

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 746 982**

51 Int. Cl.:

**B01D 53/18** (2006.01)

**F23J 15/04** (2006.01)

**B01D 3/26** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **21.02.2014 PCT/EP2014/053428**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.08.2014 WO14128261**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.02.2014 E 14707357 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.08.2019 EP 2958656**

54 Título: **Depurador de gas de escape para embarcaciones marinas**

30 Prioridad:

**22.02.2013 NO 20130290**

**22.02.2013 US 201361768019 P**

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

**09.03.2020**

73 Titular/es:

**MARINE GLOBAL HOLDING AS (100.0%)**

**Marine Global Holding AS**

**0277 Oslo, NO**

72 Inventor/es:

**STRANDBERG, PETER**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

**ES 2 746 982 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**

Depurador de gas de escape para embarcaciones marinas

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método mejorado y a una planta para limpiar gas de escape marino. Más específicamente la invención se refiere a un método y a una planta que usa depuración húmeda para gas de escape marino para reducir el contenido de contaminantes ambientales en el gas de escape.

10

**Antecedentes de la técnica**

Tradicionalmente, se ha permitido liberar gas de escape desde embarcaciones marinas a la atmósfera con poco o ningún tratamiento de poscombustión para reducir la emisión de constituyentes nocivos ambientales. La Organización Marítima Internacional (OMI) y varios gobiernos han implementado regulaciones que evitarán que las embarcaciones no cumplan con los requisitos mínimos de emisión para operar. Estas legislaciones han obligado a los propietarios de barcos a buscar soluciones para cumplir con los requisitos, no solo para construir barcos, sino más importante aún, para la flota actual de embarcaciones.

15

20

De especial interés es la emisión de óxidos de azufre (SOx) y partículas formados por la combustión y emitidos a la atmósfera en el gas de escape. Las embarcaciones marinas normalmente usan motores de combustión pobre y combustibles de menor calidad que producen altos niveles de SOx y partículas en el gas de escape. El SOx es el resultado de la combustión de compuestos que contienen azufre que son especialmente abundantes en combustibles de baja calidad.

25

El contenido de SOx puede reducirse en una o varias de una pluralidad de tecnologías conocidas, o mediante el uso de combustibles de mayor calidad. Los combustibles de mayor calidad son, sin embargo, mucho más caros que los combustibles normales de baja calidad.

30

Los depuradores de agua de mar o, más generalmente, los depuradores de gases húmedos son conocidos por la reducción de SOx y partículas. Para obtener una reducción suficiente de SOx y partículas para cumplir con los requisitos internacionales y nacionales, la mayoría de los proveedores de tales equipos sugieren/comercializan depuradores de lecho compacto. Los depuradores húmedos sin empacar para aumentar el área de contacto entre el gas y el líquido no se han descubierto hasta ahora como depuradores de lecho compacto eficaces.

35

Es común para los procesos conocidos que son eficaces en la eliminación de SOx y partículas con eficacia suficiente para obtener gas de escape tratado que cumple los requisitos, que el equipo necesario es pesado y voluminoso, además de reducir la eficacia de la salida del motor sustancialmente y, por lo tanto, aumentar el coste de funcionamiento de la embarcación.

40

El espacio y el peso son siempre un problema en una embarcación marina, ya que los equipos pesados y que voluminosos ocuparán un valioso espacio a bordo y desplazarán a los huéspedes que pagan.

45

Debido al tamaño de las soluciones existentes para la depuración húmeda para la reducción de SOx y partículas a niveles aceptables, la instalación del equipo requerirá una reconstrucción sustancial de partes del interior de la embarcación, y puede requerir que la embarcación quede fuera de servicio durante un período sustancial.

50

Para depuradores de lecho compacto de última generación, como se ha mencionado anteriormente, se debe proporcionar un bypass para el escape si se detiene el flujo de agua, ya que los depuradores de lecho compacto no deben funcionar en seco.

