

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **3 014 969**

51 Int. Cl.:

B01J 2/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.08.2023 PCT/NL2023/050442**

87 Fecha y número de publicación internacional: **07.03.2024 WO24049293**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.08.2023 E 23765016 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.02.2025 EP 4444457**

54 Título: **Granulación en lecho fluidizado**

30 Prioridad:

29.08.2022 EP 22192684

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

28.04.2025

73 Titular/es:

**STAMICARBON B.V. (100.00%)
Mercator 3
6135 KW Sittard, NL**

72 Inventor/es:

**CUCCHIELLA, BARBARA y
GONZALEZ COLOMA, JUAN**

74 Agente/Representante:

SÁEZ MAESO, Ana

ES 3 014 969 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

Granulación en lecho fluidizado

Campo

La invención se refiere a la granulación, por ejemplo, de urea, en un granulador de lecho fluidizado.

5 Introducción

La granulación de urea en lecho fluidizado es una tecnología importante para la producción a gran escala de partículas de urea sólidas adecuadas como fertilizante. Una unidad moderna de granulación de urea en lecho fluidizado (línea única) tiene típicamente una capacidad de más de 1000 toneladas métricas de producto de urea por día (tm/d), por ejemplo, por encima de 2000 tm/d o incluso, por ejemplo 3000 tm/d, o incluso más (tonelada métrica = 1000 kg). En consecuencia, se desean boquillas de granulación de alta capacidad, con capacidad para pulverizar muy por encima de 100 kg/h de urea fundida en una boquilla individual. Además, se desea que el granulador en su conjunto logre una alta conversión de la urea fundida pulverizada en gránulos de urea de tamaño adecuado (es decir, baja formación de polvo de urea y baja fracción de gránulos de pequeño tamaño y de gran tamaño) de modo que sea deseable tener un reciclaje seco relativamente bajo. Generalmente, un granulador de lecho fluidizado comprende un compartimiento de granulación en el cual se mantiene un lecho fluidizado de partículas mediante aire de fluidización suministrado a través de una placa inferior perforada. Una serie de boquillas de líquido de granulación, que se proporcionan en la parte inferior del compartimiento de granulación, suministran líquido de granulación hacia arriba dentro del compartimiento de granulación. Típicamente se utiliza una pluralidad de compartimientos de granulación en serie. Las partículas semilla se proporcionan típicamente en un lado y los gránulos se retiran en un lado opuesto del granulador. Este tipo de granulador de lecho fluidizado se utiliza, por ejemplo, para la producción de gránulos de urea. La invención se refiere a la granulación en un tal tipo de granulador de lecho fluidizado.

La Enciclopedia de Química Industrial de Ullmann, Capítulo Urea, 2010 describe una serie de tecnologías de granulación en lecho fluidizado para la granulación en lecho fertilizado.

En algunos de estos procesos conocidos, el material líquido, por ejemplo, en forma de una solución, fundida o suspensión, se pulveriza con la ayuda de un gas en gotas, las cuales se solidifican sobre núcleos fluidizados para formar gránulos del tamaño deseado. Con el fin de que el proceso de granulación se lleve a cabo correctamente, es necesario que la superficie de los núcleos cultivados se solidifique lo suficientemente rápido para evitar la aglomeración de partículas individuales. Por lo tanto, se debe garantizar, que el material líquido pulverizado se cristalice rápidamente, y que el agua presente se evapore rápidamente.

W. Roos, Granulación de Urea, Parte 1, Enfoque en Fertilizantes, mayo-junio de 2013 describe la tecnología de granulación Stamicarbon la cual utiliza pulverización de película. El aire caliente a alta velocidad (aire secundario) y la urea fundida se suministran a través de una boquilla. La corriente de aire secundario se suministra a través de un anillo alrededor de la boquilla de urea fundida. En funcionamiento, las partículas en el lecho fluidizado son succionadas hacia la película de líquido de urea fundida que sale a partir de la boquilla por el aire secundario y son "humedecidas" por la urea fundida. Las partículas humedecidas fluyen hacia arriba hacia una parte del lecho fluidizado.

El documento EP 0141437 describe un proceso de granulación en donde se hace que el material líquido salga de un canal central como una película cónica prácticamente cerrada, con un empuje que excede el empuje de la potente corriente de gas. Esta película se nebuliza en gotas muy finas con la ayuda de la potente corriente de gas. En los ejemplos se observó que, tras el impacto, la película fue prácticamente nebulizaba de manera instantánea en la corriente de aire. Las figuras muestran que la salida del canal concéntrico para la potente corriente de gas (gas secundario) está protegida del lecho fluidizado por una cubierta.

El documento EP 0141436 describe un proceso de granulación en donde se hace que el material líquido salga de un canal central hacia el lecho fluidizado como una película cónica prácticamente cerrada. Los núcleos del lecho son transportados a través de la película con la ayuda de la potente corriente de gas y, a continuación, durante el transporte de los núcleos así humedecidos a través de una zona por encima de la boquilla, se permite que el material líquido absorbido por los núcleos se solidifique.

Los deseos importantes para el proceso de granulación incluyen una baja formación de polvo y un alto rendimiento, y una alta fracción de partículas de tamaño deseado en los gránulos retirados del granulador.

También se desea proporcionar un proceso de granulación en lecho fluidizado, y una boquilla para un tal proceso, en donde el rendimiento por boquilla sea relativamente alto (por ejemplo, kg de urea fundida por hora por boquilla).

Resumen

La invención proporciona un granulador de lecho fluidizado que comprende un compartimento de granulación que comprende una placa de fluidización perforada en una parte inferior del compartimento y al menos una boquilla de granulación que comprende un primer canal para líquido de granulación y un canal de gas secundario, en donde el canal de gas secundario está proporcionado como un anillo alrededor del primer canal, en donde la salida del primer canal comprende un difusor que está inclinado y curvado hacia el exterior para proporcionar una superficie convexa para el líquido de granulación que sale del primer canal; en particular para proporcionar una superficie que es convexa en una sección transversal vertical y que está en funcionamiento expuesta al líquido de granulación que se expulsa desde el primer canal. También se proporciona una planta de urea que comprende el granulador de lecho fluidizado, y un proceso de granulación llevado a cabo en el granulador de lecho fluidizado.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 ilustra esquemáticamente un granulador de ejemplo que se puede utilizar en realizaciones de la invención (Figura 1A: sección transversal, Figura 1B: la boquilla no es parte de la presente invención; Figura 1C: vista detallada de la realización preferida).

La Figura 2 ilustra esquemáticamente una sección transversal de una boquilla de granulación de ejemplo que no es parte de la invención.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente la altura de impacto, tal como se utiliza en realizaciones del proceso inventivo.

La Figura 4 ilustra esquemáticamente una boquilla de granulación de ejemplo con un difusor, como se proporciona mediante un aspecto de la invención.

La Figura 5 muestra una vista superior (A-A) de la boquilla de la Figura 4.

La Figura 6 muestra esquemáticamente un funcionamiento conceptual de la boquilla, en particular con la película cónica hueca.

Cualquiera de las realizaciones ilustradas en las figuras son sólo ejemplos y no limitan la invención.

Descripción detallada

La invención se refiere en un aspecto a un proceso de granulación en lecho fluidizado.

El proceso implica el crecimiento de partículas en un granulador de lecho fluidizado haciendo que un líquido de granulación se solidifique sobre las partículas.

