

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 835 901**

51 Int. Cl.:

F24S 20/20 (2008.01)

F24S 80/20 (2008.01)

B01J 8/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.08.2016** **PCT/AU2016/000278**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.02.2017** **WO17024338**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.08.2016** **E 16834304 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.11.2020** **EP 3334981**

54 Título: **Receptor solar**

30 Prioridad:

13.08.2015 AU 2015903261

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

23.06.2021

73 Titular/es:

THE UNIVERSITY OF ADELAIDE (100.0%)
North Terrace
Adelaide, South Australia 5005, AU

72 Inventor/es:

ARJOMANDI, MAZIAR;
NATHAN, GRAHAM JERROLD;
CHINNICI, ALFONSO y
TIAN, ZHAO

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 2 835 901 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

Receptor solar

Campo técnico

5 Esta invención se refiere a un receptor solar para exponer partículas absorbentes de calor a la radiación solar concentrada.

La invención también se relaciona con un método de calentar partículas mediante la exposición de las mismas a la radiación solar concentrada utilizando un receptor solar.

Técnica antecedente

10 El siguiente examen de la técnica antecedente está destinado solamente a facilitar la comprensión de la presente invención. El examen no constituye un reconocimiento o admisión de que alguno de los materiales a los que se hace referencia es o formaba parte del conocimiento general común en la fecha de prioridad de la solicitud.

15 Las tecnologías para aprovechar la energía procedente de fuentes de energía renovables, tales como la energía solar, están atrayendo cada vez más atención debido a la creciente conciencia del cambio climático mundial como consecuencia de las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de fuentes antropogénicas, junto con la necesidad de mitigar la contaminación atmosférica, las limitaciones de recursos a largo plazo de los combustibles fósiles y el deseo de participar en el creciente mercado de las tecnologías de energías renovables. La energía solar
20 térmica de concentración (CST) es un campo tecnológico en rápido crecimiento debido a su capacidad para aprovechar todo el espectro solar, para lograr una alta eficiencia mediante el logro de altas temperaturas y por su buena compatibilidad con las tecnologías convencionales de energía térmica. La forma más eficiente de transferir la radiación solar concentrada del sol al producto final es mediante la irradiación directa de "nubes" de partículas (es decir, suspensiones de partículas estrechamente espaciadas) a través de una abertura abierta o de una ventana, en lugar de a través de las paredes de un tubo. Esto se debe a que una pared está a una temperatura mucho más baja que la del sol, limitada por su temperatura de fusión, lo que reduce la cantidad de transferencia de calor. Las partículas tienen la ventaja adicional de que son eficientes absorbentes de la radiación y se adaptan bien al
25 almacenamiento a alta temperatura de la energía térmica, que es más barato y más eficiente que el almacenamiento de la energía eléctrica, mientras que el almacenamiento de energía es necesario para mitigar la disponibilidad intermitente de la radiación solar. Las partículas pueden ser inertes o reactivas, ofreciendo las segundas la ventaja adicional de que los portadores de energía química son a largo plazo, transportables y despachables. Los dispositivos utilizados para captar la radiación con partículas en los sistemas de CST se denominan "receptores de
30 partículas".

Los receptores de partículas solares para aplicaciones de alta temperatura generalmente adoptan una configuración de tipo cavidad, tanto para contener las partículas como para controlar las pérdidas de calor. Dicha configuración comprende un recinto bien aislado que define una cavidad y un orificio, o abertura, para una captura eficaz de la radiación solar concentrada incidente. Los métodos para calentar la materia prima sólida de las partículas a altas
35 temperaturas pueden dividirse en dos tipos: receptor directamente irradiado e indirectamente irradiado. En el primero, las partículas son irradiadas directamente con la radiación solar concentrada, ya sea a través de una ventana o una abertura abierta, mientras que en el segundo el calor de la radiación solar se transfiere por convección y radiación a través de las paredes del reactor que reciben la radiación. Si bien la temperatura de trabajo del receptor irradiado indirectamente está limitada por las limitaciones de las propiedades térmicas del absorbente de la pared, la configuración directamente irradiada no tiene esta limitación, lo que da lugar a tasas de calentamiento más rápidas y a una cinética mejorada, junto con la capacidad de alcanzar temperaturas más elevadas.

Un receptor de partículas directamente irradiado puede emplearse para aplicaciones de calor de procesos industriales, energía solar, incluyendo la producción de combustibles y productos químicos, o para calentar el fluido de trabajo en un ciclo de energía, tal como el aire en un ciclo de Brayton, para la generación de electricidad. Las
45 partículas sólidas pueden actuar como medio de almacenamiento y transferencia de calor o como "sustrato" en el que pueden producirse reacciones químicas.

Un concepto de receptor de partículas sólidas propuesto por primera vez en los años 80, llamado "receptor de nubes de partículas en caída", fue desarrollado para aplicaciones térmicas y termoquímicas. Este receptor se suele montar en la cima de una torre para capturar la energía solar enfocada de un campo de heliostatos. Las partículas
50 cerámicas del tamaño de la arena (100-1.000 μm) caen libremente en un receptor solar, formando una cortina que absorbe directamente la radiación solar concentrada que pasa a través de una abertura. Una vez calentadas, las partículas pueden ser recogidas en un tanque aislado y/o utilizadas para calentar un fluido de trabajo secundario (por ejemplo, aire, vapor, CO_2). Como la energía solar es absorbida directamente dentro de las partículas inertes, se evitan las limitaciones de flujo de calor asociadas con otros receptores solares (por ejemplo, receptores centrales tubulares) y se pueden alcanzar altas temperaturas (por encima de los 1.000 $^{\circ}\text{C}$).

Sin embargo, a pesar de sus beneficios, la configuración del receptor de partículas en caída libre tiene varias desventajas. En particular:

- a) No tiene un medio para controlar el tiempo de residencia de las partículas dentro de la cavidad en función del tamaño de partícula. Varios estudios han demostrado que la eficiencia de la cavidad y la temperatura de salida de las partículas disminuyen a medida que aumenta el tamaño de las partículas. Ello se debe a que las partículas más grandes necesitan un tiempo de residencia más largo que las más pequeñas debido a su mayor capacidad térmica.
- 5 De hecho, un aumento del tamaño de las partículas conduce a un aumento de la velocidad vertical de las partículas (las partículas más grandes caen más rápido que las más pequeñas), reduciendo así el tiempo de residencia de las partículas grandes dentro del receptor. Por lo tanto, este proceso es más eficiente para las partículas monodispersas, lo que aumenta considerablemente el costo.
- b) El tiempo de residencia de las partículas dentro de la cavidad es corto. Los métodos para aumentar la temperatura de las partículas incluyen el uso de la recirculación y otros medios para aumentar el tiempo de residencia de las partículas dentro del receptor, tales como obstrucciones, placas inclinadas, estructuras porosas, receptores espirales y centrífugos. Sin embargo, los componentes físicos en entornos de alta temperatura reducen la fiabilidad del sistema. Además, estos métodos no son capaces de controlar el tiempo de residencia de las partículas dentro de la cavidad en función del tamaño de partícula.
- 10 c) El impacto de las partículas con la tolva de recolección, las estructuras u otras partículas, causa abrasión, degradación y desgaste de las partículas, por lo que el receptor de partículas debe funcionar con una amplia gama de tamaños de partículas. Esto conduce a una disminución de la eficiencia del proceso por las razones indicadas anteriormente.
- 15 En un dispositivo alternativo, las partículas sólidas también pueden ser adoptadas para mejorar la eficiencia del receptor volumétrico convencional. Un receptor volumétrico utiliza un bloque con una gran superficie interna, tal como un panal de miel, para absorber la radiación y transferir el calor al fluido circundante por convección. En un estudio se informó de una evaluación experimental de un receptor de aire de pequeñas partículas (10 KW) en el que el gas de trabajo se sembró con partículas de carbono submicrométricas para absorber la radiación. Se descubrió que estas partículas tenían el efecto de aumentar la transferencia de calor para permitir que se alcanzaran
- 20 temperaturas muy altas (de hasta 1800 °C) en la salida del receptor. Además, la nube de partículas protege parcialmente la pared de la cavidad del receptor de la irradiación concentrada, reduciendo algunas de las limitaciones materiales y estructurales asociadas a los receptores volumétricos convencionales. Sin embargo, este dispositivo presenta varios desafíos:
- 25 a) Requiere el desarrollo de un sistema de suspensión sólido/gas que mantenga una concentración uniforme y elevada de partículas en el receptor, ya que las propiedades de dispersión y el tiempo de residencia de las partículas varían significativamente con el tamaño de partícula;
- 30 b) Requiere el uso de partículas submicrónicas, que son difíciles de separar del fluido en la salida del receptor;
- c) No aborda el problema de evitar el depósito de partículas en una ventana. Dado que la principal aplicación de los receptores volumétricos es en las turbinas de gas, es necesario presurizar el aire antes de calentarlo. Esto requiere una ventana. No se ha propuesto ningún método para evitar esta deposición.
- 35 Los reactores receptores de partículas realizan un proceso adicional de reacción sobre los receptores de partículas, de modo que las partículas experimentan tanto la absorción de calor como la conversión química. Un reactor-receptor solar se utiliza invariablemente para impulsar una reacción endotérmica y, por lo tanto, requiere un tiempo de residencia adicional para la reacción además del calentamiento sensible. Además, también debe proporcionar una buena mezcla de los reactantes y un buen sellado del aire ambiente para evitar reacciones no deseadas. Se han desarrollado varios tipos de reactor-receptor de partículas, para proporcionar diferentes intervalos de tiempo de residencia dentro del receptor y/o transportar diferentes fluidos y reactivos portadores, junto con las partículas sólidas. Según varios estudios, los reactores-receptores de partículas solares pueden clasificarse en reactores de lecho compacto, de lecho fluidizado y de flujo arrastrado. Cada grupo tiene su tamaño de partícula característico, su tiempo de residencia y su temperatura de funcionamiento. Esta clasificación también es aplicable a los receptores de partículas sólidas en los que se utilizan partículas inertes. Además, es importante señalar que, para cada grupo de reactores analizados, el calentamiento de las partículas inertes tiene los mismos problemas básicos de las partículas que reaccionan químicamente, aunque los detalles son diferentes.
- 40 Los requisitos de procesamiento de las partículas y la selección del receptor de partículas dependen fundamentalmente tanto del tamaño de las partículas como de sus otras características, tales como la densidad, la porosidad y el tiempo de reacción. En particular, el tamaño de las partículas influye significativamente en la transferencia de calor y masa dentro de la partícula. Éstas pueden describirse con números adimensionales. La uniformidad de la temperatura dentro de una partícula se caracteriza por el número de Biot, Bi, definido como:
- 50

$$Bi = \frac{h d_p}{k_s}$$

donde h es el coeficiente de transferencia de calor externo, k_s la conductividad térmica de la partícula sólida y d_p el diámetro de la partícula. Para un Bi pequeño ($\ll 1$), la temperatura es uniforme dentro de todo el volumen de la partícula mientras que para un Bi grande ($\gg 1$) existe un fuerte gradiente de temperatura dentro de la partícula. Estos gradientes afectan significativamente el comportamiento de transferencia de calor a una partícula y, por lo tanto, el proceso de calentamiento en general. Es importante señalar que el Bi aumenta linealmente con el tamaño de la partícula. Una revisión de la literatura sugiere que la mayoría de los reactores solares arrastrados se caracterizan por un Bi muy pequeño, mientras que se pueden encontrar valores más altos para los lechos compacto y fluidizado.

Al igual que la transferencia de calor, la transferencia de masa dentro de una partícula puede ser descrita por el número de Sherwood, Sh , donde Sh se define como:

$$Sh = \frac{h_m d_p}{D}$$

donde h_m es el coeficiente de transferencia de masa de gas a partícula y D es la difusividad de la masa del fluido. Como se destaca para el Bi , el Sh también depende del tamaño de la partícula y aumenta linealmente con el tamaño de partícula. Esto implica que el comportamiento de transferencia de masa dentro de una partícula varía significativamente con el diámetro de la partícula.

Los reactores solares de flujo arrastrado operan a elevadas temperaturas, normalmente por encima de 1.500 K, para compensar su relativamente corto tiempo de residencia. Las partículas deben tener un tamaño de micrones (generalmente 1-200 μm) para que se mantengan en suspensión, es decir, "arrastradas", calentadas y/o que reaccionen completamente dentro de la cavidad del reactor absorbiendo directamente la radiación solar que entra en la cavidad a través de la abertura. En todos los reactores solares conocidos de flujo arrastrado se emplea un flujo de vórtice para mantener la mayoría de las partículas alejadas de la abertura, para aumentar el tiempo de residencia de las partículas y aumentar la absorción solar manteniendo las partículas cerca de la pared. Por lo tanto, estos reactores también se denominan reactores solares de flujo de vórtice (SVR).

En comparación con los SVR, los lechos fluidizados proporcionan una carga volumétrica mucho mayor, un mayor tiempo de residencia de las partículas y una mezcla convectiva entre las partículas y el gas. En los lechos fluidizados solares de radiación directa, el lecho es irradiado directamente por la radiación solar concentrada y las partículas son semisuspendidas en movimiento turbulento por el fluido de trabajo hasta que reaccionan completamente o alcanzan un tamaño lo suficientemente pequeño como para ser elutriadas y sacadas del lecho por el fluido. La distribución de la temperatura dentro de los lechos fluidizados es muy uniforme debido a las altas tasas de transferencia de calor y masa de los lechos fluidizados. Las condiciones de trabajo en funcionamiento dependen de la selección del tipo y tamaño de partícula sólida fluidizada y del régimen de fluidización. El funcionamiento está limitado por la velocidad mínima de fluidización, es decir, la velocidad mínima requerida para fluidizar el lecho, que también conlleva una caída de presión. Los detalles de la velocidad mínima dependen de varios factores, entre ellos la forma, el tamaño, la densidad y la polidispersión de las partículas. Debido a sus características, los lechos fluidizados pueden procesar partículas más grandes en comparación con los SVR (del orden de mm) mientras que las temperaturas de trabajo son generalmente más bajas que las de los SVR (800-850 °C). Sin embargo, los reactores de lecho fluidizado suelen ser altos y estrechos, por lo que el área de la superficie de la parte superior del lecho es relativamente baja. Por esta razón, la transferencia de calor al lecho en un lecho fluidizado solar está limitada por esta área de superficie. Un ejemplo conocido de reactor solar de lecho fluidizado directamente irradiado con una abertura de ventana es del tipo que tiene un gasificador solar de lecho fluidizado de circulación interna. En tal disposición, las partículas de coque (el intervalo de tamaño de las partículas se fijó en 75-710 μm) se gasificaron con éxito utilizando CO_2 como agente gasificador a temperaturas inferiores a 900 °C.

