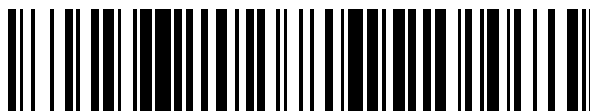


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 640 040**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/94** (2006.01)

**F01N 3/022** (2006.01)

**F01N 3/035** (2006.01)

**F01N 3/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.04.2010 PCT/US2010/032073**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.10.2010 WO10124105**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.04.2010 E 10715638 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.06.2017 EP 2421632**

54 Título: **Sustratos de filtro parcial que contienen catalizadores de SCR y sistemas de tratamiento de emisiones y métodos de tratamiento de gases de escape de motores**

30 Prioridad:

**22.04.2009 US 171567 P**  
**22.04.2010 US 765441**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**31.10.2017**

73 Titular/es:

**BASF CORPORATION (100.0%)**  
**100 Campus Drive**  
**Florham Park, NJ 07932, US**

72 Inventor/es:

**BOORSE, R. SAMUEL;**  
**VOSS, KENNETH E. y**  
**DIETERLE, MARTIN**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 640 040 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

Sustratos de filtro parcial que contienen catalizadores de SCR y sistemas de tratamiento de emisiones y métodos de tratamiento de gases de escape de motores.

## Antecedentes

- 5 La presente invención se refiere a un artículo catalítico, a métodos y a sistemas para tratar emisiones gaseosas típicas de motores diésel antes de que se les permita entrar en la atmósfera. El sistema incluye un filtro parcial con una eficiencia de filtración de partículas que es generalmente menor que la de un filtro de flujo de pared.

10 Los gases de escape de motor diésel son una mezcla heterogénea que contiene no solamente emisiones gaseosas tales como monóxido de carbono (CO), hidrocarburos no quemados ("HC") y óxidos de nitrógeno ("NO<sub>x</sub>"), sino también materiales de fase condensada (líquidos y sólidos) que constituyen los denominados materiales particulados o materia particulada. A menudo, las composiciones de catalizador y los sustratos sobre los que se disponen las composiciones se proporcionan en sistemas de gases de escape de motores diésel para convertir determinados o todos estos componentes de gases escape en componentes inocuos. Por ejemplo, los sistemas de gases de escape de motores diésel pueden contener uno o más de un catalizador de oxidación de diésel, un filtro de hollín y un catalizador para la reducción de NO<sub>x</sub>.

20 Se sabe que los catalizadores de oxidación que contienen metales del grupo del platino, metales básicos y combinaciones de los mismos facilitan el tratamiento de los gases de escape de motores diésel promoviendo la conversión tanto de contaminantes gaseosos de HC como de CO y alguna proporción de la materia particulada a través de la oxidación de estos contaminantes para dar dióxido de carbono y agua. Tales catalizadores se han contenido generalmente en unidades denominadas catalizadores de oxidación de motores diésel ("DOC"), que se sitúan en el tubo de escape de motores diésel para tratar el gas de escape antes de que se descargue a la atmósfera. Además de las conversiones de HC, CO gaseosos y materia particulada, los catalizadores de oxidación que contienen metales del grupo del platino (que están normalmente dispersados sobre un soporte de óxido refractario) promueven la oxidación de óxido nítrico (NO) para dar NO<sub>2</sub>.

25 Las emisiones totales de materia particulada de los gases de escape de motores diésel están compuestas por tres componentes principales. Un componente es la fracción carbonosa sólida, seca, sólida o fracción de hollín. Esta materia carbonosa seca contribuye a las emisiones de hollín visibles asociadas frecuentemente con los gases de escape de motores diésel. Un segundo componente de la materia particulada es la fracción orgánica soluble ("SOF"). A veces, la fracción orgánica soluble se denomina fracción orgánica volátil ("VOF"), cuya terminología se usará en el presente documento. La VOF puede existir en gases de escape de motores diésel o bien como vapor o bien como aerosol (finas gotitas de condensado líquido) según la temperatura del gas de escape de motores diésel. Está presente generalmente como líquidos condensado a la temperatura de recogida de material particulado convencional de 52°C en gas de escape diluido, tal como se recomienda por una prueba de medición convencional, tal como el Heavy Duty Transient Federal Test Procedure de Estados Unidos. Estos líquidos surgen de dos fuentes: 30 (1) aceite lubricante barrido de las paredes del cilindro del motor cada vez que los pistones van hacia arriba y hacia abajo; y (2) combustible diésel no quemado o quemado parcialmente.

40 El tercer componente de la materia particulada es la denominada fracción de sulfato. La fracción de sulfato está formada por pequeñas cantidades de componentes de azufre presentes en el combustible diésel. Se forman pequeñas proporciones de SO<sub>3</sub> durante la combustión del diésel, que a su vez se combina rápidamente con agua en el gas de escape para formar ácido sulfúrico. El ácido sulfúrico se recoge como fase condensada con los materiales particulados como aerosol, o se adsorbe sobre los otros componentes particulados, y se añade así a la masa de la material particulada total.

45 Una tecnología postratamiento en uso para alta reducción de materia particulada es el filtro de partículas para motores diésel. Hay muchas estructuras de filtro conocidas que son eficaces en la eliminación de materia particulada del gas de escape de motores diésel, tales como filtros de flujo de pared alveolares, filtros de fibras enrolladas o empaquetadas, espumas de células abiertas, filtros de metal sinterizado, etc. Sin embargo, los filtros de flujo de pared de cerámica, descritos a continuación, reciben la mayor parte de la atención. Estos filtros pueden eliminar más del 90% del material particulado del gas de escape de motores diésel. El filtro es una estructura física para eliminar partículas del gas de escape, y las partículas de acumulación aumentarán la contrapresión del filtro en el motor. Así, 50 las partículas de acumulación tienen que quemarse de manera continua o periódica fuera del filtro para mantener una contrapresión aceptable.

La reducción catalítica selectiva con amoníaco (SCR) es una tecnología de reducción de NO<sub>x</sub> que se utilizará para cumplir objetivos de emisiones de NO<sub>x</sub> estrictos en motores diésel y de mezcla pobre. En el proceso de SCR con amoníaco, NO<sub>x</sub> (definido como la suma de NO + NO<sub>2</sub>) se hace reaccionar con amoníaco (o un precursor de

amoniaco tal como urea) para formar nitrógeno ( $N_2$ ) sobre un catalizador compuesto normalmente de metales de base.

Los documentos US 2006/0039843 A y EP 1 961 933 A1 dan los dos a conocer catalizadores de SCR que pueden estar soportados sobre sustratos de espuma metálica abiertos.

5 Los filtros de flujo de pared catalizados que contienen un catalizador que promueve la SCR de  $NO_x$  asumen dos funciones: eliminación del componente particulado de la corriente de gas de escape y conversión del componente de  $NO_x$  de la corriente de gas escape en  $N_2$ . Los filtros de flujo de pared recubiertos con SCR que pueden alcanzar los objetivos de reducción de  $NO_x$  requieren una carga suficiente de la composición de catalizador de SCR en el filtro de flujo de pared bajo las limitaciones de espacio habituales en un vehículo. La pérdida gradual de la eficiencia catalítica de las composiciones que se produce a lo largo de la vida a través de la exposición a determinados componentes perjudiciales de la corriente de gas escape o altas temperaturas, aumenta la necesidad de mayores cargas de catalizador de la composición de catalizador de SCR. Sin embargo, la preparación de filtros de flujo de pared recubiertos con cargas de catalizador más altas puede conducir a una contrapresión inaceptablemente alta dentro del sistema de gas de escape. Un aumento en la contrapresión puede tener un impacto adverso sobre la eficiencia del combustible.

Un aspecto adicional que ha de considerarse en el recubrimiento del filtro de flujo de pared es la selección de la composición de catalizador de SCR apropiada. En primer lugar, la composición de catalizador debe ser térmicamente duradera de modo que mantenga su actividad catalítica de SCR incluso después de una exposición prolongada a temperaturas más altas que son características de la regeneración del filtro. Por ejemplo, la combustión de la fracción de hollín de la materia particulada a menudo conduce a temperaturas por encima de 700°C y superiores. Tales temperaturas hacen que muchas composiciones de catalizador de SCR usadas frecuentemente, tales como óxidos mixtos de vanadio y titanio, sean menos eficaces catalíticamente. En segundo lugar, las composiciones de catalizador de SCR tienen preferiblemente un intervalo de temperatura de funcionamiento suficientemente amplio para que puedan adaptarse a los intervalos de temperatura variables sobre los que opera el vehículo. Las temperaturas por debajo de 300°C se encuentran normalmente, por ejemplo, en condiciones de carga baja, o al arrancar. Las composiciones de catalizador de SCR pueden catalizar preferiblemente la reducción del componente de  $NO_x$  del gas de escape para lograr los objetivos de reducción de  $NO_x$ , incluso a temperaturas de gas de escape menores, particularmente cuando el catalizador de SCR está dispuesto sobre un sustrato de filtro tal como un filtro de flujo de pared. En general, el catalizador de SCR debe tener una alta actividad específica combinada con una alta estabilidad hidrotérmica.

Se han propuesto filtros de flujo de pared que contienen catalizadores de SCR y técnicas de recubrimiento que permiten cargas de catalizador de SCR más altas en el filtro de flujo de pared, pero todavía permiten que el filtro mantenga características de flujo que alcanzan contrapresiones aceptables. A pesar de tales filtros de flujo de pared propuestos y técnicas de recubrimiento que tienen cargas de catalizador de SCR mayores, sería deseable proporcionar filtros y sistemas catalizados alternativos que permitan el manejo de la contrapresión y la función catalítica del catalizador de SCR. Además, sería deseable proporcionar artículos catalíticos, sistemas y métodos que utilicen filtros de particulados recubiertos con un catalizador de SCR a una carga que también alcance una conversión de  $NO_x$  suficiente a una temperatura más baja cuando la corriente de gas de escape pasa a través del filtro, así como que presenten características de envejecimiento hidrotérmico deseables.

