



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 287 455**

51 Int. Cl.:
B04C 5/081 (2006.01)
B04C 5/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **03712344 .5**
86 Fecha de presentación : **13.03.2003**
87 Número de publicación de la solicitud: **1487588**
87 Fecha de publicación de la solicitud: **22.12.2004**

54 Título: **Separación de gases y sólidos usando un ciclón.**

30 Prioridad: **19.03.2002 EP 02358004**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.12.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.12.2007

73 Titular/es: **INEOS EUROPE LIMITED**
Hawkslease Chapel Lane
Lyndhurst, Hampshire, SO43 7FG, GB

72 Inventor/es: **Reiling, Vince**

74 Agente: **Carvajal y Urquijo, Isabel**

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

Separación de gases y sólidos usando un ciclón.

5 Esta invención se refiere a un diseño novedoso para un ciclón.

Esta invención también se refiere a un procedimiento para la separación de una mezcla de gas y sólidos usando un ciclón.

10 Esta invención también se refiere a un procedimiento para la polimerización en fase gaseosa de olefinas por medio de un reactor de lecho fluidizado, en el que se transforman las olefinas directamente en polímeros o copolímeros.

Se sabe polimerizar una o más olefinas a partir de una mezcla de reacción gaseosa que contiene la(s) olefina(s) que van a polimerizarse, en un reactor de lecho fluidizado en el que las partículas poliméricas que se están formando se mantienen en el estado fluidizado por medio del desplazamiento de la mezcla de reacción gaseosa como una corriente ascendente. Se recircula la mezcla de gases que sale a través de la parte superior del reactor de lecho fluidizado hasta la base de este último por medio de una canalización de recirculación y un compresor. Mientras se está recirculando así, se enfría la mezcla de gases en la mayoría de los casos con la ayuda de un intercambiador de calor, de modo que se elimina el calor producido durante la reacción de polimerización. La reacción de polimerización puede llevarse a cabo en presencia de un sistema de catalizador que comprende un catalizador sólido. Durante varios años se han conocido los sistemas de catalizador de actividad alta que pueden producir grandes cantidades de polímero en un tiempo relativamente corto y que hacen posible, por tanto, evitar una etapa de eliminar residuos de catalizador en el polímero.

25 También se conoce bien que la mezcla de gases que sale de la parte superior del reactor de fluidización puede contener sólidos tales como catalizador y polímero en la forma de partículas. A menudo, esta mezcla de gases se trata con un ciclón para separar el gas de las partículas. Pueden recuperarse las partículas de la parte inferior del ciclón, por ejemplo, usando un dispositivo de succión, tal como un eyector-compresor, y después recircularse de vuelta al reactor. También se recircula la corriente de gas recuperada al reactor, normalmente tras enfriar y volver a comprimir.

30 La compresión de este gas de recirculación produce un coste significativo al procedimiento, estando relacionado tal coste con la caída de presión total del gas entre el reactor y la entrada al compresor. Por tanto, es deseable reducir esta caída de presión sin afectar de forma adversa al procedimiento global. La caída de presión a lo largo del ciclón forma una parte significativa de la caída de presión global, y una reducción en esta caída de presión ayudaría a reducir la carga en el compresor. Sin embargo, anteriormente se ha pensado que no sería posible reducir la caída de presión a lo largo del ciclón sin afectar de forma adversa a la eficacia de separación en el ciclón, lo que podría conducir a un arrastre de partículas indeseable en los sistemas de enfriamiento y de compresor.

35 Sin embargo, los solicitantes han encontrado ahora que puede reducirse la caída de presión mientras se conserva todavía una eficacia de ciclón aceptable mediante el uso de un diseño de ciclón novedoso para el procedimiento de separación o modificando el diseño de un ciclón existente, tal como se describe por ejemplo en el documento US 4 486 207.

45 Según la presente invención, se ha encontrado ahora un ciclón que tiene un equilibrio mejorado de propiedades de eficacia y caída de presión cuando se comparan con ciclones convencionales.

El ciclón de la presente invención puede usarse en cualquier procedimiento en el un ciclón de este tipo sea adecuado, pero se usa preferiblemente para separar partículas de sólido de un gas.

50 Por tanto, la presente invención también proporciona un procedimiento para la separación de una mezcla de gas y sólidos usando un ciclón, en el que dicho ciclón tiene un equilibrio mejorado de propiedades de eficacia y caída de presión cuando se compara con ciclones convencionales.

55 El ciclón de la presente invención es particularmente útil cuando se requiere una separación de alta eficacia y/o cuando se desea que la caída de presión a lo largo del ciclón sea lo más baja posible. Preferiblemente se usa el ciclón de la presente invención para la separación de partículas sólidas de una mezcla de gas y sólido que se ha obtenido de un reactor químico, tal como, por ejemplo, un reactor de lecho fluidizado. Lo más preferiblemente puede usarse el ciclón de la presente invención para separar un catalizador y partículas poliméricas de una mezcla de gas y sólidos de un reactor de lecho fluidizado de polimerización en fase gaseosa.

60 La baja caída de presión puede ser importante cuando, por ejemplo, sea deseable recircular el gas y/o sólidos obtenidos del ciclón, por ejemplo, de vuelta a un reactor de lecho fluidizado. Alternativamente, el gas y/o sólidos separados obtenidos pueden requerirse para un procesamiento adicional y puede ser deseable una baja caída de presión a lo largo del ciclón con este fin. Por ejemplo, una presión más alta puede favorecer el procesamiento adicional de la corriente de gas obtenida del ciclón. Por tanto, una caída de presión reducida a lo largo del ciclón puede proporcionar un procesamiento aguas abajo mejorado; por ejemplo, puede ahorrar en costes de compresor aguas abajo.

ES 2 287 455 T3

La figura 1 muestra un ciclón convencional tal como puede usarse para separar partículas sólidas de una mezcla de gas y sólidos, por ejemplo, de una reacción de polimerización en lecho fluidizado. El ciclón comprende

- 5 - un dispositivo de entrada, caracterizado por una altura (H_i) de entrada del ciclón, una anchura (W_i) de entrada del ciclón y una razón de aspecto de entrada (H_i/W_i) del ciclón,
- una tubería de salida de gas, caracterizada por un diámetro (D_i) de tubería de salida de gas y una penetración (P) de tubería de salida de gas,
- 10 - un cuerpo que está hecho de partes cilíndricas y cónicas, caracterizado por un diámetro (D_b) de cuerpo (L_{b1}) superior, una longitud ($L_b = L_{b1} + L_{b2}$) de cuerpo, y una razón de longitud de cuerpo con respecto al diámetro (L_b/D_b), y
- 15 - una tubería (O) de salida de sólidos.

Las otras características del ciclón son la carga (L_i en kg de sólido por m^3 de gas) de sólidos de entrada, el flujo (Q , en m^3/s) de gas de entrada, la velocidad ($U_{g,i}$ en m/s) de gas de entrada y la velocidad ($U_{g,o}$ en m/s) de gas de salida.