Los reactores solares de lecho compacto generalmente tienen las partículas más grandes, lo que requiere el mayor tiempo de residencia de las partículas y alcanza la menor temperatura de funcionamiento de los tres grupos. El fluido de trabajo, normalmente vapor o CO_2 , pasa a través de un lecho compacto de materiales reactantes, ya sea por arriba o por abajo, mientras que las partículas sólidas se calientan por la radiación solar. Aunque en este tipo de reactores se pueden obtener altas eficiencias de almacenamiento químico, para su ampliación industrial, el reactor de lecho fijo tiene varios inconvenientes técnicos, tales como las limitaciones de transferencia de calor y masa, el largo tiempo de residencia y que la adición de nuevos materiales de lecho es más difícil.

Aunque estos conceptos de reactores solares son diferentes entre sí, exhiben algunas características comunes claves. En particular:

a) En los reactores de flujo arrastrado y de lecho compacto, la distribución del tiempo de residencia de las partículas es aproximadamente independiente del tamaño de las partículas. Esta limitación afecta negativamente bien al tamaño del reactor o a la conversión química de las partículas grandes y a la eficiencia del reactor porque las partículas más grandes requieren un tiempo de residencia más largo (típicamente por un factor que dimensiona con la relación de diámetro a la tercera potencia) que las más pequeñas para calentarse y/o lograr una conversión completa. En consecuencia, para un reactor dimensionado para partículas más pequeñas, las partículas grandes se

procesan insuficientemente, lo que da lugar a una menor temperatura de las partículas y una menor eficiencia general de conversión solar a química. Por otra parte, si el reactor está dimensionado para las partículas grandes, debe de estar sobredimensionado para las partículas pequeñas, lo que da lugar a un mayor costo y a una temperatura media más elevada en el reactor, lo que a su vez da lugar a mayores pérdidas de radiación a través de la abertura. En cambio, en los reactores de lecho fluidizado, la distribución del tiempo de residencia de las partículas depende del tamaño de éstas. Las partículas se retienen en el lecho hasta que alcanzan el diámetro de elutriación. Las partículas más pequeñas tienen más probabilidades de ser elutriadas debido a su menor velocidad terminal. Una alta tasa de elutriación se traduce en un menor tiempo de residencia de las partículas, lo que a su vez reduce la conversión;

b) Estos reactores-receptores funcionan con una amplia gama de tamaños de partículas. Esto se debe, en primer lugar, a que la mayoría de los generadores de partículas (por ejemplo, molinos, trituradoras) generan una amplia distribución de tamaños y, en segundo lugar, a que los reactores de partículas generan rotura y desgaste de partículas, lo que rompe las partículas originales en tamaños más pequeños. En tercer lugar, muchos tipos de reactores químicos consumen las partículas a medida que reaccionan, de modo que una partícula merma a lo largo de las etapas de procesamiento. Sin embargo, los actuales reactores-receptores no están diseñados para acomodar óptimamente las partículas de diferentes tamaños. Además, el número de partículas grandes dentro de la cavidad es relativamente pequeño, mientras que el número de partículas finas es relativamente grande debido a la dependencia cúbica de la masa de la partícula con respecto al diámetro de la misma;

c) La ventana del reactor es una parte crítica del reactor. Aunque tiene la ventaja de reducir las pérdidas de radiación, es vulnerable a la deposición de partículas. Cualquier deposición de partículas plantea un gran desafío para el funcionamiento fiable de la tecnología de receptores de partículas irradiadas directamente porque reduce la eficiencia solar y provoca un calentamiento localizado de la ventana, lo que a su vez conduce a un posible fallo del sistema.

En resumen, estas cuestiones significan colectivamente que las partículas grandes requieren un mayor tiempo de residencia dentro de un reactor-receptor de partículas para ser completamente procesadas que las partículas más pequeñas. Si un reactor está diseñado de modo que todas las partículas tengan un tiempo de residencia similar, entonces el tamaño del reactor depende del tamaño de la partícula más grande, por lo que el reactor está sobredimensionado para la partícula promedio y se vuelve mucho más grande y más caro de lo que podría ser si el tiempo de residencia de la partícula puede ser controlado en función del diámetro de la partícula. En cambio, un reactor puede ser más pequeño y menos costoso si puede ser diseñado para proporcionar un tiempo de residencia mayor para las partículas más grandes que para las más pequeñas. Esto también reducirá la temperatura media de las partículas en el reactor, con lo que se reducirán las pérdidas de radiación a través de la abertura.

Estas cuestiones generan entonces la necesidad de poder proporcionar un medio para controlar la distribución del tiempo de residencia de las partículas (RTD) en función tanto del tamaño de las partículas como del tiempo de reacción. Es decir, la proporción óptima de tiempo de residencia de las partículas grandes y pequeñas variará según los diferentes procesos. Los actuales reactores- receptores de partículas solares no proporcionan ningún medio para controlar el tiempo de residencia en función del diámetro de las partículas y/o el tiempo de reacción.

El CST para la producción termoquímica de combustibles solares utiliza una radiación solar concentrada como fuente de energía para proporcionar el calor de proceso a alta temperatura necesario para impulsar las reacciones químicas endotérmicas, ofreciendo una vía viable para la decarbonización de los combustibles fósiles en el sector de la energía. Entre los métodos disponibles para la producción de combustibles solares, es de particular interés la gasificación solar por vapor de materiales sólidos carbonosos tales como el carbón, la biomasa o los materiales de desecho, que puede utilizarse para convertir estos materiales de materia prima en gas de síntesis de alta calidad, principalmente H_2 y CO , utilizable para la generación de energía en ciclos combinados y pilas de combustible eficientes, o para producir combustibles líquidos en el proceso de Fischer-Tropsch. Las ventajas de utilizar la energía solar en lugar de las reacciones autotérmicas para proporcionar el calor de proceso son numerosas. Entre ellas se encuentran la mejora del valor calorífico de la materia prima carbonosa, una mayor proporción de H_2 a CO en el gas de síntesis del producto y la reducción de la descarga de contaminantes debido a la falta de combustión. Sin embargo, esta tecnología es actualmente más cara que la gasificación convencional, por lo que se requieren más innovaciones para reducir su costo.

De todos los receptores/reactores solares irradiados directamente, el reactor solar de vórtice (SVR) ha resultado ser uno de los conceptos más prometedores, siendo aplicado con éxito a la gasificación por vapor del polvo de coque de petróleo, a la lechada de agua de coque y al residuo de vacío licuado.

En las patentes de EE.UU. 7.024.857, 7.449.158 y 8.257.454 se describen varios ejemplos de SVR.

El diseño actual de los SVR consiste en una cavidad cilíndrica con una abertura con ventana y un concentrador parabólico compuesto (CPC). Las partículas se inyectan en el reactor a través de entradas tangenciales para generar un flujo en vórtice dentro del reactor, que transporta las partículas a través del reactor y logra una absorción efectiva de la radiación solar concentrada. Las temperaturas típicas de los reactores están en el intervalo de 1.300-

1.800 K, que son comunes para muchas reacciones termoquímicas. No obstante, a pesar de sus ventajas, el diseño actual también adolece de las siguientes desventajas que es necesario abordar más a fondo. En particular:

a) Las partículas grandes están poco procesadas en relación a las pequeñas. Como se ha mencionado anteriormente, esto es consecuencia del hecho de que la distribución del tiempo de residencia de las partículas dentro del reactor es independiente del tamaño de las partículas. Nótese que la fracción de masa de las partículas más grandes es significativa, aunque su número es relativamente bajo.

b) El tiempo de residencia de las partículas dentro de la cavidad es relativamente corto, de modo que se necesita una temperatura de trabajo muy alta (por encima de 1.400 K) y materias primas de alta reactividad para compensar este inconveniente. Aunque el tiempo de residencia aumentará con la escala, es deseable, no obstante, aumentar el tiempo de residencia de las partículas más grandes en cada escala;

c) Los SVR experimentan deposición de partículas en la ventana del reactor. Las estrategias de mitigación actuales emplean chorros de gas auxiliares configurados para generar una "cortina" de gas limpio que buscan mitigar la deposición de partículas sobre la superficie de la ventana. Sin embargo, el uso de entradas de gas auxiliares disminuye considerablemente la eficiencia del proceso, ya que la tasa de masa requerida de gas de purga es lo suficientemente grande como para constituir una importante pérdida parasitaria de calor sensible. Esta estrategia también aumenta los costos generales del proceso, tanto de capital como de operación. Por último, la configuración óptima de las boquillas de gas de purga depende de la estructura de flujo dinámico del fluido establecida dentro de la cavidad, de modo que su uso tiende a reducir la flexibilidad operativa y a limitar el funcionamiento a una gama más restringida de condiciones de trabajo.

d) El estado de la técnica en las configuraciones de SVR emplea una ventana. Esto tiene tanto ventajas como desventajas. Permite el control de la atmósfera en la cavidad, permite una presurización moderada y evita la emisión de contaminantes locales al impedir la entrada y salida de gases y partículas a través de ella. También reduce las pérdidas de radiación, ya que es opaca a las longitudes de onda de radiación más largas. Una ventana también permite una cierta cantidad de presurización, lo que tiene ventajas para algunas aplicaciones. Sin embargo, también suele ser costosa y limita el tamaño máximo del reactor, debido a las limitaciones de fabricación de las grandes ventanas. Además, reduce la eficiencia de absorción de la energía solar, en particular en el caso de cualquier deposición de partículas, y es vulnerable a la rotura. Es probable que un reactor sin ventanas, si estuviera disponible en una configuración que evite una entrada y salida significativas, sea la alternativa preferible para varias aplicaciones, aunque no se ha propuesto anteriormente ninguna configuración sin ventanas.

Es en este contexto, y en los problemas y dificultades asociados a él, que se ha desarrollado la presente invención. Si bien la presente invención se ha desarrollado en este contexto, no tiene por qué superar necesariamente todos o algunos de los problemas y dificultades mencionados anteriormente. Más bien, la invención puede meramente ofrecer una disposición alternativa para exponer las partículas absorbentes de calor a la radiación solar concentrada.

En los documentos EP 0 509286 A1 y US 2012/141332 A1 se describen otros sistemas de la técnica anterior. El documento EP 0 509286 A1 describe un reactor que tiene un dispositivo colector óptico para la radiación entrante de la energía solar. La energía solar recogida se introduce en el espacio del reactor a través de una abertura. El documento US2012/141332 A1 describe un reactor de vórtice que incluye una parte de forma cilíndrica que forma una cámara de reacción en el mismo.

Resumen de la invención

Según un primer aspecto de la invención se proporciona un receptor solar como se describe en la reivindicación 1.

Típicamente, la intensidad del vórtice está inversamente relacionada con la distancia a la abertura.

Con esta disposición, el campo de flujo puede promover la clasificación aerodinámica para controlar la distribución del tiempo de residencia de las partículas dentro de la cámara en función del tamaño de las partículas, por lo que el tiempo de residencia de las partículas más grandes se incrementa en relación con el de las partículas pequeñas.

La estructura del vórtice puede establecerse mediante la configuración de la cámara en conjunción con la forma de suministro del flujo de entrada en la cámara, sirviendo la disposición para formar un flujo de vórtice que progresa hacia la abertura a lo largo de una trayectoria generalmente helicoidal. Dentro de la región central del vórtice se genera un flujo inverso.

En la región de la cámara dentro o adyacente a la primera sección de la cámara el patrón del vórtice puede aproximarse al de un vórtice forzado, y en la región de la cámara dentro o adyacente a la segunda sección de la cámara el patrón del vórtice puede ser el de un vórtice combinado (libre y forzado).

La cámara está configurada de tal manera que dicha primera sección se expande en dirección a la abertura; es decir, la primera sección es divergente en una dirección hacia la abertura.

Además, los medios de entrada están configurado para introducir el flujo de entrada tangencialmente en la primera sección divergente.

Los medios de entrada pueden introducir el flujo de entrada en la primera sección divergente como una corriente de flujo única o una pluralidad de corrientes de flujo. Los medios de entrada pueden comprender una o más entradas tangenciales. Cada entrada puede tener una abertura en un extremo de descarga a la primera sección de la cámara en estrecha proximidad a un extremo de la misma alejado de la abertura.

La primera sección de la cámara puede estar definida por una pared de configuración cónica, proporcionando así la configuración divergente. Típicamente, la configuración cónica es proporcionada por la forma tronco-cónica de la pared que define la primera sección de la cámara. En otras palabras, la configuración cónica típicamente no converge en un vértice, aunque puede hacerlo.

Preferiblemente, la cámara tiene un eje central longitudinal, y la pared cónica que define la primera sección de la cámara está centrada sobre el eje central longitudinal.

La pared cónica que define la primera sección de la cámara puede tener un ángulo cónico (siendo el ángulo definido entre la pared cónica y el eje central longitudinal) de cualquier tamaño apropiado. Se cree que los ángulos de cono en el intervalo de aproximadamente 15 a 65 grados son probablemente los más adecuados. Más concretamente, se cree que los ángulos de cono en el intervalo de aproximadamente 40 a 65 grados probablemente sean ventajosos, considerándose que un ángulo de aproximadamente 45 es óptimo.

La disminución del ángulo del cono lleva a un flujo inverso más fuerte dentro de la región central del vórtice. Esto puede conducir a la recirculación dentro de la proximidad de la abertura.

La segunda sección de la cámara también puede estar centrada sobre el eje central longitudinal de la cámara.

La segunda sección de la cámara es preferiblemente circular en sección transversal, es decir, es circular en una sección normal al eje central longitudinal de la cámara.

La segunda sección de la cámara puede ser, por ejemplo, cónica o cilíndrica en torno al eje central longitudinal de la cámara.

En el caso de que la sección de la segunda cámara sea cónica en torno al eje central longitudinal de la cámara, puede comprender una continuación de la sección cónica de la primera cámara. En otras palabras, la cámara puede tener una pared cónica, con una primera parte de la pared cónica limitando la sección de la primera cámara y una segunda parte de la pared cónica limitando la sección de la segunda cámara.

En el caso de que la segunda sección de la cámara sea cilíndrica en torno al eje central longitudinal de la cámara, puede tener un diámetro igual al diámetro del extremo mayor de la pared tronco-cónica que define la primera sección de la cámara.

La segunda sección de la cámara puede ser contigua a la primera, por lo que los extremos adyacentes de las dos secciones de la cámara tienen un diámetro común.

La unión entre la primera y la segunda sección de la cámara puede definir un borde circunferencial en la pared de la cámara. La presencia del borde circunferencial en la pared de la cámara puede ayudar a la formación del campo de flujo que tiene una estructura de vórtice.

La abertura puede ser de configuración circular centrada también sobre el eje central longitudinal de la cámara.

La abertura puede tener una ventana (tal como una ventana de cuarzo), aunque no tiene por qué ser necesariamente así ya que puede ser una abertura abierta.

La abertura puede estar rodeada por una pared de la cámara.