#### 40 **Sumario de la invención**

Según un aspecto de la invención, se utilizan filtros de eficiencia parcial en sistemas y métodos para la reducción del gas de escape de motores diésel y el tratamiento de una corriente de gas de escape de motor que contiene  $NO_x$  y materia particulada. El cumplimiento con las directrices sobre emisiones, por ejemplo UE III y UE IV, puede no requerir un filtro de alta eficiencia, y puede usarse un filtro de eficiencia parcial en sistemas que no requieren una alta eficiencia de filtración. Tal como se usa en el presente documento, un "filtro parcial" o "filtro de eficiencia parcial" se refiere a un filtro que tiene una eficiencia de filtro en el intervalo de aproximadamente el 30% a aproximadamente el 60% en masa.

Además, el uso de filtros de hollín de eficiencia parcial (o "filtros parciales") en aplicaciones de gases de escape de motores diésel proporciona una flexibilidad adicional en el diseño del sistema de tratamiento de gases de escape. Por ejemplo, debido a que la recogida de hollín en un filtro parcial se produce a una velocidad más baja que en un filtro de alta eficiencia, el tiempo entre regeneraciones necesarias es más largo, reduciendo así el consumo de combustible asociado con el aumento de la temperatura del gas de escape para garantizar la combustión completa del hollín y reducir la carga térmica sobre los materiales de filtro. Además, algunos diseños de filtro parcial permiten la fabricación a partir de metales aumentando así la resistencia del filtro al choque térmico y mecánico. Esto permite colocar el filtro más cerca del motor, donde las fuerzas de pulsación de presión de gas de escape y vibratorias son mucho mayores. Además, los diseños de filtros parciales no tienen canales ciegos o cerrados, y por tanto, son mucho menos propensos a recoger los subproductos inorgánicos refractarios de la combustión de hollín, concretamente cenizas, que se acumulan en filtros de alta eficiencia con el uso. La acumulación de cenizas en filtros

de alta eficiencia contribuye a un aumento de la contrapresión del sistema de gas de escape y consecuentemente a menor eficiencia del motor. Por lo tanto, evitar la acumulación de cenizas con filtros parciales contribuye directamente a una mayor eficiencia del motor y a un menor consumo de combustible. Teniendo en cuenta estas consideraciones de diseño, está claro que las aplicaciones en las que pueden cumplirse los reglamentos de emisiones de partículas con un filtro parcial tienen claros incentivos para hacerlo.

Según determinadas realizaciones de la invención, el filtro de partículas es un filtro parcial que elimina al menos del 30 al 60% de la materia particulada en la corriente de gas. Además, el filtro de partículas puede tener una porosidad de entre el 50% y el 95%. El filtro de partículas comprende una espuma metálica que tiene una estructura de sustrato abierta o reticulada y poros y puntales que proporcionan paredes celulares.

El filtro de partículas tiene una carga de catalizador en el intervalo de 6,1 g/l (0,1 g/in<sup>3</sup>) - 213,5 g/l (3,5 g/in<sup>3</sup>) o, más específicamente, en el intervalo de desde aproximadamente 30,5 g/l (0,5 g/in<sup>3</sup>) - 122 g/l (2,0 g/in<sup>3</sup>). En una o más realizaciones, el catalizador de SCR está dispuesto a lo largo de la longitud axial del filtro de partículas. En determinadas realizaciones, el catalizador de SCR está dispuesto sobre una parte o una zona de la longitud axial del filtro de partículas, que puede ocupar o extenderse menos que la longitud axial completa del filtro de partículas.

Según otras realizaciones de la invención, la composición de la corriente de gas que va a tratarse por el sistema es de aproximadamente 500 ppm de NO, 500 ppm de NH<sub>3</sub> y el 5% de agua en aire. El catalizador de SCR usado en tales realizaciones puede ser cualquier material que proporcione o sea eficaz para una conversión de NO<sub>x</sub> de al menos el 10% a 250°C y una velocidad espacial de aproximadamente 40.000 h<sup>-1</sup> con una razón de NO<sub>x</sub> con respecto a NH<sub>3</sub> de 1. Determinadas realizaciones del sistema producen una conversión objetivo mínima de NO<sub>x</sub> del sistema de más de aproximadamente el 30% y un aumento en el porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema de aproximadamente el 25% en comparación con un sistema idéntico con un filtro no recubierto idéntico. En una realización específica, la conversión objetivo de NO<sub>x</sub> del sistema es de aproximadamente el 60% durante el ciclo de prueba y el aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión en el filtro es de aproximadamente el 25% cuando se compara con un sistema idéntico con un filtro no recubierto idéntico.

En diversas realizaciones de la invención, el catalizador de SCR puede incluir una zeolita que tiene una estructura de CHA, tal como, por ejemplo, una estructura de Cu-CHA. El catalizador de SCR de una o más realizaciones puede incluir un óxido mixto de V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, WO<sub>3</sub> y TiO<sub>2</sub>, y/o puede incluir una zeolita dopada con Fe. En realizaciones alternativas, el catalizador de SCR puede incluir un tamiz molecular, que puede contener Cu, Fe, Mn, Co, Ag y combinaciones de los mismos.

Puede haber múltiples catalizadores de SCR situados en diferentes ubicaciones en el sistema que pueden ser iguales o diferentes. Si los dos catalizadores son diferentes, el primer catalizador de SCR puede operarse para la conversión de NO<sub>x</sub> a temperaturas de corriente de gas más altas y el segundo catalizador de SCR puede operarse para la conversión de NO<sub>x</sub> a temperaturas de corriente de gas más bajas.

Los sistemas que incluyen un filtro de partículas con un catalizador de SCR también pueden incorporar uno o más sustratos adicionales, que pueden incluir catalizadores de SCR o de oxidación. Los catalizadores de SCR utilizados con tales sustratos adicionales pueden ser iguales o diferentes que el catalizador de SCR usado en el filtro de partículas. En una o más realizaciones, un catalizador de oxidación puede situarse aguas arriba del filtro de partículas. En una realización más específica del sistema, un filtro de partículas puede disponerse adyacente al motor de manera que no hay catalizador de SCR intermedio entre el filtro de partículas y el motor. El sistema puede incluir también un filtro de partículas y un sustrato de flujo continuo dispuesto aguas abajo del filtro de partículas, y puede incluir opcionalmente un catalizador de oxidación dispuesto aguas arriba del filtro de partículas. En tales sistemas, el sustrato de flujo continuo puede incluir un catalizador de SCR eficaz para la conversión de NO<sub>x</sub> y el sistema puede tener una conversión de NO<sub>x</sub> en el intervalo de aproximadamente el 50% y el 100%. En una realización más específica, la conversión de NO<sub>x</sub> por el filtro de partículas está en el intervalo de aproximadamente el 10% y el 90% de la conversión total de NO<sub>x</sub> del sistema.

Una o más realizaciones de los sistemas descritos en el presente documento son operativas para generar concentraciones de NO<sub>x</sub> iniciales, intermedias y finales en la corriente de gas de escape. En tales realizaciones, el sistema genera una concentración de NO<sub>x</sub> intermedia después de que la corriente de gas de escape pase a través de un filtro de partículas, y una concentración de NO<sub>x</sub> final después de que la corriente de gas de escape pase a través de un segundo sustrato. En tales sistemas, la conversión de NO<sub>x</sub> del sistema se basa en la concentración de NO<sub>x</sub> inicial y la concentración de NO<sub>x</sub> final y un aumento en la contrapresión del sistema se encuentra dentro de una ventana de funcionamiento que se basa en una conversión objetivo mínima de NO<sub>x</sub> del sistema y un aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema. En una o más realizaciones, la conversión objetivo de NO<sub>x</sub> del sistema es de más del 50% y el aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema es de aproximadamente el 25% en comparación con un sistema idéntico incluyendo un filtro no recubierto idéntico.

Además, la invención incluye un método de tratamiento de una corriente de gas de escape de motor que tiene una concentración de NO<sub>x</sub>, una contrapresión del sistema y una conversión de NO<sub>x</sub> del sistema. Tales métodos son

eficaces para la conversión de  $\text{NO}_x$  e incluyen definir una ventana de funcionamiento del sistema de gas de escape basándose en una conversión objetivo mínima de  $\text{NO}_x$  del sistema y un aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema, hacer pasar la corriente de gas a través de un filtro de partículas dispuesto aguas abajo del motor, inyectar un agente reductor, tal como amoníaco o un precursor de amoníaco, en la corriente de gas aguas arriba del filtro de partículas, y hacer pasar la corriente de gas a través de un segundo sustrato cargado con un segundo catalizador de SCR dispuesto aguas abajo del filtro de partículas, en el que la conversión de  $\text{NO}_x$  del sistema y la contrapresión del sistema están dentro de la ventana de funcionamiento. La corriente de gas que sale del sistema de tratamiento de emisiones tiene una concentración de  $\text{NO}_x$  final. En una o más realizaciones, la conversión de  $\text{NO}_x$  del sistema está en el intervalo de aproximadamente el 50% y el 100%. La conversión del filtro de partículas utilizado en una o más realizaciones de los métodos descritos en el presente documento está en el intervalo de desde aproximadamente el 10% hasta el 90% de la conversión de  $\text{NO}_x$  del sistema.

