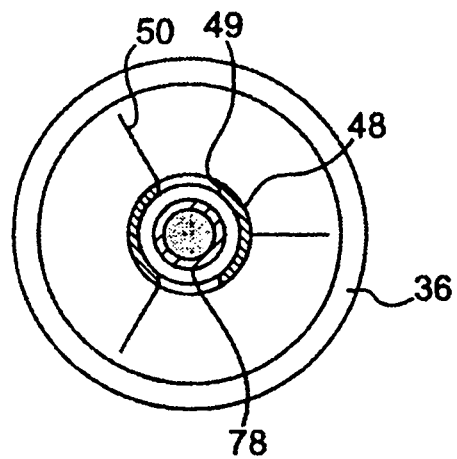


FIG. 4

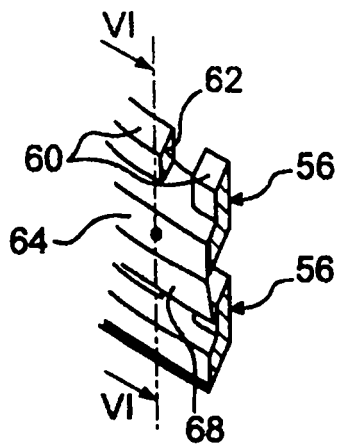


FIG. 5