El proceso de granulación en lecho fluidizado inventivo comprende el crecimiento de partículas en un granulador de lecho fluidizado. En la Figura 1A se ilustra esquemáticamente un ejemplo de granulador de lecho fluidizado. El granulador (1) comprende un compartimento (2) de granulación configurado para contener un lecho fluidizado de partículas. El granulador (1) también comprende una boquilla (3). Como se muestra con más detalle en la sección transversal (vertical) en la Figura 1B, la boquilla (3) la cual no representa la invención comprende un primer canal (4) para el líquido (a) de granulación y un canal (5) de gas secundario para el gas (b) secundario que está proporcionado como un anillo (aro) alrededor del primer canal. Los canales tienen una salida en el lado superior directamente expuesta al lecho fluidizado de partículas. La salida del primer canal está, por ejemplo, verticalmente por encima de la salida del canal de gas secundario. El granulador también comprende una placa (6) de fluidización perforada para el gas (c) de fluidización. La boquilla (3) comprende preferiblemente una pieza (3a) unitaria. La pieza (3a) tiene un canal para el líquido de granulación, es decir el primer canal (4), y tiene un hombro (7) cónico y proporciona la pared (5a) interior convexa del canal (5) anular para el gas secundario. Una pieza (12) adicional proporciona la pared (5b) interior cóncava del canal (5) anular y es, por ejemplo, cilíndrica.

En funcionamiento, el líquido (a) de granulación se expulsa desde el primer canal (4) y se aplica sobre las partículas (13) que se mantienen en estado fluidizado por el gas (c) de fluidización.

En la realización típica del granulador y de un granulador en el cual se puede llevar a cabo el proceso como se muestra en la Figura 1C, los números de referencia los cuales no se discuten son los mismos que en la Figura 1A. Las características de la Figura 1C son preferidas para todas las realizaciones de la invención.

El gas de fluidización se introduce en los compartimentos (2) de granulación; en particular en cada uno de ellos, a través de perforaciones en la placa (6) de fluidización perforada proporcionadas en la parte inferior de los compartimentos (2) de granulación, normalmente desde una o más cámaras (14) de gas de fluidización situadas por debajo de la placa de fluidización perforada. En una realización preferida, el granulador está proporcionado con una pluralidad de compartimentos de granulación en serie (2, 2a, 2b), por ejemplo al menos 3, por ejemplo de 3 a 5 compartimentos de granulación en serie, los cuales contienen cada uno una pluralidad de las boquillas (3) (que funcionan con la relación especificada de gas secundario a líquido de granulación y/o

5 tienen el difusor curvado) y cuyos compartimentos están separados entre sí por placas (15) de división verticales las cuales proporcionan una separación del lecho fluidizado en compartimentos y las cuales proporcionan conductos (21) para partículas en un extremo inferior, es decir, un espaciado entre la parte inferior de la placa de división y la placa de fluidización, de tal manera que las partículas preferiblemente más grandes se mueven preferiblemente entre compartimentos adyacentes, y por el efecto de la entrada y salida de partículas en lados opuestos del granulador, efectivamente desde un compartimento anterior a un compartimento posterior adyacente. Las placas de división se montan, por ejemplo, en las paredes laterales del granulador. El uso de una pluralidad de compartimentos de granulación dispuestos en serie, separados por tales divisores, y comprendiendo cada uno boquillas, proporciona un tiempo de residencia mejor controlado de las partículas en el granulador.

10 Las partículas se eliminan a través de una salida (16) de partículas que está dispuesta en un lado posterior de la serie de compartimentos de granulación, y se suministran preferiblemente para la clasificación por tamaño. El gas se retira a través de una salida (17) de gas en una parte superior del granulador. El líquido de granulación, por ejemplo, urea fundida, se suministra a las boquillas a través de un colector (18) de suministro. También se suministra gas secundario (por ejemplo, aire) a las boquillas utilizando un colector (19) de suministro de gas secundario. El reciclaje seco se suministra opcionalmente como partículas semilla a través de la entrada (20) de partículas que está proporcionada en un lado anterior de la serie de compartimentos de granulación. En algunas realizaciones, el reciclaje seco se funde de manera separada en urea fundida y se solidifica en una unidad separada, tal como una peletizadora, para producir partículas semilla las cuales se introducen a través de la entrada (20) de partículas. En algunas realizaciones, el reciclaje seco se introduce directamente en la entrada (20) de partículas.

15 La entrada de partículas y la salida de partículas están proporcionadas en lados opuestos del granulador, en la sección transversal vertical del granulador en la dirección de longitud del granulador de la Figura 1C. En funcionamiento, se mantiene un gradiente de los tamaños de partículas promedio a lo largo de la serie de compartimentos de granulación, con un tamaño de partícula promedio más grande en los compartimentos posteriores, indicando posterior un compartimento más cercano a la salida de partículas. Los compartimentos de granulación están dispuestos en serie en la dirección de longitud del granulador. Opcionalmente, como se ilustra, un compartimento posterior es un compartimento de enfriamiento que recibe aire de fluidización, pero sin boquillas. Normalmente, el lecho fluidizado de partículas se mantiene en todos los compartimentos de granulación y en cualquier compartimento de enfriamiento. El crecimiento de las partículas se basa en la acumulación capa por capa de líquido de granulación solidificado para lograr partículas de tamaño deseado y un aumento significativo del volumen de las partículas individuales.

20 En una realización preferida, el granulador de lecho fluidizado comprende en serie, un compartimento de granulación anterior y uno posterior, como se ha discutido, en donde el compartimento anterior comprende una entrada de partículas, y el compartimento posterior comprende una salida de partículas o está adyacente a un compartimento de enfriamiento posterior el cual comprende una salida de partículas. Opcionalmente, se proporcionan uno o más compartimentos de granulación intermedios entre los compartimentos de granulación anterior y posterior.

25 El presente proceso se puede utilizar para la granulación de diversos tipos de materiales líquidos. El líquido de granulación se presenta, por ejemplo, en forma de una solución, fundida o suspensión. El líquido de granulación debe comprender o consistir esencialmente en un componente que sea, o uno o más componentes que sean, sólidos a temperatura ambiente (por ejemplo, 20°C) de modo que permita la solidificación del líquido. El líquido de granulación comprende, por ejemplo, al menos un 80% en peso en total de uno o más compuestos que son sólidos a 20°C. El líquido de granulación comprende, por ejemplo, menos de un 10% en peso de agua o menos de un 5% en peso. El proceso se puede utilizar, por ejemplo, para la granulación de materiales líquidos que contienen agua, donde además de la solidificación debe tener lugar una rápida evaporación de agua. El presente proceso se utiliza, por ejemplo, para la granulación de materiales tales como sales de amonio, tales como nitrato de amonio, sulfato de amonio, o fosfato de amonio y mezclas de estos, fertilizantes simples tales como nitrato de amonio y calcio, nitrato de amonio y magnesio, fertilizantes compuestos de NP y NPK, urea y compuestos que contienen urea, azufre, sustancias orgánicas tales como bisfenol y caprolactama, y similares. En una realización preferida, el proceso se utiliza para la granulación de urea y compuestos que contienen urea.

30 En una realización particularmente preferida, el líquido de granulación es una urea fundida la cual comprende, por ejemplo, al menos un 80% en peso de urea. La urea fundida comprende, por ejemplo, un máximo de 3% en peso de agua. La urea fundida comprende, por ejemplo, al menos un 90% en peso de urea y biuret, un máximo de 3% en peso de agua y, por ejemplo, hasta un 7% en peso de otros componentes tales como, por ejemplo, formaldehído, o sales de amonio o azufre, o una combinación de estos. El líquido de granulación comprende en algunas realizaciones, por ejemplo, al menos el 97.5% en peso de urea que incluye biuret.

35 Típicamente, el líquido de granulación tiene una temperatura en la boquilla de 5°C a 15°C por encima de la temperatura de solidificación del líquido de granulación.