En una disposición, la cámara puede comprender un extremo frontal y un extremo posterior, incorporando el extremo frontal la abertura para recibir la radiación solar concentrada. Con esta disposición, el extremo frontal definiría la pared de la cámara que rodea la abertura. La pared tronco-cónica que define la primera sección de la cámara puede extenderse desde el extremo posterior hacia el extremo frontal. La cámara puede comprender además un lado que se extiende entre los extremos frontal y posterior, con el lado proporcionando la pared tronco-cónica que define la primera sección de la cámara.

Los medios de entrada pueden estar incorporados en la parte posterior.

El medio de salida puede abrirse a la cámara en un lugar espaciado y cercano a la abertura. Más concretamente, el medio de salida puede abrirse a la cámara a través de un lado de la misma en un lugar espaciado y muy próximo a la abertura. Cuando el receptor solar está configurado y dispuesto de tal manera que la abertura está en la parte superior, los medios de salida pueden estar situado un poco debajo del plano de la abertura. Los medios de salida

pueden comprender una salida sola o una pluralidad de salidas. La(s) salida(s) puede(n) estar situada(s) radialmente con respecto a la cámara. En una realización, los medios de salida pueden comprender dos salidas dispuestas en relación diametralmente opuesta una con respecto a la otra.

5 Cuando hay una pluralidad de salidas, es deseable tener un número par de salidas, ya que esto puede asegurar un vórtice simétrico (siendo un vórtice menos propenso a las inestabilidades de dinámicas de fluido).

Cuando hay una pluralidad de salidas, es deseable que todas las salidas se sitúen en el mismo plano, para establecer un campo de flujo del tipo que se examina más adelante.

10 El diámetro de la salida o de cada salida, y su dirección, influyen en las trayectorias de las partículas dentro de la cámara. La retención preferencial de las partículas más grandes sobre las más pequeñas se consigue a) disminuyendo el diámetro de la(s) salida(s) o b) aumentando el ángulo de la(s) salida(s) en relación con la trayectoria tangencial del flujo. El uso de una orientación radial mejora la retención de las partículas más grandes en comparación con una dirección de salida tangencial, de modo que la primera puede considerarse típica de un ángulo útil. Es deseable que las zonas de entrada y salida se elijan para lograr aproximadamente las mismas velocidades de entrada y salida, a fin de evitar caídas de presión excesivamente altas, al tiempo que se retienen efectivamente 15 las partículas más grandes más que las más pequeñas dentro de la cámara. Sin embargo, ambos parámetros son una variable de diseño, y el ángulo preferido bien podría ser distinto del radial, mientras que el tamaño de la salida podría ser diferente del que se ha examinado anteriormente.

Las partículas absorbentes solares están directamente expuestas a la radiación solar concentrada dentro de la cámara, lo que proporciona un calentamiento directo para una eficiente transferencia de calor a las partículas.

20 Las partículas absorbentes solares pueden estar compuestas por partículas inertes que pueden experimentar un calentamiento sensible, o partículas que pueden reaccionar químicamente en respuesta al calor de la radiación solar, o partículas que pueden experimentar tanto un calentamiento sensible como una reacción química en respuesta al calor de la radiación solar, o cualquier mezcla de las mencionadas partículas.

25 La energía absorbida por las partículas absorbentes solares puede ser utilizada para impulsar un proceso de reacción. El receptor solar puede así proporcionar un reactor solar.

30 En el caso de las partículas que reaccionan químicamente, la disposición puede permitir que las partículas permanezcan dentro de la cámara hasta que reaccionen y/o se consuman completamente. Esto puede facilitar la obtención de la conversión química completa de las partículas para un amplio intervalo de tamaños de partículas. De esta manera, la eficiencia solar-química del reactor es mejorada en comparación con ciertos reactores de la técnica previa conocidos.

Sin embargo, las partículas que reaccionan químicamente no necesitan reaccionar y/o ser consumidas totalmente. Las partículas pueden, por ejemplo, reaccionar y/o consumirse solamente de manera parcial antes de ser descargadas de la cámara. En particular, las partículas pueden reaccionar y/o consumirse hasta un punto que las reduzca a un tamaño de partícula propicio para la descarga de la cámara.

35 El reactor puede tener una capacidad mejorada para procesar un flujo de entrada que comprende una materia prima heterogénea con tamaños y composiciones de partículas variables en comparación con ciertos reactores de la técnica anterior conocidos.

El reactor puede tener una capacidad mejorada para procesar un flujo de entrada que comprenda una materia prima de menor reactividad en comparación con ciertos reactores de la técnica anterior conocidos.

40 Según un aspecto de la descripción se proporciona un receptor solar que comprende una cámara que tiene una abertura a través de la cual se puede recibir la radiación solar concentrada dentro de la cámara, unos medios de entrada para la introducción en la cámara de un flujo de entrada que comprende partículas absorbentes solares, unos medios de salida para la descarga de un flujo de salida de la cámara, comunicándose los medios de entrada con la cámara para la introducción del flujo de entrada en una primera sección de la cámara en relación opuesta a la 45 abertura, comunicándose los medios de salida con una segunda sección de la cámara colocada entre la primera sección y la abertura, en donde el flujo fluido desde los medios de entrada hacia los medios de salida está expuesto a la radiación solar concentrada recibida dentro de la cámara, siendo la primera sección divergente en una dirección hacia la abertura, estando la primera sección de la cámara definida por una pared de configuración cónica para así proporcionar la configuración divergente, y estando los medios de entrada configurados para introducir el flujo de 50 entrada tangencialmente a la primera sección divergente.

55 El receptor solar según el aspecto de la descripción puede tener una o más de las características recitadas anteriormente en relación con el primer aspecto de la invención, ya sea solo o en combinación. En particular, los medios de entrada que aparecen en el receptor solar según el segundo aspecto de la invención puede introducir el flujo de entrada en la primera sección divergente como una corriente de flujo única o como una pluralidad de corrientes de flujo. Además, la configuración cónica puede ser proporcionada por la pared de forma tronco-cónica que define la primera sección de la cámara.

Según otro aspecto de la invención, se proporciona un método de calentamiento de partículas mediante la exposición de las mismas a la radiación solar concentrada, como se describe en la reivindicación 15.

Breve descripción de los dibujos

- 5 Otras características de la presente invención se describen más detalladamente en la siguiente descripción de varias realizaciones no limitantes de la misma. Esta descripción se incluye únicamente con el fin de ejemplificar la presente invención. No debe entenderse como una restricción al amplio resumen, la exposición o la descripción de la invención tal como se ha expuesto anteriormente. La descripción se hará con referencia a los dibujos acompañantes en los que:
- la figura 1 es una vista lateral esquemática de una primera realización de un receptor solar según la invención;
- 10 la figura 2 es una vista esquemática de la parte inferior de la disposición mostrada en la figura 1;
- la figura 3 es una vista lateral esquemática del receptor solar, que presenta una representación simplificada de un campo de flujo tridimensional dentro de la cámara del receptor solar;
- la figura 4 es una vista esquemática de la disposición mostrada en la figura 3;
- 15 la figura 5 es una vista similar a la de la figura 1, salvo que también se representan los componentes axiales de las trayectorias deducidas dominantes de las partículas;
- la figura 6 es una vista similar a la de la figura 2, salvo que también se representan las componentes tangenciales y radiales de las trayectorias deducidas dominantes de las partículas en el plano de salida;
- la figura 7 comprende varias vistas que juntas proporcionan una representación simplificada del campo de flujo tridimensional dentro de la cámara del receptor solar, junto con las características clave de las trayectorias de las partículas deducidas;
- 20 la figura 8 representa gráficamente los datos relativos al tiempo de residencia de la partícula media en varias configuraciones del receptor solar según la primera realización, así como los datos correspondientes a un receptor solar de la técnica anterior, junto con el tiempo de residencia nominal del reactor del receptor solar según la primera realización;
- 25 la figura 9 es una tabla que presenta los detalles geométricos de varias configuraciones del receptor solar según la primera realización;
- la figura 10 representa gráficamente ciertos datos relacionados con varias configuraciones del receptor solar según la primera realización, así como datos correspondientes a un receptor solar de la técnica anterior;
- la figura 11 muestra gráficamente ciertos datos relativos al receptor solar según la primera realización;
- 30 la figura 12 es una tabla que presenta ciertos datos relativos a varias configuraciones del receptor solar según la primera realización; y
- la figura 13 es una vista lateral esquemática de una segunda realización de un receptor solar según la invención.
- En los dibujos, se hace referencia a las estructuras similares mediante números similares a lo largo de las diferentes vistas. Los dibujos mostrados no están necesariamente a escala, poniéndose generalmente el énfasis en la ilustración de los principios de la presente invención.
- 35 Las figuras que constituyen los dibujos representan varias realizaciones de la invención. Las representaciones ilustran ciertas configuraciones; sin embargo, ha de notarse que la invención puede tomar la forma de muchas configuraciones, como es obvio para un experto en la técnica, y todavía ser ejemplo de la presente invención. Estas configuraciones deben ser consideradas dentro del ámbito de esta invención.
- 40 Descripción de las realizaciones
- A grandes rasgos, las representaciones mostradas en los dibujos están cada una orientadas a un receptor solar en el que las partículas absorbentes solares están directamente expuestas a la radiación solar concentrada para absorber calor de la misma.
- 45 El receptor solar está dispuesto para captar la energía térmica de una fuente solar, como bien comprenderá una persona experta en la técnica. La fuente solar puede, por ejemplo, comprender un campo de heliostatos dispuestos para reflejar la luz solar hacia el receptor solar. En tal disposición, el receptor solar puede ser montado en una torre sobre un campo de heliostatos. Sin embargo, se pueden utilizar alternativamente platos parabólicos y otros dispositivos de concentración.

El receptor solar puede, por ejemplo, funcionar como un reactor solar en el que la radiación solar concentrada se utiliza como fuente de calor para procesos a alta temperatura. La energía térmica absorbida por las partículas se utiliza para impulsar un proceso de reacción realizado dentro del reactor solar.

A continuación se describirán con más detalle varios ejemplos de realizaciones de la invención.

5 En referencia ahora a las figuras 1 a 6, se muestra un primer ejemplo de realización del receptor 10 solar según la invención en una vista transversal en diagrama. El receptor 10 solar comprende un vaso 11 que define una cavidad 12 que proporciona una cámara 13 con una abertura 15 a través de la cual se puede recibir la radiación solar concentrada dentro de la cámara 13. En la disposición mostrada, la abertura 15 está equipada con un concentrador parabólico compuesto (CPC) 17 y una ventana 19 para reducir las pérdidas radiantes de la cámara 13.

10 El vaso 11 comprende un alojamiento 21 configurado para definir la cámara 13. La cámara 13 tiene un extremo 23 frontal, un extremo 25 posterior, y un lado 27 que se extiende entre los extremos 23, 25 frontal y posterior. La abertura 15 se encuentra en el extremo 23 frontal.

La cámara 13 tiene un eje 29 central longitudinal, con los extremos 23, 25 frontal y posterior espaciados axialmente a lo largo del eje 29 central longitudinal y dispuestos en relación opuesta. La abertura 15 es circular y está centrada sobre el eje 29 central longitudinal. La abertura 15 tiene un diámetro d_{ap} .

El vaso 11 comprende unos medios 31 de entrada para la introducción de un flujo de entrada en la cámara 13, y unos medios 33 de salida para la descarga de un flujo de salida de la cámara 13. Los medios 31 de entrada y los medios 33 de salida están situados hacia los extremos opuestos de la cámara 13, y el flujo desde los medios 31 de entrada hacia los medios 33 de salida está expuesto a la radiación solar concentrada que se recibe dentro de la cámara 13 a través de la abertura 15. Los medios 31 de entrada y los medios 33 de salida se describirán con más detalle más adelante.

El flujo de entrada suministrado a la cámara 13 a través de los medios 31 de entrada comprende partículas absorbentes solares arrastradas en un fluido de trabajo. La naturaleza de las partículas absorbentes solares puede variar de acuerdo con la aplicación particular del receptor 10 solar, como lo entenderá un experto en la técnica. En ciertas aplicaciones del receptor 10 solar, las partículas absorbentes solares pueden, por ejemplo, comprender partículas inertes que pueden experimentar un calentamiento sensible sin ninguna descomposición térmica; es decir, las partículas absorbentes solares funcionan simplemente como absorbentes y portadores de calor, y no experimentan ningún cambio de estado ni descomposición térmica. En algunas otras aplicaciones del receptor 10 solar, las partículas absorbentes solares pueden, por ejemplo, reaccionar químicamente en respuesta al calor de la radiación solar. En otras aplicaciones del receptor 10 solar, las partículas absorbentes solares pueden, por ejemplo, experimentar tanto un calentamiento sensible como una reacción química en respuesta al calor de la radiación solar. En otras aplicaciones del receptor 10 solar, puede haber una mezcla de partículas absorbentes solares, algunas de las cuales son partículas inertes que se calientan de manera sensible sin descomponerse térmicamente, y otras que son químicamente reactivas en respuesta al calor de la radiación solar.

35 En una aplicación particular del receptor 10 solar, las partículas absorbentes solares pueden comprender materia prima destinada a ser calentada o procesada en el receptor 10 solar. A modo de ejemplo, en una circunstancia en la que el receptor 10 solar está dispuesto para servir de reactor solar, las partículas absorbentes solares pueden estar compuestas por partículas destinadas a experimentar una reacción química, en la que la energía solar concentrada absorbida por las partículas proporciona el calor necesario para impulsar el proceso de reacción. Para la gasificación, la materia prima puede estar constituida por una materia prima carbonosa, y el fluido de trabajo puede estar constituido por vapor de agua, con la materia prima experimentando una descomposición térmica en el reactor. En tal ejemplo, la materia prima carbonosa puede consistir en partículas de carbono esféricas de un tamaño en el intervalo de aproximadamente 1 - 1.000 μ m, y el fluido de trabajo puede consistir en vapor a una temperatura de aproximadamente 1.000 K.

45 La naturaleza del flujo de salida que descarga de la cámara 13 a través de los medios 33 de salida puede variar según la aplicación particular del receptor 10 solar, como lo entenderá un experto en la técnica. A modo de ejemplo, en una disposición en la que las partículas absorbentes solares comprenden partículas inertes destinadas a experimentar un calentamiento sensible sin ninguna descomposición térmica, el flujo de salida puede comprender partículas calentadas por la radiación solar concentrada a la que fueron expuestas dentro de la cámara 13, junto con el fluido de trabajo en el que las partículas son arrastradas. Además, en una disposición en la que las partículas absorbentes solares comprenden partículas que son químicamente reactivas en respuesta al calor de la radiación solar, el flujo de salida puede comprender los productos químicos del proceso de reacción. Las partículas pueden ser consumidas en su totalidad o solamente de manera parcial por el proceso de reacción. En este último caso, las partículas parcialmente consumidas tendrían un tamaño de partícula menor que en su estado original.