20 Convencionalmente, un método para reducir la caída de presión es aumentando el tamaño de la entrada (H_i) con respecto al sistema de ciclón. Convencionalmente, se aumenta el ingreso (P) de la salida de gas mediante una cantidad correspondiente de modo que la base de la tubería de salida está por debajo del punto más bajo del dispositivo de entrada (es decir, $P > H_i$). Sin embargo, normalmente se esperaría que un aumento proporcional tanto en el tamaño de entrada como en el ingreso de la salida de gas, mientras se reduce la caída de presión, redujera la eficacia global del ciclón.

25 Tal como se muestra en los ejemplos, sorprendentemente los solicitantes han encontrado ahora que era posible, gracias al diseño del ciclón reivindicado, disminuir la caída de presión mientras se mantiene una eficacia de ciclón excelente.

30 Por tanto, según la presente invención, se proporciona un diseño de ciclón mejorado que comprende un dispositivo de entrada que tiene una altura (H_i) de entrada y una anchura (W_i) de entrada, una tubería de salida de gas que tiene un diámetro (D_i) de tubería y una penetración (P) de tubería, un cuerpo que tiene un diámetro (D_b) de cuerpo superior y una longitud (L_b) de cuerpo, comprendiendo dicho cuerpo un volumen cilíndrico sobre un volumen cónico, una tubería (O) de salida de sólidos y un flujo (Q) de gas de entrada, caracterizado porque la razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/D_{b2}) es superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2 y porque la razón de la longitud del cuerpo con respecto al diámetro (L_b/D_b) es superior a 3, preferiblemente superior a 3,5, e inferior a 6, preferiblemente inferior a 4,5.

35 También se hará evidente fácilmente que puede ajustarse la relación relativa de la geometría de salida de gas con respecto a la geometría de entrada dentro del alcance de la invención, dependiendo del efecto que va a lograrse. La geometría de entrada afectará a la caída de presión del ciclón y la penetración de salida de gas afectará a la eficacia.

40 También se hará evidente fácilmente que otros factores conocidos en la técnica, tales como el diámetro del cuerpo, la longitud del ciclón, los diámetros de salida de gas y sólidos, y las velocidades de entrada y salida también afectarán a la caída de presión y eficacia del ciclón de la presente invención. La variación de cualquiera de tales parámetros en el diseño de un ciclón se considera dentro del alcance de la invención.

45 La geometría de entrada según la presente invención puede ser cualquier geometría tal como se conoce en la técnica. La entrada puede tener cualquier sección transversal, tal como, por ejemplo, circular, ovalada o rectangular, pero tiene preferiblemente sección transversal rectangular. La entrada puede chocar con el cuerpo del ciclón en cualquier geometría conocida, por ejemplo, en una geometría en espiral (en la que la entrada se ajusta eficazmente sobre el cuerpo), o, preferiblemente, en una geometría tangencial. En otra realización se diseña el puerto de entrada del ciclón de tal manera que la mezcla entra en el ciclón en lo que se conoce como una entrada en espiral.

50 También puede ser posible en determinadas realizaciones de esta invención que el ciclón tenga más de una tubería de entrada.

55 En otras realizaciones puede usarse más de un ciclón dentro de un procedimiento particular. Los ciclones según la presente invención pueden usarse en serie o pueden usarse en paralelo con otros ciclones según la presente invención. Alternativamente, los ciclones según la presente invención pueden usarse en serie o pueden usarse en paralelo con cualquier otro ciclón. La idoneidad de tales combinaciones puede determinarse por un experto en la técnica dependiendo de las separaciones que desea obtenerse.

60 El ciclón de la presente invención puede incluir cualquier otra parte que se conozca en la técnica que se usa con un ciclón. Por ejemplo, puede usar un estabilizador de vórtice en la base del ciclón. Sin embargo, gracias a la ganancia de caída de presión obtenida con el diseño del ciclón de la presente invención, existe una mejora tal realizada en relación a la vibración que el vórtice no es obligatorio más; en consecuencia es una realización preferida de la presente invención proponer el ciclón en ausencia de cualquier vórtice adicional.

ES 2 287 455 T3

Según una realización preferida de la presente invención, la velocidad de gas de entrada del ciclón de la invención es superior a 6 m/s. Según otra realización preferida de la presente invención, la velocidad de gas de entrada del ciclón de la invención es inferior a 25 m/s, preferiblemente inferior a 18 m/s, más preferiblemente inferior a 15 m/s.

5 Según otra realización preferida de la presente invención, la altura (H_i) de entrada del ciclón y la penetración (P) de tubería de salida de gas son tales que la razón P/H_i es superior a 0,62 e inferior a 1,25.

La presente invención también se refiere a un procedimiento para la separación de una mezcla de gas y sólidos usando el ciclón anterior en el que la razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/Db^2) es superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2.

La presente invención también se refiere al uso del ciclón reivindicado para separar catalizador y partículas poliméricas de una mezcla de gas y sólidos que sale de un reactor de lecho fluidizado de polimerización en fase gaseosa en el que la razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/Db^2) es superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2.

A modo de ilustración de los polvos de polímero de interés en la presente invención, se mencionan los siguientes:

20 SBR (un polímero basado en butadieno copolimerizado con estireno);

ABS (un polímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno);

nitrilo (un polímero basado en butadieno copolimerizado con acrilonitrilo);

25 butilo (isobutileno copolimerizado con isopreno);

EPR (un polímero de etileno-propileno);

30 EPDM (un polímero basado en etileno copolimerizado con propileno y un dieno tal como hexadieno, dicitropenadieno o etiliden-norborneno);

un copolímero de etileno-viniltrimetoxisilano, un copolímero de etileno y de uno o más compuestos elegidos de acrilonitrilo, ésteres de ácido maleico, acetato de vinilo, ésteres de ácido acrílico y metacrílico y sus homólogos.

35 Según una realización preferida de la presente invención, se aplica a polímeros que son preferiblemente poliolefinas, particularmente copolímeros de etileno y/o de propileno y/o de buteno. Las alfa-olefinas preferidas que se usan en combinación con etileno y/o propileno y/o buteno son las que tienen desde 2 hasta 8 átomos de carbono. Sin embargo, también es posible usar cantidades pequeñas de alfa-olefinas que tienen más de 8 átomos de carbono, por ejemplo desde 9 hasta 40 átomos de carbono (por ejemplo, un dieno conjugado).

40 Preferiblemente, la invención se aplica a la producción de propileno o, más preferiblemente, a polietileno, por ejemplo, polietileno de baja densidad lineal (LLDPE) basados en, por ejemplo, copolímeros de etileno con 1-buteno, 4-metilpenteno o hexeno, o polietileno de alta densidad (HDPE) basados en, por ejemplo, homopolímeros de etileno o copolímeros de etileno con pequeñas proporciones de alfa-olefinas superiores, por ejemplo, 1-buteno, 1-penteno, hexeno o 4-metil-1-penteno.

Preferiblemente, la presente invención se refiere a la producción continua de polvo de polietileno en una planta industrial que comprende un reactor de polimerización en fase gaseosa del tipo de reactor de lecho fluidizado vertical. Preferiblemente, se lleva a cabo esta polimerización a una presión absoluta de entre 0,5 y 6 MPa y a una temperatura de entre 60°C y 130°C. Por ejemplo, en el caso de la producción de LLDPE la temperatura de polimerización está preferiblemente entre 75 y 110°C y en el caso de HDPE está generalmente entre 80 y 120°C dependiendo de la actividad del catalizador usado y de las propiedades deseadas del polímero.

