

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 803 948**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/50** (2006.01)

**B01D 53/68** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.02.2018 E 18157211 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.05.2020 EP 3363524**

54 Título: **Procedimiento para la separación de gases nocivos ácidos de un gas de escape que presenta una baja temperatura del gas de escape**

30 Prioridad:

**17.02.2017 DE 102017103321**

**22.05.2017 DE 102017111079**

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

**01.02.2021**

73 Titular/es:

**STEINMÜLLER ENGINEERING GMBH (100.0%)  
Fabrikstrasse 5  
51643 Gummersbach, DE**

72 Inventor/es:

**BRAND, TOBIAS;  
MÖBS, MARIA HELENA y  
GUTPERL, WINFRIED**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 803 948 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

Procedimiento para la separación de gases nocivos ácidos de un gas de escape que presenta una baja temperatura del gas de escape

5 La invención se refiere a un procedimiento para la separación de gases nocivos ácidos a partir de un gas de escape que presenta una baja temperatura del gas de escape, en el cual el gas de escape se lleva a través de un canal de gas de escape a un tramo de reacción y al gas de escape, en el canal de gas de escape o en el tramo de reacción, se le añade carbonato de sodio, el cual se ha creado previamente por la activación y escisión de un producto precursor del carbonato de sodio, y el cual como adsorbente reacciona con los gases nocivos en el tramo de reacción, de manera que el gas de escape después de haber pasado por un filtro a continuación del tramo de reacción se presenta como gas puro, derivándose una parte del gas puro, como flujo parcial de gas puro, a una conducción de retorno que conduce de nuevo al canal de gas de escape y/o al tramo de reacción, dosificándose el producto precursor del carbonato de sodio en el flujo parcial de gas puro en un punto de dosificación a la conducción de retorno y allí se escinde, calentándose el flujo parcial de gas puro aguas arriba del punto de dosificación a una temperatura de activación, de modo que el producto precursor del carbonato de sodio se dosifica en el punto de dosificación a un flujo parcial de gas puro caliente, y en donde el producto precursor se escinde en al menos 85% en la conducción de retorno, antes de ser llevado de nuevo con el flujo parcial de gas puro al tramo de reacción.

Un proceso de este tipo se aplica preferentemente en el caso de gases de escape que proceden de diversos procesos industriales o generadores de energía o de plantas de combustión de basura.

20 En el caso del producto precursor se trata mayoritariamente de bicarbonato de sodio (nombre químico: hidrógenocarbonato de sodio, fórmula empírica:  $\text{NaHCO}_3$ ), pero también se emplean minerales de origen natural que contienen dihidrógenocarbonato de sodio, tal como la Trona ( $\text{Na}_3(\text{HCO}_3)(\text{CO}_3) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ). En lo que sigue, se utiliza bicarbonato de sodio, por ejemplo para todos los adsorbentes que contienen bicarbonato de sodio.

De gas puro se habla en general cuando las concentraciones de emisión corresponden a las requeridas legalmente o a las que se sitúan por debajo de ellas.

25 El bicarbonato de sodio, junto con el hidróxido de calcio, es un adsorbente frecuentemente utilizado en la purificación de gases de escape para la separación de gases nocivos ácidos. Gases nocivos ácidos son por ejemplo HCl,  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ . Especialmente cuando los gases de escape proceden de la combustión de combustibles sustituibles tales como basura, el bicarbonato de sodio es un adsorbente adecuado para reducir las sustancias nocivas del gas de escape de forma segura y duradera hasta los valores límite de emisión anteriormente citados. Los gases de escape procedentes de plantas de combustión de basura se caracterizan junto a la carga de metales pesados, especialmente mercurio y eventualmente también de dioxinas y furanos, pero especialmente por un elevado contenido de HCl.

35 Este elevado contenido de HCl en el gas de escape dificulta la utilización de un hidróxido de calcio estándar, el cual con valores estequiométricos aceptables en los rendimientos de separación exigidos es particularmente reactivo en un intervalo de temperaturas de 65-110 °C. Por motivo del equilibrio del cloruro de calcio no es posible el rápido descenso de temperatura (Quenchen) correspondiente a estas temperaturas, puesto que aún se formaría cloruro de calcio altamente higroscópico ( $\text{CaCl}_2$ ).

