



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 285 854**

51 Int. Cl.:
B01D 45/12 (2006.01)
B04C 5/26 (2006.01)
F23C 10/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **99938419 .1**
86 Fecha de presentación : **12.08.1999**
87 Número de publicación de la solicitud: **1113857**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **11.07.2001**

54 Título: **Método y aparato para la separación de sólidos de una fase gaseosa.**

30 Prioridad: **12.08.1998 FI 981743**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.11.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.11.2007

73 Titular/es: **Neste Oil Oyj**
Keilaranta 8
02150 Espoo, FI

72 Inventor/es: **Hiltunen, Jyrki;**
Eilos, Isto y
Niemi, Vesa

74 Agente: **Durán Moya, Carlos**

ES 2 285 854 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y aparato para la separación de sólidos de una fase gaseosa.

La presente invención se refiere a la separación de dos fases entre sí, así como a un aparato adecuado para llevar a cabo dicho método. De manera específica, la invención se refiere a un método para separar sólidos y/o líquidos de flujos de gas o para separar sólidos de flujos de líquido, respectivamente. Según el presente método, un flujo en fase gaseosa que contiene, por ejemplo, un catalizador u otros sólidos o una fase líquida, se hace pasar por unos medios de separación, en los que la otra fase se separa a continuación de dicha fase gaseosa bajo el efecto de una fuerza centrífuga. De manera similar, para separar sólidos de un flujo en fase líquida, el flujo de líquido se hace pasar por un aparato de separación, en el que los sólidos se separan del líquido bajo el efecto de una fuerza centrífuga.

La invención también se refiere a un aparato adecuado para separar sólidos y/o líquidos de flujos de gas/líquido en equipos de lecho fluidizado.

Las realizaciones de mayor valor comercial, utilizadas para separar dos fases entre sí, son los reactores de lecho fluidizado. De manera general, los reactores de lecho fluidizado se utilizan en los procesos de conversión de hidrocarburos y en la generación de energía. En estos aparatos, un catalizador o material similar que contiene sólidos, capaz de mejorar la transferencia de calor o la fluidización del material, se mantiene en un estado fluidizado mediante un hidrocarburo en fase gaseosa o un flujo de gas de combustión. Posteriormente, los sólidos se separan del flujo de gas mediante un ciclón.

El reactor de lecho fluidizado que se utiliza de manera más general es un reactor de lecho burbujeante en el que la velocidad de flujo lineal del medio fluido es normalmente de 5 a 10 veces la velocidad de fluidización mínima que puede mantener la parte principal de los sólidos en el lecho fluidizado del reactor, de modo que una cantidad significativa de los sólidos no puede escapar del reactor conjuntamente con el flujo de hidrocarburo y de gas de combustión. El término velocidad burbujeante mínima se define como la velocidad de flujo de gas lineal a la que una parte del flujo de gas empieza a pasar a través del lecho en forma de burbujas. Esta velocidad burbujeante mínima depende de las propiedades del gas fluidificante y de los sólidos implicados.

Cuando la velocidad de flujo de gas aumenta por encima de la velocidad burbujeante mínima, la parte superior del lecho fluidizado se hace menos definida, transformándose de hecho en una zona de gradiente en la que el contenido de sólidos disminuye corriente arriba. A velocidades de flujo suficientemente altas, se obtiene un flujo fluidizado en el que prácticamente todas las partículas sólidas son arrastradas por el flujo de gas, que mantiene el estado fluidizado. A continuación, los sólidos separados del flujo de gas por los ciclones deben retornar a la parte inferior del espacio de reacción, a efectos de mantener el equilibrio de masas inalterado.

Tal como se ha mencionado, el método y el aparato según la invención pueden utilizarse, por ejemplo, en procesos utilizados para el tratamiento de hidrocarburos. Entre los ejemplos de dichos procesos se incluyen craqueo catalítico y térmico, deshidrogenación,

síntesis Fischer-Tropsch, fabricación de anhídrido de ácido maleico y dimerización oxidante de metano.

Una aplicación del reactor de lecho fluidizado utilizada normalmente en la generación de energía es una caldera en la que el material fluidizado, tal como arena y/o partículas sólidas de combustible, está fluidizado con el flujo de aire de combustión y el gas de combustión liberado en el proceso. También puede utilizarse un combustible en fase líquida o gaseosa. En la técnica se utilizan normalmente reactores de lecho fluidizado circulante (CFB), que usan la técnica de lecho fluidizado burbujeante y de fluidización de arrastre. En los mismos, los sólidos y partículas sin quemar se retiran del flujo de gas de combustión mediante ciclones. En este contexto, el término fluidización de arrastre se refiere a la fluidización que tiene lugar en el ámbito de fluidización rápida turbulenta, así como en el ámbito de transporte neumático.

Los procesos de conversión de hidrocarburos se llevan a cabo utilizando reactores de lecho fijo y reactores de lecho fluidizado (reactores catalíticos fluidizados). En el presente contexto, el término "equipo de proceso catalítico fluidizado" se utiliza para hacer referencia a equipos utilizados en procesos que tienen un catalizador pulverizado de grano fino en suspensión, por ejemplo, en un flujo de gas que asciende lentamente, en el que el catalizador provoca la obtención de reacciones deseadas.

Uno de los sistemas de reactor catalítico fluidizado utilizados de manera más extendida en la técnica es el equipo de FCC, es decir, equipo de craqueo catalítico fluidizado, que comprende principalmente una columna ascendente que actúa como reactor y que funciona en el estado de flujo de fluidización rápida, y un regenerador que funciona en el estado de lecho burbujeante de fase densa.

En los reactores de lecho fluidizado, la materia en partículas de los sólidos en suspensión y el gas de producto son separados entre sí en ciclones, utilizando el efecto de la fuerza centrífuga. Normalmente, deben conectarse varios ciclones en serie a lo largo del flujo de gas para mejorar la eficacia de recogida general, debido a que los ciclones únicos de construcción normal presentan una capacidad de separación inferior para partículas con un tamaño inferior a 15 μm . En la presente descripción, un ciclón se considera eficaz si puede separar estas partículas de pequeño diámetro del flujo de gas.

Además de las aplicaciones relacionadas con los reactores de lecho fluidizado, los ciclones también se utilizan, por ejemplo, para separar gotitas de líquido en sistemas de vapor, separar sólidos de gases de combustión en procesos de secado, separar fases en flujos de dos fases (equipos desempañadores), separar sólidos de gases (separadores de polvo) y como hidrociclones que sirven para la separación gruesa de sólidos de aguas residuales.

Los separadores de ciclón tienen una estructura enrollada o en espiral en la que la materia en partículas en suspensión es dirigida como un flujo tangencial por la sección cilíndrica del ciclón, de modo que las partículas de catalizador se separan del gas hasta quedar a una distancia cercana a la pared interior del ciclón, cuando el flujo circula normalmente a aproximadamente 7 a 9 revoluciones en el interior de la sección cilíndrica del ciclón y de la sección cónica que forma una continuación de la misma. También se conocen ciclones axiales en los que el gas que circula a

través de un tubo es forzado a realizar un movimiento de circulación mediante unas palas, de modo que los sólidos son conducidos bajo la fuerza centrífuga contra la pared del tubo y se separan del flujo de gas en la misma.