- 5 El lecho de partículas se mantiene en un estado fluidizado en el compartimento de granulación mediante un gas de fluidización que fluye hacia arriba, en particular una corriente de aire. En realizaciones con un tamaño de partícula promedio del producto final de 2-4 mm se utiliza preferiblemente un gas de fluidización con una velocidad superficial de 1.5-2.5 m/s, en particular 1.7-2.2 m/s. La altura del lecho puede elegirse dentro de amplios límites, por ejemplo, de 50 a 150 cm. El gas de fluidización también se utiliza típicamente para enfriar el líquido de granulación sobre las partículas para provocar la solidificación. El gas de fluidización tiene, por ejemplo, una temperatura menor que 100°C, por ejemplo, menor que 80°C.
- 10 El gas de fluidización se suministra típicamente al compartimento de granulación de manera homogénea desde la parte inferior de los compartimentos de granulación utilizando una placa de fluidización perforada. Las boquillas de granulación se montan típicamente a través de aberturas en la placa de fluidización que son más grandes que las aberturas utilizadas para el suministro de gas de fluidización.
- 15 Se mantiene un lecho fluidizado de partículas en el(los) compartimento(s) de granulación. Estas partículas también pueden denominarse núcleos o partículas semilla. Como es habitual, las partículas semilla se suministran típicamente y las partículas de producto se retiran en lados opuestos del granulador. Además, las partículas se mantienen en movimiento en el lecho fluidizado. Típicamente, el granulador comprende dos o más compartimentos de granulación en serie. En particular, el lecho fluidizado está típicamente compartimentado mediante deflectores verticales con un flujo de partículas relativamente más pesadas desde un compartimento al siguiente compartimento a través de aberturas en el lado inferior de los deflectores.
- 20 Las semillas no están particularmente limitadas en composición y pueden tener la misma o diferente composición que el líquido de granulación. Por ejemplo, los gránulos triturados de gran o pequeño tamaño se pueden reciclar en el granulador y utilizarse como semillas, o los pellets de una peletizadora o los prills de una torre de prillado se pueden utilizar como semillas. También son posibles otros tipos de semillas.
- 25 Las semillas tienen, por ejemplo, un diámetro promedio de al menos 0.75 mm, por ejemplo, en el rango de 1 a 3 mm, por ejemplo, 1.5 a 2.5 mm. El diámetro promedio de la semilla es, convenientemente, el diámetro medio promedio del peso.
- La cantidad de semillas introducidas puede variar. Por ejemplo, se introduce una tal cantidad de semillas que la relación en peso de las semillas con respecto al líquido de granulación esté entre 1:1 y 1:3; el mismo rango de ejemplo se aplica para la relación de volumen.
- 30 El proceso implica el crecimiento de partículas en el lecho fluidizado haciendo que el líquido de granulación se solidifique sobre las partículas. El proceso de crecimiento de una semilla hasta un gránulo de producto de tamaño deseado implica típicamente múltiples pasadas de la partícula a través de películas cónicas (huecas) de los líquidos de granulación por encima de las boquillas. El proceso de crecimiento se basa, por lo tanto, en la acumulación capa por capa de líquido de granulación solidificado.
- 35 Las partículas de producto son típicamente (sustancialmente) esféricas y tienen, por ejemplo, un diámetro de al menos 2.0 mm, por ejemplo, en el rango de 2.0 - 8.0 mm.
- 40 El proceso implica la formación de una película del líquido de granulación en forma de un tronco cónico hueco (es decir, una película cónica) que sobresale hacia el compartimento de granulación suministrando el líquido de granulación a través de un primer canal de una boquilla de granulación. En el proceso, el líquido de granulación se expulsa desde el primer canal como una película del líquido de granulación, cuya película tiene la forma de un tronco cónico hueco.
- 45 Como se ilustra esquemáticamente en una realización no de acuerdo con la invención en la Figura 2A, el tronco (f) cónico hueco de la película de líquido (a) de granulación tiene un radio r_1 más pequeño en la boquilla y un radio r_2 más grande a una altura h en dicha dirección hacia arriba por encima de la boquilla (3) y el proceso implica poner en contacto la película con la corriente (b) de gas secundario a una altura h (la altura de impacto). El tronco cónico tiene un ángulo (θ) de vértice. La boquilla (3) (en particular la pieza (3a)) tiene un hombro (7) inclinado que guía el gas (b) secundario desde el canal (5) de gas secundario hasta la película (f) cónica hueca. El extremo (8) inferior del hombro (7) está, por ejemplo y como se ilustra, directamente adyacente al canal (5) de gas secundario. Este hombro inclinado también es preferido para el proceso de granulación en lecho fluidizado inventivo, independientemente del uso de un difusor. La Figura 2B indica una sección transversal horizontal de la película de líquido (a) de granulación a través de B-B, mostrando que la película tiene la forma de un tronco (f) cónico que es hueco. Se calcula que un espesor de película de ejemplo a la altura de impacto es de aproximadamente 90 μm .
- 50 En consecuencia, la boquilla es una boquilla de cono hueco adecuada.
- 55 La boquilla de granulación está proporcionada en la parte inferior del compartimento de granulación y la boquilla está dispuesta con la salida en dirección hacia arriba. El líquido de granulación sale de la boquilla en la dirección hacia arriba.

Preferiblemente, la película cónica se forma dando al material líquido un movimiento rotacional, en particular en el primer canal; con rotación en la sección transversal horizontal o en el plano horizontal, es decir alrededor de un eje vertical.

5 Por ejemplo, se utiliza una boquilla proporcionada con una cámara de rotación (también denominada cámara de remolino). Una cámara de rotación (cámara de remolino) es, por ejemplo, una cámara cilíndrica situada antes de la salida del líquido de granulación que tiene aberturas de entrada tangenciales, por ejemplo, proporcionadas como hendiduras en la pared cilíndrica de la cámara para el líquido de granulación; la cámara está conectada en la parte superior, en particular conectada directamente, con la salida del líquido de granulación. El canal de salida tiene típicamente un diámetro más pequeño que la cámara de rotación. En esta
10 disposición, el líquido se presiona bajo presión hidrostática a través de uno o más canales que conducen tangencialmente a la cámara de rotación. El material, es decir, el líquido de granulación se mueve en forma de una película de líquido a lo largo de la pared del canal de salida (primer canal) y tiene en este, es decir en el canal de salida, un componente de velocidad horizontal, resultante de la rotación, y un componente de velocidad vertical que depende del rendimiento. Por lo tanto, el proceso implica preferiblemente suministrar el
15 líquido de granulación como una película rotativa a través del primer canal, con rotación en la sección transversal horizontal.

Se muestran y describen cámaras de rotación adecuadas de ejemplo en los documentos EP 0141437A y EP 0141436A.

20 Las boquillas de cono hueco con una cámara de remolino también se conocen como boquillas de cono hueco de flujo tangencial.

En una realización adicional, la boquilla es una boquilla de cono hueco axial. Tales boquillas comprenden típicamente un inserto de remolino con ranuras en espiral para provocar el torbellino del líquido.

En general, el material líquido se suministra preferiblemente bajo una presión hidrostática de al menos 3 bares absolutos o al menos 4 bares absolutos, por ejemplo, hasta 7 bares absolutos, o hasta 5 bares absolutos.

25 Preferiblemente, se utiliza una velocidad de líquido de al menos 15 m/s para el líquido de granulación, más preferiblemente de al menos 17 m/s, y por ejemplo hasta 50 m/s o hasta 25 m/s. La velocidad de líquido, tal como se utiliza en el presente documento, incluye típicamente el componente rotacional.

El ángulo de vértice del tronco cónico de la película está, por ejemplo, en el rango de 50-160°, preferiblemente 70-110°, en particular 80-100°. El ángulo θ de vértice se ilustra esquemáticamente en la Figura 2.