40 Una alternativa interesante para el empleo de hidróxido de calcio estándar es el empleo de bicarbonato de sodio, el cual sin embargo solo reacciona lo suficientemente rápido a partir de una temperatura de aproximadamente 130-150 °C. El cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) que se forma en este caso es estable y no es higroscópico. Sin embargo, el bicarbonato de sodio es igualmente adecuado para la separación de óxidos de azufre de los gases de escape, los cuales forman sulfato de sodio estable a partir de los reactivos. Esto es una alternativa interesante, especialmente en el caso de plantas más pequeñas con relativamente menores cantidades de gases de escape, por ejemplo en combustiones de carbón más pequeñas.

45 A partir de una temperatura de aproximadamente 60 °C comienza la descomposición térmica del bicarbonato de sodio con la formación "in situ" de carbonato de calcio bajo la separación de agua y dióxido de carbono. El carbonato de sodio formado posee una superficie altamente activa. Sin embargo, este proceso transcurre muy lentamente por motivo de la energía de activación que se ha de aportar. Esto conduce a largos tiempos de permanencia y a los correspondientes largos tramos de reacción.

50 Solo a partir de una temperatura por encima de aproximadamente 130-150 °C esta descomposición transcurre con una velocidad aceptable. Por ello, solo bajo difíciles condiciones límite, por ejemplo con tiempos de permanencia no relativamente largos, que se pueden alcanzar por ejemplo por una correspondientemente larga conducción por el canal, es posible utilizar bicarbonato de sodio como adsorbente a temperaturas más bajas.

55 Cuando las temperaturas del gas de escape no son lo suficientemente elevadas para poder utilizar el bicarbonato de sodio con un adecuado tiempo de permanencia de aproximadamente 2 s y una estequiometría aceptable, hay diversas posibilidades para llevar a cabo una activación previa/separación del bicarbonato de sodio.

El documento de EE.UU 2011/0014106 describe un procedimiento para la purificación de gas de escape caliente, en el cual un flujo parcial del gas de escape se utiliza para la activación del producto previo del carbonato de sodio.

El documento de EE.UU 2012/0244054 describe un proceso en dos etapas para la purificación de gas de escape que contiene gases nocivos ácidos. Aquí, un flujo parcial, el cual supone hasta 50% del flujo caliente de gas de escape, se deriva después de un intercambiador de calor pero todavía antes de la entrada en el tramo de reacción a un canal lateral, en el cual después se introduce por inyección el bicarbonato de sodio y que en parte se descompone casi totalmente, siendo la temperatura en el flujo parcial derivado al menos 50 °C más elevada que en el flujo principal de gas de escape. A continuación, este flujo parcial, que contiene el adsorbente activado, se reúne nuevamente con el flujo principal.

La desventaja de este método es que se reduce el rendimiento de la caldera, puesto que la energía que se necesita para la escisión del bicarbonato de sodio se toma de la energía creada en la caldera. Además, una carga muy elevada de polvo en el gas de escape puede tener influencias no deseadas tales como prolongación del tiempo de permanencia y aumento de la estequiometría, así como taponamiento por partículas de ceniza.

El documento de IT 1306648 describe un método para la activación de bicarbonato de sodio en un reactor de descomposición, el cual previamente fue molido a 10-50 µm. La energía necesaria para el tratamiento térmico del bicarbonato de sodio se produce por la combustión de gas metano u otros combustibles que proporcionan agua y dióxido de carbono como gases de combustión, eléctricamente o por vapor. El carbonato de sodio activado, altamente reactivo se introduce después a través de un mezclador en el gas de escape.

El documento de EE.UU 4,555,391 describe la introducción seca por inyección de bicarbonato de sodio o de los minerales correspondientes que lo contienen tales como la Trona, para lo cual para el mejor aprovechamiento del adsorbente, este se hace recircular varias veces con los productos de reacción que ya se han formado, aumentando así el tiempo de permanencia. El material recirculado se enfría a temperaturas < 90 °C antes de su incorporación por inyección en el flujo de gas de escape. Para ello, hay que prever o bien un intercambiador de calor o que la refrigeración tenga lugar in situ sobre la torta de filtración mediante la introducción de aire frío, para lo que en cualquier caso hay que utilizar energía.

En el documento EP 1 716 910 se describe la activación del material sólido que se extrae del bunker de filtración de un filtro de bolsa y que se introduce en un reactor, en el cual al mismo tiempo se introduce un flujo parcial de gas puro caliente cargado de humedad y en el cual tiene lugar la activación, antes de que el material sólido se lleve de nuevo total o parcialmente al canal de gas de escape. El objetivo es evitar las desventajas de los procedimientos que representan el estado de la técnica y especialmente las adherencias que se pueden producir sobre todo en el caso de productos de reacción con gases de escape con gran contenido de cloruros. Para la activación de adsorbentes que contienen bicarbonato de sodio, la elevada humedad que se alcanza con la introducción de agua/vapor es sin embargo contraproducente. Además, desde el punto de vista energético el proceso es desfavorable puesto que toda la parte inerte del material que se recircula se ha de calentar a la vez. Además, el material recirculado a partir del bunker de filtración se utiliza de forma no específica y posee por ello una baja concentración más bien desfavorable de adsorbente aun no utilizado / a activar, de manera que el flujo másico del material recirculado resulta muy elevado.