55 La cámara 13 está configurada de tal modo que, en conjunción con la forma en la que se suministra el flujo de entrada a través de los medios 31 de entrada a la cámara 13, forma un flujo en vórtice que progresa hacia la abertura 15 a lo largo de una trayectoria generalmente helicoidal. El flujo en vórtice crea una estructura de vórtice en el flujo desde los medios 31 de entrada hacia los medios 33 de salida, estando la estructura del vórtice ilustrada

esquemáticamente en la figura 3 y denotada con el número de referencia 35. Se genera un flujo inverso dentro de la región central del vórtice, como también se ilustra esquemáticamente en la figura 3 y se denota con el número de referencia 37.

5 En particular, la cámara 13 está configurada para comprender una primera sección 41, con la que se comunican los medios 31 de entrada, por lo que el flujo de entrada se suministra a la primera sección 41 tangencialmente para formar la estructura 35 de vórtice, como se describirá con más detalle más adelante. La cámara 13 comprende además una segunda sección 42, con la que se comunican los medios 33 de salida para la descarga del flujo de salida de la cámara.

10 La primera sección 41 de la cámara 13 es divergente en una dirección hacia la abertura 15 para facilitar la formación de la estructura 35 del vórtice. Concretamente, la primera sección 41 de la cámara 13 está definida por una pared 45 de configuración cónica para facilitar así la configuración divergente. La pared 45 define una parte del lado 27 de la cámara.

15 La configuración cónica de la pared 45 que define la sección 41 de la primera cámara es, más particularmente, de forma tronco-cónica, con un extremo 45a de menor diámetro y un extremo 45b de mayor diámetro. El extremo 45a de menor diámetro es adyacente al extremo 25 posterior de la cámara 13, como se muestra en los dibujos. La pared 45 se denominará en adelante pared cónica.

La pared 45 cónica coopera con el extremo 25 posterior para proveer efectivamente a la cámara 13 de una base 46 cónica.

20 La pared 45 cónica que define la primera sección 31 tiene un ángulo cónico α , siendo α el ángulo definido entre la pared 45 cónica y el eje 29 central longitudinal, como se muestra en la figura 1. En la disposición ilustrada, el ángulo cónico α es de 45 grados, que se cree que es óptimo para la presente realización. Sin embargo, se pueden adoptar otros ángulos de cono. Se cree que los ángulos α de cono en el intervalo de aproximadamente 15 grados a 65 grados probablemente sean particularmente adecuados, y los ángulos de cono en el intervalo de aproximadamente 40 grados a 65 grados probablemente sean ventajosos.

25 La disminución del ángulo α de cono lleva a un flujo 37 inverso más fuerte dentro de la región central de la estructura 35 del vórtice. Esto puede conducir a la recirculación en la proximidad de la abertura 15. La ausencia de recirculación en la proximidad de la abertura 15 puede ser ventajosa en circunstancias en las que la abertura 15 tiene una ventana (tal como una ventana de cuarzo), ya que puede reducir la propensión a la disposición de partículas en la ventana. Esto también puede ser ventajoso en circunstancias en que la abertura no tiene una ventana, ya que la ausencia de recirculación puede contribuir a reducir o evitar la pérdida de calor conectivo y la fuga de partículas a través de la abertura abierta.

30 La segunda sección 42 de la cámara 13 también está centrada sobre el eje 29 central longitudinal. La segunda sección 42 es circular en sección transversal, es decir, es circular en una sección normal al eje 29 central longitudinal.

35 En esta realización, la segunda sección 42 de la cámara 13 es de una configuración que es cilíndrica. Con esta disposición, la segunda sección 42 de la cámara tiene una pared 47 cilíndrica. La pared 47 cilíndrica define otra parte del lado 27 de la cámara. También pueden utilizarse otras configuraciones de la segunda sección 42, incluida, por ejemplo, una configuración cónica (como la utilizada en la segunda realización que se describirá más adelante).

40 La pared 47 cilíndrica de un diámetro igual al diámetro del extremo 45b mayor de la pared 45 tronco-cónica que define la sección 41 de la primera cámara.

La segunda sección de la cámara 42 es contigua a la primera sección 41 de la cámara, por lo que los extremos adyacentes de las dos secciones de la cámara tienen un diámetro común, que corresponde al diámetro de la pared 47 cilíndrica y al diámetro del extremo 45b mayor de la pared 45 tronco-cónica. Este diámetro representa el diámetro D_c del reactor.

45 La unión entre secciones 41, 42 primera y segunda de la cámara define un borde o arista 48 circunferencial en el lado 27 de la cámara. Además, la unión entre el lado 27 y el extremo 23 frontal de la cámara 13 define otro borde o arista 49 circunferencial en la cámara 13. La presencia de los bordes o aristas 48, 49 circunferenciales en la cámara 13 ayuda a la formación del campo de flujo que tiene la estructura 35 de vórtice, como se explicará más adelante.

50 Como ya se ha mencionado, los medios 31 de entrada están dispuestos para introducir el flujo de entrada tangencialmente en la primera sección 31 divergente para facilitar la formación de la estructura 35 del vórtice. En esta realización, los medios 31 de entrada están dispuestos para introducir el flujo de entrada en la cámara 13 como una pluralidad de corrientes de flujo. Para este propósito, los medios 31 de entrada comprenden una pluralidad de entradas 61 tangenciales, existiendo cuatro entradas en la disposición mostrada. Cada entrada 61 tiene un extremo 63 de descarga que se abre sobre la primera sección 31 de la cámara en estrecha proximidad al extremo 25 posterior, como se ve mejor en la figura 2. El extremo 63 de descarga está perfilado para conformarse generalmente con la parte adyacente arqueada de la pared 45 cónica, también como se ve mejor en la figura 2, para ayudar a la

corriente entrante a formar el campo de flujo que tiene la estructura 35 de vórtice. En esta realización, cada entrada 61 comprende un tubo de entrada. Los medios 31 de entrada no tienen que comprender necesariamente una pluralidad de entradas 61, y puede por ejemplo comprender una sola entrada.

5 En esta realización, los medios 33 de salida comprenden dos salidas 71 dispuestas radialmente con respecto a la cámara 13 en estrecha proximidad a la abertura 15, como se muestra en las figuras 1 a 4 (aunque no necesariamente en otras figuras). El uso de una orientación radial aumenta la retención de partículas más grandes en comparación con una dirección de salida tangencial. Las dos salidas 71 están en relación diametralmente opuesta entre sí. Los medios 33 de salida no tienen por qué comprender necesariamente una pluralidad de salidas 71, y pueden, por ejemplo, comprender una sola salida.

10 En esta realización, cada salida 71 comprende un tubo de salida. El diámetro de cada tubo de salida, y su dirección, influyen en las trayectorias de las partículas dentro de la cámara 13. Una retención preferencial de las partículas más grandes sobre las más pequeñas se logra a) disminuyendo el diámetro del tubo de salida, o b) aumentando el ángulo de la(s) salida(s) 71 con respecto a la trayectoria tangencial del flujo. El uso de una orientación radial mejora la retención de las partículas más grandes en comparación con una dirección de salida tangencial, como se ha mencionado anteriormente, de modo que la primera puede considerarse típica de un ángulo útil.

15 Es deseable que las áreas de sección transversal de flujo de los medios 31 de entrada y de los medios 33 de salida sean elegidas para lograr aproximadamente las mismas velocidades de entrada y de salida, a fin de evitar excesivas caídas de alta presión mientras se retienen efectivamente las partículas más grandes más que las más pequeñas dentro de la cámara 13. Sin embargo, ambos parámetros son una variable de diseño. Por ejemplo, el ángulo preferido puede ser distinto del radial, mientras que el tamaño de la salida podría ser diferente del que se ha examinado anteriormente.

20 Dado que los medios 31 de entrada están situados en el extremo opuesto de la cámara 31 a la abertura 15, y debido a que la cámara 13 está configurada de tal manera que proporciona la primera sección 41 divergente en la que se suministra tangencialmente el flujo de entrada a través de los medios 31 de entrada, la estructura 35 de vórtice así formada es mucho más débil en la región de la cámara 13 inmediatamente adyacente al extremo 23 frontal y a la abertura 15. Esto reduce el transporte axial de partículas a través de la abertura 15 a lo largo del núcleo del vórtice.

25 Además, como los medios 31 de entrada están situados en el extremo opuesto de la cámara 31 a la abertura 15, y debido a la presencia de la base 46 cónica de la cámara 13, se forma una zona central de recirculación dentro de la estructura 35 del vórtice que genera el flujo 37 inverso. Este flujo 37 inverso aleja las partículas de la abertura 15 en lugar de dirigir las hacia ella.

30 Por último, la estructura 35 del vórtice tiene un patrón de vórtice que se aproxima al de un vórtice forzado en la región de la cámara 13 dentro o adyacente a la primera sección 41 de la cámara, y un patrón de vórtice que se aproxima a un vórtice combinado (libre y forzado) en la región de la cámara dentro o adyacente a la segunda sección 42 de la cámara.

35 Se requiere que el diámetro d_{ap} de la abertura 15 sea menor que el diámetro del núcleo de la estructura 35 del vórtice en el plano de la abertura para inhibir el transporte de partículas a través de la abertura. El ángulo α del cono influye en el diámetro y la intensidad de la estructura 35 del vórtice en el plano de la abertura 15. Para un ángulo de cono fijo, es deseable un valor del diámetro de la abertura en relación al diámetro del reactor (d_{ap}/D_c) en el intervalo de aproximadamente 0,125 a 0,25 para reducir la deposición de partículas.

40 Como ya se ha mencionado, los ángulos α de cono en el intervalo de aproximadamente 40 a 65 grados probablemente sean ventajosos. Un valor de ángulo de cono dentro de este intervalo promueve la recirculación de partículas más grandes y logra una reducción en la deposición de partículas sobre la ventana, así como la reducción de la propensión de las partículas a asentarse en la pared 45 cónica de la primera sección 41 de la cámara 13.

45 El vaso 11 puede montarse en cualquier orientación, siempre y cuando la radiación solar concentrada pueda ser dirigida a la cámara 13 a través de la abertura 15. Sin embargo, es ventajoso montar el vaso 11 en una orientación con el eje 29 central longitudinal de la cámara 13 generalmente vertical y la abertura 15 hacia arriba, ya que puede utilizar el efecto de la gravedad. También facilita una configuración de haz descendente para el suministro de la radiación solar concentrada a la cámara 13 a través de la abertura 15.

50 En particular, el uso de la gravedad, junto con el posicionamiento de la base 46 cónica de la cámara más baja, proporciona una configuración que retiene las partículas más grandes en la cámara 13 durante períodos más largos que las partículas más pequeñas. Además, la configuración de haz descendente ofrece varias ventajas, tales como la posibilidad de montar el receptor 10 en el suelo y recoger la radiación de un campo de heliostatos circundante. Una orientación en la que la base 26 cónica está en el fondo de la cámara mejora la recirculación de las partículas más grandes dentro de la cavidad y aumenta su tiempo de residencia allí. La configuración hacia abajo también facilita el englobar al menos parte, y posiblemente todo, el receptor 10 solar dentro de una estructura de soporte tal como una torre, para aumentar la protección del receptor solar contra el viento como un medio más para evitar las pérdidas por convección y/o controlar totalmente los efectos de pequeñas cantidades de salida de partículas en el caso de un receptor sin ventanas.

Las figuras 5 y 6 ilustran esquemáticamente los mecanismos por los cuales las partículas más grandes son retenidas dentro de la cámara 13 mientras que las más pequeñas son retiradas de ella. En los dibujos, las trayectorias de flujo típicas para las partículas más grandes se representan mediante líneas de flujo que se identifican con el número de referencia 81, y las trayectorias de flujo típicas para las partículas más pequeñas se representan mediante líneas de flujo que se identifican con el número de referencia 83.

Como se muestra, las partículas pequeñas siguen la trayectoria del flujo de gas mientras que las partículas más grandes se desvían de las líneas de corriente. Mientras que tanto las partículas grandes como las pequeñas se dirigen hacia el lado 27 por su inercia, las partículas más grandes se dirigen hacia el centro de la cámara 13 cuando interactúan con los bordes o aristas 48, 49, tanto en el extremo de la pared 45 cónica como en el extremo 27 frontal de la cámara. Además, las partículas grandes son incapaces de seguir los grandes gradientes en el flujo medio que se producen en los medios 33 de salida, de modo que quedan retenidas dentro de la cámara 13. La pared 45 cónica también reduce la propensión de las partículas más grandes a asentarse sobre la superficie de la pared 45 cónica, ya que la velocidad del flujo reduce la distancia axial, lo que sería cada vez más probable para la orientación horizontal al aumentar el ángulo del cono hacia los 90°. Además, el posicionamiento de los medios 33 de salida por debajo de la abertura 15 y en dirección radial inhibe la salida de las partículas grandes de la cámara 13 en relación con las partículas pequeñas. Por último, el posicionamiento de los medios 31 de entrada en el extremo opuesto de la cámara 13 a la abertura 15 conduce a un vórtice menos intenso dentro de la cámara. Esto conducirá a una mayor propensión de las partículas más grandes a caer por debajo de la velocidad de sedimentación y regresar al fondo de la cámara 13, especialmente para el caso en que la cámara esté alineada verticalmente. La figura 5 también muestra que la orientación de la entrada 31 en el extremo opuesto de la cámara 13 a la abertura 15 provoca la conocida zona de recirculación central en un flujo arremolinado.

La anterior descripción del receptor 10 solar según la primera realización no pretende ser exhaustiva ni limitarse a las formas precisas descritas.

Con el fin de proporcionar más información en relación con el receptor 10 solar según la primera realización, a continuación se proporciona una descripción más detallada con referencia a las figuras 7 a 12 de los dibujos. En la descripción adicional se proporcionan más detalles sobre la estructura del vórtice y se ofrece un análisis de la deposición de partículas. La descripción adicional se proporciona para explicar con más detalle cómo se forma y se utiliza la realización, y también para explicar con más detalle el funcionamiento de la realización conforme a la tecnología de la invención, en lugar de limitar el verdadero, pretendido y justo alcance y espíritu de la misma. Hay cierta redundancia en la siguiente descripción y también en las figuras 7 a 12, cuando se consideran con respecto a la descripción anterior de la primera realización.

En la descripción que sigue, el receptor 10 solar según la primera realización se denomina por las siglas (en inglés) SEVR, que significa receptor/reactor solar de flujo en vórtice expansivo.

Además, en la descripción que sigue, se hace referencia a un receptor/reactor solar de la técnica anterior que se denomina "Z'Graggen". El receptor/reactor solar Z'Graggen, que es del tipo descrito en las patentes de EE.UU. 7.449.158 y 8.257.454.

La forma del SEVR ha sido determinada por el uso de modelos validados de dinámica de fluidos computacional (CFD) con el software comercial ANSYS. Su rendimiento también ha sido determinado por análisis mediante CFD, utilizando un modelo de dispersión de partículas cuya viabilidad ha sido demostrada previamente en la literatura científica. Este análisis se ha realizado para calcular la distribución del tiempo de residencia de las partículas (RTD), las trayectorias de las partículas y para caracterizar la estructura del vórtice dentro de la cavidad del reactor. El análisis también se ha utilizado para elaborar los criterios de diseño por los que se puede controlar el RTD y por los que se puede evitar la deposición de partículas, mediante la correlación del rendimiento del reactor con los parámetros tanto de flujo como geométricos.