30 La película tiene preferiblemente un espesor de al menos 300 μm , o al menos 400 μm , más preferiblemente al menos 450 μm a la salida del primer canal, y el espesor es, por ejemplo, menor que 600 μm . De manera adecuada, la boquilla de granulación es del tipo que proporciona una película con un espesor de al menos 400 μm , por ejemplo, en el rango de 400 μm a 600 μm . El espesor de la película a la altura del impacto está, por ejemplo, en el rango de 80 - 120 μm .

35 Preferiblemente, el diámetro del primer canal en la salida es de al menos 3.0 mm o al menos 4.0 mm. Un diámetro relativamente grande contribuye a un gran rendimiento.

40 El método implica además suministrar gas secundario a través de un canal de gas secundario de la boquilla de granulación en el compartimento de granulación. El canal de gas secundario se proporciona como un anillo alrededor del primer canal y es típicamente concéntrico con el primer canal. El canal de gas secundario está de manera preferible inmediatamente adyacente a la boquilla de granulación, de tal manera que la boquilla comprenda una pared que está en funcionamiento en un lado en contacto con el líquido de granulación y en el otro lado con el gas secundario.

45 El gas secundario se suministra sustancialmente hacia arriba dentro del compartimento de granulación y puede hacerse que converja, por ejemplo, en un ángulo pequeño de, por ejemplo, 5-25°, y preferiblemente 5-15°. En algunas realizaciones, la abertura de salida para el gas secundario se hace converger en un ángulo pequeño de, por ejemplo, 5-25°, y preferiblemente 5-15°.

50 De manera importante, la salida del canal de gas secundario dentro del compartimento de granulación está expuesta directamente al lecho fluidizado en el compartimento de granulación. Por lo tanto, la salida queda en contacto sin obstáculos con el lecho fluidizado. De esta manera, las partículas del lecho fluidizado son arrastradas en el gas secundario de alta velocidad y llevadas a la película cónica del líquido de granulación. En particular, la salida de canal de gas secundario no está protegida del lecho fluidizado.

El gas secundario tiene una velocidad relativamente alta de, por ejemplo, al menos 200 o al menos 250 m/s, por ejemplo, de 200 a 350 m/s a la salida del canal de gas secundario. Esta velocidad se refiere a la velocidad del gas secundario en el canal de gas secundario a la salida de ese canal.

Una alta velocidad puede contribuir al arrastre y suministro efectivo de partículas a la película cónica. La presión de alimentación de gas es, por ejemplo, de 1.1 a 1.5 bares absolutos. El gas secundario es preferiblemente aire. Por ejemplo, se utiliza una corriente de gas con una temperatura igual a, o máxima de 20°C mayor que, la temperatura del material líquido de granulación.

- 5 El gas secundario entra en contacto con la película cónica a una altura h que está, por ejemplo, en el rango de 5 mm a 15 mm por encima de la salida de la boquilla para la película cónica, más preferiblemente a una altura en el rango de 7.0 mm a 12 mm. Una mayor altura puede contribuir a una mayor área de superficie lateral de la película cónica, proporcionando así una granulación más eficaz. Esta altura h puede denominarse altura de impacto.
- 10 El flujo de gas secundario no está confinado y en general fluye típicamente hacia arriba. El flujo de gas secundario, por ejemplo, fluye como un anillo (aro) que converge hacia arriba.

La corriente de gas secundario es guiada, por ejemplo, por un hombro cónico o inclinado de la boquilla de líquido de granulación, como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2. El hombro de la boquilla de líquido de granulación es convergente en la dirección hacia arriba para proporcionar una superficie cónica (tronco cónico) con el radio más pequeño en la parte superior. El hombro de la boquilla de líquido de granulación tiene, por ejemplo, un ángulo incluido con la dirección vertical de 10° - 40°, en particular de 20° - 30°. El extremo inferior del hombro de la boquilla está de manera preferible directamente adyacente al canal de gas secundario, por ejemplo, con menos de 1 mm de espacio vertical y menos de 1 mm de espacio horizontal entre el extremo inferior del hombro de la boquilla y el canal de gas secundario. Por lo tanto, el gas secundario que sale del canal anular de gas secundario es guiado directamente por el hombro.

En realizaciones con un hombro cónico o inclinado de la boquilla de líquido de granulación la cual converge en la dirección hacia arriba, la altura (h) de impacto del gas secundario con la película de líquido de granulación se puede tomar como la altura de la intersección geométrica del tronco cónico del líquido de granulación (que diverge en la dirección hacia arriba) y el tronco cónico definido por el saliente del hombro en la dirección hacia arriba. Esto se ilustra esquemáticamente en la Figura 3, con el hombro (7) cónico y el canal (5) de gas secundario, y el saliente (9) del hombro que interseca (10) con la película (f) cónica, definiendo así la altura (h) entre la boquilla (3), en particular la salida del primer canal (4), y el plano (10) de intersección. Todos los demás números de referencia en la Figura 3 son los mismos que en la Figura 2.

Preferiblemente, la relación de masa de la corriente de gas secundario, preferiblemente aire como gas secundario, con el líquido de granulación es al menos 0.40, o al menos 0.45, o al menos 0.50 y/o por ejemplo hasta 1.0 o hasta 0.70, por ejemplo 0.40 - 1.0 o por ejemplo 0.45 - 0.70. La cantidad relativamente alta de gas secundario puede contribuir ventajosamente a una baja formación de polvo y puede permitir el funcionamiento con un alto rendimiento de líquido, en particular en combinación con un gran área de superficie lateral de la película cónica. Una relación de masa demasiado alta, por ejemplo, por encima de 1.0, puede aumentar el riesgo de interrumpir el proceso de granulación. La relación de masa relativamente alta de gas secundario a líquido de granulación puede contribuir ventajosamente a un porcentaje de reciclaje seco suficientemente pequeño, tal como un reciclaje seco de menos del 70% en peso con respecto a partículas de tamaño adecuado. En el presente documento, las partículas de tamaño adecuado son, por ejemplo, partículas que tienen un tamaño de 2 a 4 mm. Sin querer limitarse a ninguna teoría, la combinación de una relación de masa de gas a líquido relativamente alta y una velocidad de gas relativamente alta puede proporcionar el beneficio de también nebulizar la película, obteniendo así un recubrimiento adicional a través de gotitas.

La conversión de un caudal de gas volumétrico medido en una densidad gravimétrica para el gas secundario se puede realizar, utilizando la densidad a presión ambiente (1 atm, 101.325 kPa de presión absoluta) y 20°C, es decir, 1.18 kg/m³ si se utiliza aire como gas secundario (1.188 kg/m³ para aire seco, 1.182 kg/m³ para una humedad relativa del 60%).

Por lo tanto, preferiblemente, para el aire como gas secundario, el flujo de gas secundario es de 0.34 a 0.85 Sm³ de gas secundario por kg de líquido de granulación, con Sm³ indicando el volumen de gas en m³ en condiciones de referencia de 20°C y 101.325 kPa absolutos. Preferiblemente, el flujo de gas secundario es de al menos 0.34 o al menos 0.38 o al menos 0.42 Sm³ de gas secundario por kg de líquido de granulación (relación de masa de al menos 0.40, al menos 0.45, o al menos 0.50 respectivamente), y/o por ejemplo hasta 0.84 o hasta 0.59 Sm³ de gas secundario por kg de líquido de granulación (relación de masa hasta 1.0 o hasta 0.70); por ejemplo, 0.34 a 0.85 Sm³ de gas secundario por kg de líquido de granulación (relación de masa de 0.40 a 1.0 o 0.38 a 0.59 Sm³ de gas secundario por kg de líquido de granulación (relación de masa de 0.45 - 0.70). Se puede convertir un caudal de gas volumétrico medido con temperatura medida al caudal de gas en Sm³ de gas secundario. Las ventajas de esta relación de volumen de gas por kg de líquido son las mismas que las de la relación de masa.