La invención se basa en el problema de obtener, para la separación casi estequiométrica de gases nocivos ácidos a partir de gases de escape hasta valores mínimos de emisión, un nuevo método sencillo, de escaso desgaste, eficiente en energía y barato para la escisión de bicarbonato de sodio o de otros precursores del carbonato de sodio, para poder utilizar el adsorbente especialmente también a temperaturas más bajas del gas de escape < 150 °C o incluso < 140 °C con las ventajas que se exponen a continuación:

- Utilización sencilla sin equipamiento especial
- Eficiente en energía por aprovechamiento del calor existente del gas de escape
- Eficiente en energía por calentamiento del adsorbente puro sin partes del producto inerte que ya ha reaccionado
- Dimensionado pequeño de la conducción de retorno
- Sin pérdida de presión adicional digna de mención por la recirculación de material sólido, puesto que la cantidad recirculada de material sólido es pequeña (carga < 80 g/m<sup>3</sup> de gas de escape, carga máxima < 100 g/m<sup>3</sup> de gas de escape)
- Conducción por el canal y longitud del canal optimizados a causa de breves tiempos de permanencia
- Utilización optimizada del adsorbente aún no utilizado por reutilización parcial al mismo nivel de temperatura y sin otro tratamiento
- Regulaciones sencillas para el incremento de la eficiencia

## ES 2 803 948 T3

Para ello, la invención prevé un procedimiento con las características de la parte específica de la reivindicación 1, en donde especialmente

el procedimiento se utiliza a una temperatura del gas de escape inferior a 150 °C,

5 el tiempo de permanencia del adsorbente en el tramo de reacción se elige de tal modo que al abandonar este el tramo de reacción se ha transformado al menos el 85% en producto de reacción y ya no se presenta en forma de hidrógenocarbonato,

la parte de gas puro que se deriva como flujo parcial de gas puro a la conducción de retorno es inferior a 8% del flujo de gas puro, y

10 el flujo parcial de gas puro en el canal de reciclado se calienta de tal modo que su temperatura de retorno, es decir la temperatura que presenta en el tramo de reacción antes del retorno, es 150-180 °C.

Puesto que solo una pequeña parte del gas puro, a saber menos del 8%, preferentemente menos del 5%, se deriva como flujo parcial de gas puro a la conducción de retorno, la conducción de retorno se puede dimensionar pequeña. El bicarbonato de sodio se dosifica en un punto de dosificación en el flujo parcial de gas puro calentado previamente en el interior de la conducción de retorno.

15 Antes de la inyección del bicarbonato de sodio tiene lugar un calentamiento del flujo parcial de gas puro en la conducción de retorno aguas arriba del lugar de dosificación a una temperatura de 180 °C a 300 °C, preferentemente a una temperatura de 180 °C a 260 °C, regulada a través de la temperatura de valor nominal antes del retorno del flujo parcial de gas puro cargado con el adsorbente en el canal del gas de escape / tramo de reacción de 150-180 °C. Por lo tanto, el bicarbonato de sodio se introduce dosificado en el flujo parcial de gas puro caliente, de modo que  
20 la escisión puede comenzar de inmediato.

El procedimiento se debe utilizar sobre todo cuando la temperatura del gas de escape es inferior a 150 °C o incluso inferior a 140 °C, puesto que entonces la temperatura no es suficiente para escindir suficientemente en poco tiempo el bicarbonato de sodio en el tramo de reacción.

25 Para acelerar la escisión del bicarbonato de sodio mediante un intercambio de calor y material más intensivo, la conducción de retorno aguas abajo del punto de dosificación se puede diseñar como reactor de flujo turbulento, el cual se dimensiona de tal modo para que se establezca una velocidad de 8-16 m/s, pero preferentemente de 10-12 m/s, de manera a que se reduzca el espacio requerido .

Preferentemente, en el caso del reactor de flujo turbulento se trata de un reactor vertical al que se proporciona eventualmente un desvío superior a 90°.