El tipo de ciclón más común es un ciclón en espiral con un único orificio, denominado ciclón Zenz, en el que las proporciones de las diferentes partes del ciclón están estandarizadas, permitiendo de este modo dimensionar el ciclón basándose en gráficos y fórmulas computacionales. La eficacia de recogida de este ciclón puede mejorarse mediante un número elevado de revoluciones del flujo en la cámara del ciclón, un caudal de flujo elevado en la tobera de entrada, una mayor densidad de sólidos, un orificio de tobera de entrada más estrecho y una viscosidad inferior del gas.

En el ciclón de separación previa de una unidad de craqueo catalítico fluidizado, los ensayos han demostrado que el tiempo de residencia del gas es del orden de 1,0 a 2,0 s, desde la parte superior de la columna ascendente hasta la salida del ciclón, tras lo cual el catalizador permanecerá en el recipiente de separación a una temperatura elevada de 5 a 40 s. Durante este tiempo, se perderán componentes valiosos como consecuencia de las reacciones térmicas. En consecuencia, los productos de gasolina se convertirán por craqueo térmico en bases de combustible, de manera específica hidrocarburos de tipo C₂. Otros productos derivados de reacciones térmicas son dienos, tales como butadienos, que provocan un aumento significativo del consumo de ácido en la unidad de alquilación. A su vez, los pentadienos resultan particularmente reactivos, de modo que su efecto perjudicial se manifiesta en una disminución de la resistencia a la oxidación de la gasolina de FCC. Otros problemas que dificultan la utilización de unidades de FCC convencionales están relacionados con su escaso control del tiempo de reacción y con la erosión de las partículas de catalizador/sólidos en circulación y las estructuras del reactor.

Los problemas están relacionados principalmente con partes del equipo tan esenciales como las unidades de separación de gases de sólidos/catalizadores, es decir, los ciclones, que en la mayor parte de los casos están constituidos como unidades con un único orificio. En la presente descripción, el término ciclón de orificio único se refiere a una construcción de ciclón que solamente tiene una tobera de entrada para suministrar el flujo de gas al ciclón. Para obtener la capacidad de caudal de flujo deseada, una serie de estas unidades están conectadas en paralelo de manera general y, a continuación, en series de dos o de tres.

Además de ser complicadas y caras, las construcciones de ciclón convencionales requieren un espacio de utilización grande. Además, el espacio interior de los ciclones debe recubrirse con un compuesto cerámico para evitar su erosión.

El documento WO-A-9925459, que forma parte del estado de la técnica según el artículo 54 (3) EPC, da a conocer un método y un aparato para separar sólidos de un flujo de gas en un proceso catalítico fluidizado. En una realización, se utiliza una serie de ciclones de orificios múltiples en cascada. En la realización, los ciclones están apilados coaxialmente en el interior de una cubierta de presión.

El documento GB-A-1401331 da a conocer una clasificadora para material en partículas finas, que

comprende un ciclón de orificios múltiples dispuesto coaxialmente en el interior de un ciclón de orificio único.

Un objetivo de la invención es dar a conocer un tipo de método y aparato para separar sólidos de un flujo de gas totalmente nuevo.

El objetivo de la presente invención se obtiene mediante el método y el aparato según las reivindicaciones 1 y 18, respectivamente.

Las realizaciones sugieren reemplazar como mínimo uno de los ciclones convencionales de un proceso catalítico fluidizado por un ciclón que tiene aberturas de entrada múltiples (conocido también como ciclón de entradas múltiples o ciclón de orificios múltiples) o, de manera alternativa, por una serie de dichos ciclones de orificios múltiples conectados en serie en un número de uno o más. En la presente descripción, el término ciclón de orificios múltiples se utiliza para hacer referencia a construcciones de ciclón que tienen como mínimo dos, preferentemente de 4 a 8, orificios de entrada para dirigir el flujo de gas para que impacte contra la pared interna del ciclón como un flujo esencialmente tangencial. La eficacia de recogida de un ciclón de orificios múltiples puede aumentar a velocidades de flujo reducidas, y su estructura es más sencilla y barata que la de los ciclones convencionales. Además, el espacio de utilización requerido por el ciclón de orificios múltiples es más pequeño.

En la publicación de patente presentada por E.I. Du Pont de Nemours and Company en 1974 (Patente de Estados Unidos número 3.969.096) se describe por primera vez un ciclón de entradas múltiples. La publicación de patente mencionada describe un separador de ciclón que tiene aberturas de entrada de gas con palas múltiples, sirviendo dicho ciclón para separar partículas sólidas en suspensión de los gases de escape de un motor de combustión interna (de un coche).

No obstante, E.I. Du Pont de Nemours and Company no presenta en la publicación de patente una teoría capaz de explicar el motivo por el que un ciclón de orificios múltiples tiene una buena eficacia de recogida a una baja caída de presión. Según su hipótesis, las palas de guía de entrada dirigen el flujo de gas que entra en el separador de ciclón en corrientes con forma laminar, junto a la pared interior de la cubierta del ciclón, de modo que las partículas arrastradas deben recorrer una distancia más corta antes de la separación. Además, los inventores asumen que dichas corrientes laminares de entrada forman un límite de masa más claro entre las corrientes de entrada en espiral hacia abajo y hacia arriba, de modo que el flujo presenta una menor tendencia a formar remolinos. Tal como se expone en la solicitud, la reducción de la formación de remolinos disminuye la resistencia que hace reducir la velocidad de la corriente de entrada, aumentando de este modo la eficacia de separación.

El equipo separador, o ciclones, utilizado en la presente invención comprende una cámara de ciclón que tiene un eje central alineado como mínimo de manera esencialmente vertical y, ventajosamente, un espacio interno con una sección transversal esencialmente circular, de modo que la cámara de separación es simétrica giratoriamente con respecto a su eje central. Una tobera de alimentación de gases de proceso está conectada a la cámara de separación, teniendo dicha tobera una sección transversal esencialmente circular centrada alrededor del eje central de la cámara.

ra. Además, la cámara de separación incluye un tubo central dispuesto en su interior para la extracción de gases, y una extremidad de retorno descendente para la recuperación de sólidos separados de la fase gaseosa. La cámara de separación está equipada con un conjunto de palas de guía que forman una rejilla que fuerza el gas a tratar a circular en una corriente junto a la pared interior de la cámara del ciclón, realizando de este modo la separación de los sólidos de la fase gaseosa bajo el efecto de la fuerza centrífuga.

Ventajosamente, el aparato comprende cubiertas cilíndricas dispuestas coaxialmente una en el interior de otra, de modo que los canales situados entre las cubiertas, con una sección transversal anular, actúan como el espacio de fluidización y como la extremidad de retorno descendente del reactor. El catalizador o sólidos se separan de la suspensión en fase gaseosa que sale del reactor mediante un ciclón de orificios múltiples adaptado inmediatamente sobre el canal de flujo anular axial situado entre las cubiertas.