55 Preferiblemente, se lleva a cabo la polimerización continua en un reactor de lecho fluidizado vertical según lo que se describe en las patentes (solicitudes) EP-0.855.411, FR número 2.207.145 o FR número 2.335.526. Por tanto, el procedimiento según la presente invención se aplica en particular a plantas a escala industrial, concretamente, a modo de ejemplo, a reactores de polimerización de lecho fluidizado cuya producción de polímero anual es al menos de cien mil toneladas, preferiblemente al menos de doscientas mil toneladas.

60 En el procedimiento de polimerización, puede llevarse una corriente que comprende especies gaseosas, tales como, por ejemplo, olefinas monoméricas y de comonomeros y un gas inerte opcional como nitrógeno, y agregados finos arrastrados, tales como, por ejemplo, catalizador o partículas poliméricas, desde la parte superior del reactor de lecho fluidizado. Se hace pasar esta corriente al ciclón de la presente invención, en el que se separan los agregados finos de la corriente gaseosa. Pueden recuperarse las partículas desde la parte inferior del ciclón, por ejemplo, usando un dispositivo de succión, tal como un eyector-compresor, y después recirculándose de vuelta al reactor.

La corriente de gas recuperada también puede recircularse al reactor. El gas de recirculación se enfría preferiblemente y se vuelve a comprimir antes de volver al lecho fluidizado, preferiblemente como el gas de fluidización.

ES 2 287 455 T3

Preferiblemente la temperatura del gas de recirculación puede ajustarse en un intercambiador de calor. El gas de recirculación comprende generalmente olefinas monoméricas y de comonómeros, opcionalmente junto con, por ejemplo, un gas diluyente inerte tal como nitrógeno o un agente de transferencia de cadena gaseosa tal como hidrógeno. Los monómeros consumidos por la reacción de polimerización pueden reemplazarse añadiendo líquido o gas de reposición al gas de recirculación. En ausencia de enfriamiento del gas de recirculación el lecho fluidizado aumentaría de temperatura y, por ejemplo, el catalizador puede volverse inactivo o el lecho puede comenzar a fundir.

En una recirculación convencional, tal como se describe anteriormente pero con un ciclón convencional, puede producirse el 30% o más de la caída de presión total a lo largo del separador de ciclón. Reduciendo esta caída de presión usando un ciclón de la presente invención es posible reducir significativamente la carga en el compresor en el bucle de recirculación, proporcionando ahorros de coste significativos en el procedimiento de polimerización.

Preferiblemente, se lleva a cabo esta polimerización en presencia de un sistema catalítico del tipo Ziegler-Natta, que consiste generalmente en un catalizador sólido que comprende esencialmente un compuesto de un metal de transición y un cocatalizador que comprende un compuesto orgánico de un metal (por ejemplo, un compuesto organometálico, por ejemplo un compuesto de alquilaluminio). Los sistemas catalíticos que tienen una alta actividad de este tipo comprenden en general un catalizador sólido que consiste esencialmente en un metal de transición, magnesio y átomos de halógeno. También son apropiados los catalizadores Ziegler soportados sobre sílice (por ejemplo, documentos US 5075270, EP 0453088, y EP 0595574). En particular, también es posible usar catalizadores del tipo de metaloceno así como catalizadores complejos de hierro y/o cobalto, por ejemplo los descritos en los documentos WO98/27124 o WO99/12981, y en las patentes estadounidenses números 4.530.914, 5.124.418, 4.808.561, 4.897.455, 5.278.264, 5.278.119 y 5.304.614. También es posible usar catalizadores basados en óxido de cromo soportado sobre un óxido refractario.

Los catalizadores pueden usarse junto a un cocatalizador o activador. Por ejemplo, se usan a menudo catalizadores de metaloceno en presencia de activadores, tales como alumoxano. También se sabe que se usan activadores ionizantes, activadores que son neutros o iónicos, o compuestos tales como un precursor metaloides de tri(n-butil)amoniotetra (pentafluorofenil)boro o trisperfluorofenilboro, que ioniza el compuesto de metaloceno neutro. También pueden usarse los catalizadores de metalocenos en presencia de cocatalizadores activadores adecuados tales como compuestos formadores de iones, por ejemplo, sales de amonio, fosfonio, oxonio, carbonio, sililio, sulfonio, o ferroceno de aniones que no son de coordinación, compatibles y ácidos de Lewis, tales como compuestos del grupo 13 sustituidos con hidrocarbilo C1-30 y compuestos de tri(aril)boro perfluorados.

El sistema de catalizador también puede incluir un agente antiestático, por ejemplo, los descritos en la patente estadounidense número 5.283.278, que se incorpora totalmente al presente documento por referencia. Ejemplos no limitativos de agentes antiestáticos incluyen compuestos de éteres, aminas, ácidos, aldehídos, cetonas, ésteres, dioles, silanoles, tioles y alcoholes. Se prefieren compuestos de poliéteres, aminas etoxiladas y aminas terciarias. El agente antiestático puede añadirse en cualquier fase en la formación del sistema de catalizador.

El sistema de catalizador puede incluir también una cera de poliolefina o agente de adhesividad o similar. Pueden usarse los catalizadores como tal o en la forma de un prepolímero.

Se ilustrará ahora el ciclón de la presente invención mediante una serie de ejemplos:

Ejemplos

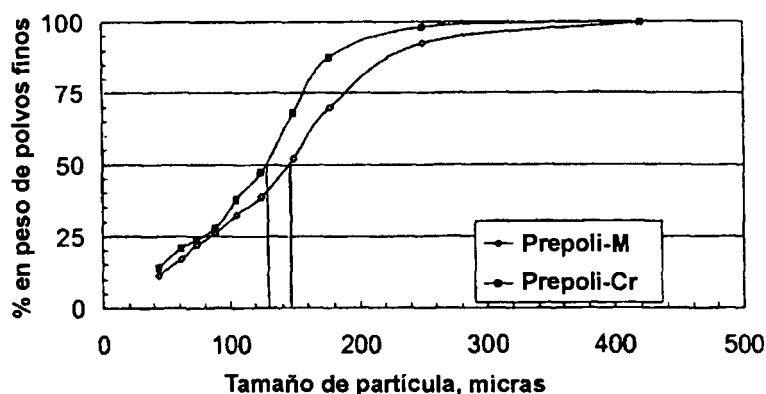
Se construyeron una serie de ciclones que reproducen versiones a escala reducida de un ciclón de una planta de polietileno comercial en fase gaseosa (escala de 1/15 basándose en el diámetro del cuerpo; escala de 1/225 basados en el flujo de gas). Se colocaron los ciclones dentro de un dispositivo para pruebas de gas de lecho fluidizado que podía funcionar en condiciones idénticas a un procedimiento de lecho fluidizado en fase gaseosa industrial. Cada ciclón en los siguientes ejemplos se sometió a prueba en el siguiente intervalo de condiciones de prueba con el fin de determinar su curva de eficacia (Eo) de recogida y caída de presión (ΔP) frente a la velocidad de flujo de gas (Q):

Presión	350 psig (24 bar, g)
Temperatura	158°F (70°C)
Carga de sólidos	0,004 a 0,8 kg de sólido por m ³ de gas
Velocidad de entrada de gas	5 - 20 m/s
Velocidad de salida de gas	5 - 10 m/s

En los siguientes ejemplos, los resultados de la prueba se expresan como una función de la carga (Li....kg de sólido por m³ de gas) de sólidos de entrada, la velocidad (Ug,i.... m/s) de gas de entrada, la velocidad (Ug,o....m/s) de gas de salida, la penetración (P) del tubo de salida, la altura (Hi) de entrada del ciclón, la anchura (Wi) de entrada del ciclón, la razón de aspecto de entrada (Hi/Wi) del ciclón, el diámetro (Lb) del cuerpo, la razón de la longitud del cuerpo con respecto al diámetro (Lb/Db).