Además del análisis mediante CFD, se ha construido y probado un SEVR a escala de laboratorio para investigar el campo de flujo dentro de la cavidad y la deposición de partículas sobre la ventana. Se ha demostrado que el SEVR puede ser configurado para mitigar en gran medida la deposición de partículas sobre la ventana del receptor/reactor sin el uso de gas de sellado para proteger la ventana debido al peculiar campo de flujo, confirmando la predicción del modelo de CFD desarrollado.

Las figuras 7 a) a d) presentan conjuntamente un diagrama esquemático de las trayectorias deducidas dominantes de las partículas dentro del SEVR, en base al análisis del CFD. La figura 7 corresponde a las figuras 3 a 6. Se puede observar que las partículas pequeñas siguen la trayectoria del flujo de gas mientras que las partículas más grandes se desvían de las líneas de corriente. Mientras que tanto las partículas grandes como las pequeñas se dirigen hacia la pared definida por el lado 27 bajo la influencia de su inercia, las partículas más grandes se dirigen hacia el centro de la cámara 13 cuando interactúan con las aristas 48, 49, tanto al final de la sección 31 cónica como en la parte superior de la cámara 13. Además, las partículas grandes son incapaces de seguir los grandes gradientes en el flujo medio que se producen en la salida definida por los medios 33 de salida, de modo que quedan retenidas dentro de la cámara. La sección 31 cónica también reduce la propensión de las partículas más grandes a asentarse sobre las paredes de la expansión a medida que la velocidad del flujo se reduce con la distancia axial, lo que sería cada vez

más probable para la orientación horizontal a medida que el ángulo del cono aumenta hacia los 90°. Además, el posicionamiento de los medios 33 de salida por debajo de la abertura 15 y en dirección radial inhibe la salida de las partículas grandes de la cámara en relación con las pequeñas. Por último, el posicionamiento de los medios 31 de entrada en el extremo opuesto de la cámara 13 a la abertura 15 conduce a un vórtice menos intenso dentro de la cámara. Esto conducirá a una mayor propensión de las partículas más grandes a caer por debajo de la velocidad de sedimentación y regresar al fondo de la cámara, especialmente en el caso de que la cámara esté alineada verticalmente. La figura 7(a) también muestra que la orientación de la entrada definida por los medios 31 de entrada en el extremo opuesto de la cámara 13 a la abertura 15 hace que la conocida zona de recirculación central en un flujo arremolinado aleje las partículas recirculadas de la abertura 15, en lugar de dirigir las hacia ella en la configuración original de la SVR.

La figura 8 presenta los tiempos medios de residencia para tres configuraciones diferentes (SEVR-40, SEVR-50 y SEVR-65), variando los tamaños de las partículas, d_p , en el intervalo de 1 – 1.000 μm . Las configuraciones SEVR-40, SEVR-50 y SEVR-65 se refieren a un valor del ángulo del cono, α de 40, 50 y 65, respectivamente. Los detalles geométricos de todas las configuraciones investigadas se presentan en la figura 9 como tabla 1.

La figura 8 también informa del tiempo de residencia nominal del reactor (V/Q) y el tiempo medio de residencia calculado para la configuración SVR de la técnica anterior, llamada la configuración "Z'Graggen, 1MW".

Se puede ver que para las configuraciones propuestas, los tiempos de residencia de las partículas más grandes son mayores que los calculados para la configuración 'Z'Graggen, 1MW' y esta diferencia aumenta con el tamaño de la partícula. Por ejemplo, los tiempos medios de residencia de partículas calculados para la configuración SEVR-40 son 2 y 9 veces mayores que los calculados para la configuración 'Z'Graggen, 1MW' para $d_p = 100 \mu\text{m}$ y $d_p = 1.000 \mu\text{m}$, respectivamente. Esta tendencia lleva a la conclusión de que el cono puede utilizarse para generar flujos inerciales con gradientes suficientemente fuertes para que las partículas más grandes no puedan seguirlo y, por lo tanto, queden preferencialmente retenidas dentro de la cavidad en relación a las partículas más pequeñas. La base cónica de la cámara cilíndrica también canaliza cualquier partícula recirculada de vuelta al núcleo del vórtice en la base de la cámara para que vuelva a ser arrastrado en el flujo a alta velocidad y se recircule. La figura 8 también muestra que una disminución en α lleva a un aumento en el tiempo de residencia de las partículas más grandes en la cámara.

El SEVR se diferencia de la configuración de Z'Graggen no solamente por la adición de una base cónica, sino también por estar la salida orientada en dirección radial y situada por debajo del plano de la abertura. La entrada al reactor también está situada en el extremo opuesto de la cámara a la abertura, como ya se ha descrito. Cada uno de estos factores contribuye a aumentar el tiempo de residencia de las partículas más grandes. Para cuantificar por separado su contribución al tiempo de residencia de las partículas más grandes, se realizaron cálculos para una configuración SEVR de forma cilíndrica (SEVR-90) y para la configuración SEVR-40 con una salida tangencial (SEVR-40, salida tangencial). El tiempo medio de residencia de las partículas calculado se indica para estas dos configuraciones en la figura 8. Esto muestra que el τ de partículas más grandes para el SEVR-40 con salida tangencial es menor en comparación con los calculados para la configuración original del SEVR, lo que indica que tanto la orientación radial de la salida como su posicionamiento por debajo del plano de abertura mejoran la recirculación de las partículas más grandes en la cámara. Estos cálculos también muestran que para la cavidad cilíndrica (SEVR-90), el τ de las partículas más grandes disminuye drásticamente, ya que éstas tienden a asentarse en las paredes en lugar de recircular dentro de la cámara. Este resultado resalta aún más el papel clave de la base cónica en el mecanismo con el que las partículas más grandes son recirculadas preferencialmente dentro del SEVR. Por último, aunque el uso de una cavidad cilíndrica disminuye significativamente el τ para las partículas más grandes, el SEVR-90 se caracteriza por un τ mayor para las partículas más grandes en comparación con aquellos calculados para la configuración de Z'Graggen. Esto proporciona más pruebas de que la elección de colocar la entrada del reactor en el extremo opuesto de la cámara a la abertura también tiene un efecto beneficioso para retener las partículas más grandes dentro de la cavidad.

La figura 10 presenta el diámetro calculado del núcleo del vórtice en el plano de la abertura en relación con el diámetro de la abertura, $d_{vmax,ap}/d_{ap}$, en función del número de remolino en el plano de la abertura, S_{ap} , para varias configuraciones de reactor. En una investigación paramétrica, el tamaño de la abertura se fijó en $D_c/d_{ap} = 3$, mientras que se varió el ángulo del cono (SEVR-15, SEVR-30, SEVR-40, SEVR-50 y SEVR-65). En otra investigación paramétrica, el ángulo del cono se fijó en $\alpha = 40^\circ$, mientras que se varió el diámetro de la abertura (SEVR-A600, SEVR-A200 y SEVR-A150). Todos los detalles geométricos de estas configuraciones se pueden encontrar en la tabla 1 (figura 9). En todos los casos se fijaron la longitud de la cámara, L y las condiciones de flujo de entrada. El valor de $d_{vmax,ap}$ se calculó considerando el lugar geométrico de los máximos de velocidad tangencial en el plano inmediatamente inferior a la abertura. En la figura 10 también se presenta la variación de la relación entre la tasa de flujo volumétrico de la cavidad del reactor a través de la abertura y la tasa de flujo total de entrada, Q_{xap}/Q , en función del S_{ap} . También se informa, a título de referencia, sobre el rendimiento calculado de la configuración de Z'Graggen et al. (2006). Se puede observar que para una D_c/d_{ap} fija, un aumento en α conduce a una disminución del S_{ap} y la Q_{xap}/Q , y a un aumento del diámetro del núcleo del vórtice en el plano de la abertura. En particular, para $\alpha \geq 40^\circ$, $d_{vmax,ap}/d_{ap}$ es mayor que 1. Para esta condición, el flujo de fluido a través de la abertura es bajo y la intensidad del vórtice en el plano de la abertura se calcula que es insuficiente para propulsar las partículas a través de la abertura. Una visualización de las trazas de partículas modelizadas (no reportada) para configuraciones con α

$\geq 40^\circ$ mostró que ninguno de las trazas de partículas modelizadas se calcula que penetren en la "cámara" que delimita el SC por encima de la abertura, lo que proporciona una fuerte evidencia de que las configuraciones caracterizadas por $d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}} > 1$ y un S_{ap} pequeño ofrecen el potencial de mitigar la deposición de partículas sobre la ventana del reactor. En cambio, para $\alpha < 40^\circ$, $d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}} < 1$. Esta condición indica que la intensidad del vórtice en el plano de la abertura es fuerte, lo que puede esperarse que conduzca a una fuerte recirculación del flujo de fluido del reactor a través de la abertura, lo que implica una fuerte propensión a la deposición de partículas sobre una ventana, en consonancia con las trazas de partículas reveladas por la visualización.

Se puede ver que la fijación de $\alpha = 40^\circ$ y la variación del d_{ap} (configuraciones SEVR-A600, SEVR-A200 y SEVR-A150), conduce a una variación del S_{ap} . En particular, se puede ver que el aumento del d_{ap} lleva a un aumento del S_{ap} y a una disminución de $d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}}$ hasta valores < 1 , permitiendo que las partículas penetren en la cavidad. En cambio, los presentes cálculos con la configuración de Z'Graggen revelan que este caso se caracteriza por $d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}} < 1$ junto con un S_{ap} muy alto, lo que es consistente con una fuerte propensión a transportar partículas a través de la abertura, lo que es consistente con las observaciones experimentales de que esta configuración es muy vulnerable a la deposición de partículas. (Esta observación también pone de relieve la importancia de situar la entrada del reactor en el extremo opuesto de la cámara a la abertura para obtener un vórtice mucho más débil en el plano de la abertura). Combinando la información anterior, se formula la hipótesis de que las configuraciones que generan un núcleo de vórtice mayor que el d_{ap} ($d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}} > 1$) en el plano de la abertura, también generarán allí una baja intensidad del vórtice, y por lo tanto mitigarán la posibilidad de deposición de partículas sobre la ventana del reactor.

La figura 11 presenta la masa total medida y calculada de las partículas depositadas sobre la ventana del reactor en relación con la masa total de las partículas de entrada, $m_{\text{p,ventana}}/m_{\text{p,entrada}}$, variando el tamaño de las partículas, d_p , para diferentes d_{ap}/D_c y una carga de partículas constante ($\phi = 2e^{-5}$). Los detalles geométricos de las configuraciones del SEVR investigadas experimentalmente se presentan en la figura 12 como tabla 2. En la campaña experimental se sembró el flujo con partículas inertes y se midió la concentración de partículas sobre la ventana del reactor pesando las partículas recogidas en la ventana con una balanza de alta precisión (10^{-4} g de exactitud). Las partículas adoptadas en este estudio fueron esferas de polímero sólido (Microbeads Spheromers) de diámetro medio, $d_p = 10, 20$ y $40 \mu\text{m}$, y una desviación estándar de $\sigma_p \leq 5\%$. La estrecha distribución de tamaños fue fundamental para la selección de las partículas, haciendo que la distribución de tamaños de las partículas sea verdaderamente monodispersa. En el análisis numérico también se consideró una inyección de partículas mono-tamaño con diámetros $d_p = 100 \mu\text{m}$. La densidad de la partícula es $\rho_p = 1.200 \text{ kg/m}^3$.

Se puede ver que se encontró un buen acuerdo entre el modelo CFD y la deposición medida. Se puede ver que para las partículas pequeñas la deposición de partículas aumenta a medida que aumenta el diámetro de la abertura. En las configuraciones de reactores caracterizadas por $d_{\text{vmax,ap}}/d_{\text{ap}} > 1$ ($d_{\text{ap}}/D_c = 0,125$ y $0,25$), la intensidad del vórtice en el plano de la abertura es insuficiente para impulsar las partículas a través de la abertura. En particular, para estas configuraciones, la deposición de partículas medida fue extremadamente baja ($m_{\text{p,ventana}}/m_{\text{p,entrada}} < 0,1\%$), lo que confirma las predicciones del modelo. Además, para todas las configuraciones de reactor investigadas, se comprobó que las partículas más grandes ($d_p = 100 \mu\text{m}$) no se depositaban sobre la ventana del reactor, lo que pone de relieve aún más los posibles beneficios de la presente invención en comparación con las configuraciones de RVS anteriores.

La figura 13 muestra una segunda realización de la invención. La segunda realización es similar en algunos aspectos a la primera realización y se utilizan los correspondientes números de referencia para identificar las partes correspondientes.

En la segunda realización, la segunda sección 42 de la cámara 13 también es cónica. En particular, la segunda sección 42 es cónica en torno al eje 29 central longitudinal de la cámara 13 y comprende una continuación de la primera sección 41 cónica de la cámara. En otras palabras, la cámara 13 tiene un lado 27 cónico, con una primera parte 27a del lado 27 cónico que limita la primera sección 41 de la cámara, y una segunda parte 27b del lado 27 cónico que limita la segunda sección 42 de la cámara.

De lo anterior es evidente que varias realizaciones del receptor solar según la invención pueden ser configuradas para lograr dos efectos: i) la mitigación de la deposición de partículas sobre una ventana de abertura; y ii) la clasificación aerodinámica para permitir que las partículas grandes queden retenidas preferencialmente en el receptor/reactor solar durante mucho más tiempo que las partículas pequeñas y así lograr un procesamiento eficiente de las partículas con una amplia distribución de tamaños.

Se pueden configurar varias realizaciones del receptor solar según la invención para lograr los dos efectos anteriores, según los siguientes criterios de diseño:

1) El receptor solar puede orientarse vertical u horizontalmente. En ambos casos el SEVR mejora el control del tiempo de residencia con respecto al tamaño de las partículas en comparación con las configuraciones de SVR anteriores. En el caso de la orientación vertical, este control se incrementa.

2) Se requiere una base de entrada cónica para proporcionar unos medios con los que cambiar las trayectorias de las partículas más grandes en relación con las partículas más pequeñas en la arista donde el cono se encuentra con el cilindro. Además, el cono canaliza cualquier partícula recirculada de regreso hacia la parte más intensa del vórtice, en lugar de permitir que se asienten en la pared de la cámara.

5 3) Se requiere al menos una salida orientada en dirección radial y situada por debajo de la arista de la cavidad (por debajo del plano de la abertura) para inhibir que las partículas más grandes salgan del dispositivo en relación con las más pequeñas y así, permitir que las partículas grandes sean retenidas en el reactor durante mucho más tiempo que las pequeñas.

4) Se requiere al menos una entrada tangencial para generar un flujo de vórtice dentro de la cavidad.