En la presente descripción, el término "sólidos" se refiere al material que forma la suspensión en el espacio de reacción. Normalmente, los sólidos consisten en partículas de catalizador si el reactor se utiliza en reacciones catalíticas. Cuando el reactor se utiliza en procesos físicos o térmicos, los sólidos pueden ser materia inerte que sirve para transferir calor o material al espacio de reacción o fuera del mismo o, de manera alternativa, partículas de un combustible sólido. El catalizador se selecciona según el proceso que se lleva a cabo.

Ventajosamente, el ciclón de orificios múltiples está conectado a la parte superior del espacio de reacción. El material a tratar en el ciclón se hace pasar a través de aberturas de entrada múltiples al interior de la cámara del ciclón. Las aberturas de alimentación pueden estar situadas de manera simétrica o asimétrica alrededor del eje central del ciclón. Ventajosamente, las aberturas están dispuestas de manera simétrica, y el espacio de la columna ascendente tiene una sección transversal anular, de modo que el flujo es homogéneo en toda la sección transversal del canal de flujo. En este caso, el ciclón está equipado con palas de guía de flujo que sirven para forzar el flujo a realizar el movimiento en espiral requerido para la separación centrífuga. Normalmente, las palas de guía están adaptadas en forma de rejilla circular, alrededor del perímetro de la pared interior de la cámara del ciclón, a efectos de formar una rejilla que comprende una serie de canales de entrada paralelos para el flujo de gas que entra. De este modo, la tobera de alimentación de un ciclón de orificios múltiples comprende medios para desviar el flujo de alimentación que entra en el ciclón radialmente. Dichos medios pueden estar formados, por ejemplo, por palas de guía adaptadas a la parte superior del ciclón, de modo que, como mínimo, parte de la zona de palas que desvía el flujo incidente provoque que el flujo adquiera un componente de velocidad esencialmente elevado dirigido hacia el eje central del ciclón, sirviendo de este modo para dirigir la corriente de gas desde el perímetro del ciclón hacia el centro del mismo.

En una caldera de lecho circulante CYMIC, desarrollada por Kvaerner Pulping Oy (antiguamente, Tampella Power Oy), se utiliza un ciclón de orificios múltiples de este tipo para retirar partículas arrastradas por material de lecho fluidizado de los gases de combustión y para retornar la materia en partículas a

la caldera. El ciclón está dispuesto en el espacio interior de la caldera, y está refrigerado por agua.

Es posible adaptar un segundo ciclón de orificios múltiples en el espacio interior de un primer ciclón de orificios múltiples, ya que el flujo de gas en el ciclón es simétrico, permitiendo la distribución del flujo hacia el sistema de pala de guía del ciclón secundario de manera simétrica. Este tipo de dispositivo ofrece propiedades de flujo y constructivas ventajosas, debido a que la menor concentración de catalizador en el ciclón secundario permite que este último pueda funcionar a una velocidad de flujo mayor que el ciclón precedente corriente arriba. Dependiendo del espacio disponible en la fábrica y de la eficacia de recogida, puede conectarse un número deseado de ciclones en serie.

En una realización preferente de la invención, la tobera de alimentación de sección transversal esencialmente anular, que se utiliza, según la invención, para distribuir los gases a tratar, está realizada de modo que los medios para desviar el flujo de gas que entra radialmente se extienden en dirección radial en el exterior del perímetro exterior del ciclón. Además, en una realización particularmente ventajosa de la invención, dichos medios, tales como la tobera de alimentación que comprende el sistema de pala de guía, se extienden en el espacio exterior del ciclón desde el nivel superior del ciclón hacia abajo, a lo largo del perímetro externo de la cubierta del ciclón. De este modo, la parte del sistema de pala de guía situada en la superficie exterior del ciclón y dirigida hacia la parte inferior del mismo, puede adaptarse para dirigir el flujo que entra en el ciclón en dirección ascendente desde el ciclón precedente que rodea dicho ciclón. En el presente contexto, la dirección del flujo se utiliza para hacer referencia a, por ejemplo, el guiado, la estabilización y/o la desviación del flujo. El sistema de pala de guía también puede estar situado sólo de manera parcial en el interior del canal de entrada o, de manera alternativa, totalmente o sólo de manera parcial en el interior del ciclón.

En una realización preferente de la invención, las extremidades de retorno descendentes de los ciclones adaptados de manera concéntrica están situadas de manera similar, coaxialmente. En otra realización preferente de la invención, que tiene como mínimo dos ciclones de orificios múltiples adaptados de manera concéntrica, los ciclones están diseñados ventajosamente de modo que el sistema de pala de guía de cualquier ciclón interior siempre quede situado sobre el sistema de pala de guía del ciclón exterior precedente respectivo, situado corriente arriba.

De acuerdo con ello, como mínimo un ciclón de orificios múltiples secundario está adaptado en el interior de un ciclón principal o de otro ciclón secundario precedente.

La presente invención permite obtener ventajas significativas. De acuerdo con ello, la construcción de equipo según la invención, que está basada en la utilización de un ciclón de orificios múltiples, permite obtener ventajas significativas en la dinámica del flujo y la ingeniería del proceso con respecto a los dispositivos convencionales y a los ciclones de orificio único utilizados generalmente. Esto se debe al hecho de que, en ciclones de orificio único convencionales, el flujo de sólidos incide contra la pared interior del ciclón como un chorro homogéneo en suspensión gaseosa con una velocidad de flujo elevada, que está normalmente

en el intervalo de 20 a 25 m/s en los ciclones principales, aproximadamente 35 m/s en ciclones secundarios, y aproximadamente 40 m/s en ciclones terciarios. El caudal de flujo del chorro incidente debe ser elevado, ya que normalmente la anchura de la tobera de entrada al ciclón (anchura del chorro) es aproximadamente una cuarta parte del diámetro del ciclón, por ejemplo, en ciclones Zenz estandarizados, y la materia en partículas debe ser transportada por toda la anchura del chorro junto a la pared interior del ciclón, a efectos de obtener una separación de los sólidos del flujo de gas. En este tipo de ciclón, el punto más susceptible a la erosión es la zona de la pared interior del ciclón que recibe el impacto del chorro de las partículas del catalizador en suspensión.

En cambio, en la construcción según la invención, se eliminan los problemas de erosión mediante una dinámica del flujo mejorada: el flujo de entrada único, convencional, con un volumen elevado de sólidos se divide en una serie de flujos de masa de menor volumen que inciden contra la pared interna del ciclón de orificios múltiples, de modo que el efecto erosivo se distribuye sobre una zona más grande. Gracias a la construcción de orificios múltiples, los orificios de entrada del ciclón pueden ser estrechos, de modo que la capa de catalizador pasa a ser poco profunda, y la velocidad del flujo en cualquier orificio de entrada puede ser esencialmente menor que en los ciclones de orificio único convencionales, en los que la reducción de la anchura del orificio de entrada requeriría un aumento en la altura del canal, que daría como resultado un ciclón más alto y haría necesario un canal de alimentación con una forma alargada y engorrosa. La posibilidad de utilizar una velocidad reducida de flujo de entrada al ciclón contribuye a una mayor disminución del ritmo de erosión que, según las referencias publicadas, depende de la velocidad del flujo en una potencia de 4 a 5.