ES 2 287 455 T3

Para simular la carga de agregados finos en los ciclones de una manera que fuese casi idéntica a la planta comercial, se usaron agregados finos de prepolímeros preparados a partir de un catalizador Ziegler de M y de un catalizador de Cr. Las distribuciones de tamaño de partícula del Cr y M de Ziegler fueron:



El tamaño de partícula medio del M de Ziegler fue 145 μm y el tamaño de partícula medio de los agregados finos de "Cr" fue 130 μm . El % de agregados finos inferiores a 44 μm fue el 11% para los agregados finos de "M" y el 14% para los agregados finos de "Cr". Además, el polvo de prepolímero tenía las siguientes propiedades:

Índice de fusión (IF2) = 1,60
 Al/Ti = 1,40
 Actividad = 25,1 g/gmol/h
 Densidad aparente (MVA) = 320 Kg/m³.

Estas distribuciones de tamaño de partícula son típicas de agregados finos que se llevan desde una cubeta de reactor de fase gaseosa comercial y se recogen por el ciclón en una planta de fase gaseosa comercial.

Ejemplo 1

Ciclón de fase gaseosa convencional -sin estabilizador de vórtice

Ciclón 1A de razón de aspecto normal, penetración total, cuerpo corto ($H_i/W_i = 2,5$, $P/H_i = 1,25$, $L_b/D_b = 4,0$), figura 2

Se construyó un ciclón designado N° 1A a escala de 1/15 y que tenía un diseño de geometría idéntica a un ciclón comercial en una placa de polietileno de fase gaseosa, excepto porque este ciclón tenía la característica de no estar equipado con un estabilizador de vórtice.

Las series de experimentos posteriores demostraron que:

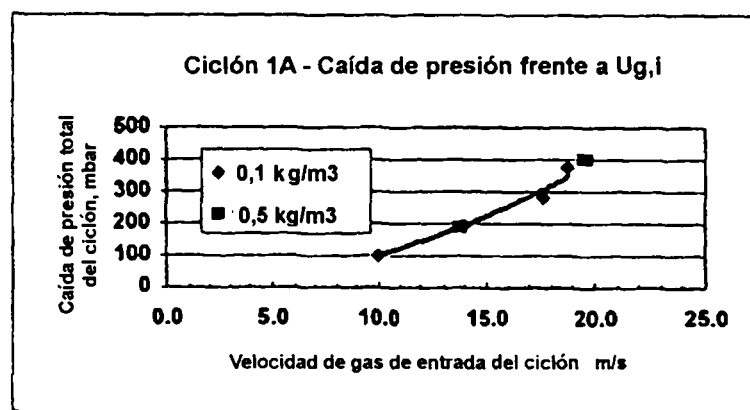
1. La reproducibilidad de la medición de la eficacia del ciclón está dentro del 0,01%
2. La temperatura de funcionamiento aumentada no tiene ningún efecto sobre la eficacia de recogida pero disminuye la caída de presión global ligeramente.
3. La caída de presión de un ciclón de fase gaseosa convencional, por ejemplo que funciona con $U_{g,i} = 20$ m/s, es igual a 400 mbar.
4. La eficacia de recogida del ciclón de un ciclón de fase gaseosa convencional ($U_{g,i} = 20$ m/s) sin un estabilizador de vórtice es igual al 99,834% $\pm$ 0,012%.

N° de experimento	P, bar, g	T, °C	Li, kg/m ³	ϵ , %	ΔP , mbar
1a	24	38	0,056	99,825	399
1b	24	38	0,055	99,842	398
2	24	75	0,056	99,839	351

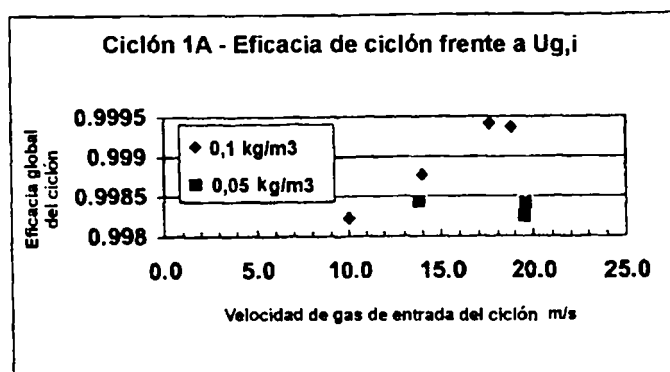
ES 2 287 455 T3

Nº de experimento	P, bar, g	Li, kg/m ³	ϵ , %	ΔP , mbar
1a, 1b	24	0,055	99,8335%	398,56
5a, 5b	24	0,111	99,9390%	328,81
3	12	0,083	99,934%	174,37
4	1	0,058	99,930%	94,66

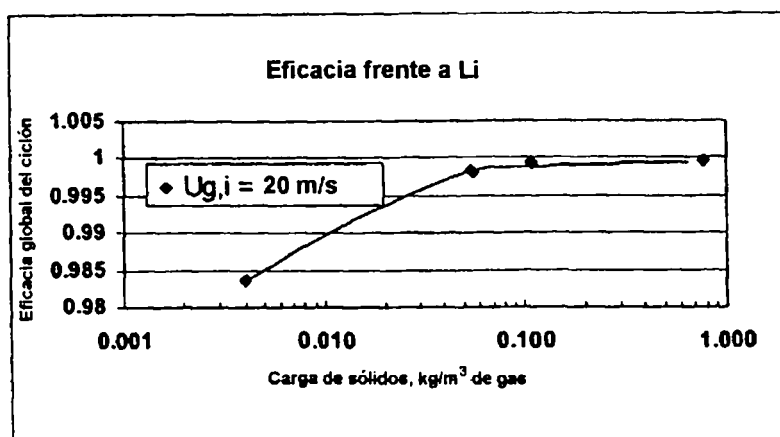
Se encontró para este ciclón que la curva de caída de presión era dependiente principalmente de la velocidad de gas de entrada y relativamente independiente de la carga de sólidos tal como se muestra:



Pruebas adicionales demostraron que la eficacia de recogida del ciclón aumenta con las cargas de sólidos a cargas de sólidos superiores a 0,1 kg/m³ pero era independiente de las cargas de sólidos a cargas de sólidos inferiores a 0,1 kg/m³.