10 5) La entrada al receptor/reactor debe estar situada en el extremo opuesto de la cámara a la abertura. Junto con la adición de una expansión cónica, esto genera un vórtice cuya intensidad es mucho más débil en el plano de la abertura, reduciendo el transporte axial de partículas a través de la abertura a lo largo del núcleo del vórtice. Además, la presencia de la base cónica y la entrada al receptor/reactor en el extremo opuesto de la cámara genera una zona de recirculación central que aleja las partículas de la abertura en lugar de dirigirlas hacia ella, reduciendo
15 así la propensión de las partículas a penetrar en la cavidad SC. Finalmente, con esta disposición, la estructura del vórtice en la parte inferior del receptor/reactor se aproxima a la de un vórtice forzado, mientras que en la parte superior del receptor/reactor se aproxima a la de un vórtice combinado (libre y forzado).

20 6) Se requiere que el diámetro de la abertura sea menor que el diámetro del núcleo del vórtice en el plano de la abertura para inhibir el transporte de partículas a través de la abertura. El ángulo del cono influye en el diámetro y la intensidad del vórtice en el plano de la abertura. Para un ángulo de cono fijo, se requiere un valor del diámetro de la abertura con respecto a la relación del diámetro del reactor, d_{ap} / D_c , en el intervalo de aproximadamente 0,125 a 0,25 para reducir la deposición de partículas.

25 7) Se requiere un valor del ángulo del cono en el intervalo de 40° a 65° para lograr los dos efectos anteriores (de recirculación de las partículas más grandes y de reducción de la deposición) mientras se reduce la propensión de las partículas a asentarse sobre las paredes de la expansión. El valor óptimo del ángulo del cono es de aproximadamente 45°.

Debe apreciarse que el alcance de la invención no se limita al ámbito de las realizaciones descritas como ejemplos.

Si bien la presente invención se ha descrito en términos de realizaciones preferidas para facilitar una mejor comprensión de la invención, debe apreciarse que pueden hacerse diversas modificaciones sin apartarse de los
30 principios de la invención. Por consiguiente, debe entenderse que la invención incluye todas esas modificaciones dentro de su ámbito de aplicación.

Esta descripción tiene por objeto explicar cómo se elaboran y utilizan las diversas realizaciones de acuerdo con la tecnología, en lugar de limitar el verdadero, pretendido y justo alcance y espíritu de la misma. La descripción anterior no pretende ser exhaustiva ni limitarse a las formas precisas descritas. Es posible introducir modificaciones o
35 variaciones a la luz de las enseñanzas anteriores. La realización fue elegida y descrita para proporcionar la mejor ilustración del principio de la tecnología descrita y su aplicación práctica, y para permitir a alguien de habilidad ordinaria en la técnica utilizar la tecnología en diversas realizaciones y con diversas modificaciones según se adapten al uso particular contemplado.

40 La referencia a descripciones de posición, tales como "superior", "inferior", "arriba", "debajo", "frontal", "posterior" y "lateral" deben considerarse en el contexto de las realizaciones representadas en los dibujos y no deben considerarse como limitantes de la invención a la interpretación literal del término, sino más bien como lo entendería el destinatario experto.

Además, cuando se utilicen los términos "sistema", "dispositivo" y "aparato" en el contexto de la invención, se entenderá que incluyen una referencia a cualquier grupo de componentes o elementos funcionalmente relacionados o que interactúan, interrelacionados, interdependientes o asociados que puedan estar situados en proximidad,
45 separados, integrados o discretos entre sí.

A lo largo de esta especificación, a menos que el contexto requiera otra cosa, se entenderá que la palabra "comprender" o variaciones tales como "comprende" o "que comprende", implican la inclusión de un número entero o grupo de números enteros declarados, pero no la exclusión de ningún otro número entero o grupo de números
50 enteros.

REIVINDICACIONES

1. Un receptor solar (10) que comprende una cámara (13) con una abertura (15) a través de la cual se puede recibir la radiación solar concentrada dentro de la cámara (13), unos medios (31) de entrada para la introducción en la cámara (13) de un flujo de entrada que comprende partículas absorbentes solares, unos medios (33) de salida para la descarga de un flujo de salida de la cámara (13), comunicándose los medios (31) de entrada con la cámara (13) para la introducción del flujo de entrada en una primera sección (41) de la cámara (13) en relación opuesta a la abertura (15), en donde dicha primera sección (41) se configura como una sección divergente que se expande en dirección a la abertura (15); comunicándose los medios (33) de salida con una segunda sección (42) de la cámara (13) situada entre la primera sección (41) y la abertura (15), en donde el flujo de fluido desde los medios (31) de entrada hasta los medios (33) de salida que está expuesto a la radiación solar concentrada recibida dentro de la cámara (13) y en donde el flujo establece un campo de flujo que tiene una estructura (35) de vórtice, siendo la intensidad del vórtice mayor en la primera sección (41) de la cámara (13) que en la segunda sección (42) de la cámara (13) en donde los medios (31) de entrada están configurados para introducir el flujo de entrada tangencialmente en la primera sección (41) divergente.
2. El receptor (10) solar según la reivindicación 1, en donde la abertura (15) comprende una ventana (19).
3. El receptor (10) solar según la reivindicación 2, en donde la abertura (15) comprende una ventana de cuarzo.
4. El receptor (10) solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde la cámara (13) comprende una base cónica situada en una configuración descendente.
5. El receptor (10) solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde la primera sección (41) está definida por una pared (45) cónica.
6. El receptor (10) solar según la reivindicación 5 en donde la cámara (13) tiene un eje (29) central longitudinal y la pared (45) cónica está centrada sobre el eje (29) central longitudinal.
7. El receptor (10) solar según las reivindicaciones 5 o 6 en donde la pared (45) cónica que define la primera sección (41) de la cámara tiene un ángulo cónico en el intervalo de unos 15 a 65 grados.
8. El receptor (10) solar según las reivindicaciones 6 o 7 en donde la segunda sección (42) de la cámara (13) está centrada sobre el eje (29) central longitudinal de la cámara (13).
9. El receptor (10) solar según la reivindicación 8 en donde la segunda sección (42) está configurada para ser cónica o cilíndrica en torno al eje (29) central longitudinal de la cámara (13).
10. El receptor (10) solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde las secciones (41, 42) primera y segunda definen una pared de cámara y un borde circunferencial en la pared de la cámara.
11. El receptor (10) solar según cualquiera de las reivindicaciones 6 a 10 en donde la abertura (15) es de configuración circular centrada sobre el eje (29) central longitudinal.
12. El receptor (10) solar según la reivindicación 11 en donde la abertura (15) está rodeada por una pared de la cámara (13).
13. El receptor (10) solar según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde la cámara (13) comprende un extremo (23) frontal y un extremo (25) posterior, con el extremo (23) frontal incorporando la abertura (15) para recibir la radiación solar concentrada y con el extremo (25) posterior incorporando los medios (31) de entrada.
14. El receptor (10) solar, según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en donde los medios (33) de salida se abren a la cámara (13) a través de un lado de la misma en un lugar separado y muy próximo a la abertura (15).
15. Un método de calentamiento de partículas mediante la exposición de las partículas a la radiación solar concentrada, que comprende los pasos de: establecer un flujo de fluido que comprenda las partículas; introducir el flujo de fluido en un receptor (10) solar en el que las partículas se exponen a la radiación solar concentrada que entra en la cámara (13) a través de una abertura (15); siendo el flujo introducido tangencialmente a través de unos medios de entrada en una primera sección (41) de la cámara (13) alejada de la abertura (15) para establecer un campo de flujo con una estructura (35) de vórtice, siendo la intensidad del vórtice mayor en la primera sección (41) de la cámara (13) que en una segunda sección (42) de la cámara (13) más cercana a la abertura (15); en donde el campo de flujo promueve la clasificación aerodinámica para controlar la distribución del tiempo de residencia de las partículas dentro de la cámara (13) en función del tamaño de las partículas, por lo que el tiempo de residencia de las partículas más grandes aumenta en relación al de las partículas pequeñas, en donde la primera sección está configurada como una sección divergente que se expande en dirección a la abertura.