En una realización más específica, la corriente de gas se hace pasar a través de un filtro de partículas que tiene una eficiencia de filtración de partículas en el intervalo de aproximadamente el 30% y el 60% en masa dispuesto aguas abajo del motor. En determinadas realizaciones del método, el filtro de partículas es un filtro de espuma de metal que tiene una porosidad en el intervalo del 60% - 95%. El filtro de partículas cargado con un catalizador de SCR tiene una carga eficaz para la conversión de  $\text{NO}_x$  en el intervalo de aproximadamente 6,1 g/l (0,1 g/in<sup>3</sup>) - 213,5 g/l (3,5 g/in<sup>3</sup>). En una realización alternativa, el catalizador de SCR tiene una carga en el intervalo de aproximadamente 30,5 g/l (0,5 g/in<sup>3</sup>) - 122 g/l (2,0 g/in<sup>3</sup>). El catalizador de SCR puede estar dispuesto sobre el sustrato de filtro desde el 10 hasta el 100% de su longitud.

En una o más realizaciones del método, el aumento en porcentaje en la contrapresión del sistema se basa en una comparación de la contrapresión del sistema asociado con un filtro no cargado con catalizador con respecto a un sistema con un filtro cargado con catalizador tal como se mide mediante un promedio de valores de flujo frío a una velocidad espacial en el intervalo de aproximadamente 20.000 h<sup>-1</sup> y 120.000 h<sup>-1</sup>. En una o más realizaciones, el método no incorpora un catalizador de SCR intermedio dispuesto entre el motor y el filtro de partículas. En una realización más específica, el segundo sustrato se carga con un segundo catalizador de SCR dispuesto aguas abajo del filtro de partículas eficaz para la conversión de  $\text{NO}_x$ .

Según otras realizaciones del método, la conversión objetivo mínima de  $\text{NO}_x$  del sistema es más de aproximadamente el 30% y el aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema es de aproximadamente el 25% en comparación con un sistema idéntico con un filtro no recubierto idéntico. En una realización específica, la conversión objetivo de  $\text{NO}_x$  del sistema es de aproximadamente el 50% durante el ciclo de prueba y el aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión en el filtro es de aproximadamente el 25% cuando se compara con un sistema idéntico con un filtro no recubierto idéntico.

Lo anterior ha señalado de manera bastante general determinadas características y ventajas técnicas de la presente invención.

### Breve descripción de los dibujos

Para que pueda entenderse en detalle la manera en la que se llevan a cabo las características enumeradas anteriores de la presente invención, puede hacerse una descripción más particular de la invención, brevemente resumida antes, haciendo referencia a las realizaciones algunas de las cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Sin embargo, debe señalarse que los dibujos adjuntos ilustran sólo realizaciones típicas de esta invención y, por tanto, no han de considerarse limitativos de su alcance, ya que la invención puede admitir otras realizaciones igualmente eficaces.

La figura 1A es una representación esquemática de una realización del sistema de tratamiento de emisiones según la presente invención;

la figura 1B es una representación esquemática de otra realización del sistema de tratamiento de emisiones según la presente invención;

la figura 2 es una vista en perspectiva fragmentada ampliada de un filtro de partículas no según la presente invención;

la figura 3 es una vista en perspectiva de otro filtro de partículas no según la presente invención; y

la figura 4 es una vista de un filtro de partículas usado en el sistema de tratamiento de emisiones según la presente invención.

### Descripción detallada

Se proporcionan artículos catalíticos, sistemas y métodos que incluyen un filtro de eficiencia parcial que trata simultáneamente la materia particulada, el NO<sub>x</sub> y otros componentes gaseosos de gases de escape de motores diésel. El sistema de tratamiento de emisiones usa un filtro de hollín integrado y catalizador de SCR para minimizar significativamente el peso y el volumen requeridos para el sistema de emisiones. Además, debido a la elección de las composiciones catalíticas implementadas en el sistema, se proporciona una reducción de contaminantes eficaz para corrientes de gases de escape de temperaturas variables. Esta característica es ventajosa para hacer funcionar vehículos diésel con velocidades del vehículo y cargas variables que afectan significativamente a las temperaturas de gases de escape emitidos por los motores de tales vehículos.

Las funciones de integración de reducción de NO<sub>x</sub> y eliminación de material particulado en un único artículo de catalizador se consiguen usando un sustrato de filtro parcial recubierto con una composición de catalizador de SCR. Es importante lograr niveles prácticos de la composición de catalizador de SCR en el sustrato de flujo de pared para proporcionar suficiente actividad catalítica para lograr los niveles de reducción de NO<sub>x</sub> exigidos, y para reducir la temperatura de combustión de la fracción de hollín atrapada en el filtro. También es importante lograr niveles adecuados de composiciones de catalizador de SCR en el filtro de hollín para garantizar una durabilidad adecuada para el catalizador. Durante el uso prolongado del sistema de tratamiento de emisiones, los catalizadores se exponen inevitablemente a diversos niveles de venenos para el catalizador que pueden derivarse de la descomposición de aceites lubricantes, o pueden surgir de impurezas en el combustible diésel. Los ejemplos de tales venenos para el catalizador incluyen fósforo, zinc, metales alcalinos y metales alcalinotérreos. Por tanto, normalmente se depositan niveles mayores de composiciones de catalizador sobre sustratos de catalizador para superar la pérdida inevitable de actividad catalítica.

Una realización del sistema de tratamiento de emisiones de la invención se representa esquemáticamente en la figura 1A. Como se observa, se introduce la corriente de gas de escape que contiene contaminantes gaseosos (incluyendo hidrocarburos no quemados, monóxido de carbono y NO<sub>x</sub>) y materia particulada del motor 15 en el sistema. Se inyecta un agente reductor tal como hidrocarburos, amoníaco o cualquier precursor de amoníaco (por ejemplo, urea) o cualquier otro material que muestre un potencial de reducción lo suficientemente alto para facilitar la reacción de SCR como aerosol mediante una boquilla (no mostrada) en la corriente de gas de escape. La urea acuosa mostrada en una línea 18 puede servir como precursor de amoníaco que puede mezclarse con aire en otra línea 19 en una estación 16 de mezclado. Puede usarse una válvula 14 para dosificar cantidades precisas de urea acuosa que se convierten en la corriente de gas de escape en amoníaco. La corriente de gas de escape con el agente reductor añadido se transporta al filtro 12 de partículas que contiene un primer catalizador de SCR. Al pasar a través del filtro 12 de partículas, el componente de NO<sub>x</sub> se convierte a través de la reducción catalítica selectiva de NO<sub>x</sub> con amoníaco en nitrógeno. No hay ningún catalizador de SCR intermedio dispuesto entre el motor 15 y el filtro 12 de partículas.

También se elimina algo de la materia particulada incluyendo la fracción de hollín y la VOF (aproximadamente del 30 al 60% en masa) por el filtro 12 de partículas. La materia particulada depositada sobre el filtro 12 de partículas se combustiona a través de la regeneración del filtro, a lo que también contribuye la presencia del primer catalizador de SCR. Se reduce la temperatura a la que se combustiona la fracción de hollín de la materia particulada por la presencia de la composición de catalizador dispuesta sobre el filtro 12 de partículas.

Tras salir del filtro 12 de partículas, la corriente de gas pasa entonces a través de un sustrato 13 que contiene un segundo catalizador de SCR. El sustrato 13 puede ser un sustrato de flujo continuo y está dispuesto aguas abajo del filtro 12 de partículas. La corriente de gas que sale del motor 15 contiene una concentración de NO<sub>x</sub> inicial en la ubicación 3 antes de entrar en el filtro 12 de partículas, una concentración de NO<sub>x</sub> intermedia en la ubicación 5 entre el filtro 12 de partículas y el sustrato 13 aguas abajo, y una concentración de NO<sub>x</sub> final en la ubicación 7 después de pasar a través del sustrato 13 de flujo continuo. La conversión del sistema de NO<sub>x</sub> alcanzada en la corriente de gas basada en la concentración de NO<sub>x</sub> inicial y la concentración de NO<sub>x</sub> final es mayor de aproximadamente el 50%. La conversión de NO<sub>x</sub> por el filtro 12 de partículas está en el intervalo de aproximadamente el 10% a aproximadamente el 90% de la conversión de NO<sub>x</sub> del sistema medido integralmente durante un ciclo de conducción de prueba (véase <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm> para una descripción de ciclos de conducción de prueba) o en condiciones de reactor simuladas. Al desplazarse a través del sistema de tratamiento de emisiones en el presente documento descrito, la corriente de gas provoca que aumente la contrapresión del sistema en menos de aproximadamente el 25%. El aumento de contrapresión del sistema se determina en relación con el aumento de contrapresión que resulta de hacer pasar la corriente de gas a través de un filtro sin recubrir. La contrapresión del sistema se mide mediante un promedio de valores de flujo frío a una velocidad espacial, igual a la velocidad de flujo volumétrico de la corriente de gas dividido entre el volumen del sistema, de entre 20.000 h<sup>-1</sup> y 120.000 h<sup>-1</sup>.

El sistema de tratamiento de emisiones de la presente invención permite el funcionamiento dentro de una ventana definida por una concentración objetivo mínima de NO<sub>x</sub> del sistema y un aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema. Esta ventana de funcionamiento proporciona un intervalo en el que puede realizarse alta conversión de NO<sub>x</sub> sin provocar un aumento excesivo y altamente indeseable de contrapresión. En una realización, la conversión objetivo mínima de NO<sub>x</sub> del sistema es de aproximadamente el 50% durante el ciclo de prueba y el aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema sobre un filtro parcial sin recubrir

es de aproximadamente el 25%. Claramente, también pueden establecerse otras concentraciones objetivo mínimas  $\text{NO}_x$  del sistema y un aumento en porcentaje objetivo máximo en la contrapresión del sistema.