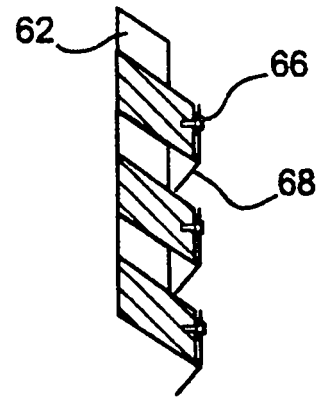


FIG. 6

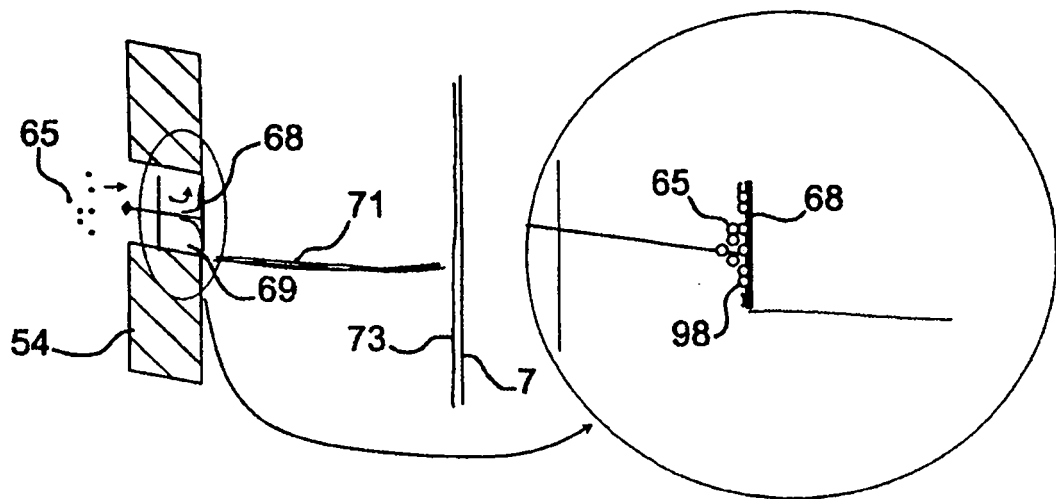


FIG. 7