55

El documento AU 546 903 B2 se refiere a un depurador húmedo para gas de escape dividido en dos o más cámaras de depuración por constricciones axiales. Sin embargo, no hay indicación acerca de las características para evitar una caída de alta presión sobre el depurador.

60

El documento BE 532 199 A se refiere a un depurador vertical dividido en dos o más cámaras de depuración por conos ranurados, deflectores, y donde las boquillas están dispuestas para pulverizar líquido de depuración contra el flujo del gas a depurar.

65

El documento US 3 708 958 A se refiere a un depurador vertical dividido en dos o más cámaras de depuración por medio de elementos deflectores y elementos deflectores, ambos estando empacados con un empaque para dar una mayor superficie de contacto entre el gas y el líquido de depuración.

El documento US 2008/044335 A1 se refiere a un depurador parcialmente empacado que se divide en dos o más secciones de depuración por constricción(es) axial(es). El uso de depuradores empacados es, como se ha mencionado anteriormente, no buscado ya que el empaque causa una caída de presión mayor que los depuradores no empacados,

y como un depurador empacado no puede funcionar en seco en caso de falla en la administración del líquido de depuración al depurador.

5 En consecuencia, las soluciones conocidas no son óptimas para nuevos proyectos y son muy caras de instalar en una embarcación existente.

Un objetivo de la presente invención es proporcionar una solución que sea una buena opción para nuevos proyectos debido a las ventajas dadas, y que sea fácil de instalar en una embarcación existente donde no sea necesario dejar la embarcación fuera de servicio por un período prolongado, si acaso alguno.

10

### Sumario de la invención

15 De acuerdo con un primer aspecto, la presente invención se refiere a un depurador para gas de escape de una embarcación marina de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo dicho depurador una cámara de depuración inferior y una superior, siendo las cámaras de depuración sustancialmente simétricas sobre un eje longitudinal común que está dispuesto sustancialmente de manera vertical, donde una salida de gas de escape de la cámara inferior está dispuesta en la parte superior de la cámara de depuración inferior como una constricción coaxial, para extraer el gas de escape parcialmente depurado de la primera cámara de depuración e introducir el gas en la cámara de depuración superior, donde un tubo de gas de escape está sustancialmente dispuesto de manera coaxial a través de la parte inferior de la cámara de depuración inferior, que el tubo de gas de escape se abre en la cámara de depuración inferior, donde un cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior, está dispuesto encima de la abertura del tubo de gas de escape para redirigir el gas de escape hacia las paredes del depurador y crear un flujo de gas turbulento, en donde el cuerpo de deflexión comprende dos conos rectos opuestos que tienen una base común y un eje de rotación común que coincide con el eje longitudinal del depurador, los inyectores de agua de la cámara inferior están dispuestos sustancialmente a lo largo del eje longitudinal de la cámara de depuración inferior y por encima del cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior, para introducir agua de depuración en la corriente de gas de escape, y donde al menos uno de los inyectores de agua (6) se dirige hacia arriba, hacia la salida de gas de escape de la cámara inferior, creando, por lo tanto, un efecto Venturi en la salida de gas de escape de la cámara inferior.

30 La introducción del gas de escape en cámaras de depuración que son sustancialmente simétricas alrededor de un eje longitudinal del mismo, a través de un tubo de gas de escape sustancialmente dispuesto de manera coaxial, permite una construcción fácil y hace que sea relativamente fácil obtener una distribución uniforme del flujo de gas de escape en las cámaras de depuración. El cuerpo de deflexión dispuesto por encima de la entrada de gas de escape determina que se crea un flujo turbulento para la mezcla íntima del gas de escape y la pulverización de agua para una refrigeración y depuración eficaz del gas de escape a una temperatura que permita que el líquido de depuración disuelva eficazmente el SOx. Las gotitas/gotas de agua de depuración introducidas a través de los inyectores de agua lavan y refrigeran el gas de escape entrante. La segunda cámara de depuración se proporciona para depurar aún más el gas de escape para una mayor eliminación de NOx y partículas del gas de escape.