La densidad para un líquido de granulación en una realización en donde el líquido de granulación es una urea fundida la cual comprende, por ejemplo, al menos un 80% en peso de urea, se establece opcionalmente como 1220 kg/m³ si se mide un caudal volumétrico del líquido de granulación. Para la conversión se puede utilizar la

densidad de líquido a una temperatura del líquido de granulación medida en o cerca de la entrada de la boquilla de granulador.

5 En una realización de ejemplo, el proceso implica el reciclaje seco de una parte de las partículas retiradas del granulador. En consecuencia, en una realización de ejemplo, el proceso implica retirar partículas del granulador, fraccionar por tamaño las partículas en partículas de tamaño deseado, partículas de pequeño tamaño, y partículas de gran tamaño, y reciclar las partículas de pequeño tamaño y/o las partículas de gran tamaño trituradas en el granulador como semillas. Preferiblemente, la fracción de partículas recicladas es al menos 5% en peso, o al menos 10% en peso, y/o hasta 70% en peso o hasta 60% en peso con respecto a las partículas de tamaño deseado no recicladas.

10 En la invención, la abertura del canal anular para el gas secundario está expuesta directamente al compartimento de granulación y, por lo tanto, está directamente expuesta al lecho fluidizado de partículas. En consecuencia, al menos algunas partículas del lecho fluidizado en el compartimento de granulación son arrastradas por la corriente de gas secundario antes de que la corriente de gas secundario golpee la película de líquido de granulación. En particular, la abertura del canal de gas secundario de la boquilla no está protegida
15 del lecho fluidizado. El canal de gas secundario se dispone de manera preferible inmediatamente adyacente al canal de líquido de granulación. La boquilla comprende preferiblemente una pieza unitaria que tiene un canal para el líquido de granulación y un hombro cónico y que proporciona la pared interior del canal anular para el gas secundario.

20 Sin querer limitarse a ninguna teoría, las partículas en la parte inferior del lecho fluidizado pueden ser succionadas hacia la corriente de gas secundario de alta velocidad que se mueve hacia arriba y en general radialmente hacia adentro con la corriente de gas hasta que la corriente de gas secundario golpea la película cónica.

25 En una realización preferida, el canal de gas secundario tiene una salida (abertura de salida) hacia el lecho fluidizado a un nivel vertical que es al menos 5 mm o al menos 10 mm inferior que la salida (abertura de salida) del primer canal, preferiblemente esta distancia vertical es de 10 - 20 mm. De esta manera, ventajosamente el gas secundario a alta velocidad puede succionar y arrastrar mejor las partículas del lecho fluidizado antes de que entren en contacto con la película de líquido de granulación. El hombro cónico de la boquilla de líquido de granulación guía el flujo de gas secundario hacia arriba a lo largo de esta distancia vertical. Esta distancia vertical entre las salidas se muestra como flecha (h2) en la Figura 2.

30 Preferiblemente, el gas secundario está en contacto directo con el lecho de partículas fluidizadas cuando se desplaza sobre dicha distancia vertical. Por lo tanto, la distancia vertical proporciona (o contribuye a) la distancia de trayectoria libre del gas secundario.

35 El proceso implica suministrar partículas arrastradas a dicha película dirigiendo la corriente de gas secundario hacia la película, provocando la deposición del líquido de granulación sobre la superficie de las partículas y la solidificación de dicho líquido depositado dando como resultado el crecimiento de las partículas. En particular, la corriente de gas secundario con las partículas arrastradas se dirige a la película. Esto provoca la deposición del líquido de granulación, desde la película, sobre la superficie de las partículas. El proceso implica además la solidificación de dicho líquido depositado, lo que da como resultado el crecimiento de las partículas. El proceso típico implica el contacto de la película con el gas secundario que incluye las partículas arrastradas.
40 Este contacto provoca la deposición del líquido de granulación sobre la superficie de las partículas. El proceso implica además la solidificación de dicho líquido depositado, lo que da como resultado el crecimiento de las partículas.

El ángulo de contacto entre la película de líquido cónica y la corriente de gas secundario está preferiblemente en el rango de 40° - 80°, más preferiblemente 60° - 80°.

45 Mediante la potente corriente ascendente del gas secundario alrededor de la boquilla, se crea una zona en el lecho fluidizado por encima de la boquilla. En esta zona se puede producir la solidificación del líquido depositado. Las partículas en la parte superior de esta zona están de manera típica suficientemente secas, es decir, el líquido de granulación aplicado está completamente o casi completamente solidificado. Por lo tanto, se evita la aglomeración de las partículas. La relación relativamente alta de gas secundario a líquido de granulación puede contribuir a un tamaño suficiente de esta zona para la solidificación.
50

En funcionamiento, cada boquilla tiene su propia zona para el secado de las partículas situadas por encima de ella.

De manera adecuada, el líquido de granulación y dicho gas secundario se utilizan con la relación, denominada

relación de presión dinámica en el Ejemplo 1, $\frac{\rho_{liq} V_{liq}^2}{\rho_{gas} V_{gas}^2}$ en el rango de 1.5 a 10, por ejemplo 3 a 8,

ES 3 014 969 T3

en donde ρ es la densidad en kg/m^3 y V es la velocidad de salida lineal en m/s . La densidad de la urea fundida se establece opcionalmente como 1220 kg/m^3 .

La película tiene preferiblemente un número Weber de al menos 1000 y/o hasta 5000, más preferiblemente de 2600 - 5000. En el presente documento el número We Weber es:

$$5 \quad We = \rho U^2 \delta \sigma^{-1}$$

en donde ρ es la densidad del líquido en kg/m^3 ; U es la velocidad del líquido en m/s , incluyendo el componente rotacional; σ es la tensión de superficie del líquido en N/m y δ es el espesor de película en m tras la salida del primer canal para el líquido de granulación. La tensión de superficie para la urea fundida se puede tomar como 0.07 N/m . La densidad para la urea fundida se establece opcionalmente en 1220 kg/m^3 .

- 10 Una película de líquido con un número Weber en este rango proporciona ventajosamente una turbulencia interna suficiente de la película para un buen proceso de granulación.

El proceso de granulación en lecho fluidizado se lleva a cabo ventajosamente con un rendimiento de al menos 200 kg/h de líquido de granulación por boquilla, o al menos 300 kg/h , o al menos 400 kg/h , o al menos 450 kg/h , por ejemplo, para urea fundida. El proceso de granulación en lecho fluidizado se lleva a cabo ventajosamente con al menos $0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ de líquido de granulación por boquilla, o al menos $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$, o al menos $0.40 \text{ m}^3/\text{hr}$, por ejemplo, para urea fundida.

Por ejemplo, se puede utilizar un mayor rendimiento por boquilla para reducir el número de boquillas en el granulador, por ejemplo, aumentando la distancia entre los granuladores, y/o para aumentar la capacidad del granulador.