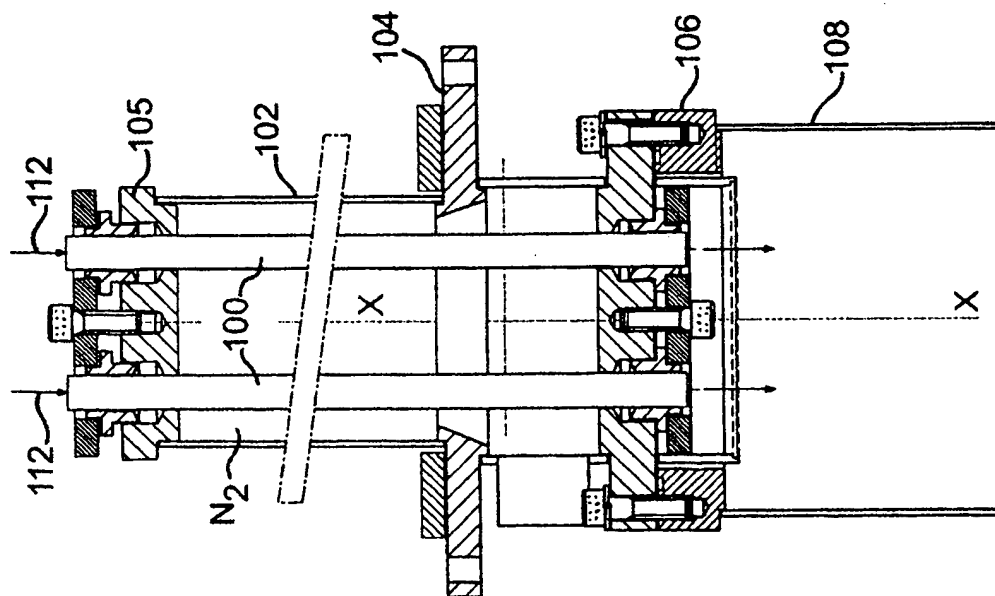


FIG. 8

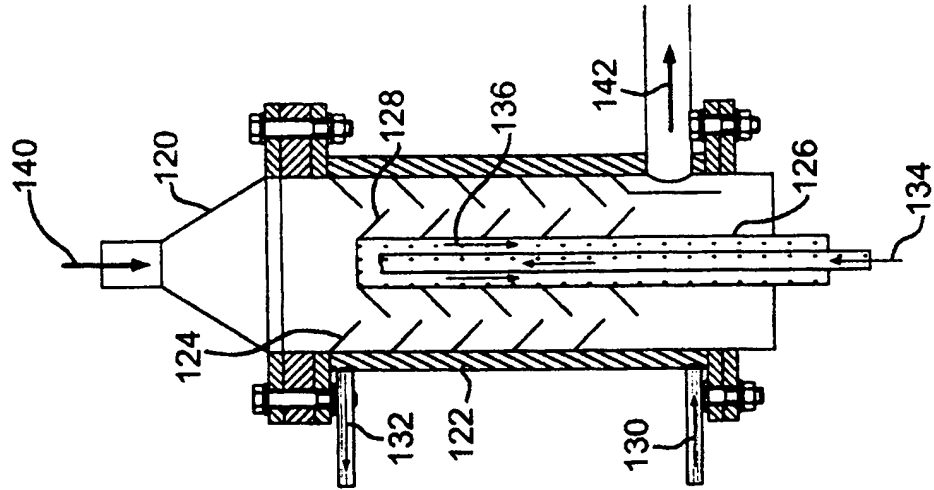


FIG. 9

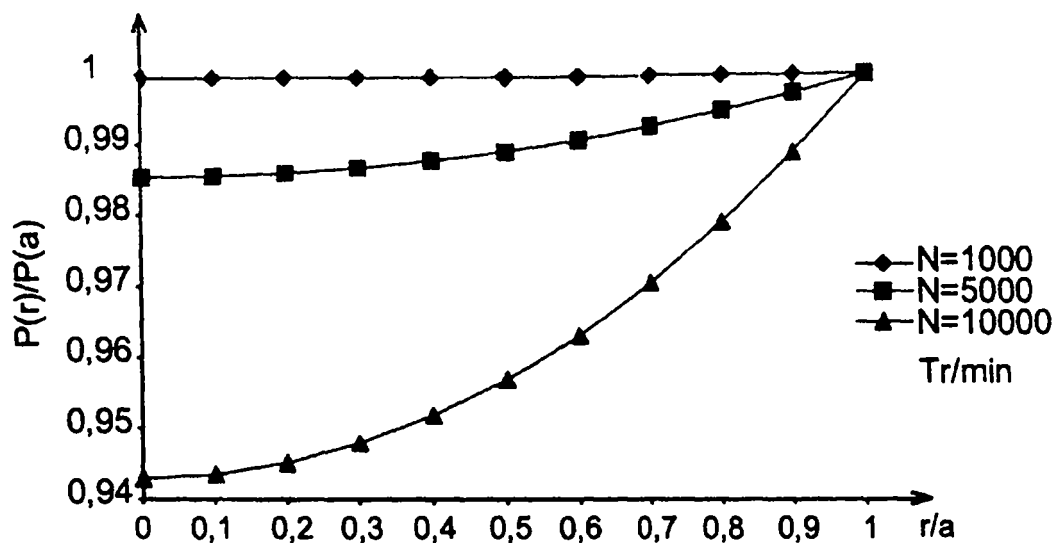