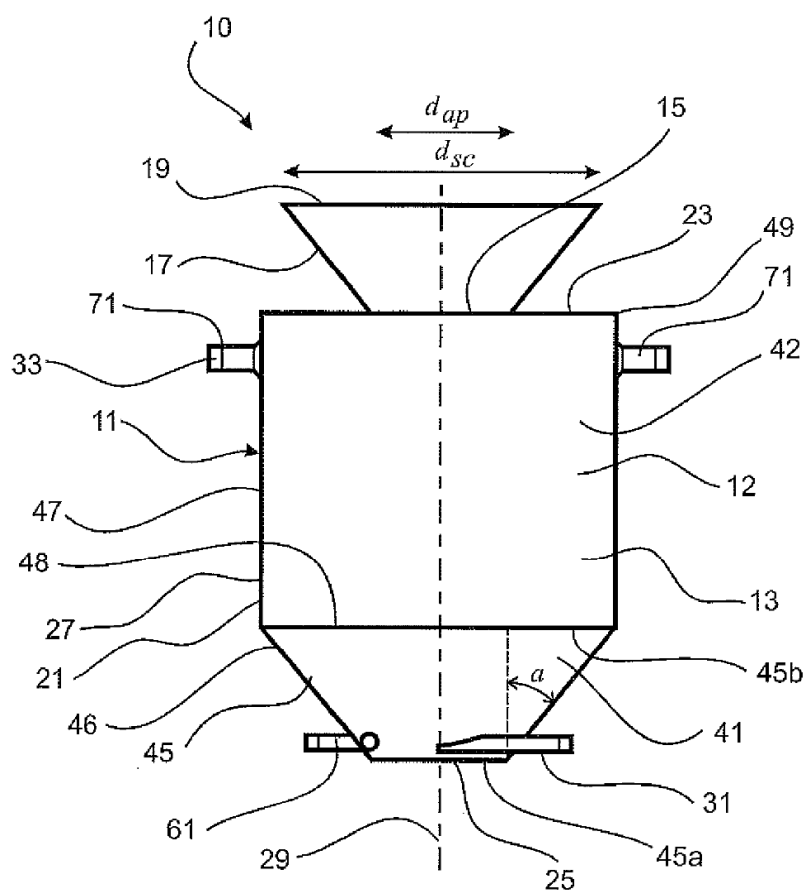


Fig. 1

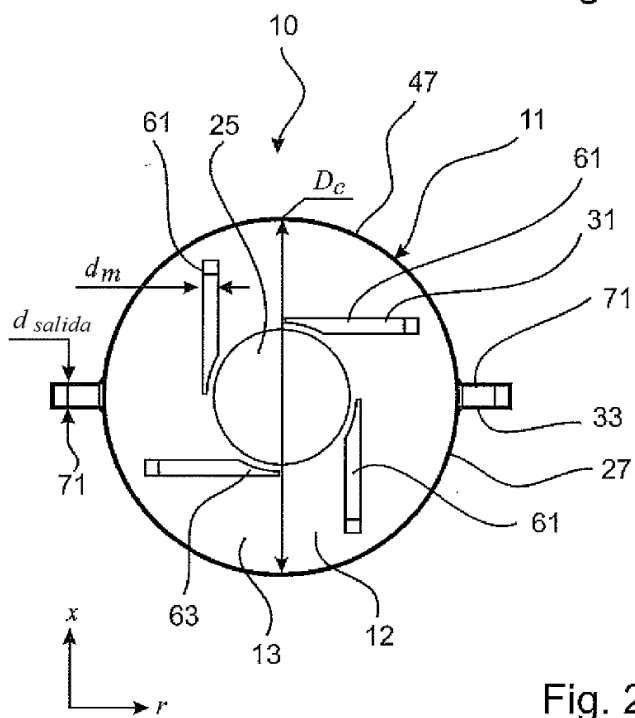


Fig. 2

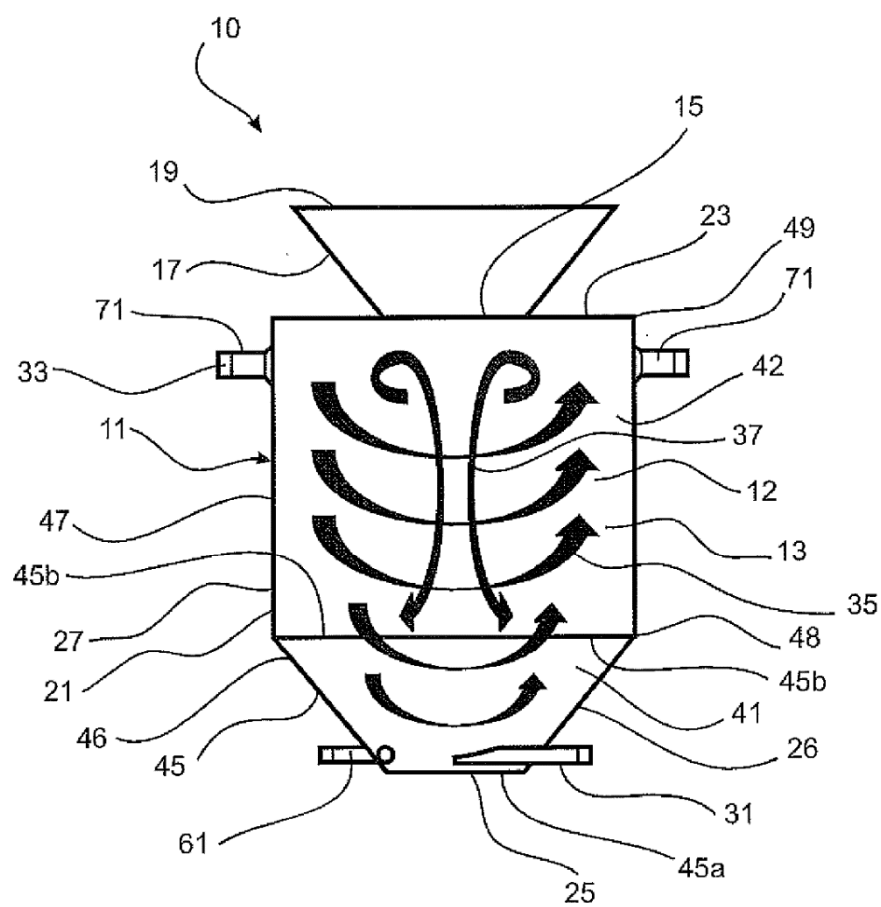


Fig. 3

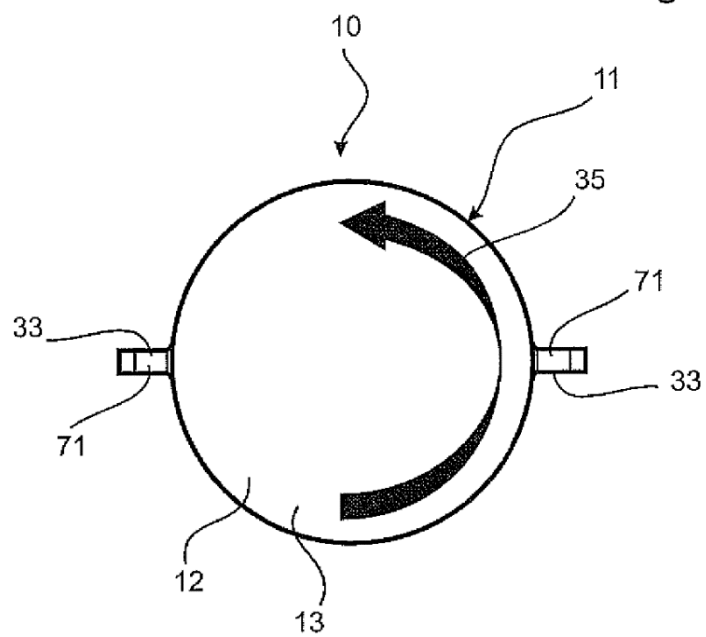


Fig. 4

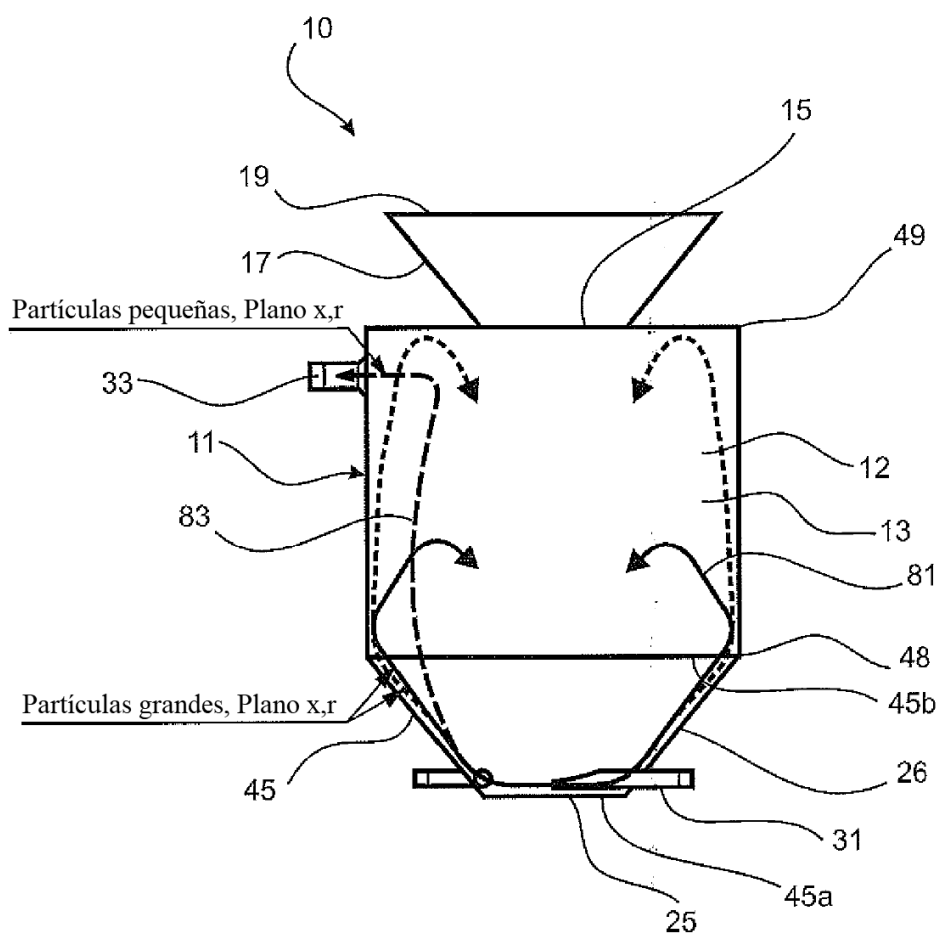


Fig. 5

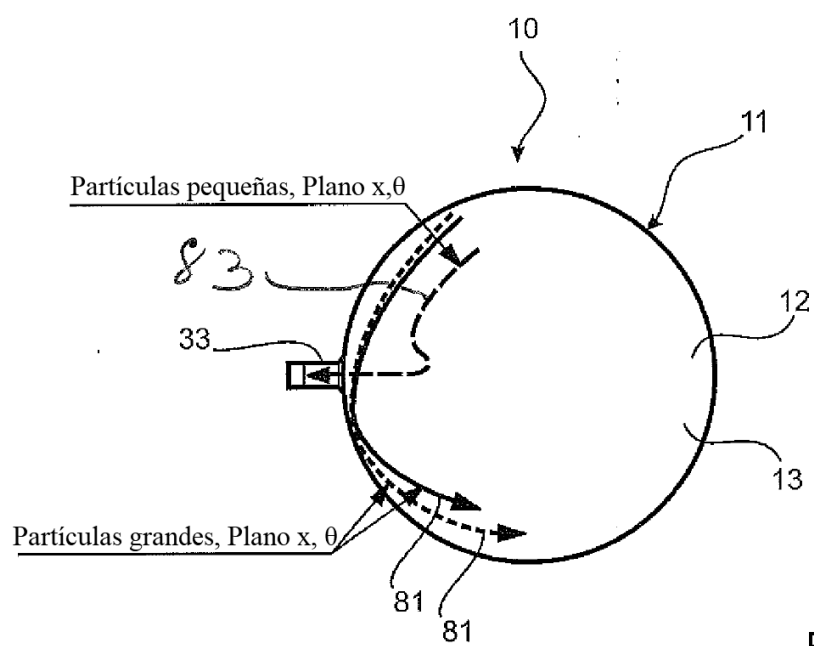


Fig. 6

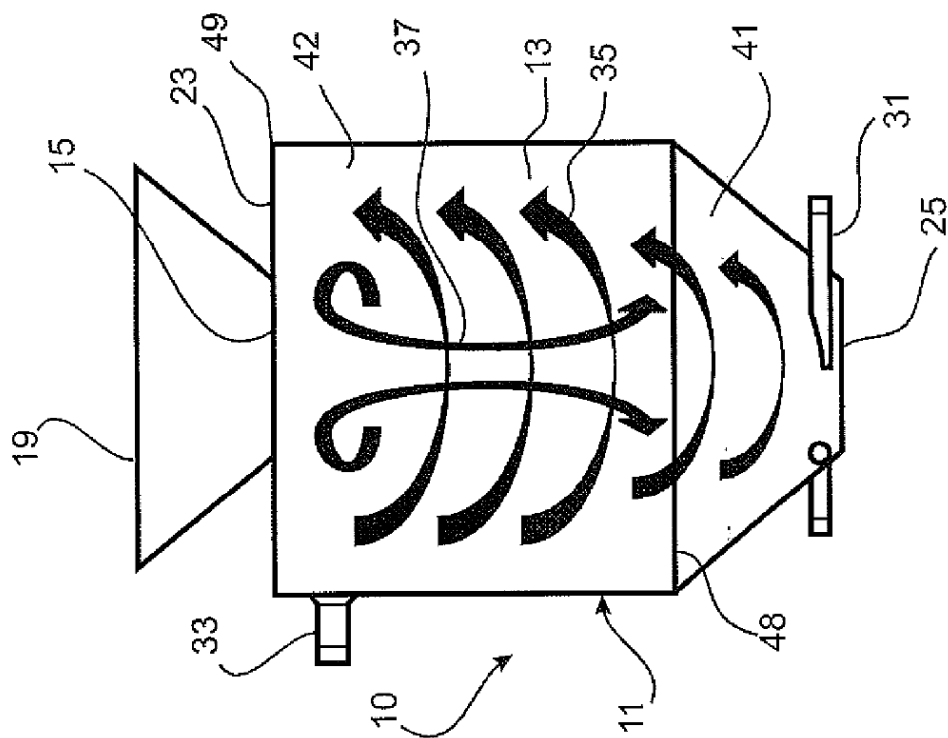


Fig. 7a

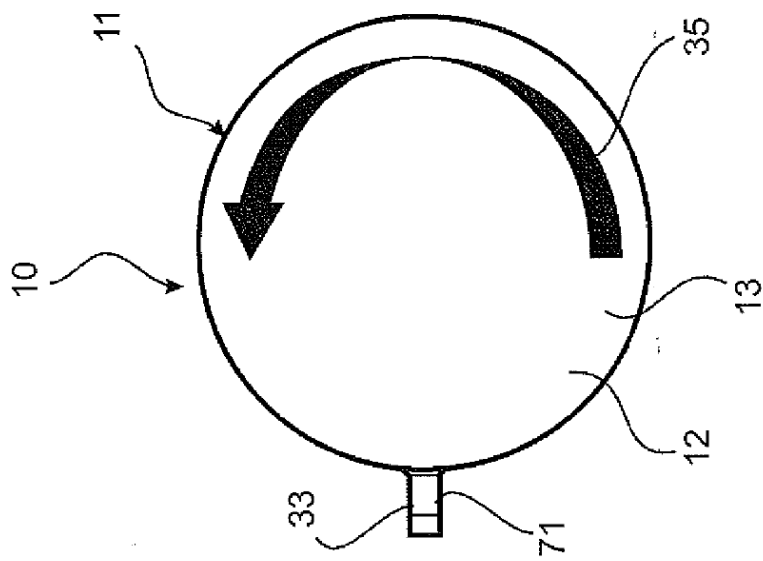


Fig. 7b

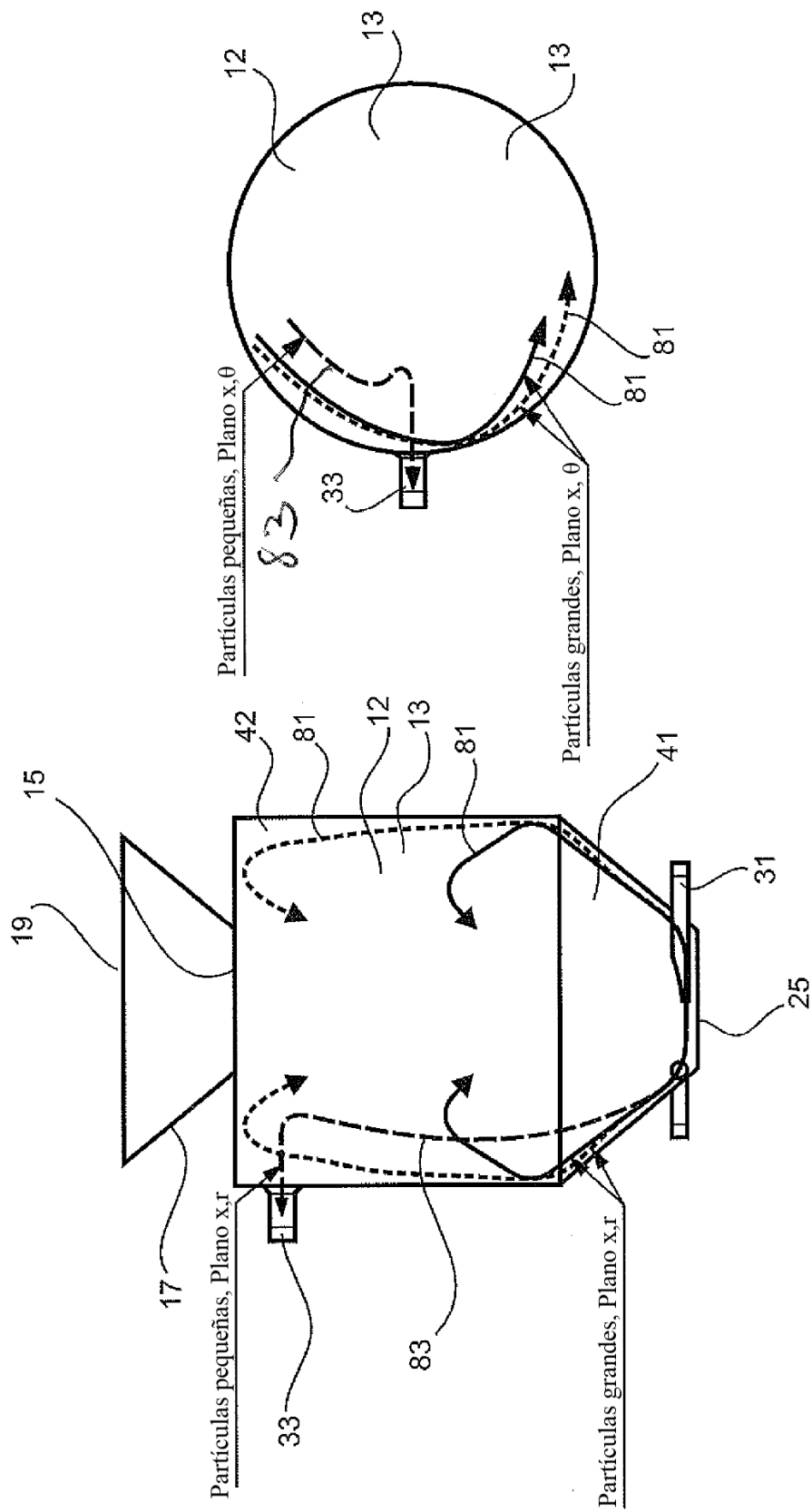


Fig. 7d

Fig. 7c

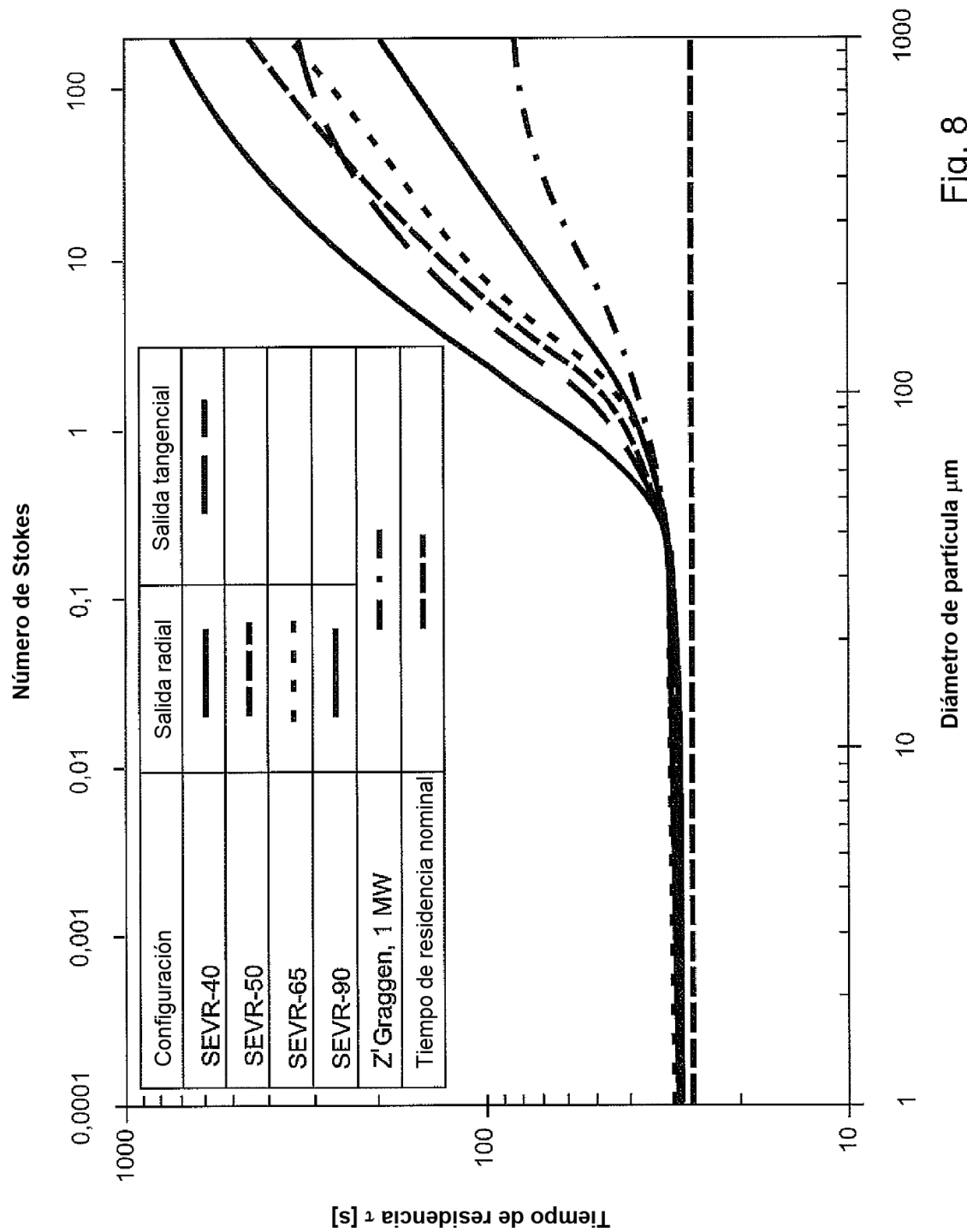


Fig. 8

Configuración #	Ángulo del cono, α [°]	Abertura, d_{ap} [mm]	D_c/d_{ap}	Longitud del reactor, L [mm]	S_{ap}
SEVR-65	65	400	3	1500	0.1
SEVR-50	50	400	3	1500	0.32
SEVR-40	40	400	3	1500	0.45
SEVR-30	30	400	3	1500	0.8
SEVR-15	15	400	3	1500	0.92
SEVR-D1	40	400	1	1500	0.99