5 Composiciones de catalizador de SCR adecuadas para su uso en el sistema, pueden catalizar eficazmente la reducción del componente de  $\text{NO}_x$  a temperaturas por debajo de  $600^\circ\text{C}$ , de manera que pueden tratarse niveles de  $\text{NO}_x$  adecuados incluso en condiciones de baja carga que normalmente se asocian con menores temperaturas de gas de escape. Preferiblemente, el artículo de catalizador puede convertir al menos el 50% del componente de  $\text{NO}_x$  en  $\text{N}_2$ , según la cantidad de agente reductor añadida al sistema. Además, las composiciones de catalizador de SCR para su uso en el sistema también pueden, idealmente, ayudar en la regeneración del filtro disminuyendo la temperatura a la que se combustiona la fracción de hollín de la materia particulada. Otro atributo deseable para la composición es que posea la capacidad de catalizar la reacción de  $\text{O}_2$  con cualquier exceso de  $\text{NH}_3$  para dar  $\text{N}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , de manera que no se emite  $\text{NH}_3$  a la atmósfera. En determinadas realizaciones del sistema, el primer catalizador de SCR y/o el segundo catalizador de SCR pueden comprender una zeolita que tiene una estructura de Cu-CHA, un óxido mixto de  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$  y  $\text{TiO}_2$ , o una zeolita dopada con Fe. En una o más realizaciones, el catalizador de SCR incluye un tamiz molecular, que puede contener un promotor tal como Cu, Fe, Mn, Co, Ag y combinaciones de estos materiales.

10 En una o más realizaciones, puede usarse más de un catalizador de SCR. Las composiciones de los catalizadores de SCR pueden ser idénticas o diferentes. Si son diferentes, el catalizador de SCR puede operarse para la conversión de  $\text{NO}_x$  a temperaturas de corriente de gas más altas y puede operarse otro catalizador de SCR para la conversión de  $\text{NO}_x$  a temperaturas de corriente de gas más bajas. Por ejemplo, un catalizador de SCR puede incluir una zeolita que tiene una estructura de CHA y el otro catalizador de SCR puede incluir un óxido mixto de  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$  y  $\text{TiO}_2$ . En una realización específica, un catalizador de SCR puede incluir una zeolita dopada con Fe y el otro catalizador de SCR puede incluir un óxido mixto de  $\text{V}_2\text{O}_5$ ,  $\text{WO}_3$  y  $\text{TiO}_2$ . En una realización más específica, un catalizador de SCR puede incluir una zeolita dopada con Fe y el otro catalizador de SCR incluye una zeolita que tiene una estructura de CHA.

25 Las composiciones de catalizador de SCR útiles usadas en el sistema de la invención también tienen resistencia térmica a temperaturas superiores a  $650^\circ\text{C}$ . A menudo se encuentran tales altas temperaturas durante la regeneración de filtros de partículas. Las composiciones de catalizador de SCR también deben resistir la degradación tras la exposición a componentes de azufre, que a menudo están presentes en composiciones de gas de escape de motores diésel. El primer catalizador de SCR se elige para proporcionar una conversión de  $\text{NO}_x$  del sistema de al menos aproximadamente el 10% a  $250^\circ\text{C}$  y una velocidad espacial de aproximadamente  $40.000 \text{ h}^{-1}$ . Preferiblemente, el primer catalizador de SCR se elige para proporcionar una conversión de  $\text{NO}_x$  del sistema de al menos aproximadamente el 50% en estas mismas condiciones.

30 Se describen composiciones de catalizador de SCR adecuadas, por ejemplo, en las patentes estadounidenses n.<sup>os</sup> 4.961.917 (la patente '917) y 5.516.497. Las composiciones dadas a conocer en la patente '917 incluyen uno o ambos de un promotor de hierro y de cobre presente en una zeolita en una cantidad de desde aproximadamente el 0,1 hasta el 30 por ciento en peso, preferiblemente de desde aproximadamente el 1 hasta el 5 por ciento en peso, del peso total de promotor más zeolita. Además de su capacidad para catalizar la reducción de  $\text{NO}_x$  con  $\text{NH}_3$  para dar  $\text{N}_2$ , las composiciones dadas a conocer también promueven la oxidación de  $\text{NH}_3$  en exceso con  $\text{O}_2$ , especialmente para las composiciones que tienen concentraciones de promotor más altas.

40 Las zeolitas y tamices moleculares usados en tales composiciones son resistentes al envenenamiento por azufre, mantienen un alto nivel de actividad para el proceso de SCR y puede realizar la oxidación de amoníaco en exceso con oxígeno. Estas zeolitas tienen un tamaño de poro lo suficientemente grande para permitir un movimiento adecuado de las moléculas reactivas NO y  $\text{NH}_3$  al interior de, y de las moléculas producto  $\text{N}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$  fuera de, el sistema de poros en presencia de moléculas de óxido de azufre que resultan del envenenamiento por azufre a corto plazo, y/o depósitos de sulfato que resultan del envenenamiento por azufre a largo plazo. El sistema de poros de tamaño adecuado está interconectado en las tres dimensiones cristalográficas. Como es bien conocido por los expertos en la técnica de la zeolita, la estructura cristalina de las zeolitas presenta una estructura de poros compleja que tiene intersecciones, conexiones recurrentes de manera más o menos regular, y similares. Se dice que los poros que tienen una característica particular, tal como un diámetro de dimensión dado o una configuración transversal, son unidimensionales si los poros no se cortan con otros poros similares. Si los poros se cortan únicamente dentro de un plano dado con otros poros similares, se dice que los poros de esa característica están interconectados en dos dimensiones (cristalográficas). Si los poros se cortan con otros poros similares permaneciendo ambos en el mismo plano y en otros planos, se dice que los poros de este tipo están interconectados en tres dimensiones, es decir, son "tridimensionales". Según una o más realizaciones, las zeolitas que son altamente resistentes al envenenamiento por sulfato y proporcionan buena actividad para tanto el proceso de SCR como para la oxidación de amoníaco con oxígeno, y que conservan buena actividad incluso cuando se someten a altas temperaturas, condiciones hidrotérmicas y venenos de sulfato, son las zeolitas que tienen poros que presentan un diámetro de poro de al menos aproximadamente 7 ángstroms y están interconectadas en tres dimensiones. Sin desear limitarse a ninguna teoría específica, se cree que la interconexión de poros de al menos 7 ángstroms de diámetro en tres dimensiones proporciona buena movilidad de las moléculas de sulfato por toda la estructura de la zeolita,

5 permitiendo así que se liberen moléculas de sulfato del catalizador para liberar un gran número de los sitios adsorbentes disponibles para las moléculas reactivas  $\text{NO}_x$  y  $\text{NH}_3$  y las moléculas reactivas  $\text{NH}_3$  y  $\text{O}_2$ . Cualquier zeolita que cumpla los criterios anteriores es adecuada para su uso en la práctica de la presente invención; las zeolitas específicas que cumplen estos criterios son USY, Beta y ZSM-20. Otros tamices moleculares también pueden satisfacer los criterios mencionados anteriormente.

Cuando se depositan sobre los sustratos de filtro de partículas, tales composiciones de catalizador de SCR se depositan en concentraciones mayores de aproximadamente 6,1 g/l (0,1 g/in<sup>3</sup>) y menores de aproximadamente 213,5 g/l (3,5 g/in<sup>3</sup>) para garantizar que se logra la reducción de  $\text{NO}_x$  deseada y los niveles de eliminación de material particulado y para asegurar la durabilidad adecuada del catalizador durante su uso prolongado.

10 En una realización alternativa del sistema de tratamiento de emisiones, tal como se ilustra en la figura 1B, un catalizador 11 de oxidación está situado aguas arriba del filtro 12 de partículas. En la figura 1B, la corriente de gas que sale del motor 15 contiene una primera concentración de  $\text{NO}_x$  en la ubicación 2 antes de entrar en el catalizador 11 de oxidación, una segunda concentración de  $\text{NO}_x$  en la ubicación 4 entre el catalizador 11 de oxidación y el filtro 12 de partículas, una tercera concentración de  $\text{NO}_x$  en la ubicación 6 después de pasar a través del filtro 12 de partículas y entrar en el sustrato 13 aguas abajo, y una concentración de  $\text{NO}_x$  final en la ubicación 8 después de pasar a través del sustrato 13 aguas abajo.

15 En el catalizador 11 de oxidación, se combustiónan en gran medida hidrocarburos no volátiles y gaseosos sin quemar (es decir, la VOF) y monóxido de carbono para formar dióxido de carbono y agua. La eliminación de proporciones sustanciales de la VOF usando el catalizador de oxidación, en particular, ayuda a evitar una deposición demasiado grande de materia particulada sobre el filtro 12 de partículas (es decir, atascamiento), que se ubica aguas abajo en el sistema. Además, una proporción sustancial del NO del componente de  $\text{NO}_x$  se oxida para dar  $\text{NO}_2$  en el catalizador de oxidación. La proporción aumentada de  $\text{NO}_2$  en el  $\text{NO}_x$  debido a la acción catalítica del catalizador de oxidación aguas arriba facilita la reducción del  $\text{NO}_x$  en comparación con corrientes de gases de escape que contienen proporciones más pequeñas de  $\text{NO}_2$  en el componente de  $\text{NO}_x$ .