30 El procedimiento conforme a la invención utiliza según esto un flujo parcial < 8%, preferentemente < 5% de gas puro, en el que se inyecta el bicarbonato de sodio y el cual se ha calentado previamente de manera que la temperatura de retorno sea 150-180 °C, para llevar a cabo en el flujo parcial recalentado una activación previa del adsorbente por separación de agua y dióxido de carbono. La etapa de separación y reacción, que tiene lugar en un proceso en el caso de la dosificación directa en el canal del gas de escape, se divide conforme a esta invención en dos pasos, a  
35 saber en el paso de escisión, que tiene lugar en el flujo parcial de gas puro separado y calentado, y el paso de reacción, que tiene lugar en el tramo de reacción que contiene el gas de escape, al cual ha sido retornado el flujo parcia de gas puro recalentado, el cual está cargado con material activado / separado.

40 Para alcanzar la deseada reducción de gas nocivo, la cantidad de producto precursor del carbonato de sodio que se ha de dosificar se regula por el contenido de gases nocivos en el gas de escape y por el contenido reducido de gases nocivos en el gas puro, requerido.

Para alcanzar una mejor reactividad del adsorbente, el producto precursor del carbonato de sodio se puede moler directamente antes de su inyección.

45 Las temperaturas en el canal del gas de escape son por lo regular 100-200 °C. Después de que el flujo de gas de escape ha recorrido el tramo de reacción y un filtro de desempolvado conectado a continuación del tramo de reacción y se presenta ya como flujo de gas puro, su temperatura se sitúa entre 80-200 °C. El tiempo de permanencia del adsorbente en el canal del gas de escape y en el tramo de reacción es de 0,5-4 segundos, conduciendo temperaturas más elevadas a tiempos de permanencia más cortos, de modo que el adsorbente ha reaccionado al menos el 85% (lo óptimo sería 95%) para dar el producto de reacción, y no se presente ya en forma de hidrógenocarbonato.

50 El tiempo de permanencia del bicarbonato de sodio en la conducción de retorno aguas abajo del punto de dosificación se debería situar al menos en 0,5 s, pero preferentemente entre 0,5 s y 2 s. Por tiempo de permanencia se define el tiempo entre el momento de la entrada del adsorbente en el conducción de retorno y el momento en que abandona de nuevo el conducción de retorno. El tiempo de permanencia se elige de tal modo que el 95%, pero al

menos el 85% del bicarbonato de sodio se escinda y abandone el conducción de retorno en forma de carbonato de sodio.

5 En el caso de temperaturas del gas de escape a la entrada en el canal de gas de escape entre aproximadamente 150 °C y 200 °C el bicarbonato de sodio se puede inyectar directamente, es decir sin activación previa, en el canal de gas de escape o en el tramo de reacción. A temperaturas entre 80 °C y aproximadamente 150 °C se inicia la activación previa / separación.

10 Para la escisión externa del carbonato se emplea un flujo parcial de gas puro que supone < 5% de la cantidad total de gas puro, se recircula y se calienta a temperaturas entre 180 °C y 300 °C, preferentemente a 180 °C hasta 260 °C, reguladas por el dato de valor nominal para la temperatura en la que vuelve a entrar en el canal de gas de escape / tramo de reacción.

La carga con bicarbonato de sodio del flujo de gas puro separado es 1 kg de bicarbonato de sodio por 2-5 m<sup>3</sup> de gas puro, en el mejor de los casos 1 kg de bicarbonato de sodio por 3-4 m<sup>3</sup> de gas puro.

15 Teniendo en cuenta esta premisa, la cantidad necesaria de gas puro que se ha de recircular se calcula específicamente para la planta. En este caso, se debería alcanzar una escisión a ser posible completa. La temperatura a la que se debe calentar el gas puro derivado, se ajusta de tal modo que en el punto donde se inyecta de nuevo en el canal del gas de escape se mantenga una temperatura de 150 – 180 °C. Para el calentamiento del flujo parcial de gas puro en la conducción de retorno se ha previsto un dispositivo de calefacción, cuya potencia se regula mediante el ajuste de un flujo parcial de gas puro constante, de tal modo que la temperatura de retorno del flujo parcial de gas puro reinante antes del traspaso del flujo parcial de gas puro al canal de gas de escape y/o al tramo de reacción alcance una temperatura nominal previamente dada, que sea al menos 150 °C.