FIG. 10

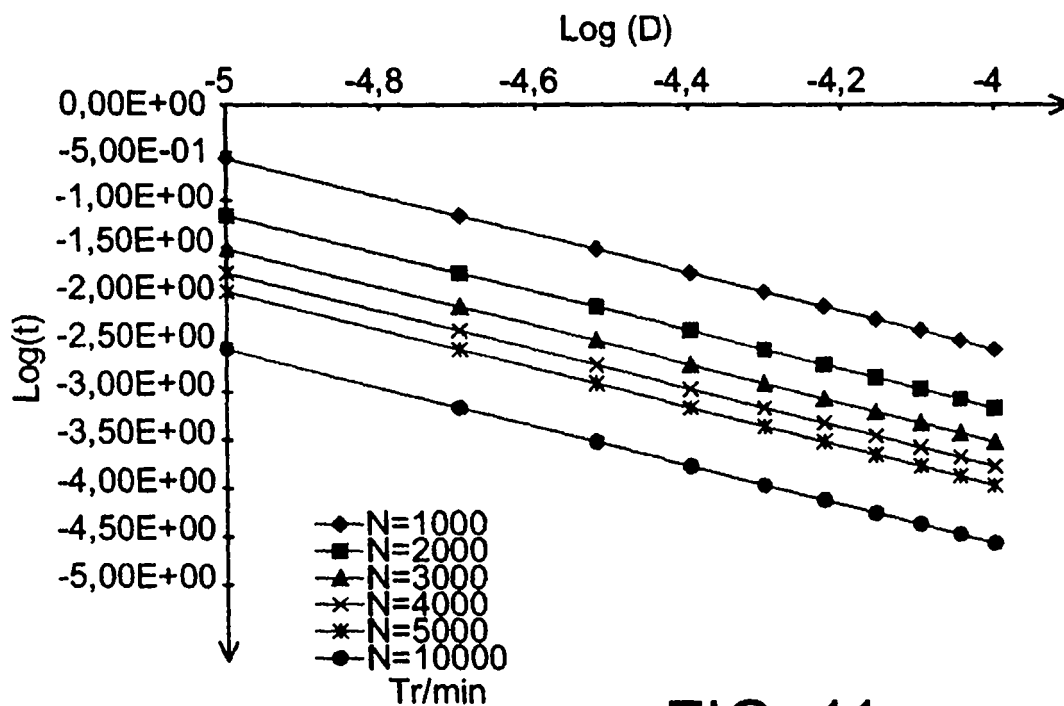
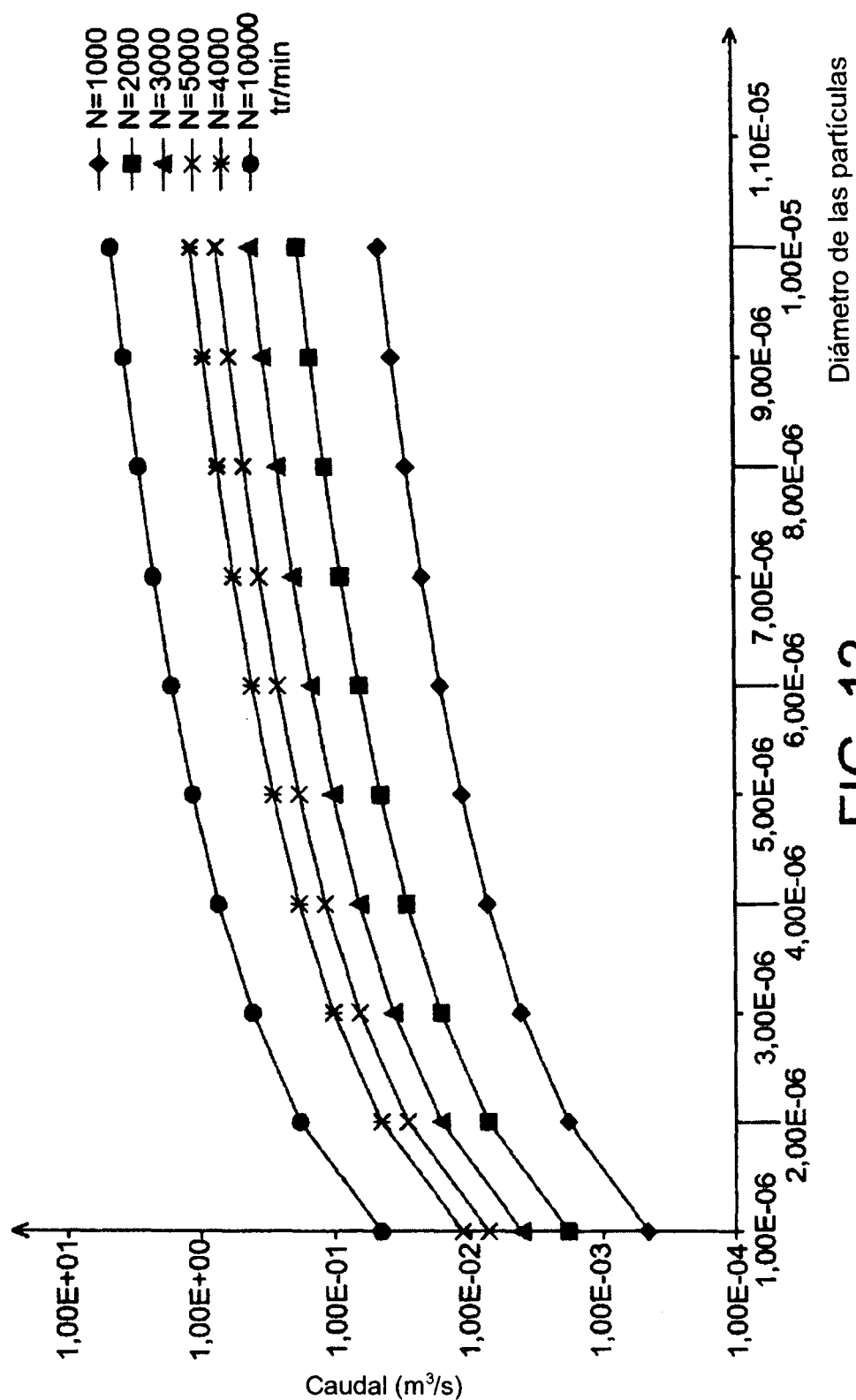