Normalmente, una planta de fase gaseosa opera con cargas de entrada del ciclón entre 0,005 y 0,5 kg de sólido por m³ de gas. La eficacia del ciclón a velocidad de entrada de gas constante ($U_{g,i} = 20$ m/s) aumenta con la carga de sólidos tal como se muestra en el siguiente gráfico. La eficacia es asintótica por encima de 0,1 kg/m³.



Se realizó una serie de experimentos comparando el rendimiento del ciclón con agregados finos de M de Ziegler y agregados finos de Cr. La tabla de resultados siguiente ilustra que la eficacia de recogida del ciclón para Cr es superior a la de los agregados finos de M de Ziegler, considerando especialmente que el material de Cr tiene más agregados finos (el 14% frente al 11% inferiores a $44\ \mu\text{m}$).

Configuración del ciclón	1A	1A	1A	1A
Número de prueba	1a, 1b	10	5a	11
Polvo	M de Ziegler	Cr	M de Ziegler	Cr
Carga	Baja	Baja	Alta	Alta
Velocidad de entrada, $U_{g,i}$, m/s	19,53	20,01	18,82	20,05
Velocidad de salida, $U_{g,o}$, m/s	10,03	10,28	9,67	10,30
Carga de sólidos, Li, kg/m ³ de gas	0,055	0,046	0,108	0,103
Caída de presión, mbar	398,56	401,05	373,65	411,02
Eficacia de recogida, %	99,8335	99,968	99,9374	99,988

Sin embargo, las tendencias para la caída de presión y la eficacia del ciclón frente a la tasa de rendimiento de gas y carga de sólidos son las mismas para los agregados de Cr y M. Por tanto el resto de ejemplos se muestran sólo para el funcionamiento de M.

Para resumir los resultados del ciclón 1A en este ejemplo, la eficacia de recogida del ciclón de un ciclón de fase gaseosa convencional ($U_{g,i} = 20\ \text{m/s}$) sin un estabilizador de vórtice varía desde el 99,936% $\pm$ 0,01% (cargas de sólidos bajas) hasta el 99,96% $\pm$ 0,01% (cargas de sólidos altas) con un promedio del 99,585% $\pm$ 0,007%. Estos experimentos también enseñan que la eficacia del ciclón es bastante constante por encima de 0,1 kg de sólido por m³ de gas. La eficacia de recogida en Cr es superior a M pero las tendencias son las mismas.

Ejemplos de la invención 2 a 4

Ciclón de fase gaseosa de diámetro de cuerpo grande

En la siguiente serie de ejemplos, se modificó la geometría de un ciclón de fase gaseosa de diámetro de cuerpo grande con el fin de optimizar su eficacia de ciclón. Tal como en los ejemplos anteriores, se sometió a prueba cada ciclón a presión constante (24 bar, g), temperatura (70°C) a lo largo de un intervalo de cargas de sólidos (de 0,004 a 0,8 kg de sólido/m³ de gas). La tabla resume la geometría de los ciclones designados como números 3, 3A y 3B.

Se enseña en la bibliografía que para aumentar la eficacia del ciclón a un flujo de gas volumétrico constante, es necesario disminuir el diámetro del ciclón. Al contrario de lo que se enseña en la técnica anterior, se encontró que la mayor eficacia sólo podía obtenerse aumentando el diámetro del cuerpo del ciclón.

Geometrias de ciclones de diámetro de cuerpo grande

Número de ciclón	Cambio desde el diseño anterior	Altura de entrada (Hi, mm)	Anchura de entrada (Wi, mm)	Razón de aspecto (Hi/Wi)	Longitud del cuerpo (Lb, mm)	Diámetro del cuerpo (Db, mm)	Lb/Db (--)	Penetración del tubo de salida (P, mm)	P/Hi, (--)	Angulo del cono, °
1A	Ciclón convencional	57	23	2,5	458	114	4,0	71	1,25	82
3	Razón de aspecto alta	152	30,5	5,0	610	152	4,0	71	0,47	81
3A	Penetración total, razón de aspecto baja	78	30,5	2,5	610	152	4,0	80	1,0	81
3B	Cuerpo alargado, penetración total, razón de aspecto baja	78	30,5	2,4	762	152	5,0	80	1,0	81

ES 2 287 455 T3

Nº	Carga de sólidos	Experimentos	Ug,i (m/s)	Ug,o (m/s)	Q, Flujo de gas, (Am3/h)	Q/Db ² , (Am3/s/m2)	Li (kg/m3)	Eficacia (%)	Caída de presión (mbar)
1A	Baja	1a, 1b	19,5 3	10,0 3	92,4	1,97	0,0555	99,834	398,6
"	Alta	5a	18,8 2	9,67	88,8	1,07	0,108	99,937	373,7
3	Baja	22	5,49	9,98	91,8	1,10	0,049	96,162	80,7
"	Alta	23	5,59	10,1 6	93,6	1,13	0,104	96,910	74,23
3A	Baja	34	10,73	9,97	93	1,12	0,047	99,935	132,0
"	Alta	35	10,92	10,1 5	92,4	1,11	0,104	99,962	132,0
3B	Baja	40	10,73	9,97	91,8	1,10	0,047	99,935	134,5
"	Alta	41	10,92	10,1 5	93	1,12	0,104	99,965	128,3

Ejemplo de la invención 2

Ciclón de diámetro de cuerpo grande

Ciclón nº 3 de razón de aspecto grande, penetración pequeña, cuerpo pequeño ($H_i/W_i = 5,0$, $P/H_i = 0,47$, $L_b/D_b = 4,0$), figura 2

En este ejemplo, se aumentó el diámetro de cuerpo un 33% en comparación con un ciclón convencional. El ciclón designado Nº 3, se construyó este ciclón con una razón de aspecto ($H_i/W_i = 5$) el doble de grande que el ciclón Nº 1A ($H_i/W_i = 2,5$), aumentando en efecto el área de entrada 3,5 veces, de modo que se reduce la velocidad de entrada de gas a $1/3,5 = 28\%$ de su valor original, manteniendo todos los demás aspectos de la geometría del ciclón a un ciclón de fase gaseosa de polietileno convencional. Véase la tabla.

Tal como se esperaba, la caída de presión disminuyó al 20% de un ciclón convencional. Sin embargo, el ciclón Nº 3 tiene la desventaja de que la eficacia del ciclón disminuyó desde el 99,834% hasta el 96,162% a carga de sólidos bajas (0,05 kg de sólido por m³ de gas) y desde el 99,937% hasta el 96,910% a carga de sólidos altas (0,1 kg de sólido por m³ de gas). Esto se debe a que su velocidad de gas de entrada era demasiado baja para lograr la eficacia de separación deseada.