20 Además, la cantidad parcial de gas puro que se deriva a la conducción de retorno se puede aumentar cuando la temperatura de retorno cae por debajo de la temperatura del gas de escape. Esto es un indicio, de que para la escisión del bicarbonato de sodio necesario se ha dispuesto demasiado poca energía. Por un incremento de la temperatura del flujo parcial de gas puro se podría aportar a este más energía. Pero esto podría cargar demasiado mecánicamente la planta en el caso de materiales habituales. Por lo tanto, la solución propuesta prevé derivar un mayor flujo parcial de gas puro, el cual a una temperatura que permanece esencialmente igual lleva consigo una cantidad de energía correspondientemente mayor para la escisión del bicarbonato de sodio.

Como dispositivo de calefacción resulta adecuado preferentemente un quemador de gas, pero también es posible un quemador de aceite o un calefactor eléctrico.

30 La velocidad del gas en el canal de gas de escape en el caso de un caudal volumétrico de gas de escape del 100% es  $18 \pm 2$  m/s, en el tramo de reacción aproximadamente 8-16 m/s, pero preferentemente 8-10 m/s, y en la conducción de retorno antes de la inyección del adsorbente  $18 \pm 2$  m/s, después de la inyección del adsorbente 8-16 m/s, pero preferentemente 10-12 m/s. Estos valores determinan el diseño de la correspondiente planta.

35 Para alcanzar una distribución homogénea del adsorbente en el canal de gas de escape se ha previsto que el canal de gas de escape esté equipado en su lado superior con una red de puntos de inyección para el flujo parcial de gas puro, distribuidos homogéneamente.

40 En el filtro de bolsa se segrega el material sólido del gas de escape. Una parte del material sólido que aun contiene material utilizable, se segrega en la entrada del filtro y puede ser reciclado parcialmente (< 80 g/ m<sup>3</sup>, pero máximo < 100 g/m<sup>3</sup> de gas de escape) al circuito para seguir optimizando la utilización del adsorbente. La torta de filtración que se segrega en los filtros de bolsa se separa con aire comprimido y se recoge en el bunker de filtración. Desde allí se lleva al silo de materiales residuales.

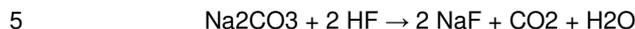
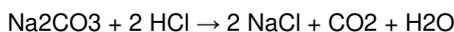
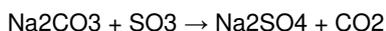
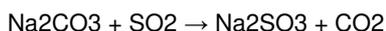
La presente invención mejora de forma excelente la utilización de bicarbonato de sodio como adsorbente en la purificación de gases de escape con bajas temperaturas del gas de escape < 150 °C por la separación de la etapa de escisión / activación de la etapa de reacción.

45 En el ejemplo del bicarbonato de sodio (hidrógenocarbonato de sodio) se explica el transcurso del proceso. El bicarbonato de sodio se descompone según la siguiente reacción de equilibrio:



50 (2 partes de bicarbonato de sodio se descomponen cada una en una parte de carbonato de sodio, agua y dióxido de carbono). Esta descomposición requiere un considerable aporte energía, puesto que especialmente se tiene que utilizar para la entalpía de evaporación del agua separada, la cual a 100 °C es 2257 kJ/kg.

El carbonato de sodio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) formado en la descomposición es todavía reactivo, se forma casi en un estado "casi naciente" y se inyecta después directamente en el tramo de reacción o en el canal del gas de escape situado delante. Allí reacciona entonces con los gases nocivos ácidos. Las reacciones transcurren conforme a las siguientes reacciones de equilibrio:



Los productos de reacción que se forman aquí no son higroscópicos y, en parte, se siguen utilizando en nuevos procesos.

10 Desde el punto de vista temporal, estas reacciones transcurren rápidamente, pero se tiene que prever un tiempo de permanencia total de aproximadamente 1-2 s. Si el filtro previsto para el desempolvado se ha diseñado en forma de filtro de tela, esto se puede incorporar en la consideración del tiempo de permanencia, puesto que aquí aun tiene lugar una cierta reacción posterior.

A continuación, con ayuda de un ejemplo de ejecución se va a ilustrar la invención más detalladamente. Para ello, la única figura muestra esquemáticamente el proceso de la escisión del bicarbonato de sodio o de otros precursores del carbonato de sodio, así como la regulación prevista para el proceso.

15 Para separar la etapa de escisión de la etapa de reacción del adsorbente, la invención ha previsto el siguiente procedimiento:

20 El gas de escape procedente de una caldera 10 se lleva a través de un canal 11 de gas de escape y de un tramo 12 de reacción al filtro 13 para su desempolvado. Los gases de escape se transportan desde el filtro 13 de desempolvado a una chimenea 15. Entre la caldera 10 y el tramo 12 de reacción se puede haber instalado una separación de polvo 16 previa (ESP, ciclón).