SEVR-D4	40	400	4	1500	0.5
SEVR-D5	40	400	5	1500	0.52
SEVR-L800	40	400	3	800	1.08
SEVR-L2500	40	400	3	2500	0.5
SEVR-A600	40	600	3	1500	0.68
SEVR-A200	40	200	3	1500	0.08
SEVR-A150	40	150	3	1500	0.04

Tabla 1: Detalles geométricos de las configuraciones SEVR investigadas y el correspondiente número de remolino de flujo calculado en el plano de la abertura, S_{ap}

Fig. 9

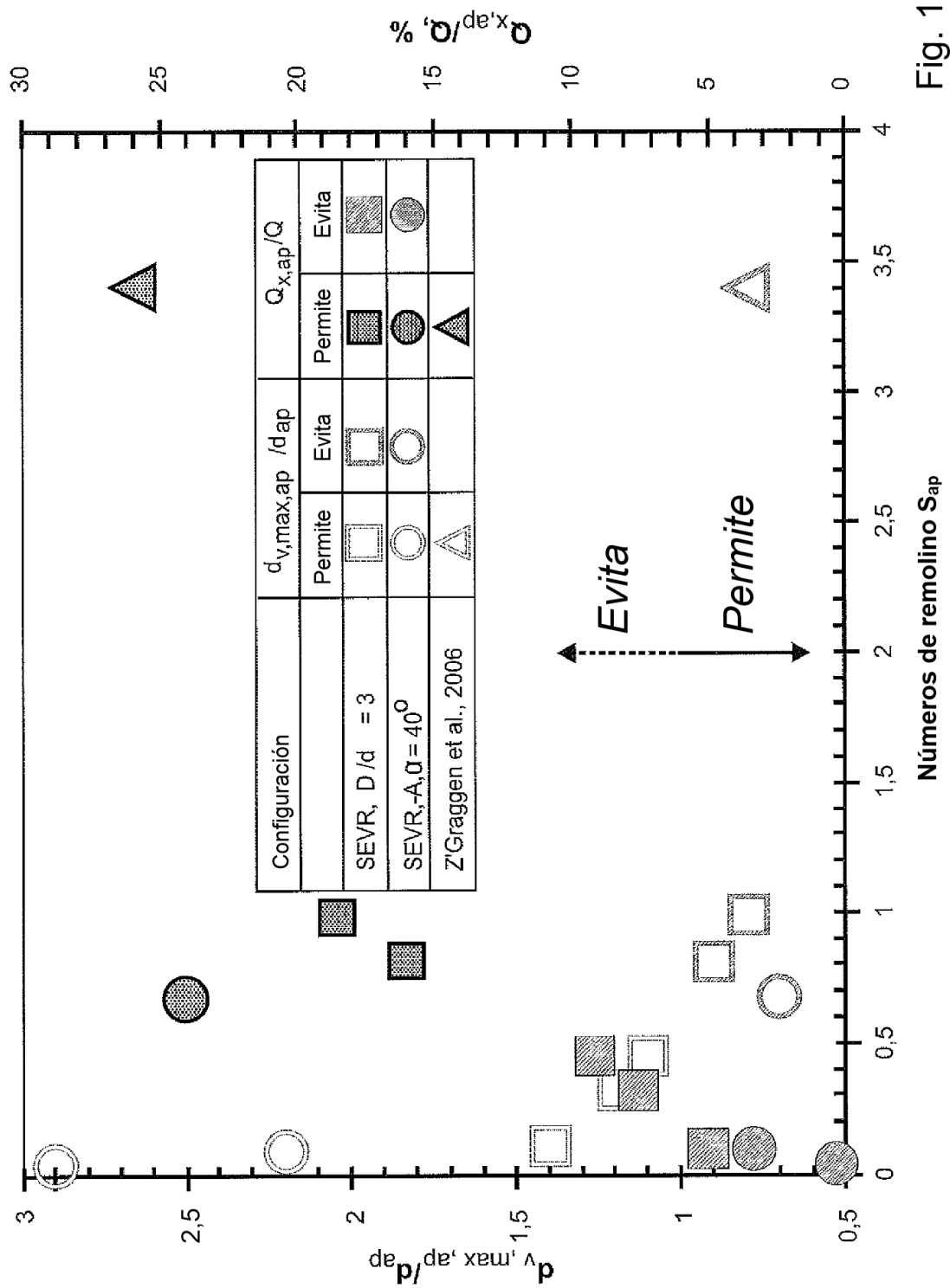


Fig. 10

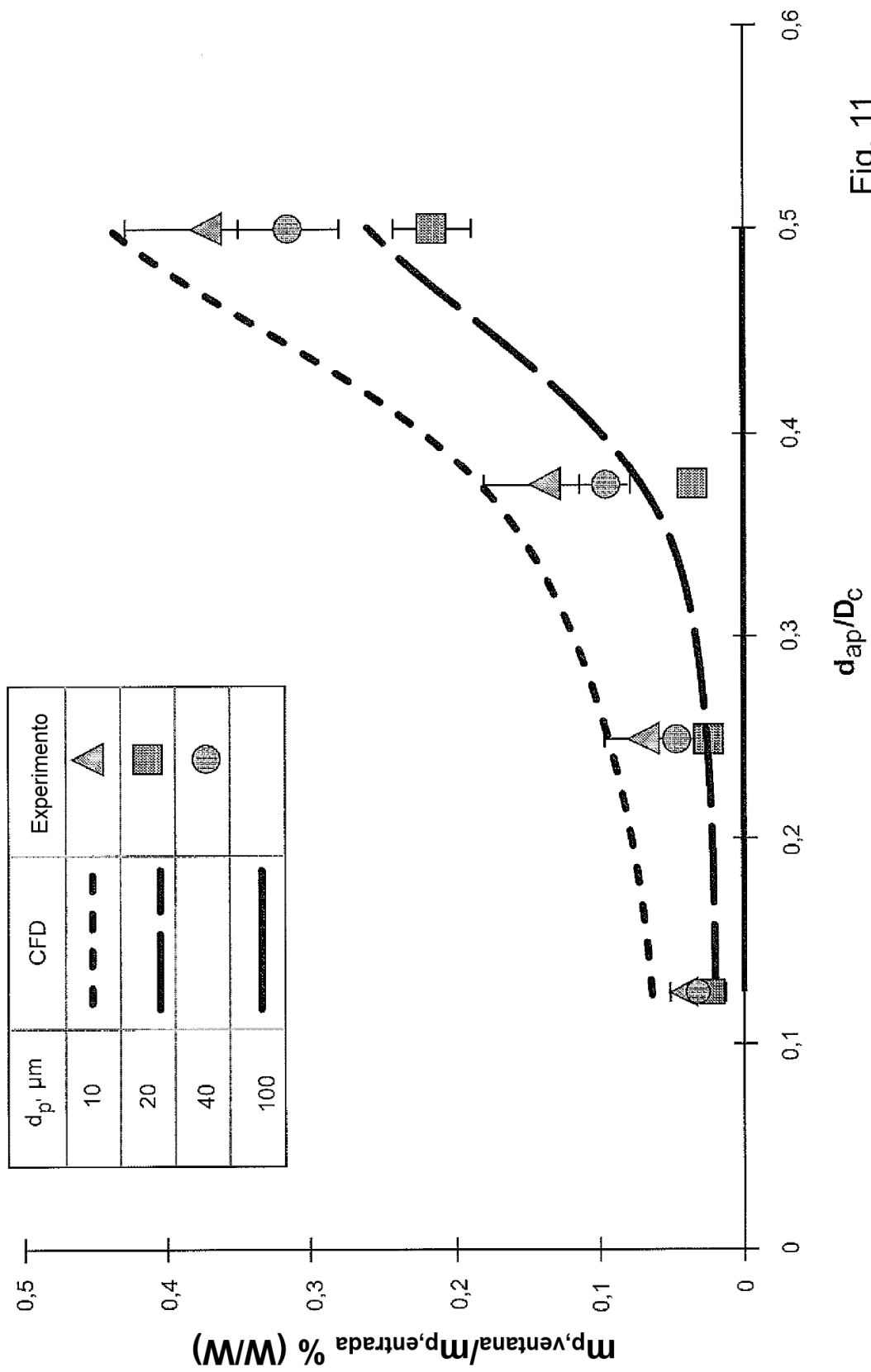


Fig. 11

	Valor
L, mm	500
D_c D_o mm	400
α , °	50
$l_{entrada}$, mm	17
l_{salida} , mm	50
d_{ap} , mm	50-100-150-200
$d_{entrada}$, mm	12.5
d_{salida} , mm	21
d_{sc} , mm	200
l_{sc} , mm	125

Tabla 2: Detalles geométricos de las configuraciones de SEVR investigadas experimentalmente

Fig. 12

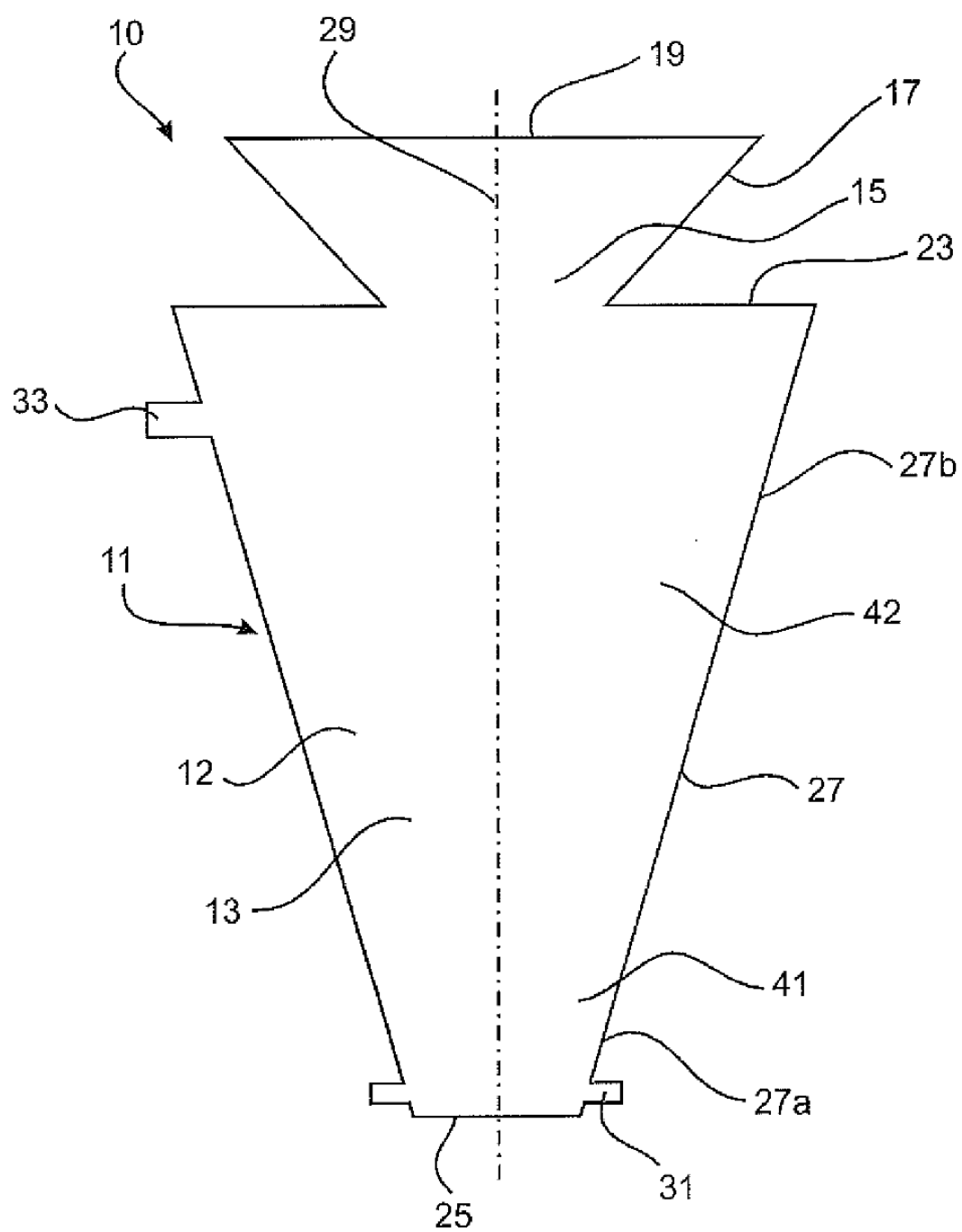


Fig. 13