FIG. 11



Diámetro de las partículas

FIG. 12

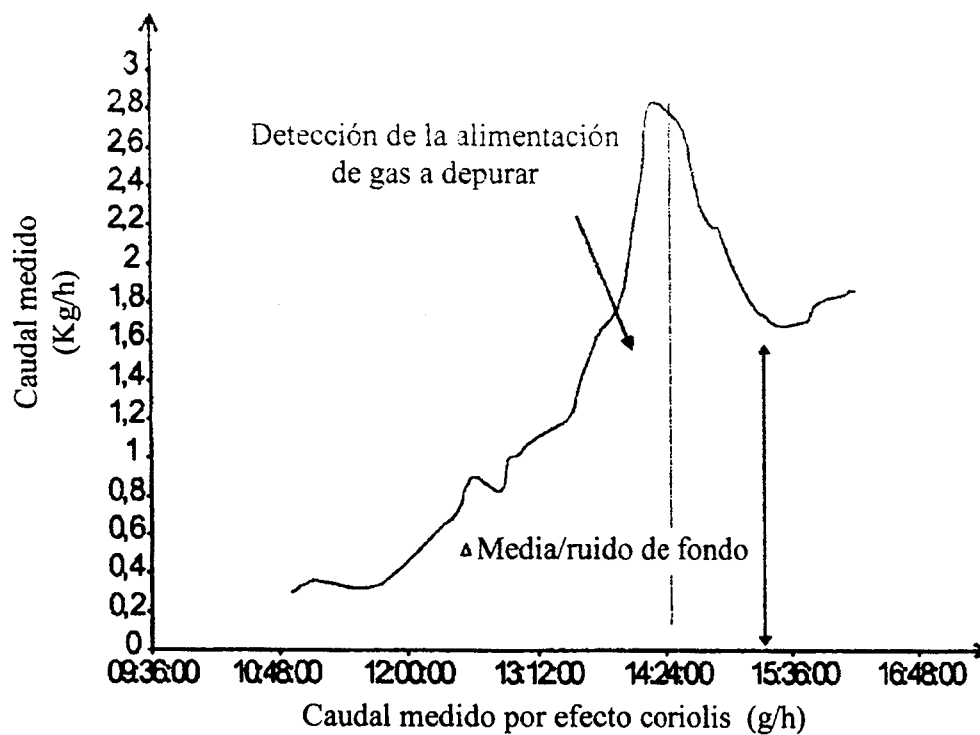


FIG. 13

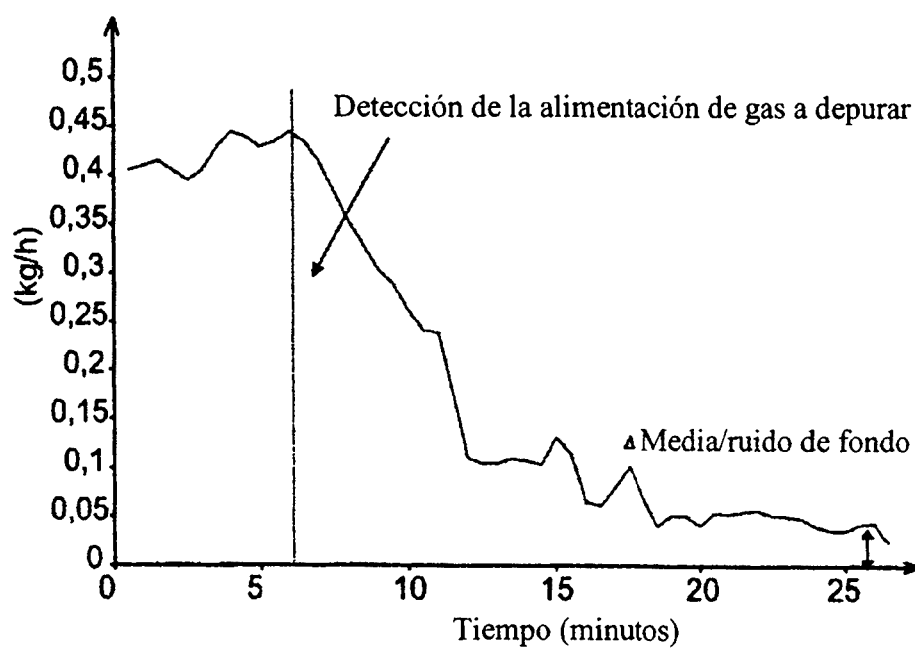


FIG. 14