En ensayos llevados a cabo a temperatura ambiente, un ciclón según la invención, con orificios de entrada con una sección total de 465 mm de diámetro y con palas rectas, mostró una eficacia de recogida del 99,99% a una velocidad de flujo de entrada de 5,6 m/s, cuando el caudal de flujo de masa del catalizador, en sección transversal, fue superior a 200 kg/m²s, según las mediciones de presión diferencial. En un ciclón Zenz convencional con unas dimensiones y caudales de flujo compatibles, la eficacia de recogida fue del 99,10%, calculada en fracciones por el tamaño de las partículas. Una comparación de estas eficacias de recogida deja claro que el nuevo ciclón con orificios estrechos de entrada, múltiples según la invención ofrece una eficacia superior cuando el objetivo del diseño es evitar velocidades de flujo elevadas que puedan conducir a la erosión.

En una construcción preferente según la invención, que tiene la columna ascendente del reactor (a continuación, simplemente columna ascendente) conectado directamente al tubo de entrada del ciclón, se obtiene un tiempo de residencia que puede controlarse de manera precisa, debido a que el catalizador se hace entrar en el ciclón simultáneamente desde cada punto de su tubo de alimentación. De este modo, un ciclón según la invención puede estar diseñado para un volumen de aproximadamente la mitad que el de un ciclón estándar. Disponiendo los ciclones de manera concéntrica uno en el interior de otro, puede reducirse el volumen interior útil del recipiente de presión

del ciclón en comparación con dispositivos con los ciclones dispuestos de manera paralela o superpuesta en el espacio interior del recipiente de presión. Dado que un ciclón, según la invención, puede ser más corto debido a su mejor dinámica del flujo, su altura y su tiempo de retención, respectivamente, pueden disminuir, por ejemplo, hasta la mitad con respecto a los valores correspondientes de un ciclón estándar. En consecuencia, se reduce la posibilidad de que se produzcan reacciones térmicas no deseadas. Además, el producto puede refrigerarse directamente en el tubo de descarga del ciclón, en caso necesario.

Según una primera realización preferente de la invención, el ciclón de orificios múltiples se utiliza para separar un catalizador de gases de producto de un proceso de craqueo catalítico fluidizado (FCC). El ciclón de orificios múltiples también puede utilizarse en el equipo regenerador de una unidad de FCC para separar el catalizador regenerado de los gases de combustión de coque.

Otros procesos catalíticos fluidizados adecuados son, entre otros: reformado catalítico, dimerización oxidante de anhídrido de ácido ftálico, anhídrido de ácido maleico o metano, síntesis Fischer-Tropsch, cloración y bromación de metano, etano y otros hidrocarburos, y conversión de metanol en olefinas y gasolina.

La separación de sólidos se lleva a cabo utilizando una serie de ciclones (por ejemplo, de 2 a 10, de manera más adecuada de 2 a 5) conectados en serie. Gracias a su estructura, los ciclones utilizados en la invención pueden adaptarse de manera concéntrica uno dentro de otro, de manera que, por ejemplo, la extremidad de retorno descendente de cualquier ciclón de la serie de ciclones corriente abajo se adapte al interior de la extremidad de retorno descendente del ciclón precedente. Gracias a la disposición coaxial en apilamiento longitudinal de los ciclones en el interior de la cubierta de presión, se obtiene una reducción significativa de su volumen con respecto a las construcciones de ciclón convencionales que requieren colocación lado a lado de los ciclones. Puede realizarse un ciclón de orificios múltiples con un diámetro mayor que el de un ciclón convencional; el diámetro de los ciclones de orificios múltiples puede ser superior a un metro, llegando incluso hasta varios metros, mientras que el diámetro de un ciclón convencional está limitado de manera general a un máximo de 1 metro. Además, en la realización según la invención, no es necesario aumentar el diámetro del recipiente de reacción, sino que puede ser incluso más pequeño.

La tobera de alimentación del ciclón puede estar formada desde el espacio entre cubiertas que se encuentra entre dos superficies envolventes cilíndricas o parcialmente cónicas adaptadas de manera concéntrica, de modo que dicho espacio anular pueda quedar dividido en segmentos de flujo paralelos mediante unos deflectores que se extienden axialmente. Los segmentos de flujo paralelos pueden obtenerse montando deflectores alineados longitudinalmente de manera radial entre las dos superficies envolventes cilíndricas y coaxiales. Se obtiene un resultado casi equivalente conformando la tobera de alimentación con una sección transversal anular a partir de un conjunto de tubos de canal paralelos, montados separadamente de forma equidistante de manera circular.

Las palas de guía del ciclón están adaptadas a modo de rejilla circular alrededor del perímetro de la pa-

red de la cámara del ciclón, parcial o totalmente dentro de la columna ascendente, a efectos de formar una rejilla que comprende una serie de canales de entrada paralelos para el flujo de gas que entra.

El ciclón o ciclones según la invención están conectados directamente cada uno de ellos al canal de la columna ascendente (simplemente, columna ascendente) de un reactor de un proceso catalítico fluidizado, que constituye una realización preferente de la invención o, de manera alternativa, la tobera o toberas de alimentación del ciclón o ciclones están adaptadas para estar comunicadas con el espacio de gas de un reactor de un proceso catalítico fluidizado, del mismo modo que los dispositivos convencionales.

En una realización preferente de la invención, que incluye los medios, dispuestos para desviar el flujo que entra en el ciclón en una dirección radial, configurados para extenderse radialmente hacia afuera, hacia el espacio exterior del ciclón, el flujo puede controlarse de manera eficaz antes de su entrada al ciclón. Además, en una realización particularmente ventajosa de la invención, en la que dichos medios se extienden hacia abajo desde el nivel superior del ciclón, el efecto de control del flujo puede aumentarse de manera adicional, y el control del flujo puede iniciarse antes que en las construcciones convencionales. En consecuencia, el flujo que abandona la zona de vórtice del ciclón exterior precedente y que se dirige hacia arriba se puede controlar de manera eficaz y en una etapa previa. Gracias al dispositivo de control eficaz del flujo, el mismo puede hacerse pasar hacia el ciclón interior en un régimen de flujo deseado, sin que se vea afectado por cualquier posible irregularidad en el recorrido del flujo del ciclón exterior. Además, el potente efecto de control del flujo ejercido por el sistema de pala de guía, de manera específica en su parte vertical en el exterior del ciclón interior, facilita un grado de separación previa excepcionalmente bueno entre los ciclones exterior e interior del aparato de separador.

Dado que el flujo de entrada en el ciclón interior ya puede tener inicialmente un componente de velocidad tangencial, puede resultar ventajoso no extender las palas de guía hasta el borde exterior del canal de entrada del ciclón interior.