- 20 Preferiblemente, la película cónica de líquido de granulación tiene un área de superficie lateral del tronco cónico de al menos 200 mm^2 , más preferiblemente al menos 300 mm^2 o al menos 400 mm^2 o incluso al menos 450 mm^2 , especialmente con un rendimiento de al menos 300 kg/h , o al menos 400 kg/h , o al menos 450 kg/h de líquido de granulación, por boquilla y/o con al menos $0.15 \text{ m}^3/\text{h}$ de líquido de granulación por boquilla, o al menos $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$, o al menos $0.40 \text{ m}^3/\text{hr}$; por ejemplo, con urea fundida como líquido de granulación. En el presente documento, el tronco cónico tiene un radio r_1 más pequeño en la boquilla y un radio r_2 más grande a una altura h en dicha dirección hacia arriba por encima de la boquilla y el proceso implica poner en contacto la película con la corriente de gas secundario a una altura h (altura h de impacto; como se ilustra esquemáticamente en la Figura 2). En particular, r_1 es igual al radio del primer canal en la salida del líquido de granulación, y el tronco está realizado conceptualmente por el corte horizontal del cono por el plano de la salida de boquilla y el plano de la altura h de impacto. El ángulo θ de vértice del cono está definido por el ángulo de vértice de la película cónica de líquido de granulación. En consecuencia, el tronco cónico se define por el diámetro de la abertura de salida del primer canal, el ángulo de la película cónica, y la altura h de impacto, con el tronco divergiendo en la dirección desde la abertura de salida de la boquilla hasta la altura de impacto.

- 35 En una realización preferida, la película cónica tiene un área de superficie lateral del tronco cónico de al menos 400 mm^2 con un rendimiento de al menos 400 kg/h de líquido de granulación por boquilla y/o con al menos $0.30 \text{ m}^3/\text{h}$ de líquido de granulación por boquilla, en donde el líquido de granulación es, por ejemplo, urea fundida.

- 40 El área lateral relativamente grande, en particular en combinación con la relación relativamente alta de gas secundario a líquido de granulación, garantiza que haya suficiente área de la película para que las partículas sean humedecidas (o cubiertas) por la película. Un área lateral demasiado pequeña puede provocar un crecimiento de partículas obstaculizado, en particular con un rendimiento de líquido de granulación relativamente alto, tal como para un espesor de película mayor en la salida de boquilla.

Se puede obtener una mayor área de superficie lateral de la película cónica mediante uno o más de un diámetro de salida mayor del primer canal, un ángulo θ de vértice más amplio del cono, y una altura de impacto mayor; y en particular mediante la combinación de estas propiedades.

- 45 También se proporciona una boquilla de granulación que se utiliza en el proceso de la invención.

- 50 Con referencia a la boquilla utilizada en el granulador de acuerdo con la invención y vista en sección transversal vertical en la Figura 4, la boquilla (3) de granulación comprende el primer canal (4) para el líquido de granulación y el canal (5) de gas secundario, en donde el canal de gas secundario está proporcionado como un anillo alrededor del primer canal. La salida del primer canal comprende un difusor (11) que está inclinado y curvado hacia el exterior, en particular en una sección transversal vertical. La curvatura del difusor se puede utilizar para aumentar el ángulo θ de vértice de la película cónica mediante el efecto Coanda. Esto a su vez aumenta el área de superficie lateral de la película cónica, lo cual garantiza que haya suficiente área de la película para que las partículas sean humedecidas por la película como se ha mencionado.

En particular, el difusor proporciona o comprende una superficie convexa, es decir, una superficie del canal que es convexa en la sección transversal vertical, a lo largo de la trayectoria del líquido de granulación (expulsado) y cuya superficie está expuesta al líquido de granulación en funcionamiento. Típicamente, al menos una parte del difusor está en contacto con la película de líquido de granulación en funcionamiento, es decir, la parte del difusor que proporciona esta superficie. Por lo tanto, el difusor es un difusor curvado y cóncavo para la película de líquido de granulación. La sección transversal vertical mencionada es una sección transversal a través de la boquilla y más en particular a través del eje central del primer canal. El primer canal es típicamente circular en vista superior o en una sección transversal horizontal a través de él y el difusor es en general curvado y cóncavo en vista superior o en sección transversal horizontal. De manera alternativa o adicionalmente, la dirección del primer canal define una dirección de longitud (vertical en la Figura 4 y en funcionamiento) y el plano radial es perpendicular a la dirección de longitud, es decir, horizontal en la Figura 4 y en funcionamiento.

En una realización (no se muestra), la salida del primer canal comprende, en la dirección del flujo de líquido, es decir en la dirección hacia arriba, una parte recta vertical, una parte convexa curvada como un difusor, y una parte recta inclinada hacia el exterior; en particular en donde el difusor es convexo en sección transversal vertical.

El radio de curvatura de la parte de difusor es, por ejemplo, del 50 al 150% del radio del primer canal. Para las superficies, el radio de curvatura es el radio de un círculo que mejor se ajusta a una sección normal o combinaciones de estas. La superficie en el extremo superior del difusor (extremo posterior para el flujo de líquido) está, por ejemplo, inclinada de 20° a 60° con respecto a la vertical. La Figura 4 muestra una modificación de la boquilla de la Figura 1B añadiendo el difusor (11).

Preferiblemente, la boquilla tiene un hombro inclinado (o cónico) desde una salida del canal (5) de gas secundario hacia arriba hacia el primer canal. Más preferiblemente, el hombro inclinado es convergente en la dirección hacia arriba. El hombro inclinado se puede configurar para guiar el gas desde el canal (5) de gas secundario hacia la película cónica de líquido de granulación del primer canal.

Preferiblemente, en el funcionamiento de la boquilla con el difusor, una película cónica hueca del líquido de granulación es expulsada desde el primer canal dando al material líquido un movimiento rotacional (rotacional en el plano horizontal).

Por ejemplo, la boquilla comprende una cámara de rotación (también denominada cámara de remolino) anterior para el líquido de granulación del primer canal; con todas las preferencias y detalles para la cámara de remolino como se discutió antes en el presente documento. Por ejemplo, la boquilla con el difusor es una boquilla de cono hueco de flujo tangencial. En una realización adicional, la boquilla con el difusor es una boquilla de cono hueco axial. Por ejemplo, la boquilla comprende un inserto de remolino con ranuras en espiral para provocar un torbellino del líquido de granulación.

La Figura 5 muestra una vista superior (A-A en la Figura 4) de la boquilla. Las partes grises indican partes de metal en la sección B-B transversal horizontal en la Figura 4, el blanco indica las aberturas anulares en dicha sección transversal. El difusor (11) está rayado. El primer canal (4) es cóncavo en la sección B-B transversal horizontal y el difusor (11) es igualmente cóncavo en una sección transversal horizontal a través de este.

La Figura 6 muestra esquemáticamente un funcionamiento conceptual de una boquilla no de acuerdo con la invención, en particular con la película cónica hueca. Los números de referencia son los mismos que en la Figura 2. Sin querer limitarse a ninguna teoría, el gas (B) secundario fluye sobre el hombro (7) inclinado desde el canal (5) de gas secundario y arrastra las partículas (20). En otras palabras, las partículas de la parte inferior del lecho fluidizado son arrastradas en la corriente de gas secundario la cual tiene una alta velocidad. La corriente de gas secundario con las partículas arrastradas golpea la película (F) cónica hueca del líquido de granulación expulsado del canal (4) y las partículas arrastradas quedan como resultado cubiertas (es decir, humedecidas) por una capa de líquido (21) de granulación la cual posteriormente se solidifica en la continuación de la corriente de gas. Se señala que es posible que la película ya no sea una película perfecta en la zona de impacto y que puede estar ya deformada cuando se encuentra con el gas secundario. En la zona de impacto, la película puede romperse hasta cierto punto por la acción del gas secundario. La flecha (FD) indica la dirección del flujo de líquido en la sección transversal vertical. Una referencia de antecedentes para la granulación utilizando una película cónica expulsada de líquido de granulación es el documento EP 0141436.