25 Cuando la temperatura del gas de escape a la entrada en el canal 11 de gas de escape sea 80-150 °C, se separa un flujo parcial de gas puro en una conducción 18 de retorno y allí se calienta mediante un dispositivo 19 de calefacción alimentado con gas o aceite o eléctricamente a temperaturas comprendidas entre 180 °C y 300 °C, preferentemente a temperaturas entre 180 °C y 260 °C, eligiéndose la temperatura de calefacción de tal modo que la temperatura antes de volver a inyectar el flujo parcial de gas puro cargado con adsorbente en el canal 11 de gas de escape / tramo 12 de reacción sea al menos de 150 °C.

30 En el flujo parcial de gas puro, después del dispositivo de calefacción 19, se dosifica a partir de un depósito 20 de almacenamiento bicarbonato de sodio molido a través de un dispositivo 21 de dosificación en un punto 25 de dosificación en la conducción 18 de retorno, el cual se encuentra aguas abajo del dispositivo de calefacción teniendo en cuenta un determinado tramo de mezcladura.

35 En el flujo parcial de gas puro calentado tiene lugar entonces, en un tiempo muy corto, la descomposición del bicarbonato de sodio en la conducción de retorno, que se puede haber diseñado como reactor de flujo turbulento. El producto de descomposición del bicarbonato de sodio, el carbonato de sodio, junto con el flujo parcial de gas puro caliente, el cual acoge también el dióxido de carbono y el vapor de agua originados en la descomposición, se introducen dosificados en el canal 11 de gas de escape o en el tramo 12 de reacción. Después de que el flujo parcial de gas puro con el adsorbente activado ha sido retornado al canal 11 de gas de escape que lleva el gas de escape o al tramo 12 de reacción, tienen lugar ahora en el canal 11 de gas de escape y/o en el tramo 12 de reacción las verdaderas reacciones entre el carbonato de sodio y los gases nocivos ácidos.

40 Cuando el gas de escape a la entrada en el canal 11 de gas de escape posee una temperatura superior a 150 °C, se puede dosificar directamente el bicarbonato de sodio desde el depósito 20 de almacenamiento en el canal 11 de gas de escape. No es necesario un reciclado de gas puro.

45 En el tramo 12 de reacción se debe alcanzar un tiempo de permanencia del adsorbente de aproximadamente 0,5-4 s, incluido el filtro, preferentemente 1-2 s. El tiempo de permanencia del producto precursor en la conducción 22 de retorno desde la inyección del adsorbente es al menos 0,5 s, pero por lo regular no es superior a 2 s. La velocidad del gas en el canal 11 de gases de escape al 100% de caudal volumétrico de gas de escape es aproximadamente  $18 \pm 2$  m/s, en el tramo 12 de reacción 8-16 m/s, pero preferentemente 8-10 m/s y en la conducción de retorno antes de la inyección del adsorbente  $18 \pm 2$  m/s, después de la inyección del adsorbente 8-16 m/s, pero preferentemente 10-12 m/s.

50 Se tiene que asegurar una distribución homogénea del adsorbente en la sección transversal del canal. Para ello, se han incorporado varias aberturas de dosificación sobre la superficie transversal superior del canal 11 de gas de escape o del tramo 12 de reacción.

Frente a la forma de activación descrita en las patentes anteriormente citadas por desacoplamiento del flujo de gas de escape, se utiliza aquí la energía existente en el gas puro a causa de la temperatura. Por esto, la diferencia de temperatura con respecto a la deseada temperatura de descomposición es menor. Por lo tanto, se puede llevar a cabo una escisión del bicarbonato de sodio económica, puesto que tan solo se tiene que aportar la diferencia de energía entre la temperatura del gas puro y la temperatura de descomposición necesaria. La potencia de este dispositivo 19 de calefacción se ajusta de tal modo que en el punto de la nueva inyección en el canal 11 de gas de escape / tramo 12 de reacción se mantiene una temperatura de 150-180 °C. Esta temperatura viene dada al sistema como valor nominal de temperatura para la regulación del dispositivo de calefacción. Si el valor real de la temperatura discrepa en una medida determinada, predefinida, del valor nominal, el dispositivo 19 de calefacción la regula automáticamente.