40 De acuerdo con una realización, una o varias salidas de agua de la cámara inferior están dispuestas para extraer el agua de depuración recogida en la parte inferior de la cámara de depuración inferior.

45 De acuerdo con una realización, dos o más inyectores de agua están dispuestos en la cámara de depuración inferior y donde al menos uno de los inyectores de agua está dirigido hacia abajo, hacia el cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior. El agua inyectada influye en el flujo de gas en el depurador. Al dirigir al menos una parte del agua inyectada en la dirección principal del flujo de gas, es decir, hacia arriba, el agua inyectada ayuda a impulsar el gas de escape hacia arriba, y, por lo tanto, reduce la caída de presión en el depurador en comparación con una situación donde toda el agua se inyecta hacia abajo.

50 Un deflector de pared de cámara inferior en forma de anillo está dispuesto opcionalmente en la pared del depurador. El deflector de la pared de la cámara inferior coopera con el cuerpo de deflexión en la dirección del flujo dirigido hacia arriba del gas de escape hacia el eje longitudinal del depurador, y para crear el flujo turbulento que es óptimo para mezclar agua de depuración/líquido de depuración y el gas de escape.

55 De acuerdo con una realización, el ángulo superior ( $\alpha$ ) del cono dirigido hacia abajo es 80-100°, y el ángulo superior del cono dirigido hacia arriba es 70-90°. Una o varias boquillas de niebla de agua están opcionalmente dispuestas en la cámara de depuración inferior debajo del cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior. El gas de escape entrante debe refrigerarse antes de la absorción eficaz de SOx. El agua de depuración que llueve/cae de los inyectores de agua, y donde una parte del agua se refleja en la parte superior del cuerpo de deflexión y se dirige hacia las paredes del depurador, puede ser suficiente para refrigerar. La introducción de niebla de agua debajo del cuerpo de deflexión se sumará a la humidificación y la refrigeración resultantes del contacto con el agua de depuración introducida por los inyectores de agua.

65 Un cuerpo de deflexión de la cámara de depuración superior, de acuerdo con una realización, está dispuesto dentro de la cámara de depuración superior y encima de la salida de gas de escape de la cámara de depuración inferior. El cuerpo de deflexión de la cámara superior tiene sustancialmente el mismo efecto que el cuerpo de deflexión de la

cámara inferior descrito anteriormente, por que redirige el flujo de gas para causar condiciones óptimas de depuración y mezcla de gas de escape y líquido de depuración en la cámara de depuración superior. Adicionalmente, el cuerpo de deflexión de la cámara de depuración superior también evita/reduce el flujo de líquido de depuración desde la cámara de depuración superior hacia la cámara de depuración inferior.

5 Uno o varios inyectores de agua de la cámara de depuración superior están dispuestos preferentemente en la cámara de depuración superior. El(los) inyector(es) de agua de la cámara de depuración superior determina(n) una depuración eficaz en la cámara de depuración superior.

10 De acuerdo con una realización, un desnebulizador de partículas está dispuesto en la parte superior de la cámara de depuración superior para reducir la niebla de agua en el gas de escape depurado.

De acuerdo con un segundo aspecto, la presente invención se refiere a un método para depurar gas de escape, donde el gas de escape se introduce en un depurador donde el gas de escape se depura en contacto con agua de mar para reducir el SOx y las partículas en el gas de escape, comprendiendo el método las etapas de:

- 15 a) introducir el gas de escape a depurar a través de un tubo de gas de escape dispuesto coaxialmente en una cámara de depuración inferior en un depurador tubular que comprende dos o más cámaras de depuración conectadas en serie,
- 20 b) redirigir la corriente de gas de escape mediante un cuerpo de deflexión para crear flujo de gas turbulento;
- c) introducir gotitas de agua en el gas de escape para depurar el mismo,
- d) extraer el gas de escape depuración de la primera cámara de depuración,
- e) introducir el mismo en una segunda cámara de depuración en donde el gas de escape se depura adicionalmente,
- 25 f) liberar el gas de escape depurado en los alrededores, caracterizado por que al menos una parte de las gotitas de agua introducidas en la etapa c) se introduce por medio de inyectores de pulverización de agua de la cámara inferior dispuestos sustancialmente a lo largo del eje longitudinal de la cámara de depuración inferior y encima del cuerpo de deflexión de la cámara inferior, y que al menos uno de los inyectores de pulverización está pulverizando agua hacia arriba hacia la constricción de salida del gas de escape de la cámara inferior, creando, por lo tanto, un efecto Venturi en la salida de gas de escape de la cámara inferior.
- 30