Ejemplo de la invención 3

Ciclón de diámetro de cuerpo grande

Ciclón nº 3A de razón de aspecto baja, penetración total, cuerpo pequeño ($H_i/W_i = 2,5$, $P/H_i = 1,0$, $L_b/D_b = 4,0$), figura 3

Se construyó el ciclón Nº 3A de tal modo que se disminuye su razón de aspecto de entrada, H_i/W_i , desde 5 hasta 2,5, haciendo eficazmente su área de entrada 1,8 veces mayor que la del ciclón convencional. Tal como se esperaba, se redujo su caída de presión por el factor $1/1,8^2 = 1/3$ de su valor original (desde 400 mbar hasta 132 mbar).

La eficacia del ciclón fue del 99,935% a carga de sólidos baja (0,05 kg de sólido por m³ de gas) y del 99,962% a carga de sólidos altas (0,1 kg de sólido por m³ de gas). Esto se opone a la técnica anterior puesto que se pensó que un diámetro de ciclón grande tendría un efecto adverso sobre la eficacia de recogida.

La caída de presión fue 1/3 de la caída de presión de un ciclón de fase gaseosa convencional cuando se compara con el ciclón a un rendimiento de velocidad de flujo másico o volumétrico idéntico.

Ejemplo de la invención 4

Ciclón de diámetro de cuerpo grande

Ciclón nº 3B de razón de aspecto baja, penetración total, cuerpo largo ($H_i/W_i = 2,5$, $P/H_i = 1,0$, $L_b/D_b = 5,0$), figura 4

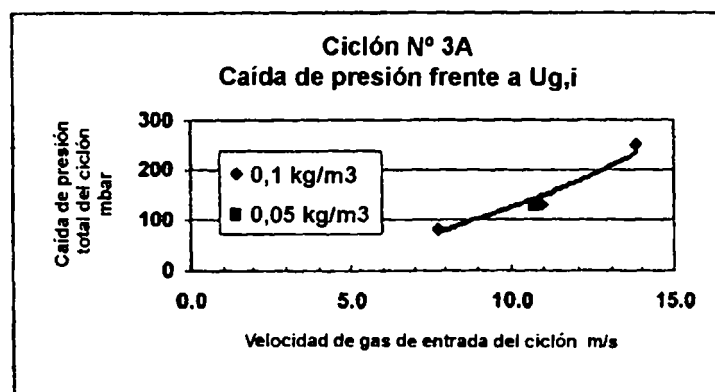
Se notifica en la técnica que aumentando la longitud del cuerpo puede aumentar la eficacia de un ciclón permitiendo más ciclones en el cuerpo del ciclón. Se alargó el cuerpo del ciclón de diámetro de cuerpo grande en un 25%. El ciclón

designado 3B, este ciclón tenía la misma geometría que el ciclón en el ejemplo anterior pero aumentando la razón de longitud del cuerpo con respecto al diámetro, (L_b/H_b) desde 4,0 hasta 5,0. La penetración de tubo de salida del ciclón era idéntica ($P/H_i = 1,0$).

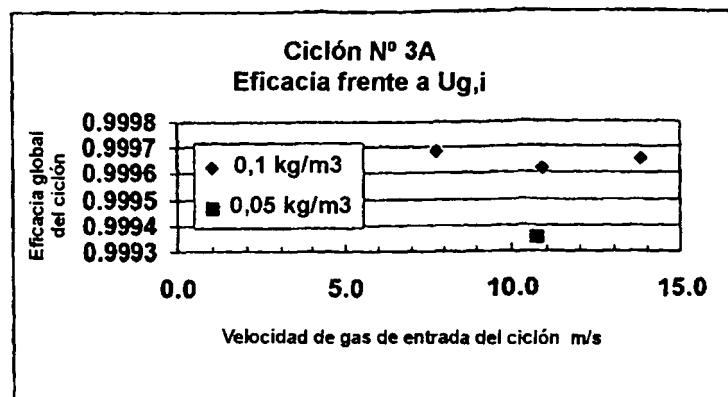
La eficacia del ciclón fue del 99,935% a carga de sólidos baja ($0,05 \text{ kg de sólido por m}^3 \text{ de gas}$) y del 99,965% a carga de sólidos alta ($0,1 \text{ kg de sólidos por m}^3 \text{ de gas}$). Esto se opone a la técnica anterior puesto que se pensaba que alargar el cuerpo del ciclón tendría un efecto beneficioso sobre la eficacia de recogida. La caída de presión fue 1/3 de la caída de presión de un ciclón de fase gaseosa convencional cuando se compara con el ciclón a un rendimiento de velocidad de flujo másico o volumétrico idéntico. Véase la tabla para los resultados numéricos.

En conclusión, la caída de presión a través de un ciclón convencional que funciona con una velocidad de flujo de gas y carga de entrada de sólidos idéntico puede reducirse aproximadamente el 33% (en estos ejemplos el 33% a carga de sólidos baja, el 35% a carga de sólidos alta) con un ligero aumento en la eficacia de recogida del ciclón. Esto se logra aumentando el diámetro del cuerpo el 33% comparado con un ciclón convencional mientras se mantiene una razón de aspecto idéntica ($H_i/W_i = 2,5$), disminuyendo simultáneamente la velocidad de entrada de gas desde 20 m/s hasta 11,5 m/s. Esto es novedoso puesto que el diseño óptimo para minimizar la caída de presión y maximizar la eficacia del ciclón es opuesto a la técnica demostrada. Los métodos clásicos enseñados en la técnica anterior para aumentar la eficacia del ciclón (cambiando la penetración del tubo de salida, y alargando la longitud del cuerpo del ciclón) no tuvo un efecto significativo sobre la eficacia del ciclón.

Como con otras geometrías de ciclón, el ciclón 3A tiene la característica de que su curva de caída de presión era dependiente principalmente de la velocidad de gas de entrada e relativamente independiente de la carga de sólidos tal como se muestra:

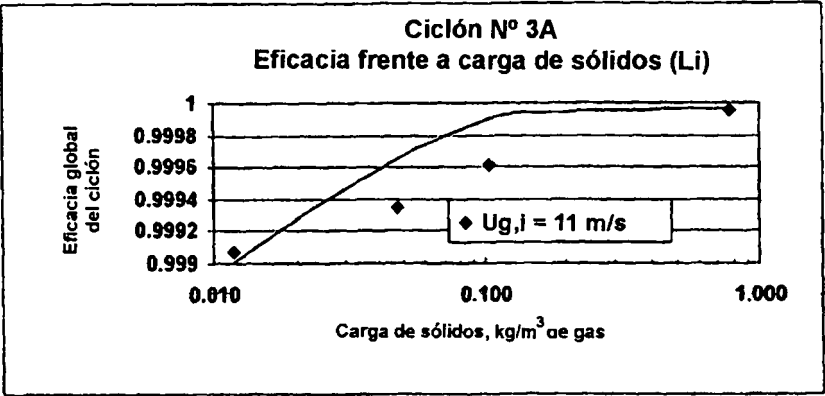


Esta eficacia de recogida del ciclón es tan alta que no varía mucho con la velocidad de entrada de gas, esencialmente plana entre 8 y 15 m/s. La eficacia es mayor a cargas de sólidos altas; sin embargo, incluso a una carga de sólidos baja es un ciclón muy eficaz.