Otra ventaja que se obtiene consiste en que los medios de guía o desviación verticales, adaptados en el perímetro exterior del ciclón, comprendiendo dichos medios una envolvente exterior tubular para formar un canal de flujo de gas en el espacio entre las cubiertas entre dicha envolvente exterior y dicho perímetro exterior de dicho ciclón interior, facilitan una disposición concéntrica ventajosa de los ciclones de orificios múltiples unos dentro de otros, de modo que el sistema de pala de guía de cada ciclón interior sucesivo queda situado sobre el sistema de pala de guía del ciclón exterior precedente respectivo. En este caso, resulta fácil realizar una construcción en la que la extremidad de retorno descendente del ciclón interior contenga una columna de sólidos que se extiende a mayor altura que la columna de sólidos formada de manera similar a partir de los sólidos de producto separados en la extremidad de retorno descendente del ciclón exterior. La columna de sólidos debe mantenerse si la presión en el espacio interior del ciclón es inferior a la presión ambiente en la zona del extremo inferior de la extremidad de retorno descendente del ciclón. Respectivamente, la diferencia de altura entre las par-

tes superiores de las columnas de sólidos es necesaria para compensar la diferencia entre los niveles de presión en los espacios interiores de los ciclones, cuando los extremos inferiores de las extremidades de retorno descendentes del ciclón desembocan en el mismo espacio. La diferencia de presión entre los espacios interiores de los ciclones se produce principalmente por las caídas de presión que ocurren en los sistemas de pala de guía o medios de desviación similares, así como por las pérdidas de presión que se producen en los canales de flujo, debidas a los cambios en la velocidad del flujo. La diferencia de presión queda compensada mediante las distintas presiones hidrostáticas sobre las columnas de sólidos de diferentes alturas, acumuladas en las extremidades de retorno descendentes de los ciclones. De esta manera, el retorno de los sólidos al lecho del ciclón puede llevarse a cabo utilizando la realización descrita anteriormente.

La invención se examinará a continuación con la ayuda de realizaciones a título de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1 muestra una primera realización de un ciclón según la invención, así como un ciclón equivalente de la técnica anterior, utilizado en aplicaciones similares;

la figura 2 muestra una segunda realización de un ciclón según la invención, así como un ciclón de la técnica anterior equivalente utilizado en aplicaciones similares.

Ejemplo 1

En las figuras 1B y 2B se muestran una primera y una segunda realizaciones preferentes de la invención, adecuadas para su utilización en conjunción con una unidad de craqueo catalítico en lecho fluidizado, FCC. La unidad de FCC incluye dos reactores, un reactor de tipo de lecho fluidizado circulante y un regenerador de lecho fluidizado burbujeante. En las figuras 1A y 2A se muestran las construcciones convencionales utilizadas para el mismo objetivo.

Reactor de FCC

En la figura 1B se muestra una construcción de ciclón según la invención, mientras que la figura 1A muestra un dispositivo de ciclón convencional que tiene dos ciclones (ciclones principal y secundario) conectados en serie directamente a la columna ascendente de un reactor de FCC. Evidentemente, el número de ciclones en la conexión en serie puede ser mayor o menor que dos.

Función del dispositivo de ciclón de la técnica anterior

La mezcla del gas de fluidización previa con la fase evaporada de hidrocarburo reaccionado y todavía en reacción se hace pasar a fase gaseosa ascendiendo a lo largo de una columna ascendente (12), de modo que el catalizador arrastrado es transportado hacia un ciclón principal (13) adaptado al espacio interior del recipiente del reactor (15). Los sólidos se separan de la fase gaseosa en las paredes de la cámara del reactor, y caen desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente del ciclón principal (13). Desde la extremidad de retorno, el catalizador es transportado hacia adelante, hacia una parte de separación de hidrocarburos y hacia un regenerador. El flujo de gas que entra en el ciclón principal (13) sale del ciclón (13) a través de su tubo central hacia un ciclón secundario (14). La materia en partículas se separa del gas al incidir contra las paredes de la cámara, cayendo a continuación desde las mismas hacia la extremidad

de retorno del ciclón secundario (14). Desde el ciclón secundario (14), el gas pasa a una posible cámara de recogida, y es descargado desde el recipiente del reactor (15) a través de una tobera de salida (16).

Aparato de ciclón según la invención y su función

En el aparato mostrado en la figura 1B, un reactor (11) comprende un ciclón principal y un ciclón secundario, además de una columna ascendente (1) para hacer pasar el flujo de mezcla de reacción al ciclón principal, y un tubo de descarga (10) para hacer salir el flujo de gas desde el ciclón secundario y descargarlo desde el aparato de reactor (11) en su totalidad. El ciclón principal incluye un espacio anular (2) formado en el extremo superior de la columna ascendente (1) en el espacio interior de un reactor (11), un sistema de pala de guía (3) adaptado como mínimo a la parte superior de dicho espacio anular (2) con una cámara (4) situada por debajo de dicho sistema de pala de guía para forzar el flujo de mezcla de reacción que pasa a través de dicho sistema de pala de guía (3) a realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara (4), y una extremidad de retorno descendente (5) conectada a la parte inferior de dicha cámara (4).

El ciclón secundario está adaptado al espacio interior del ciclón principal, y comprende un tubo central (6) que forma un canal de flujo anular axial y hace pasar el flujo de gas introducido en el ciclón principal desde el ciclón principal al ciclón secundario, un sistema de pala de guía (7) conectado a dicho canal de flujo anular axial, formado por dicho tubo central (6) y una cámara (8) conectada a dicho sistema de pala de guía (7), sirviendo todos estos componentes para forzar el flujo de gas que entra en dicho ciclón secundario a realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara (8). El ciclón secundario también incluye una extremidad de retorno (9) que se extiende hacia abajo desde dicha cámara (8) y que está dispuesta ventajosamente de manera coaxial en el espacio interior de dicha extremidad de retorno (5) de dicho ciclón principal.

Durante el funcionamiento del aparato descrito anteriormente, la mezcla del gas de fluidización previa con la fase evaporada del hidrocarburo reaccionado y todavía en reacción se hace pasar a fase gaseosa ascendiendo a lo largo de una columna ascendente (1), de modo que el catalizador arrastrado es transportado con el gas hacia un espacio anular (2) adaptado al espacio interior del reactor (11), desde el que sigue ascendiendo hacia el sistema de pala de guía (3) del ciclón principal. El sistema de pala de guía (3) sirve para inducir un flujo en torbellino, en el que las partículas arrastradas se separan de la fase gaseosa al incidir bajo la fuerza centrífuga contra la pared interior de la cámara (4), y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente (5) del ciclón principal. Desde la extremidad de retorno (5), el catalizador discurre adicionalmente hacia una parte de separación de hidrocarburos y hacia un regenerador. El flujo de gas que entra en el ciclón principal sale del mismo a través del tubo central (6), desde el que el flujo sigue ascendiendo a lo largo del canal de sección transversal anular hacia el sistema de pala de guía (7) del ciclón secundario. Las partículas se separan de la fase gaseosa al incidir contra la pared interior de la cámara del ciclón (8), y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente (9) del ciclón

secundario. La extremidad de retorno (9) del ciclón secundario está adaptada ventajosamente en el espacio interior de la extremidad de retorno (5) del ciclón principal. El flujo de gas que ha pasado al ciclón secundario abandona el ciclón y el reactor (11) a través de una tobera de salida (10).