20 El catalizador 11 de oxidación puede formarse a partir de cualquier composición que proporcione una combustión eficaz de hidrocarburos no volátiles y gaseosos sin quemar (es decir, la VOF) y monóxido de carbono. Además, el catalizador de oxidación debe ser eficaz para convertir una proporción sustancial del NO del componente de  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_2$ . Tal como se usa en el presente documento, el término "conversión sustancial de NO del componente de  $\text{NO}_x$  en  $\text{NO}_2$ " quiere decir una conversión de NO y  $\text{NO}_2$  en  $\text{N}_2$  de al menos aproximadamente el 5% o al menos aproximadamente el 10% o al menos aproximadamente el 20%, y específicamente de al menos aproximadamente el 30% y más específicamente de al menos el 60% durante el ciclo de conducción. En la técnica se conocen composiciones de catalizador que tienen estas propiedades, e incluyen composiciones basadas en metales del grupo del platino y metales base. Las composiciones de catalizador pueden recubrirse sobre sustratos monolíticos de flujo continuo alveolares formados por materiales cerámicos o metálicos refractarios (por ejemplo, cordierita).  
25 Alternativamente, los catalizadores de oxidación pueden formarse sobre sustratos de espuma metálica o cerámica que se conocen bien en la técnica. Estos catalizadores de oxidación, en virtud del sustrato sobre el que recubren (por ejemplo, espuma cerámica de células abiertas), y/o en virtud de su actividad catalítica de oxidación intrínseca proporcionan cierto nivel de eliminación de material particulado. Preferiblemente, el catalizador de oxidación elimina parte de la materia particulada de la corriente de gas de escape aguas arriba del filtro, puesto que la reducción en la  
30 masa particulada en el filtro prolonga potencialmente el tiempo antes de regeneraciones forzadas.

Una composición de catalizador de oxidación preferida que puede usarse en el sistema de tratamiento de emisiones contiene un componente del grupo del platino (por ejemplo, componentes de platino, paladio o rodio) dispersado sobre un soporte de óxido refractario de área superficial elevada (por ejemplo, gamma-alúmina) que se combina con un componente de zeolita (preferiblemente una beta zeolita). Un componente de metal del grupo del platino preferido  
35 es el platino. Cuando la composición se dispone sobre un sustrato de óxido refractario, por ejemplo, un sustrato alveolar de flujo continuo, la concentración de platino normalmente es de desde aproximadamente 0,35 g/l (10 g/ft<sup>3</sup>) - 4,24 g/l (120 g/ft<sup>3</sup>) de platino.

También se describen composiciones a base de metal del grupo del platino adecuadas para su uso en la formación del catalizador de oxidación en la patente estadounidense n.º 5.100.632 (la patente '632). La patente '632 describe composiciones que tienen una mezcla de platino, paladio, rodio y rutenio y un óxido de metal alcalinotérreo tal como óxido de magnesio, óxido de calcio, óxido de estroncio u óxido de bario con una razón atómica entre el metal del grupo del platino y el metal alcalinotérreo de aproximadamente 1:250 a aproximadamente 1:1, y preferiblemente de aproximadamente 1:60 a aproximadamente 1:6.  
40

También pueden formarse composiciones de catalizador adecuadas para el catalizador de oxidación usando metales base como agentes catalíticos. Por ejemplo, la patente estadounidense n.º 5.491.120 da a conocer composiciones de catalizador de oxidación que incluyen un material catalítico que tiene un área superficial BET de al menos aproximadamente 10 m<sup>2</sup>/g y consiste esencialmente en un segundo óxido de metal a granel que puede ser uno o más de titanía, zircona, ceria-zircona, sílice, alúmina-sílice y alfa-alúmina.  
45



También son útiles las composiciones de catalizador dadas a conocer en la patente estadounidense n.º 5.462.907 (la patente '907). La patente '907 enseña composiciones que incluyen un material catalítico que contiene ceria y alúmina teniendo cada uno un área superficial de al menos aproximadamente 10 m<sup>2</sup>/g, por ejemplo, ceria y alúmina activada en una razón en peso de desde aproximadamente 1,5:1 hasta 1:1,5. Opcionalmente, puede incluirse platino en las composiciones descritas en la patente '907 en cantidades eficaces para provocar la oxidación en fase gaseosa de CO e hidrocarburos no quemados pero que se limitan para impedir una oxidación excesiva de SO para dar SO<sub>2</sub>. Alternativamente, puede incluirse paladio en cualquier cantidad deseada en el material catalítico.

En una tercera realización de un sistema de tratamiento de emisiones (no mostrado), un catalizador 11 de oxidación está situado aguas arriba del filtro 12 de partículas cargado de SCR sin ningún componente adicional que contenga SCR aguas abajo.

La figura 2 proporciona una ilustración esquemática y en perspectiva de un filtro 24 de partículas no según la invención. El filtro 24 de partículas incluye particiones 17, entre las cuales se dispone un conjunto 22 de filtro según la invención en cada caso. En esta realización, el conjunto 22 de filtro está formado con dos capas 21 de revestimiento y una capa 29 de fibras dispuesta entre ellas, aunque la conexión mediante unión técnica en la región límite no puede observarse debido a la ilustración en sección. Las particiones 17 en este caso están dotadas de una estructura, mientras que el conjunto 22 de filtro tiene una superficie sustancialmente lisa. Esta estructura de las particiones 17 forma pasos 20 a través de los cuales un gas de escape puede fluir en el sentido 25 de flujo. Las particiones 17 en este caso tienen diferentes alturas 28 de la estructura de manera que los pasos 20 están formados se adaptan a las características del flujo entrante de gas de escape.

La figura 2 muestra sustancialmente un filtro abierto. Esta propiedad se describe por el hecho de que hay una libertad de flujo de al menos el 20%. En este contexto, el término "libertad de flujo" significa que en cualquier sección transversal deseada es posible ver a través de al menos el 20% del área, es decir al menos el 20% del área está libre de accesorios internos, tales como superficies 27 de desviación o similares. En otras palabras, esto también significa que cuando un filtro de partículas de este tipo se observa desde el lado de extremo, es posible ver a través de al menos parte del paso siempre que los accesorios internos estén todos en la misma posición, es decir, estén alineados uno detrás del otro. Este es habitualmente el caso con cuerpos alveolares hechos de capas de chapa metálica al menos parcialmente estructuradas. Sin embargo, la libertad de flujo, en el caso de accesorios internos que no están alineados entre sí, no significa necesariamente que sea realmente posible ver a través de parte de un cuerpo alveolar de este tipo. Las particiones 17 están dotadas de aberturas 26 y superficies 27 de desviación que desvían la corriente de gas hacia el conjunto 22 de filtro. Esto produce diferencias de presión que hacen que los flujos parciales de gas de escape penetren a través del conjunto 22 de filtro de manera que las partículas de hollín o similares permanezcan y se acumulen en la capa 29 de fibra.

La figura 3 muestra una configuración ligeramente diferente de un cuerpo de filtro no según la invención. En este caso también, los pasos 42 se generan sustancialmente por una estructura correspondiente de las particiones 45. Además, las particiones 45 tienen superficies 46 de desviación que cierran toda la sección transversal de los pasos 42. El resultado de esto es que se influye en el sentido 44 de flujo del gas de escape de tal manera que el gas de escape que contiene material particulado se guía a través del conjunto 40 de filtro. Esta configuración es principalmente adecuada para aplicaciones en las que una pérdida de presión no es crítica. En el caso de sistemas de gas de escape móviles, según el conocimiento actual, es preferible usar un filtro abierto con pasos 42 que sólo están limitados pero no cerrados. Según el número de superficies 46 de desviación por las que ha de atravesar el gas de escape y/o el flujo a través de un conjunto 40 de filtro, en última instancia se filtra sustancialmente toda la corriente de gas y se purifica incluso en el caso de un cuerpo 12 de filtro abierto, tal como se ilustra en la figura 2.

Un filtro parcial que se usa según la invención es un filtro de espuma tal como se ilustra en las figuras 4A y 4B. El filtro de espuma es un filtro de espuma metálica, y el filtro de espuma metálica según la presente invención forma una estructura de sustrato abierta o reticulada que comprende células o poros y puntales metálicos que forman paredes celulares, véase la figura 4B. El sustrato de espuma metálica puede describirse adicionalmente como una matriz porosa que tiene una pluralidad de pasos de forma irregular en los que los gases de escape se someten a múltiples giros y vueltas aleatorias al desplazarse desde el lado aguas arriba al lado aguas abajo del filtro, véase la figura 4A. Esta trayectoria de flujo turbulenta o tortuosa se define mediante numerosas aberturas, poros, canales o características estructurales similares que provocan que el líquido y/o el gas fluya a su través de manera turbulenta o sustancialmente no laminar y da al sustrato un área superficial elevada por volumen global de la trayectoria de flujo del fluido a través del sustrato, por ejemplo, características que crean una zona de transferencia de masa elevada para el fluido en la misma. En cambio, un sustrato denso, tal como una placa, tubo, lámina y similares, tiene un área superficial relativamente pequeña por volumen global de la trayectoria de flujo a través del sustrato, independientemente de si está perforada o no, y no interrumpe sustancialmente el flujo laminar a su través. Es importante que la estructura de sustrato abierta o reticulada de la espuma metálica, no sólo proporcione una zona de transferencia de masa elevada, sino que tal estructura abierta mantenga la contrapresión baja. El filtro de espuma metálica de la presente invención puede apreciarse más fácilmente haciendo referencia de nuevo a la figura 4A, que representa una vista en perspectiva esquemática de un filtro de espuma metálica, y la figura 4B, que representa una vista fragmentada esquemática ampliada de la red tridimensional del filtro de espuma metálica, ambas propuestas

como realizaciones no limitativas de la invención. En referencia a las figuras 4A y 4B, un filtro 56 de espuma metálica está alojado dentro de una unidad 58 de alojamiento. El esquema muestra una red abierta de puntales metálicos para proporcionar paredes 60 y poros 62, lo que constituye una trayectoria tortuosa para una corriente de entrada de aire.