Normalmente, una planta de fase gaseosa funciona con cargas de entrada del ciclón de entre $0,005$ y $0,5 \text{ kg de sólido por m}^3 \text{ de gas}$. La eficacia del ciclón 3A a una velocidad de entrada de gas constante ($U_{g,i} = 11 \text{ m/s}$) aumenta con la carga de sólidos tal como se muestra en el siguiente gráfico, asintótico por encima de $0,1 \text{ kg/m}^3$. Sin embargo,

a diferencia de la eficacia de los otros ciclones investigados, en particular los ciclones 1A y 2B, este ciclón tiene la ventaja de ser un ciclón extremadamente eficaz incluso a cargas de sólidos de entrada del ciclón bajas. Estos hallazgos se oponen a la técnica anterior puesto que no se pensaba que los ciclones de cuerpo grande fuesen tan eficaces.



REIVINDICACIONES

1. Ciclón que comprende un dispositivo de entrada que tiene una altura (H_i) de entrada y una anchura (W_i) de entrada, una tubería de salida de gas que tiene un diámetro (D_i) de tubería y una penetración (P) de tubería, un cuerpo que tiene un diámetro (D_b) de cuerpo superior y una longitud (L_b) de cuerpo, comprendiendo dicho cuerpo un volumen cilíndrico sobre un volumen cónico, una tubería (O) de salida de sólidos, una velocidad ($U_{g,i}$) de gas de entrada y un flujo (Q) de gas de entrada, teniendo dicho ciclón una razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/D_b^2) superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2 (m/s) y una razón de longitud de cuerpo con respecto al diámetro (L_b/D_b) superior a 3, preferiblemente superior a 3,5, e inferior a 6, preferiblemente inferior a 4,5.

2. Ciclón según la reivindicación 1, en el que la velocidad de gas de entrada es superior a 6 m/s.

3. Ciclón según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la altura (H_i) de entrada del ciclón y la penetración (P) de tubería de salida de gas son tales que la razón P/H_i es superior a 0,62 e inferior a 1,25.

4. Ciclón según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado** porque no comprende ningún estabilizador de vórtice.

5. Procedimiento para la separación de una mezcla de gas y sólidos usando el ciclón según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/D_b^2) es superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2.

6. Uso del ciclón según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para separar partículas poliméricas y de catalizador de una mezcla de gas y sólidos que salen de un reactor de lecho fluidizado de polimerización en fase gaseosa, en el que la razón de flujo de gas de entrada con respecto al cuadrado del diámetro del cuerpo superior (Q/D_b^2) es superior a 0,5, preferiblemente superior a 0,7, e inferior a 1,5, preferiblemente inferior a 1,2 (m/s).

7. Uso según la reivindicación 6, en el que el reactor de lecho fluidizado de polimerización en fase gaseosa se hace funcionar a una presión absoluta de entre 0,5 y 6 MPa.