La invención también se refiere a un granulador de lecho fluidizado que comprende un compartimento de granulación. El compartimento de granulación comprende al menos una boquilla de granulación como se describe en el presente documento, es decir, con el difusor curvado como se ha discutido. El compartimento también comprende una placa de fluidización perforada en una parte inferior del compartimento de granulación, por ejemplo, como la parte inferior del compartimento. La boquilla de granulación, con el difusor, se extiende desde una parte inferior del granulador hacia arriba (es decir, la boquilla se extiende verticalmente hacia arriba) a través de la placa de fluidización con la salida del primer canal sobresaliendo hacia arriba dentro del compartimento de granulación. Preferiblemente, el granulador comprende dos o más compartimentos de granulación en serie y cada compartimento de granulación comprende preferiblemente al menos 10 de tales

boquillas de granulación. Preferiblemente, los compartimentos de granulación están separados entre sí por placas de división verticales como se ha discutido, con conductos para gránulos en la parte inferior de las placas de división verticales; y preferiblemente con una entrada de partículas semilla en un lado y preferiblemente una salida de partículas en un lado opuesto del granulador como se ha discutido, en donde estos lados son opuestos en el plano horizontal y definiendo con la salida de partículas el lado del granulador donde se ubica el compartimento de granulador posterior de la serie de compartimentos de granulador. Preferiblemente, en funcionamiento, se mantiene un gradiente del tamaño de partícula promedio a lo largo del compartimento de granulación en serie, con partículas más grandes en el compartimento de granulación posterior que está más cerca de la salida de partículas.

El granulador tiene típicamente una salida en la parte superior o más alta para gases de escape, una entrada para partículas semilla y una salida para gránulos formados, y un colector de suministro para líquido de granulación desde una entrada para líquido de granulación del granulador a una pluralidad de primeros canales de una pluralidad de boquillas. El granulador comprende además típicamente un compartimento de aire de fluidización para recibir gas de fluidización (aire) dispuesto por debajo del compartimento de granulación, con la placa de fluidización entre el compartimento inferior y el compartimento de granulación; de tal manera que en funcionamiento el gas de fluidización fluya a través de las perforaciones de la placa de fluidización desde el compartimento inferior hacia el compartimento de granulación, en particular fluya en la dirección hacia arriba. La dirección vertical también puede denominarse dirección longitudinal, definida por la dirección del primer canal; y el plano horizontal puede denominarse entonces plano radial perpendicular a la dirección longitudinal. En funcionamiento o instalada, la boquilla se extiende verticalmente hacia arriba con respecto a la gravedad, garantizando la correcta formación de un lecho fluidizado de partículas en funcionamiento.

El procedimiento inventivo se lleva a cabo en este granulador de lecho fluidizado, en donde está presente el difusor curvado.

La invención también se refiere a una planta de urea que comprende una planta de urea fundida y un granulador de lecho fluidizado como se describe. La salida para la urea fundida de la planta de urea fundida está conectada a una entrada para el líquido de granulación del granulador de lecho fluidizado. La planta de urea fundida comprende, por ejemplo, una sección de síntesis para formar urea, típicamente una sección de recuperación, y una sección de evaporación que tiene una salida para la urea fundida. La planta de urea es, por ejemplo, del tipo extracción. La sección de síntesis es una sección de síntesis de alta presión y comprende un reactor y, para plantas de urea del tipo extracción, también, un extractor y un condensador, en donde el reactor y el condensador se combinan opcionalmente en un único recipiente. La sección de síntesis tiene una entrada para alimentación de NH_3 y alimentación de CO_2 . La sección de recuperación puede comprender uno o más disociadores y comprende típicamente un condensador para condensar el gas procedente del disociador y que tiene una línea de reciclaje para el carbamato desde el condensador hasta la sección de síntesis.

La invención también proporciona un proceso de granulación en lecho fluidizado llevado a cabo con una boquilla como la descrita con un difusor en un granulador de lecho fluidizado que comprende una tal boquilla con un difusor. El proceso comprende proporcionar un lecho fluidizado de partículas en un compartimento de granulación de un granulador de lecho fluidizado. El proceso implica además la formación de una película del líquido de granulación en forma de un tronco cónico hueco, cuyo tronco sobresale hacia el compartimento de granulación, suministrando el líquido de granulación a través de un primer canal de una boquilla de granulación. Por lo tanto, en el proceso, el líquido de granulación se expulsa desde el primer canal, y se forma o proporciona una película del líquido de granulación, cuya película tiene la forma de un tronco cónico hueco.

El proceso implica además suministrar una corriente de gas secundario, preferiblemente aire, a través de un canal de gas secundario de la boquilla de granulación hacia el compartimento de granulación, en donde el canal de gas secundario se proporciona como un anillo alrededor del primer canal. La salida del canal de gas secundario está expuesta directamente al lecho fluidizado en el compartimento de granulación, y las partículas procedentes del lecho fluidizado son arrastradas en dicha corriente de gas secundario. El proceso implica además suministrar (al menos algunas) partículas arrastradas a dicha película dirigiendo la corriente de gas secundario hacia la película. Por lo tanto, la corriente de gas secundario con las partículas arrastradas se dirige hacia la película. Esto provoca la deposición del líquido de granulación sobre la superficie de las partículas y la solidificación de dicho líquido depositado, dando como resultado el crecimiento de las partículas.

El proceso de granulación en lecho fluidizado con la boquilla con un difusor se lleva a cabo ventajosamente con un rendimiento de al menos 300 kg/h de líquido de granulación por boquilla, o al menos 400 kg/h, o al menos 450 kg/h, por ejemplo, para urea fundida. El proceso de granulación en lecho fluidizado se lleva a cabo ventajosamente con al menos 0.30 m³/h de líquido de granulación por boquilla (por boquilla individual), o al menos 0.40 m³/hr, por ejemplo, para urea fundida. Se indica que 0.30 m³/h de líquido de granulación por boquilla es de 83 ml por segundo, suministrado a través de una película con aproximadamente 5 mm de diámetro y aproximadamente 500 μm de espesor en la salida de líquido,

Todas las preferencias para el proceso de granulación de acuerdo con la invención se aplican igualmente para el proceso de granulación en lecho fluidizado llevado a cabo con una boquilla como la descrita con un difusor

5 en un granulador de lecho fluidizado que comprende una tal boquilla con un difusor. El proceso de granulación como se describe en el presente documento, por ejemplo, que tiene la relación especificada de gas secundario a líquido de granulación, se lleva a cabo preferiblemente utilizando una boquilla como se describe con un difusor, y/o en un granulador de lecho fluidizado que comprende una tal boquilla con un difusor; con las mismas preferencias para la boquilla y el granulador de lecho fluidizado. El líquido de granulación es preferiblemente una urea fundida que comprende al menos un 70% en peso o al menos un 90% en peso de urea y preferiblemente menos de un 5% en peso de agua. Todas las preferencias para la construcción de la boquilla discutidas en relación con el proceso de granulación en lecho fluidizado, tales como el hombro cónico o inclinado, se aplican igualmente para la boquilla con el difusor. La relación gas a líquido secundario es opcional pero preferida para el líquido de granulación con el difusor. El difusor es opcional pero preferido para el proceso de granulación con la relación gas a líquido secundario.

10 Al menos los términos "típicamente", "usualmente" y "en particular" indican características que se utilizan de manera frecuente pero que no son obligatorias para todas las realizaciones.

Ejemplos

15 Los aspectos de la invención se ilustran en los siguientes ejemplos, los cuales no limitan la invención ni las reivindicaciones.

Ejemplo 1

20 Se simularon dos boquillas de acuerdo con la invención utilizando CFD. Los ajustes del proceso se muestran en la Tabla 1. La boquilla 2 tenía un diámetro interior mayor del canal de gas secundario que la Boquilla 01 y un diámetro mayor del cabezal frontal de boquilla. La boquilla 2 tiene un difusor curvado como se describe en la presente divulgación y como se muestra esquemáticamente en la Figura 4. Se utilizó aire como gas secundario.