5 Puesto que estas estructuras de espuma metálica tienen áreas superficiales más altas que los sustratos densos y puesto que permiten el flujo de fluido a su través, son muy adecuadas para su uso en la preparación de elementos de filtro para atrapar los materiales transportados por líquido o gas. Además, el área superficial elevada proporciona transferencia de masa mejorada de especies activas mejorando así la eficacia de la espuma metálica como portador de catalizador. En la técnica se conocen los métodos para producir metal espumado, véase por ejemplo, la patente estadounidense n.º 3.111.396, y el uso de metal espumado como portador para un material catalítico se ha sugerido  
10 en la técnica, véase por ejemplo, Informe Técnico de la SAE 971032, titulado "A New Catalyst Support Structure For Automotive Catalytic Converters" por Arums D. Jatkar, que se presentó en la Exposición y Congreso Internacionales, Detroit, Michigan, 24-27 de febrero de 1997.

15 Las espumas metálicas pueden caracterizarse de diversas maneras, algunas de las cuales se refieren a las propiedades de la matriz orgánica inicial alrededor de la cual se dispone el metal. Algunas características de los sustratos metálicos espumados reconocidos en la técnica incluyen el tamaño de célula, la densidad, el volumen libre y el área superficial específica. Por ejemplo, el área superficial puede ser 1500 veces la de un sustrato sólido que tiene las mismas dimensiones que el sustrato espumado. Los sustratos de metal espumados útiles como portadores para elementos de catalizador tienen diámetros de célula medios en el intervalo de 0,5 a 5 mm, y pueden tener un  
20 volumen libre de desde aproximadamente el 80 hasta el 98%, por ejemplo, del 3 al 15 por ciento del volumen ocupado por el sustrato formado puede constituir metal. La porosidad del sustrato puede oscilar entre 1,2 y 39,4 poros por cm (de 3 a 100 poros por pulgada (ppi)) por ejemplo, entre 11,8 y 35 poros por cm (de 30 a 90 ppi) o entre 15,7 y 27,6 poros por cm (de 40 a 70 ppi). En un intervalo ilustrativo de 3,9 a 31,5 poros por cm (de 10 a 80 ppi), otras características tales como células por cm cuadrado (pulgada cuadrada) pueden oscilar entre 15,5 y 992 (de  
25 100 a 6400) y el diámetro de banda aproximado puede variar entre 0,025 cm y 0,010 cm (de 0,01 pulgadas a 0,004 pulgadas). Tales espumas tienen estructuras reticuladas de célula abierta, basándose en un precursor de banda reticulado/interconectado. Normalmente tienen áreas superficiales que aumentan con la porosidad en el intervalo de desde aproximadamente 24,7 metros cuadrados por litro de espuma (700 metros cuadrados por pie cúbico) a aproximadamente 3,9 poros por cm (10 ppi) hasta 141,3 m<sup>2</sup>/l (4000 m<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>) a aproximadamente 23,6 poros por cm (60 ppi), etc. Otros sustratos espumados metálicos adecuados tienen áreas superficiales que oscilan entre  
30 aproximadamente 0,66 m<sup>2</sup>/l (200 pies cuadrados por pie cúbico de metal espumado (ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>)) a aproximadamente 3,9 poros por cm (10 ppi) y aproximadamente 6,23 m<sup>2</sup>/l (1900 ft<sup>2</sup>/ft<sup>3</sup>) a aproximadamente 31,5 poros por cm (80 ppi). Pueden tener densidades de volumen en el intervalo de 0,1 a 1 gramo por centímetro cúbico (g/cc), también se ejemplifica de 0,1 a 0,3 g/cc. Pueden formarse sustratos espumados metálicos a partir de una variedad de metales,  
35 incluyendo hierro, titanio, tantalio, tungsteno, metales nobles, metales sinterizables comunes tales como cobre, níquel, bronce, etc., aluminio, zirconio, etc., y combinaciones y aleaciones de los mismos tales como aleaciones de titanio-aluminio, acero, acero inoxidable, Hastelloy, Ni/Cr, Inconel (Ni/Cr/Fe), Monel (Ni/Cu) y FeCrAlloy (Fe/Cr/Al/Yt).

Otra forma de filtro parcial no según la invención se basa en malla metálica recubierta. Por tanto, pueden apilarse capas individuales de malla tejida sobre la que se dispone un catalizador para formar una estructura tridimensional.  
40 Este apilamiento de malla metálica recubierta tiene algunas de las mismas propiedades que una estructura de espuma recubierta tal como se describió anteriormente. El material de malla puede ser metal o cerámica y puede fabricarse ligando, cortando y expandiendo, perforando u otros métodos conocidos en la técnica para producir láminas con áreas frontales abiertas en el intervalo de aproximadamente el 30 al 90%. Tales láminas también pueden doblarse u ondularse antes o después del recubrimiento para formar estructuras en capas tridimensionales.  
45 El apilamiento de láminas onduladas y sin ondular puede usarse para potenciar las características de flujo de las estructuras apiladas tridimensionales resultantes.

El filtro poroso usado en esta invención se cataliza de manera que la pared de dicho elemento tiene sobre ella o contiene en ella uno o más materiales catalíticos. Los materiales catalíticos pueden estar presentes sobre las superficies de los elementos filtrantes, sobre la superficie de los elementos de desviación del filtro, incrustados en  
50 las superficies del elemento de filtro o el filtro en sí puede consistir en su totalidad, o en parte, en el material catalítico. Esta invención incluye el uso de una o más capas de materiales catalíticos y combinaciones de una o más capas de materiales catalíticos sobre la superficie del elemento de filtro, incrustados en la superficie o que comprenden el elemento de filtro en parte o en su totalidad.

Para recubrir los sustratos de filtro parcial con la composición de catalizador de SCR, los sustratos se sumergen verticalmente en una porción de la suspensión de catalizador de manera que la parte superior del sustrato se sitúa  
55 justo por encima de la superficie de la suspensión. La muestra se deja en la suspensión durante aproximadamente 30 segundos. El sustrato se elimina de la suspensión, y se elimina el exceso de suspensión del sustrato en primer lugar permitiendo que drene de la pieza, luego soplando con aire comprimido (en contra del sentido de penetración de la suspensión). Usando esta técnica, la suspensión de catalizador permea al sustrato y se recubre sobre toda la

superficie interna del filtro pero no taponan los canales de flujo de gas en el filtro hasta el punto de que se desarrolle una contrapresión indebida en el sustrato terminado.

Los sustratos recubiertos se secan normalmente a aproximadamente 100°C y se calcinan a una temperatura más alta (por ejemplo, de 300°C a 450°C). Después de calcinar, la carga del catalizador puede determinarse a través del cálculo de los pesos recubiertos y sin recubrir del sustrato. Tal como resultará evidente para los expertos en la técnica, la carga del catalizador puede modificarse alterando el contenido en sólidos de la suspensión de recubrimiento. Alternativamente, pueden realizarse inmersiones repetidas del sustrato en la suspensión de recubrimiento, seguido por eliminación de la suspensión en exceso tal como se describió anteriormente.

**Ejemplos:**

**Ejemplo comparativo 1.** Se cargó un recubrimiento de SCR sobre un catalizador de sustrato de filtro de flujo de pared en un núcleo de filtro de cordierita con el 65% de porosidad que medía 2,54 cm (1") de diámetro por 7,62 cm (3") de longitud. Por tanto, se mezcló un polvo de catalizador de zeolita de silicato de aluminio intercambiado con metal que tenía una estructura beta, es decir Fe-beta, con agua y se molió de manera que el 90% de las partículas tuvieron un diámetro de menos de 10 micrómetros (es decir, D90 < 10 µm). Se diluyó la suspensión resultante hasta el 20% de sólidos en peso. Se introdujo el núcleo de filtro en la suspensión hasta que se sumergió completamente y después se retiró para drenar la suspensión en exceso seguido por soplado con aire comprimido para retirar suspensión de las paredes. Tras retirar todo el exceso de suspensión de las paredes y los canales, se secó la pieza bajo flujo de aire a 120°C durante 30 minutos. Entonces se calcinó la muestra secada en aire estático durante 1 hora a 450°C. La carga de catalizado resultante sobre la pieza fue de 46,38 g/l (0,76 g/in<sup>3</sup>). Se tomaron mediciones de la caída de presión antes de y después del recubrimiento usando un flujómetro Superflow®. Se midió el flujo a 1,00, 1,49, 1,99, 2,49, 2,99 y 3,73 kPa (4, 6, 8, 10, 12 y 15 pulgadas de agua) antes del recubrimiento y después del recubrimiento. Se registró la reducción en el flujo y luego se obtuvo el promedio para dar un aumento de contrapresión único con recubrimiento del 1,0%. Tras el recubrimiento, se envejeció la muestra a 750°C durante 5 h bajo un flujo de aire con el 10% de corriente. Se midió el rendimiento de SCR de la muestra recubierta en un reactor revestido con cuarzo con una alimentación de gas que comprendía 500 ppm de NO, 500 ppm de NH<sub>3</sub>, el 5% de H<sub>2</sub>O, el 10% de O<sub>2</sub>, y el resto de N<sub>2</sub>. El flujo de gas de flujo total a través de la muestra fue de 22,5 l dando como resultado una velocidad espacial de gas por hora de aproximadamente 37.000 h<sup>-1</sup>. Se sometió a prueba la actividad catalítica de SCR de la muestra estabilizando a 200°C durante 15 minutos y luego midiendo las concentraciones de gases NO, NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y NH<sub>3</sub> aguas abajo con un FTIR. Entonces se tomaron las concentraciones de gas a 250, 300, 350 y 450°C de la misma manera. Por tanto, se registró la conversión de "NO<sub>x</sub>" de la muestra como un % de reducción en la concentración de NO a cada punto de temperatura y se proporciona en la tabla 1 a continuación.