De acuerdo con una realización, la niebla de agua se introduce en el gas de escape entrante para refrigerarla y humedecerla entre las etapas a) y b).

35 De acuerdo con una realización, el agua de depuración usada extraída del depurador se libera en el mar circundante. La liberación del agua de depuración utilizada en el mar permite reducir o evita la necesidad de cualquier tratamiento adicional del agua de depuración y para almacenar el agua de depuración o los depósitos a bordo de la embarcación.

40 Las partículas se eliminan opcionalmente del agua de depuración usada antes de liberar el agua. La eliminación de partículas reduce los aspectos ambientales de liberar el agua de depuración en el mar.

De acuerdo con una realización alternativa, el agua de depuración usada se recicla en el depurador. Puede ser necesario reciclar en áreas donde está prohibido liberar agua de depuración de los depuradores de gas de escape.

45 Cuando se opera en modo de reciclaje para el líquido de depuración, el agua de depuración puede tratarse para reducir la cantidad de partículas antes de ser reciclada en el depurador. El tratamiento para reducir las partículas en el líquido de depuración que se reciclará permitirá una depuración más eficaz cuando se recicla el líquido de depuración.

50 Se puede agregar álcali al agua antes de reciclarla en el depurador. La adición de álcali, tal como una solución acuosa de MgO o Mg(OH)<sub>2</sub> aumenta la capacidad del líquido de depuración para absorber SOx. Tal aumento en la capacidad es especialmente importante cuando se recicla el líquido de depuración ya que la absorción de SOx reducirá el pH del líquido de depuración y, por lo tanto, reducirá la capacidad de absorber un gas ácido como SOx.

55 Las expresiones "agua de depuración" y "líquido de depuración", tal como se usan en la presente solicitud, se refieren tanto al líquido usado para depurar en el depurador. El agua de depuración o líquido de depuración es un líquido acuoso tal como agua de mar, agua de mar con álcali agregado, o agua fresca con álcali agregado.

### Breve descripción de los dibujos

60 La figura 1 es una sección longitudinal a través de un depurador de acuerdo con la presente invención, y la figura 2 es un esquema principal de una realización básica de una planta para el tratamiento de gas de escape.

### Descripción detallada de la invención

65 La figura 1 ilustra un depurador de dos fases 1 de acuerdo con la presente invención. El gas de escape de un motor

se introduce a través de un tubo de escape 2 en una cámara de depuración inferior 3 de un depurador 1. La sección transversal, o área de flujo, del depurador es de manera preferente sustancialmente mayor que la sección transversal, o área de flujo, del tubo de escape, para reducir la velocidad del gas en el depurador en comparación con el tubo de escape, para permitir suficiente tiempo de retención de gas de escape en el depurador. Una baja velocidad del gas dentro del depurador también es esencial para mantener la caída de presión sobre el depurador lo más baja posible para evitar la pérdida de potencia del motor debido a una alta contrapresión en el escape entrante. El área de flujo del depurador 1 puede ser de alrededor de 1,5 a 20 veces el área de flujo del tubo de escape, tal como, por ejemplo, 2 a 10, o 2,5 a 5 veces el área de flujo del tubo de escape 2. Como ejemplo, para un tubo de escape con un diámetro de 1,3 m, el diámetro del depurador puede ser de alrededor de 2,4 m, lo que da un área de flujo que es alrededor de 4 veces el flujo del tubo de escape.