La cantidad de bicarbonato de sodio que se insufla para la escisión en el flujo parcial de gas puro derivado, se regula por el contenido de SO<sub>2</sub>/HCl en el gas de escape y el contenido exigido de SO<sub>2</sub>/HCl en el gas puro. Para ello se mide la concentración residual de gases nocivos en el gas puro. El aporte de adsorbente a activar se incrementa si la concentración residual de gases nocivos en el gas puro aumenta por encima del valor nominal previamente dado.

La temperatura a la que se debe calentar el flujo parcial de gas puro derivado, se ha de calcular teniendo en cuenta todos los procesos relevantes de energía. Estos son:

- calentamiento del carbonato de sodio que se genera
- calentamiento de la parte de agua que se genera en la escisión
- entalpía de evaporación de esta parte de agua
- calentamiento de la parte de vapor de agua generado
- calentamiento del dióxido de carbono generado

Este cálculo sirve para dimensionar el dispositivo de calefacción.

Los procesos termodinámicamente relevantes se deben ilustrar con un ejemplo:

Por ejemplo, el caudal volumétrico del gas de escape es 100.000 m<sup>3</sup>/h, la temperatura del gas de escape 140 °C. Se derivan aproximadamente 1.250 m<sup>3</sup>/h de gas puro como flujo parcial de gas puro a la conducción 18 de retorno, para calentarlo. La sección transversal del canal para el flujo parcial de gas puro se dimensiona de tal modo, que se alcance un suficiente tiempo de permanencia para el bicarbonato de sodio de aproximadamente 0,5-2 s a partir del punto de inyección en la conducción 22 de retorno. El carbonato de sodio que se origina se forma casi "in situ", es decir debe reaccionar con los gases nocivos antes de que comience la cristalización. Según la demanda de bicarbonato de sodio, se calcula la temperatura a la cual se debe calentar el flujo parcial de gas puro derivado. Si se supone, por ejemplo, que la cantidad de bicarbonato de sodio a dosificar es 300 kg/h y la temperatura del bicarbonato de sodio utilizado en el punto 25 de dosificación en la conducción de retorno es 20 °C, es suficiente calentar el flujo parcial de gas puro a 260 °C. El flujo parcial de gas puro que contiene el carbonato de sodio en forma activada, que se debe retornar al gas de escape, posee entonces una temperatura de aproximadamente 150 °C. Para el calentamiento del flujo parcial de gas puro se necesitan entonces, basándonos en un valor calorífico para el gas propano de aproximadamente 26 kWh/m<sup>3</sup>, aproximadamente 1,5 m<sup>3</sup>/h de gas propano o una potencia eléctrica de 38 kW por hora.

El procedimiento aquí descrito posibilita de manera ventajosa una escisión sencilla y la activación del bicarbonato de sodio o de otros precursores del carbonato de sodio y, con ello, también su utilización en caso de bajos intervalos de temperatura sin influencia de la potencia de la caldera, sin intervención en sistemas que se encuentren fuera de la propia instalación, sin que sea necesario disponer de una instalación de calefacción separada, sin pérdida de presión incrementada digna de mención, sin prever un largo tramo de reacción con la correspondiente gran demanda de espacio para aumentar el tiempo de permanencia, y sin potencial de desgaste.

Otra forma de ejecución del procedimiento aquí descrito comprende el retorno parcial del material sólido segregado en la entrada del filtro de bolsa, el cual contiene aún adsorbente no utilizado en el tramo de reacción / canal de gas de escape al mismo nivel de temperatura.

Hay posibles variantes de la forma de ejecución del proceso, aquí descrita. Por ejemplo, se puede preferir también que el bicarbonato de sodio u otros precursores del carbonato no estén molidos. Se muelen después con una técnica habitual de molienda al tamaño de grano requerido, que depende especialmente del tipo de gases nocivos a separar. Según informaciones del fabricante, el bicarbonato de sodio para una concentración de HCl en el gas puro  $\geq 10$  mg/Nm<sup>3</sup> se ha de moler a un d<sub>90</sub> < 35  $\mu$ m y a un valor d<sub>90</sub> < 20  $\mu$ m para valores de emisión de HCl < a 10 mg/Nm<sup>3</sup>, así como para grados de segregación de SO<sub>x</sub> > 80%.

La ventaja de la molienda consiste que el proceso de molienda como tal incrementa ya el nivel de energía y el bicarbonato de sodio recién molido es más reactivo que en forma de material almacenado ya molido. Por ello, se

podría optimizar aún más el tiempo de permanencia para el proceso de activación. Del mismo modo, se reduce así claramente la energía necesaria para la activación.