Regenerador de FCC

En la figura 2A se muestra una construcción de ciclón convencional, y la figura 2B muestra un aparato de ciclón según la invención, respectivamente, teniendo ambos dispositivos dos ciclones (un ciclón principal y un ciclón secundario) conectados en serie en el espacio interior de un recipiente de un generador de FCC. El número de ciclones conectados en serie puede variar, de modo que puede ser mayor que dos o, de manera alternativa, comprender solamente un ciclón o una serie de ciclones conectados en serie. Dado que un ciclón convencional puede tener un diámetro de aproximadamente 1 m como máximo, generalmente deben conectarse en paralelo más de uno de dichos ciclones convencionales.

Dispositivo de ciclón convencional

En este caso, el aire de entrada, que pasa a través de una rejilla inferior (27), fluidiza el catalizador contenido en el regenerador (28) en una condición de lecho burbujeante, e importa oxígeno de manera simultánea para la reacción de combustión del coque. El gas con las partículas de catalizador en suspensión se hace pasar a continuación a un ciclón principal (29) adaptado al espacio interior de un regenerador (28). Las partículas del flujo se separan de la fase gaseosa al incidir contra la pared interior de la cámara de separación, y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente (29) del ciclón principal. Desde la extremidad de retorno, el catalizador discurre nuevamente hacia el lecho fluidizado. El flujo de gas que entra en el ciclón principal (29) abandona el ciclón (29) a través del tubo central, pasando a un ciclón secundario (30). Las partículas se separan de la fase gaseosa al incidir contra la pared interior de la cámara del ciclón, y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente del ciclón secundario (30). Desde el ciclón secundario (30), el flujo de gas pasa a una cámara de recogida y finalmente abandona el reactor a través de una tobera de salida (31).

Aparato de ciclón según la invención y su función

En el aparato mostrado en la figura 2B, un regenerador (18) comprende un ciclón principal y un ciclón secundario, así como una rejilla (17) para hacer pasar aire al regenerador (18) y una tobera de descarga (26) para hacer pasar el flujo de gas al exterior desde el ciclón secundario y, de manera simultánea, desde la totalidad del regenerador (18). El ciclón principal incluye un sistema de pala de guía (19) adaptado como mínimo a la parte superior de la cámara del ciclón en el espacio interior del regenerador (18) y una cámara (20) situada por debajo de dicho sistema de pala de guía (19), sirviendo dicho sistema de pala de guía (19) para forzar el flujo de gas que entra en la cámara a realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara. El ciclón principal incluye además una extremidad de retorno descendente (21) conectada a la parte inferior de dicha cámara (20).

El ciclón secundario está adaptado al espacio interior del ciclón principal, y comprende un tubo central (22) que forma un canal de flujo anular axial y que hace pasar el flujo de gas introducido en el ciclón prin-

cipal desde el mismo hacia el ciclón secundario, un sistema de pala de guía (23) conectado a dicho canal de flujo anular axial formado por dicho tubo central (22), y una cámara (24) conectada a dicho sistema de pala de guía (23), sirviendo todos estos componentes para forzar el flujo de gas que entra en dicho ciclón secundario a realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara (24). El ciclón secundario incluye además una extremidad de retorno (25) que se extiende hacia abajo desde dicha cámara (24), y que está dispuesta ventajosamente de manera coaxial en el interior de dicha extremidad de retorno (21) de dicho ciclón principal.

Durante el funcionamiento del aparato descrito anteriormente, el aire de entrada que pasa a través de una rejilla inferior (17) fluidiza el catalizador contenido en el regenerador (18) en una condición de lecho burbujeante, e importa oxígeno de manera simultánea para la reacción de combustión del coque. El flujo de gas con las partículas de catalizador en suspensión asciende hacia un sistema de pala de guía (19) conformado en el espacio interior del ciclón principal. La

función del sistema de pala de guía (19) es inducir un flujo en torbellino en el que las partículas se separan de la fase gaseosa incidiendo bajo la fuerza centrífuga contra la pared interior de la cámara (20), y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente (21) del ciclón principal. Desde la extremidad de retorno (21), el catalizador se hace pasar nuevamente por el lecho fluidizado. El flujo de gas que entra en el ciclón principal abandona el mismo a través del tubo central (22), desde el que el flujo asciende a lo largo del canal con una sección transversal anular hacia el sistema de pala de guía (23) del ciclón secundario. Las partículas se separan de la fase gaseosa al incidir contra la pared interior de la cámara del ciclón (24), y cayendo desde la misma hacia la extremidad de retorno descendente (25) del ciclón secundario. La extremidad de retorno (25) del ciclón secundario está adaptada ventajosamente en el espacio interior de la extremidad de retorno (21) del ciclón principal. Desde el ciclón secundario, el flujo de gas abandona el ciclón y el regenerador a través de la tobera de salida (26).

25

30

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para separar dos fases entre sí, comprendiendo dicho método la etapa de hacer pasar el flujo de material de un proceso, de manera que dicho flujo de material contiene material en una primera fase y material en una segunda fase suspendida o dispersa, como mínimo por unos primeros medios de separación, que son un ciclón de orificios múltiples (2, 3, 4, 5; 19, 20, 21) y, posteriormente, por como mínimo unos segundos medios de separación (6, 7, 8, 9; 22, 23, 24, 25), en el que el material en la fase suspendida o dispersa se separa del material en la primera fase bajo el efecto de una fuerza centrífuga, y como mínimo una unidad de los segundos medios de separación es un ciclón de orificios múltiples que está adaptado en el interior de los primeros medios de separación y a cuyo interior se suministra el flujo de material a tratar a través de una tobera de alimentación (1; 17) que tiene una sección transversal anular.

2. Método, según la reivindicación 1, **caracterizado** porque dicho flujo de material a tratar contiene gas, líquido y/o sólidos.

3. Método, según la reivindicación 1 ó 2, **caracterizado** porque dicho flujo de material a tratar es un flujo de gas que contiene sólidos en forma suspendida.

4. Método, según la reivindicación 2, **caracterizado** porque dicho flujo de material a tratar es un flujo de líquido que contiene sólidos a retirar.

5. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho flujo de gas a tratar contiene los gases de combustión liberados por el proceso de combustión de coque de un catalizador a regenerar, conteniendo dichos gases de combustión el catalizador en forma de partículas en suspensión.

6. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho flujo de gas a tratar es el gas de producto de un proceso catalítico fluidizado que contiene un gas a tratar, un componente líquido y/o sólidos.

7. Método, según la reivindicación 6, **caracterizado** porque dicho proceso catalítico fluidizado es un proceso de craqueo catalítico de hidrocarburos llevado a cabo en una unidad de craqueo catalítico en lecho fluidizado.

8. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho flujo de gas a tratar se descarga desde una caldera utilizada para la generación de energía como un gas de combustión del que debe retirarse materia en partículas.

9. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho flujo de gas a tratar es el gas de escape de un procedimiento de secado del que debe retirarse materia en partículas.

10. Método, según la reivindicación 3, **caracterizado** porque dicho flujo de gas a tratar es el vapor de escape de un sistema de vapor del que deben retirarse gotitas de líquido.

11. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque se utiliza una serie de ciclones conectados en serie para separar el material de dicha segunda fase del material de dicha primera fase.

12. Método, según la reivindicación 11, **caracterizado** porque se utilizan de 2 a 5 ciclones conectados en serie, teniendo cualquier ciclón de la serie de ciclones corriente abajo la extremidad de retorno descendente (5, 9; 21, 25) adaptada al interior de la

extremidad de retorno descendente del ciclón precedente.

13. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque las extremidades de retorno descendentes (5, 9; 21, 25) como mínimo de dos ciclones conectados en serie sucesivos están adaptadas para descargar los sólidos que se separan en un espacio común.

14. Método, según la reivindicación 13, **caracterizado** porque la compensación de la diferencia de presión entre los espacios interiores de los ciclones conectados sucesivamente en serie y adaptados para retornar su fracción de sólidos en el mismo espacio se lleva a cabo manteniendo columnas de sólidos de diferentes alturas en las extremidades de retorno descendentes (5, 9; 21, 25) de dichos ciclones.

15. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el flujo de material se hace pasar por dicho ciclón de orificios múltiples a través de dicha tobera de alimentación (1; 17), de modo que el flujo que entra en el espacio interior del ciclón de orificios múltiples desde el exterior del ciclón es guiado y desviado con la ayuda de medios de desviación (3, 7; 19, 23) adaptados a dicha tobera de alimentación (1; 17) para situarlo totalmente, o como mínimo parcialmente, en el lado exterior del ciclón.

16. Método, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque el flujo de material se hace pasar por dicho ciclón secundario de orificios múltiples, de modo que el flujo es dirigido para discurrir hacia arriba desde el ciclón principal hacia el borde superior del ciclón secundario con la ayuda de unos medios de desviación y/o guía (3, 7; 19, 23) adaptados a la superficie exterior del ciclón secundario, tales como un elemento de guía tubular que puede contener elementos de pala de guía para guiar y desviar el flujo que discurre verticalmente.

17. Método, según la reivindicación 16, **caracterizado** porque el flujo de material se hace pasar desde dicho ciclón principal de orificios múltiples hacia dicho ciclón secundario de orificios múltiples de modo que, con la ayuda de unos medios de desviación y/o guía (3, 7; 19, 23) adaptados a la superficie exterior del ciclón secundario, el flujo es dirigido para discurrir desde debajo del sistema de pala de guía de dicho ciclón principal hacia el sistema de pala de guía de dicho ciclón secundario que está situado sobre los medios de pala de guía de dicho ciclón principal.

18. Aparato para separar gas, líquido y/o sólidos de un flujo de material en equipos de proceso catalítico fluidizado, comprendiendo dicho aparato:

- como mínimo unos primeros y unos segundos medios de separación, teniendo cada uno de ellos una cámara de separación alineada de manera esencialmente vertical (4, 8; 20, 24), en el que dichos primeros medios de separación son un ciclón de orificios múltiples y como mínimo uno de dichos segundos medios de separación está adaptado en el interior de dichos primeros medios de separación,
- una tobera de alimentación (1; 17) del flujo de material a tratar, estando conectada dicha tobera a dichos primeros medios de separación,
- una tobera de salida (10; 26) conectada co-

mo mínimo a uno de dichos segundos medios de separación para descargar el flujo del material tratado desde dichos medios de separación, y

- como mínimo los medios de separación adaptados en el interior de dichos primeros medios de separación están dotados de un sistema de pala de guía (3, 7; 19, 23) que sirve para forzar el flujo de material a tratar para realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara de separación (4, 8; 20, 24) a efectos de separar el gas, líquido y/o sólidos del flujo de material bajo el efecto de una fuerza centrífuga.

19. Aparato, según la reivindicación 18, **caracterizado** porque la sección transversal de cada cámara de separación (4, 8; 20, 24) es esencialmente circular en ángulo recto con respecto al eje central vertical de la pared interior de la cámara.

20. Aparato, según la reivindicación 18 ó 19, **caracterizado** porque dicho sistema de pala de guía (3, 7; 19, 23) comprende deflectores orientados hacia afuera radialmente, que están adaptados alrededor del eje central vertical de dicha cámara de separación (4, 8; 20, 24), a efectos de dividir el paso del flujo de material que se trata hacia dicha cámara de separación (4, 8; 20, 24) en canales de flujo segmentarios paralelos.

21. Aparato, según la reivindicación 20, **caracterizado** porque dichos canales de flujo segmentarios paralelos se forman extendiendo placas de deflector radiales entre dos cubiertas cilíndricas montadas de manera concéntrica, estando alineadas dichas placas de deflector en paralelo con respecto al eje longitudinal del espacio de reactor.

22. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, **caracterizado** porque como mínimo dichos medios de separación adaptados en el espacio interior de dichos primeros medios de separación comprenden una tobera de alimentación (2, 6; 22) con una sección transversal esencialmente anular para suministrar dicho flujo de material a dicho sistema de pala de guía (3, 7; 23) y, desde el mismo, hacia dicha cámara de separación (4, 8; 20, 24).

23. Aparato, según la reivindicación 22, **caracterizado** porque dicha tobera de alimentación (2, 6; 22) con una sección transversal esencialmente anular está formada por tubos de canal de alimentación paralelos, separados de forma equidistante de manera circular.

24. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 23, **caracterizado** porque dichos primeros medios de separación incluyen un sistema de pala de guía (3, 7; 19, 23) que sirve para forzar el flujo de material a tratar para realizar un movimiento giratorio en torbellino que discurre a lo largo de la pared interior de dicha cámara de separación (4, 8; 20, 24) a efectos de separar el gas, líquido y/o sólidos del flujo

de material bajo el efecto de una fuerza centrífuga.

25. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 24, **caracterizado** porque dicho aparato incluye, montados en el espacio interior de sus segundos medios de separación, como mínimo unos segundos medios de separación similares adicionales.

26. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 25, **caracterizado** porque dichos primeros medios de separación y cada uno de dichos segundos medios de separación montados en el espacio interior de dichos primeros medios de separación tienen sus extremidades de retorno descendentes adaptadas, de manera coaxial, unas dentro de otras, sirviendo de este modo para devolver los sólidos separados desde cada uno de dichos medios de separación a un espacio de recogida común.

27. Aparato, según la reivindicación 26, **caracterizado** porque la extremidad de retorno de cualquiera de los medios de separación interiores en dirección vertical está adaptada para extenderse a mayor altura que el borde superior de los medios de separación exteriores precedentes respectivos, situados más cerca de manera concéntrica.

28. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 27, **caracterizado** porque el sistema de pala de guía de dichos medios de separación está adaptado como mínimo parcialmente al lado exterior y sobre dichos medios de separación, a efectos de extenderse en dirección radial desde el lado exterior de dichos medios de separación hacia adentro, hasta alcanzar el espacio interior de los medios de separación.

29. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 28, **caracterizado** porque dicho aparato incluye unos medios de desviación y/o guía, tales como un elemento de guía tubular que está conectado como mínimo al sistema de pala de guía (3, 7; 19, 23) de unos medios de separación montados en el espacio interior de dichos primeros medios de separación, y está adaptado para rodear y encerrar la superficie exterior de dichos medios de separación de manera orientada hacia abajo, sirviendo dichos medios de desviación y/o guía para dirigir el flujo de material que se trata en dirección vertical desde la parte inferior de unos medios de separación exteriores hacia el sistema de pala de guía de los siguientes medios de separación interiores respectivos.

30. Aparato, según la reivindicación 29, **caracterizado** porque dichos medios de desviación y/o guía comprenden elementos de pala de guía adaptados a dichos medios de guía para guiar y desviar el flujo que discurre verticalmente.

31. Aparato, según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 30, teniendo dicho aparato como mínimo dos ciclones de orificios múltiples montados de manera concéntrica como dichos medios de separación, **caracterizado** porque el sistema de pala de guía de cada ciclón de orificios múltiples interior sucesivo está adaptado sobre el sistema de pala de guía del ciclón de orificios múltiples exterior precedente respectivo.

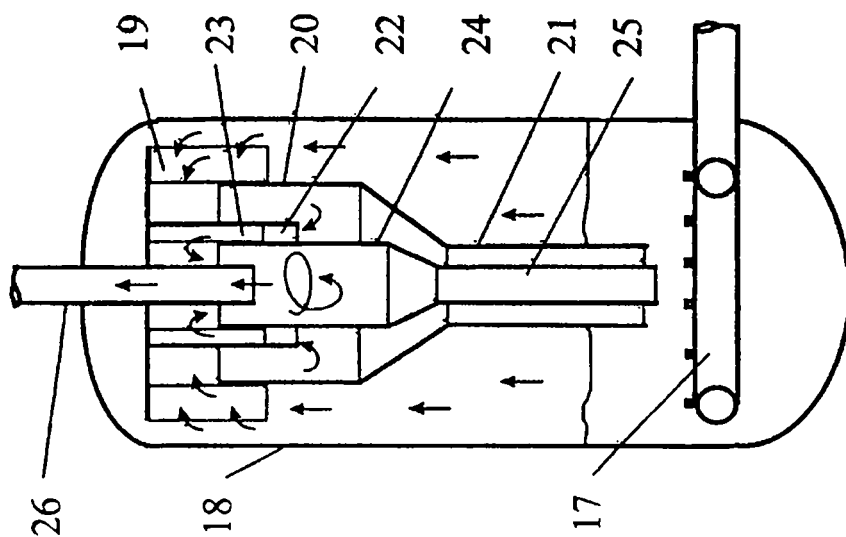


Fig. 2B

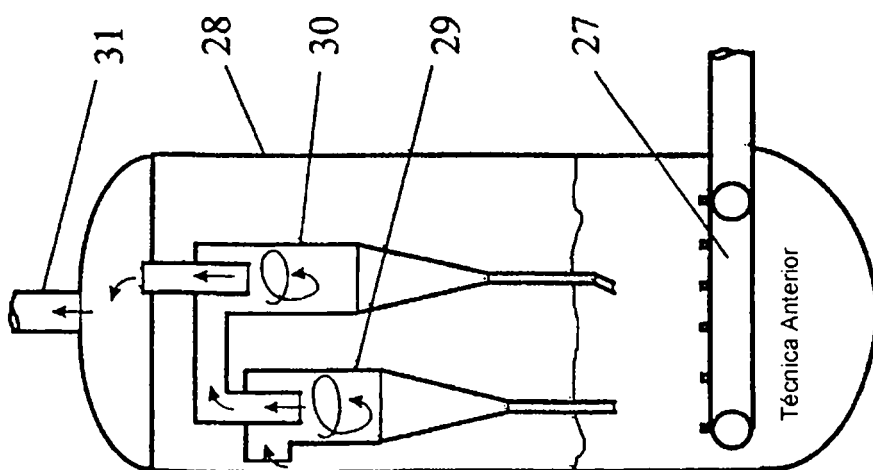


Fig. 2A

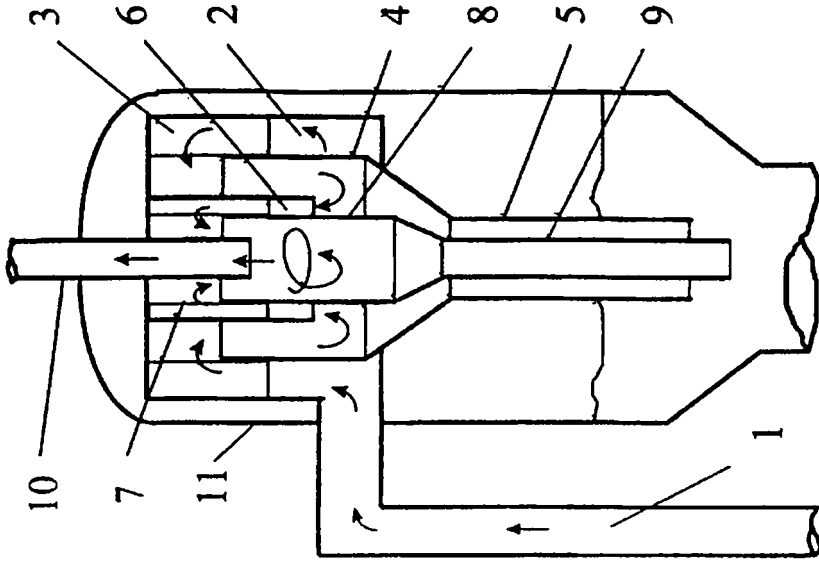


Fig. 1B

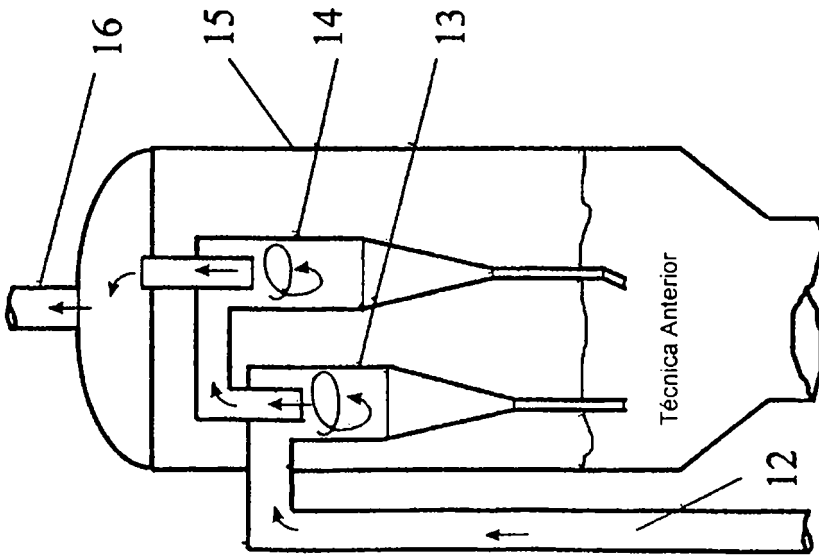


Fig. 1A