Tabla 1, conversión de NO<sub>x</sub> de SCR sobre un filtro de cordierita con el 65% de porosidad

Temperatura	200	250	300	350	450
Conversión de NO <sub>x</sub> (%)	13,5	29,4	62,9	83,6	85,7

**Ejemplo 2.** Recubrimiento de catalizador de SCR sobre núcleos de filtro parcial a base de espuma de metal.

Usando los métodos del ejemplo 1, se creó una serie de muestras cargando discos de espuma de metal con el 95% de porosidad, 2,54 cm (1") de diámetro por 2,54 cm (1") de grosor, con un catalizador de SCR de Fe beta usando una suspensión de sólidos del 30,5%. Por tanto, se recubrieron espumas de metal de FeCrAlloy con el 95% de porosidad de densidad de poro de 15,7 o 19,5 poros por cm (40 o 50 ppi) con catalizador, se secaron y se calcinaron para proporcionar cargas de catalizador de 42,7 a 54,9 g/l (de 0,7 a 0,9 g/in<sup>3</sup>). Se midió el aumento de contrapresión y el rendimiento catalítico de SCR para tres muestras de 2,54 cm (1") de diámetro, 2,54 cm (1") de grosor situadas en serie para formar un conjunto de 2,54 cm x 7,62 cm (1" x 3"). La actividad de SCR del conjunto se estableció mediante en el mismo método que en el ejemplo 1. Los resultados de la actividad se proporcionan en la tabla 2 a continuación. Se midió el aumento de contrapresión del conjunto recubierto de tres muestras para las partes individuales y se obtuvo el promedio para dar un aumento de contrapresión en el recubrimiento de aproximadamente el 11%.

Tabla 2, conversión de NO<sub>x</sub> de SCR sobre un filtro de espuma de metal de 19,5 poros por cm (50 ppi) y con el 95% de porosidad

Temperatura	200	250	300	450
Conversión de NO <sub>x</sub> (%)	2,2	12,7	36,5	87,2

A pesar de la conversión más baja del SCR en la muestra de filtro parcial en el ejemplo 2 anterior, proporciona una conversión adecuada para un sistema basado en filtro parcial que tendría ventajas adicionales tal como se señaló anteriormente. Concretamente, siempre que pueda lograrse una conversión adecuada y una conversión de material

particulado, es ventajosa la reducción en la carga térmica y la frecuencia de episodios de regeneración así como la reducción en la acumulación de cenizas para el sistema.

5 La referencia en toda la memoria descriptiva a “una realización”, “determinadas realizaciones” o “una o más realizaciones” significa que se incluye un rasgo distintivo, estructura, material o característica particular descrita en relación con la realización en al menos una realización de la invención. Por tanto, la aparición de expresiones tales como “en una o más realizaciones”, “en determinadas realizaciones” o “en una realización” en diversos lugares en toda esta memoria descriptiva no se refiere necesariamente a la misma realización de la invención. Además, los rasgos distintivos, estructuras, materiales o características particulares pueden combinarse de cualquier manera adecuada en una o más realizaciones. El orden de descripción del método anterior no debe considerarse limitativo, y los métodos pueden usar las operaciones descritas de manera desordenada o con omisiones o adiciones.

10

Ha de entenderse que se pretende que la descripción anterior sea ilustrativa y no limitativa. Muchas otras realizaciones serán evidentes para los expertos habituales en la técnica tras revisar la descripción anterior. El alcance de la invención debe determinarse, por tanto, con referencia a las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Artículo catalítico para su uso en un sistema para tratar una corriente de gas de escape de motor que contiene una concentración de NO<sub>x</sub> inicial y materia particulada, produciendo la corriente de gas una contrapresión del sistema, comprendiendo el artículo catalítico:
- 5 un filtro de partículas que comprende un primer catalizador de SCR eficaz para la conversión de NO<sub>x</sub>, comprendiendo el filtro de partículas una espuma metálica que tiene una estructura de sustrato abierta o reticulada y comprendiendo la espuma poros y puntales que proporcionan paredes celulares,
- en el que el sustrato tiene un diámetro celular medio en el intervalo de desde 0,5 hasta 5 mm, y en el que el filtro de partículas tiene una carga de catalizador en el intervalo de 6,1 g/l (0,1 g/in<sup>3</sup>) a 213,5 g/l (3,5 g/in<sup>3</sup>).
- 10 2. Artículo catalítico según la reivindicación 1, en el que la porosidad del sustrato oscila entre 1,2 y 39,4 poros por cm (de 3 a 100 poros por pulgada), preferiblemente entre 3,9 y 35 poros por cm (de 10 a 90 poros por pulgada), más preferiblemente entre 11,8 y 31,5 poros por cm (de 30 a 80 poros por pulgada), e incluso más preferiblemente entre 15,7 y 27,6 poros por cm (de 40 a 70 poros por pulgada).
- 15 3. Artículo catalítico según la reivindicación 1, en el que el filtro de partículas tiene una longitud axial y el catalizador de SCR está dispuesto sobre una zona que se extiende menos que la longitud axial completa del filtro.
4. Artículo catalítico según la reivindicación 1, en el que la carga del catalizador de SCR está en el intervalo de 30,5 g/l (0,5 g/in<sup>3</sup>) y 122 g/l (2,0 g/in<sup>3</sup>).
- 20 5. Sistema de tratamiento de emisiones de motor diésel que comprende el artículo catalítico según la reivindicación 1, y que comprende además un catalizador de oxidación dispuesto aguas arriba del filtro de partículas y no hay ningún catalizador de SCR intermedio dispuesto entre el motor y el filtro de partículas.
6. Sistema de tratamiento de emisiones según la reivindicación 5, que comprende además un catalizador de oxidación dispuesto aguas arriba del filtro de partículas.
- 25 7. Método de tratamiento de una corriente de gas de escape de motor que contiene una concentración de NO<sub>x</sub> inicial y eficaz para la conversión de NO<sub>x</sub>, produciendo la corriente de gas una contrapresión del sistema, comprendiendo el método:
- hacer pasar la corriente de gas a través de un artículo catalítico según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4 dispuesto aguas abajo del motor, estando dispuesto el catalizador sobre el sustrato de filtro desde el 10 hasta el 100% de su longitud.
- 30 8. Método según la reivindicación 7, que comprende además:
- inyectar amoníaco o un precursor de amoníaco en el sistema de gas de escape aguas arriba del filtro de partículas; y
- hacer pasar la corriente de gas que tiene la concentración de NO<sub>x</sub> intermedia a través de un segundo sustrato cargado con un segundo catalizador de SCR dispuesto aguas abajo del filtro de partículas eficaz para la conversión de NO<sub>x</sub>, en el que la corriente de gas que sale del sistema de tratamiento de emisiones tiene una concentración de NO<sub>x</sub> final.
- 35 9. Método de tratamiento de una corriente de gas de escape de motor según la reivindicación 7 u 8, en el que no hay ningún catalizador de SCR intermedio dispuesto entre el motor y el filtro de partículas.