5 Una alternativa ventajosa consiste en que el tramo 12 de reacción, el cual ha sido diseñado de forma estándar como canal horizontal, sea diseñado como reactor vertical. En la forma de ejecución vertical se alcanzan transformaciones optimizadas de material, a causa del mayor movimiento relativo entre gas y material sólido, y se acortan así los tiempos de reacción. Además, el diseño de construcción resulta más compacto, puesto que no hay que instalar tanto tramo horizontal del canal.

**Lista de referencias**

- 10 Caldera
- 10 11 Canal del gas de escape
- 12 Tramo de reacción
- 13 Filtro de desempolvado
  
- 15 Chimenea
- 15 16 Separación previa de polvo
  
- 18 Conducción de retorno antes del punto de dosificación
- 19 Dispositivo de calefacción
  
- 20 20 Depósito de almacenamiento
- 21 Dispositivo de dosificación
- 22 Conducción de retorno después del punto de dosificación
  
- 25 Punto de dosificación
- 25

## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para la separación de gases nocivos ácidos a partir de un gas de escape que presenta una baja temperatura del gas de escape, en el cual el gas de escape se lleva a través de un canal (11) de gas de escape a un tramo (12) de reacción, y al gas de escape en el canal (11) de gas de escape o en el tramo (12) de reacción se le añade carbonato de sodio, el cual se ha creado previamente por la activación y escisión de un producto precursor del carbonato de sodio, y el cual como adsorbente reacciona con los gases nocivos en el tramo (12) de reacción, de manera que el gas de escape después de haber pasado por un filtro (13) a continuación del tramo (12) de reacción se presenta como gas puro, derivándose una parte del gas puro, como flujo parcial de gas puro, a una conducción de retorno (18, 22) que conduce de nuevo al canal (11) de gas de escape y/o al tramo (12) de reacción, dosificándose el producto precursor del carbonato de sodio en el flujo parcial de gas puro en un punto (25) de dosificación a la conducción de retorno (18, 22) y allí se escinde, calentándose el flujo parcial de gas puro aguas arriba del punto (25) de dosificación a una temperatura de activación, de manera que el producto precursor del carbonato de sodio se dosifica en el punto (25) de dosificación a un flujo parcial de gas puro caliente, y en donde el producto precursor se ha separado en al menos 85% en la conducción de retorno, antes de ser llevado de nuevo con el flujo parcial de gas puro al tramo (12) de reacción, caracterizado por que el procedimiento se aplica a una temperatura del gas de escape inferior a 150 °C,
- por que el tiempo de permanencia del adsorbente en el tramo de reacción se elige de tal modo que al abandonar este el tramo de reacción se ha transformado en al menos el 85% en producto de reacción y ya no se presenta en forma de hidrógenocarbonato,
- por que la parte de gas puro que se deriva como flujo parcial de gas puro a la conducción de retorno (18, 22) es inferior a 8% del flujo de gas puro,
- por que el flujo parcial de gas puro en la conducción de retorno se calienta de tal modo que su temperatura de retorno, es decir la temperatura que se presenta en el tramo de reacción (12) antes del retorno, es 150-180 °C,
- por que la temperatura de activación es 130-300 °C, preferentemente 180-260 °C, y
- por que la temperatura de activación se regula a través de un valor nominal dado previamente para la temperatura de retorno, para lo cual para la calefacción del flujo parcial de gas puro en la conducción de retorno (18) se ha previsto un dispositivo de calefacción (19) cuya potencia, en el caso de un flujo parcial de gas puro ajustado de forma constante, se regula de modo que la temperatura de retorno corresponda a la temperatura nominal.
2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado por que la cantidad parcial de gas puro que se deriva a la conducción (18, 22) de retorno se incrementa cuando la temperatura de retorno cae por debajo de 150 °C.
3. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que el tramo (12) de reacción se ha diseñado como canal vertical con un desvío de al menos 90°, el cual se ha dimensionado de modo que sea recorrido con una velocidad de 8-16 m/s, pero preferentemente de 8-10 m/s.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que los materiales sólidos segregados parcialmente en el filtro (13) se retornan parcialmente y sin activación ulterior, al mismo nivel de temperatura, al tramo (12) de reacción y/o al canal (11) del gas de escape, con una carga < 80 g/m<sup>3</sup> de gas de escape, pero máxima 100 g/m<sup>3</sup> de gas de escape.
5. Procedimiento según una de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por que la conducción (22) de retorno se ha diseñado aguas abajo del punto (25) de dosificación en forma preferentemente de reactor vertical de flujo turbulento, el cual se ha dimensionado de modo que es recorrido con una velocidad de 8-16 m/s, pero preferentemente 10-12 m/s.