Tabla 1

		<u>Boquilla 1</u>	<u>Boquilla 2</u>
Urea fundida	kg/h	200 / 240	500
Número de Weber		1285 (200 kg/h) 1853 (240 kg/h)	3203
Presión de alimentación de líquido	barra (abs)	3.15	4.3
Velocidad del líquido	m/s	12.25	19.3
Salida de espesor de película	µm	491	485
Altura de impacto de espesor de película	µm	90	90
Diámetro de salida de líquido	mm	2.9	4.8
Presión de alimentación de gas secundario	barra (abs)	1.39	1.28
Velocidad del gas secundario	m/s	300	270
Flujo de gas secundario	kg/h	105	262
Relación de masas de gas secundario/líquido		0.525	0.525
Distancia vertical entre la salida de líquido y la salida de gas secundario	cm	1.3	1.239
Ángulo de la película (sin gas secundario)	°	64.5	96°
Ángulo de la película (con gas secundario)		58.2	90
Boquilla de líquido inclinada	°	22.5	22.5
Altura de impacto desde la salida de líquido de granulación	mm	8.3	8.3
Relación de presión dinámica		1.79	5.99

Ejemplo 2

5 Las boquillas 1 y 2 del Ejemplo 1 se probaron en una planta a escala piloto para granulación de urea. Los resultados se muestran más adelante en la Tabla 2. El reciclaje seco consiste en partículas finas (partículas de pequeño tamaño) y partículas de gran tamaño trituradas. El reciclaje seco se da como porcentaje del producto de tamaño adecuado. El reciclaje seco se reintroduce como partículas en el granulador a través de una entrada separada, no a través de las boquillas. Para la Boquilla 1, con una carga de 200 kg/h, la corriente en la salida de partículas del granulador consistió en 200 kg/h de gránulos de tamaño adecuado y 104 kg/h de reciclaje seco. Para la Boquilla 1, el reciclaje seco fue de 99% de finos y 1% de gruesos. La mezcla de partículas a la salida de partículas del granulador se somete a una clasificación por tamaño mediante tamizado con dos tamices, y las partículas de gran tamaño se trituran. El granulador tiene una salida de gas; las emisiones gaseosas contienen algo de polvo de urea, de tal manera que la producción sea inferior que la carga fundida.

10 El reciclaje seco para una planta comercial está típicamente en el rango del 30 al 60%.

15 Para la Boquilla 2, el nivel de polvo, incluido el polvo procedente de la trituradora de partículas de gran tamaño, fue del 3.8% a 500 kg/h, dentro del rango de 2.8 - 4% observado para plantas de granulación comerciales. Se utilizó aire como gas secundario.

Tabla 2

	Boquilla 1		Boquilla 2		
	200	220	400	450	500
Carga fundida (kg/h)	200	220	400	450	500
Producción (kg/h)	195	214	361	423	433
Porcentaje en peso de reciclaje seco	52	64	32	50	69

REIVINDICACIONES

1. Un granulador (1) de lecho fluidizado que comprende un compartimento (2) de granulación que comprende una placa (6) de fluidización perforada en una parte inferior del compartimento y al menos una boquilla, en donde la boquilla comprende un primer canal (4) para líquido de granulación y un canal (5) de gas secundario, en donde el canal de gas secundario está proporcionado como un anillo alrededor del primer canal, en donde la salida del primer canal comprende un difusor (11) que está inclinado y curvado hacia el exterior para proporcionar una superficie convexa en una sección transversal vertical para el líquido de granulación que sale del primer canal, y en donde la boquilla se extiende a través de la placa de fluidización con la salida del primer canal sobresaliendo hacia arriba dentro del compartimento de granulación.
2. Un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la boquilla tiene un hombro inclinado desde una salida del canal (5) de gas secundario hacia arriba hacia el primer canal.
3. Un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde el granulador comprende una pluralidad de compartimentos de granulación en serie, en donde el gas de fluidización se introduce en cada uno de los compartimentos (2) de granulación a través de perforaciones en una placa (6) de fluidización perforada proporcionada en la parte inferior de los compartimentos (2) de granulación, en la cual cada uno de la pluralidad de compartimentos (2) de granulación contiene una pluralidad de las boquillas (3) que se hacen funcionar con la relación especificada de gas secundario a líquido de granulación y en donde los compartimentos de granulación están separados entre sí por placas (15) de división verticales las cuales proporcionan conductos para partículas en una parte inferior desde un compartimento de granulación a un compartimento de granulación adyacente.
4. Un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el radio de curvatura de la parte de difusor es del 50-150% del radio del primer canal.
5. Un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la superficie en el extremo superior del difusor está inclinada de 20° a 60° con respecto a la vertical.
6. El granulador de lecho fluidizado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el diámetro del primer canal en la salida es de al menos 3.0 mm.
7. Una planta de urea que comprende una planta de urea fundida y un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
8. Una planta de urea de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la planta de urea fundida comprende una sección de síntesis de alta presión para formar urea, una sección de recuperación, y una sección de evaporación que tiene una salida para la urea fundida,
- en donde la sección de síntesis de alta presión comprende un reactor y tiene una entrada para alimentación de NH_3 y alimentación de CO_2 ,
- en donde la sección de recuperación comprende un disociador y un condensador para condensar el gas procedente del disociador y tiene una línea de reciclaje para el carbamato desde el condensador hasta la sección de síntesis, y
- en donde una salida para la urea fundida de la planta de urea fundida está conectada a una entrada para el líquido de granulación del granulador de lecho fluidizado.
9. Un proceso de granulación en lecho fluidizado llevado a cabo en un granulador de lecho fluidizado de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-6, comprendiendo el proceso:
- a. proporcionar un lecho fluidizado de partículas en el compartimento de granulación del granulador de lecho fluidizado;
- b. formar una película del líquido de granulación en forma de un tronco cónico hueco que sobresale hacia el compartimento de granulación suministrando el líquido de granulación a través del primer canal de la boquilla de granulación; teniendo la boquilla de granulación el difusor (11) que está inclinado y curvado hacia el exterior para proporcionar una superficie convexa en una sección transversal vertical para el líquido de granulación que sale del primer canal;
- c. suministrar una corriente de gas secundario a través del canal de gas secundario de la boquilla de granulación al compartimento de granulación, en donde el canal de gas secundario está proporcionado como un anillo alrededor del primer canal, en donde la salida del canal de gas secundario está expuesta directamente al lecho fluidizado en el compartimento de granulación, en donde las partículas procedentes del lecho fluidizado son arrastradas en dicha corriente de gas secundario;

d. suministrar partículas arrastradas a dicha película dirigiendo la corriente de gas secundario que comprende partículas arrastradas hacia la película, provocando la deposición del líquido de granulación sobre la superficie de las partículas y la solidificación de dicho líquido depositado dando como resultado el crecimiento de las partículas.

- 5 10. El proceso de la reivindicación 9, en donde el líquido de granulación es una urea fundida que comprende al menos un 70% en peso de urea.
11. El proceso de la reivindicación 10, en donde el líquido de granulación es una urea fundida que comprende al menos un 90% en peso de urea y menos de un 5% en peso de agua.
- 10 12. El proceso de la reivindicación 9, llevado a cabo con urea fundida como líquido de granulación y con un rendimiento de al menos 300 kg/h de urea fundida por boquilla.
13. El proceso de la reivindicación 9, en donde las partículas de producto son esféricas y tienen un diámetro de al menos 2.0 mm.
14. El procedimiento de la reivindicación 9, en donde el lecho fluidizado de partículas tiene una altura de 50 a 150 cm.
- 15 15. El proceso de la reivindicación 9, en donde la película cónica se forma dando al líquido de granulación un movimiento rotacional en el primer canal, con la rotación del líquido de granulación alrededor de un eje vertical.