Tanto el tubo de escape como el depurador son preferentemente elementos tubulares que tienen secciones transversales circulares sustanciales, y están dispuestos para tener un eje longitudinal común de modo que el gas de escape entrante se dirija principalmente paralelo al eje longitudinal común. En consecuencia, la tubería de gas de escape tiene preferentemente una sección transversal sustancialmente circular y está sustancialmente de manera coaxial dispuesto en la parte inferior del presente depurador, como se ilustra en la figura 1. La persona experta comprenderá que otras geometrías son posibles, y entenderá cómo alterar los elementos de construcción mencionados a continuación si la sección transversal del tubo de escape y/o depurador es(son) no circular(es).

El presente depurador está preferentemente dispuesto de modo que el eje longitudinal sea sustancialmente vertical durante la operación. El tubo de escape se inserta a través de la parte inferior del depurador, y el gas de escape limpio se libera a través de una salida del depurador 20 en la parte superior del depurador. El presente depurador está dispuesto preferentemente en una tubería de escape no mostrada de la embarcación. Normalmente, dos o más tubos de escape están dispuestos en la tubería de escape. Un silenciador, que es un elemento tubular de mayor diámetro que el tubo de escape está dispuesto en la tubería de escape para reducir el ruido del motor, un silenciador por tubo de escape. El diámetro del presente depurador es sustancialmente idéntico al silenciador, mientras que la longitud del presente depurador puede ser mayor que el silenciador, normalmente alrededor de 20 a 40, tal como alrededor del 30 %, más largo que el silenciador. Incluso si el depurador es más largo que el silenciador, en la mayoría de los casos, es posible sustituir un silenciador presente en la tubería de escape de una embarcación existente, o instalar el presente depurador en lugar del(los) silenciador(es) en una nueva embarcación. La persona experta, sin embargo, entenderá que se debe realizar una reconstrucción menor para obtener espacio suficiente para el depurador de una embarcación existente.

El depurador ejemplificado comprende dos cámaras de depuración, la cámara de depuración inferior 3 y la superior, o de pulido, cámara 13, separadas por una salida de gas de escape de la cámara inferior 12, que es una constricción coaxial que define una salida desde la cámara de depuración inferior 3, y una entrada a la cámara de depuración superior 13. Las cámaras de depuración 3, 13 tienen una construcción similar a la que se describirá con más detalle a continuación.

Un cuerpo de deflexión 4 está dispuesto cerca del extremo abierto del tubo de escape 2 para redirigir el gas de escape entrante hacia las paredes externas del depurador. El cuerpo de deflexión 4 comprende en su forma más simple dos conos circulares derechos que apuntan en direcciones opuestas desde una base circular común. El cuerpo de deflexión está dispuesto axialmente de modo que el eje longitudinal del cuerpo de deflexión, conectando los vértices de los conos, el cono inferior apuntando hacia abajo, y el cono superior apuntando hacia arriba, coincide con el eje longitudinal del depurador. El cuerpo de deflexión está sujeto a las paredes del depurador por medio de conectores no mostrados que están formados para causar una perturbación mínima del flujo del gas de escape. La distancia entre el cuerpo de deflexión y el extremo abierto del tubo de gas de escape 2 tiene que ser suficiente para evitar la constricción del flujo de gas de escape que ingresa al presente depurador desde el tubo de gas de escape 2.

El ángulo identificado en la figura 1 como  $\alpha$ , del cono inferior del cuerpo de deflexión, es de alrededor de 80 a 100°, normalmente alrededor de 90°. El flujo de gas del gas de escape depende, entre otras cosas, de la configuración del cuerpo de deflexión 4. Un ángulo más agudo  $\alpha$  del cuerpo de deflexión 4 puede causar menos turbulencia en el flujo de gas y, por lo tanto, un menor grado de mezcla de la niebla y el gas de escape entrante, mientras que un ángulo menos agudo puede causar una caída de alta presión no deseada sobre el depurador. Se ha descubierto que un ángulo  $\alpha$  de entre 80 y 100° es un compromiso óptimo entre la reducción de la caída de presión causada por el cono, y la distribución eficaz del flujo de aire uniformemente en el depurador.