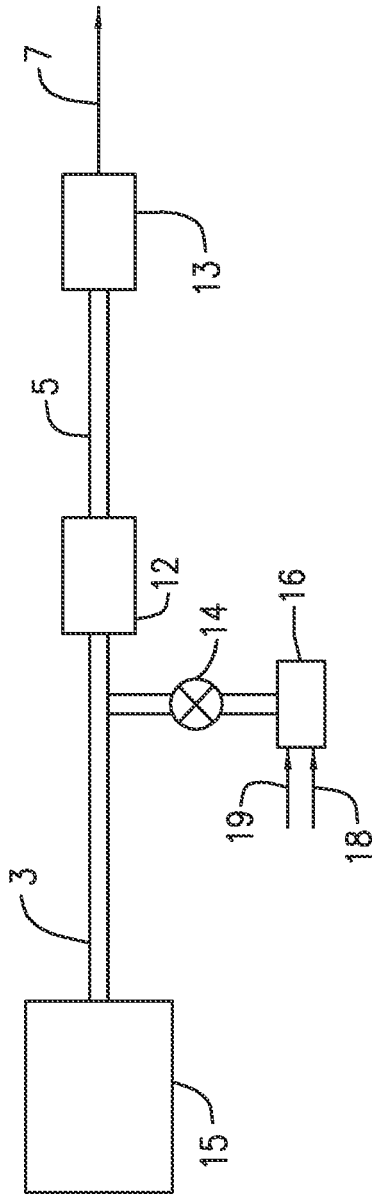


FIG. 1A

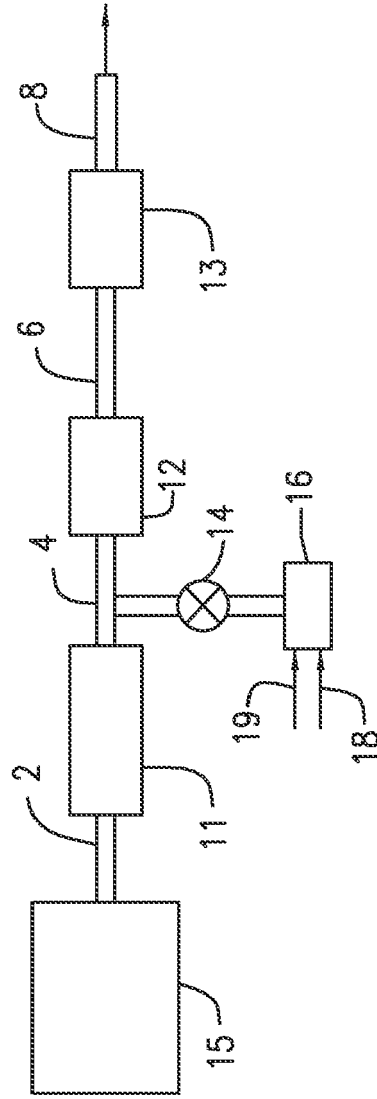


FIG. 1B

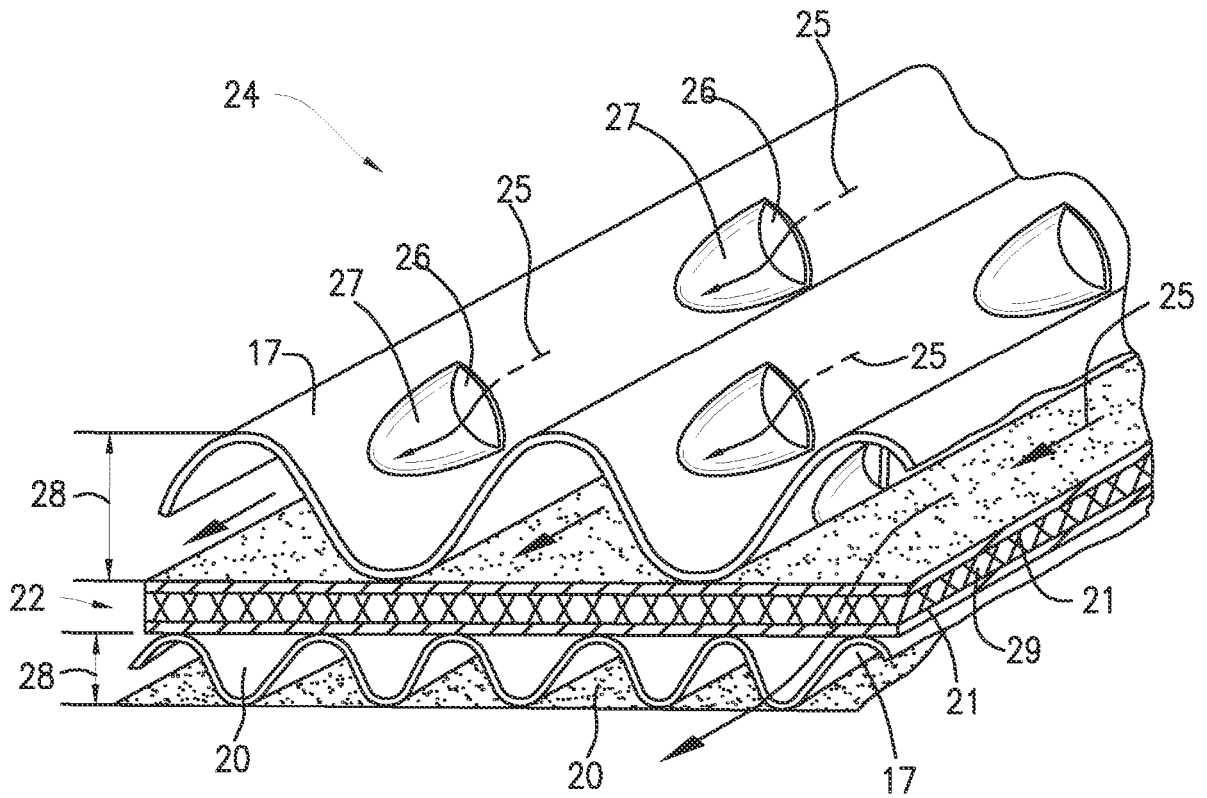
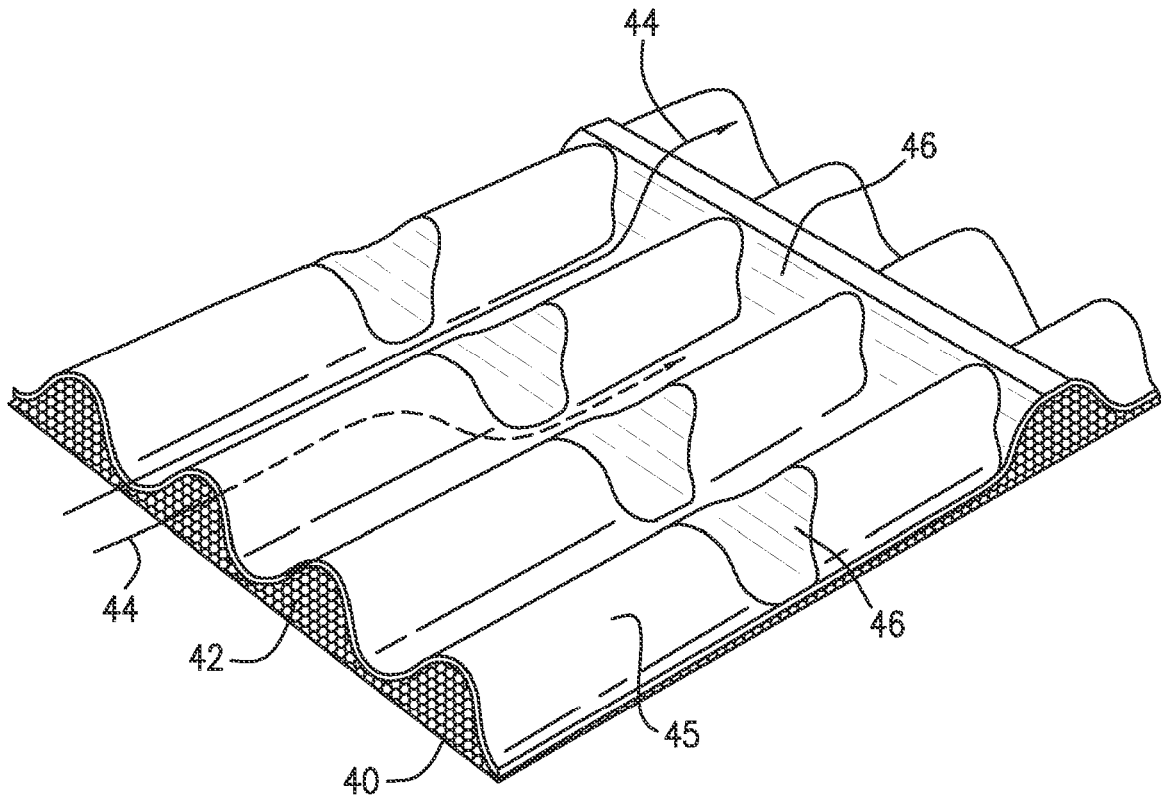


FIG. 2



*FIG. 3*



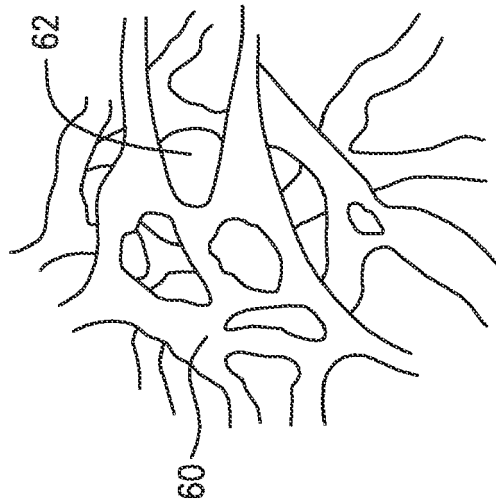


FIG. 4A

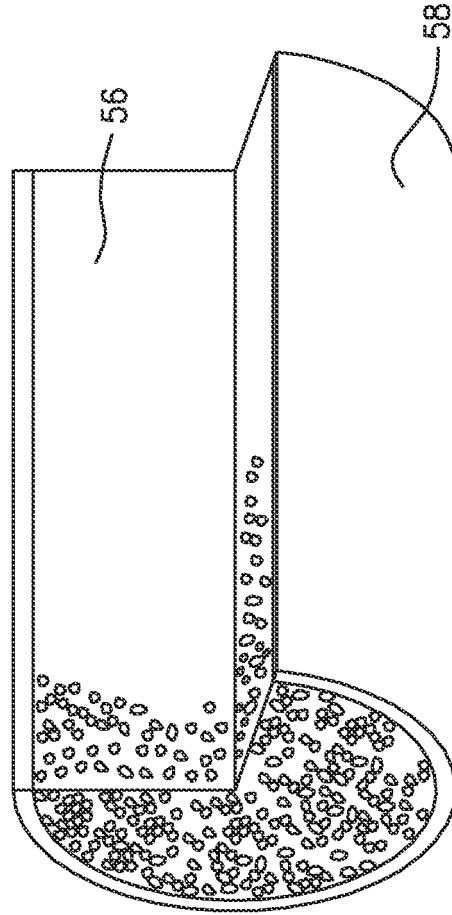


FIG. 4B