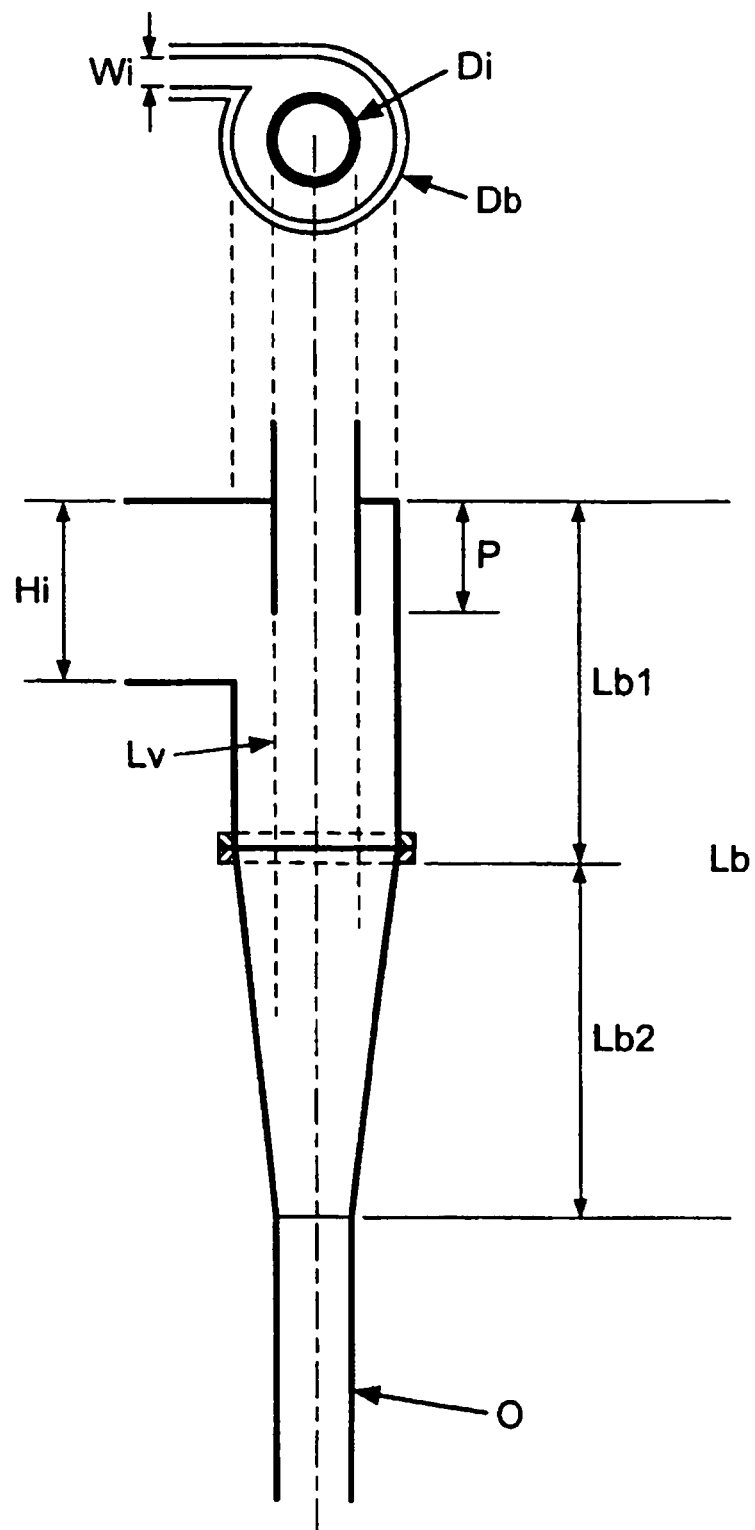


Fig. 1

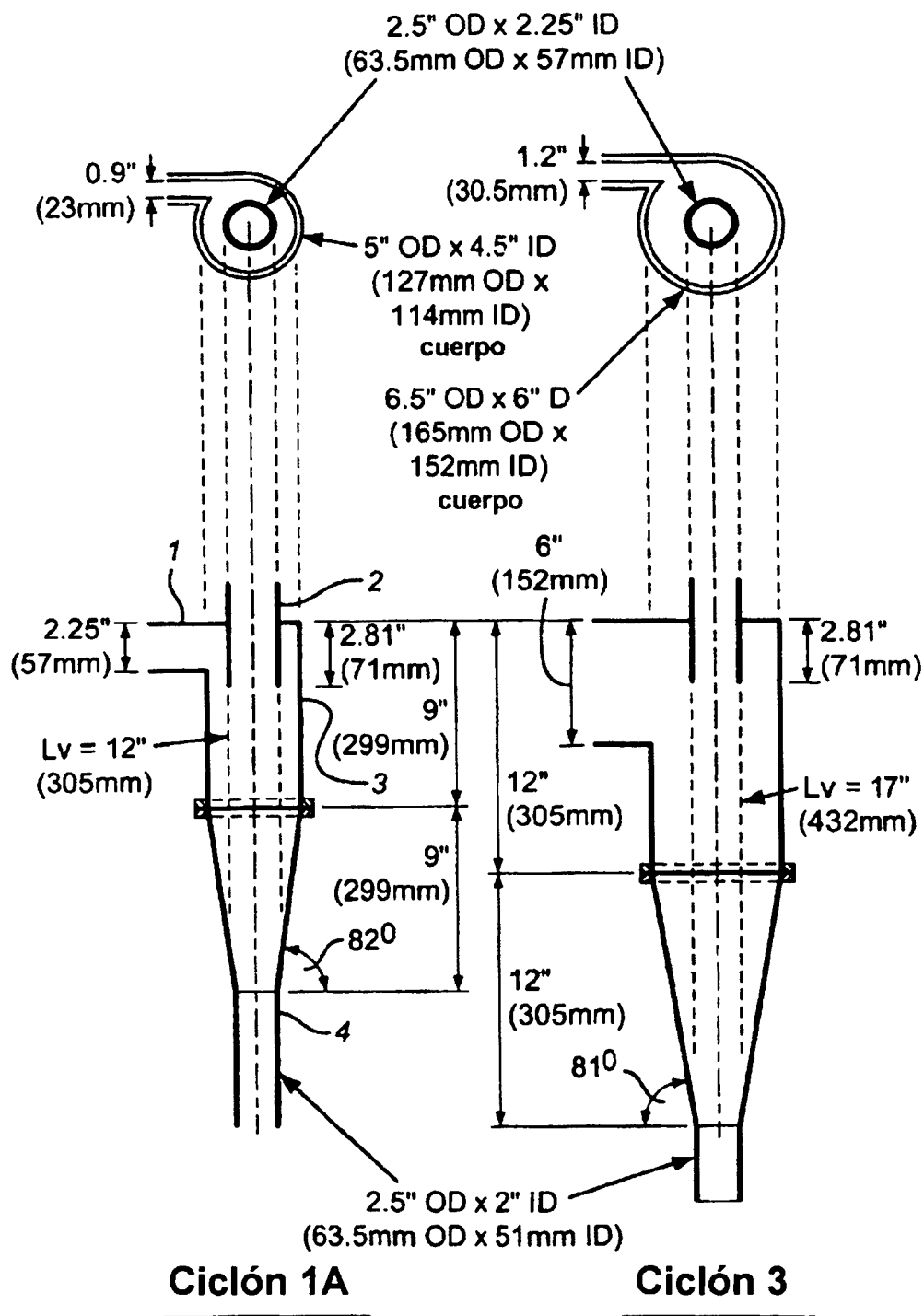


Fig.2

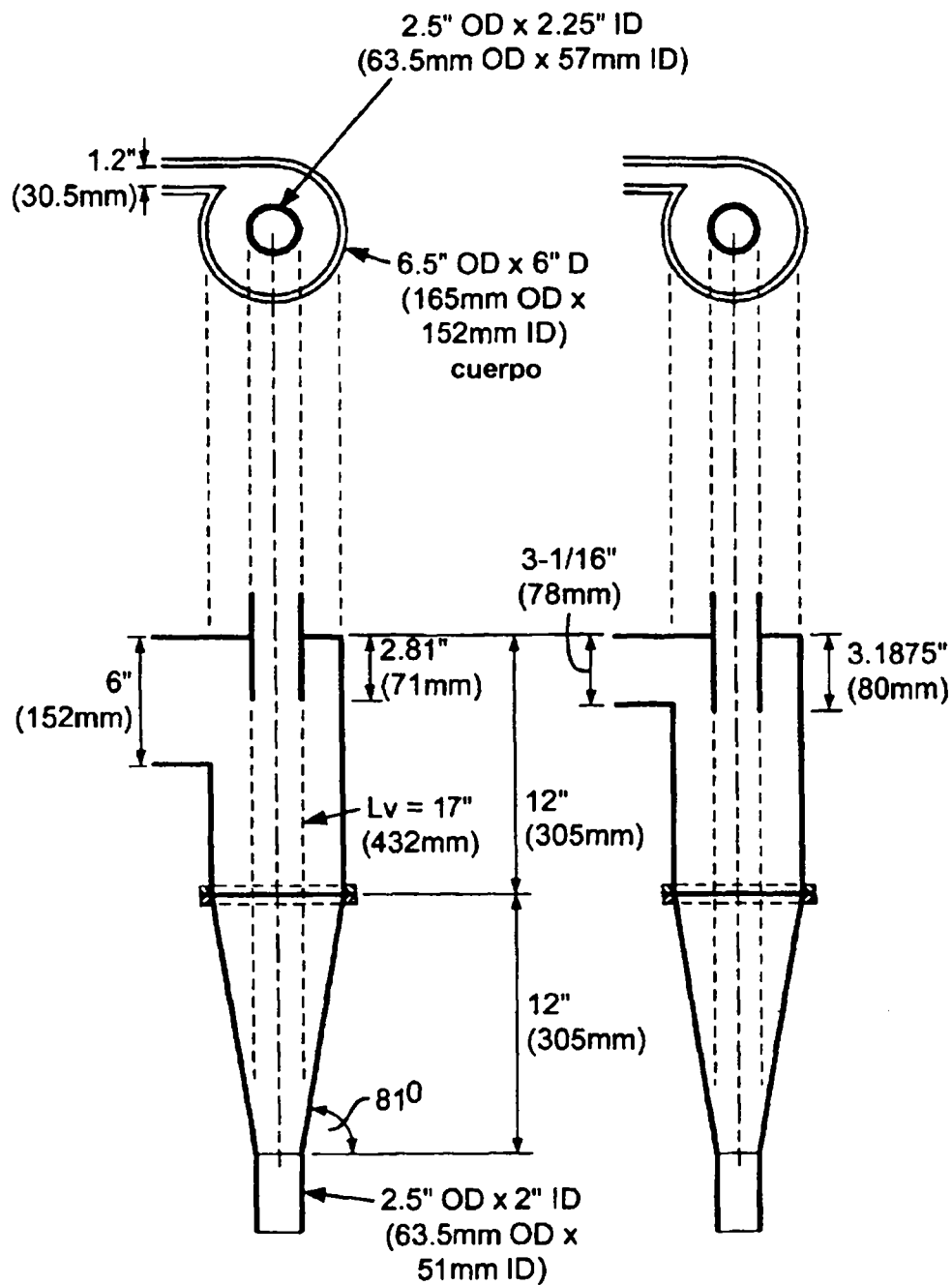


Fig. 3

(Todas las demás dimensiones son como el ciclón 3)