El diámetro del cuerpo de deflexión 4, que está dispuesto coaxialmente encima de la entrada del tubo de escape 2 al depurador 1, tiene que ser mayor que el diámetro del tubo de escape 2 para evitar que la precipitación del fluido de depuración caiga en el tubo de escape 2. Al mismo tiempo, el diámetro del cuerpo de deflexión debe ser lo suficientemente pequeño como para evitar una constricción demasiado alta del flujo de escape entre el cuerpo de constricción y las paredes del depurador, ya que esto puede provocar un aumento demasiado alto de la caída de presión sobre el depurador. La persona experta también comprenderá que un borde externo 4' del cuerpo de deflexión 4 normalmente incluirá un borde desde el cual caerá agua para evitar que el agua en la parte superior del cuerpo de deflexión siga la superficie inferior del cuerpo de deflexión y gotee hacia el tubo de gas de escape 2. El agua que ingresa al tubo de gas de escape puede ser perjudicial para el motor de barcos conectado al tubo de gas de escape.

Se pueden proporcionar boquillas de niebla 9 opcionales dispuestas en tubos de agua 10 dispuestas en el volumen por debajo del ancho máximo del cuerpo de deflexión. Las boquillas de pulverización de agua no ilustradas también se pueden proporcionar dentro del tubo de gas de escape 2, además de o en lugar de las boquillas de niebla 9 opcionales. La función de las boquillas de niebla 9 opcionales y las boquillas de pulverización no ilustradas en el tubo de gas de escape 2 es introducir gotitas de agua en el gas de escape para refrigerar y humidificar el gas de escape mediante la evaporación del agua en la pulverización desde las boquillas.

Un deflector de pared en forma de anillo 5 está dispuesto preferentemente en la pared aguas abajo del cuerpo de deflexión 4, es decir, anteriormente en el depurador que el ancho máximo del cuerpo de deflexión 4. La función del deflector de pared es guiar el próximo gas de escape fuera de la pared y hacia el eje longitudinal del depurador. El deflector de pared y el cuerpo de deflexión cooperan para proporcionar una distribución de gas y flujo de gas sustancialmente uniforme en el depurador encima del deflector de pared 5, y para conducir la corriente de gas hacia los inyectores de agua 6, 6' aguas abajo del cuerpo de deflexión, es decir, más alto que el cuerpo de deflexión en el depurador.

Los inyectores de agua 6, 6' están dispuestos para la introducción de agua para la depuración del gas de escape, es decir, para absorber principalmente SOx y para reducir las partículas en el gas de escape. El(los) inyector(es) de agua 6 está(n) dispuesto(s) para inyectar agua principalmente hacia arriba, mientras que el (los) inyector(es) de agua 6' está(n) dispuesto(s) para inyectar agua principalmente en dirección hacia abajo. La persona experta también comprenderá que, para funcionar como un líquido de depuración, el agua introducida a través de los inyectores de agua 6,6', las gotas/gotitas de agua inyectadas se han distribuido bien en la cámara de depuración inferior 3. Parte del agua de depuración inyectada a través de los inyectores de agua 6, 6' puede evaporarse, pero la mayor parte del agua caerá hacia la parte inferior de la cámara de depuración inferior y se extraerá a través de la(s) salida(s) de agua de la cámara de depuración inferior 8. La persona experta comprenderá que una parte sustancial de las gotas/gotitas de líquido inyectadas hacia arriba se retardarán y comenzarán a caer hacia abajo debido a la gravitación. Las gotitas y gotas que caen fluirán en contracorriente al gas de escape para depurar el gas. Una parte de las gotas que caen golpeará la parte superior del deflector y se dirigirá hacia la pared externa del depurador. Los inyectores de agua 6, 6' están preferentemente dispuestos sustancialmente a lo largo del eje longitudinal del depurador, entre el cuerpo de deflexión y una constricción definida por una salida de gas de escape de la cámara inferior 12.

Debido al flujo turbulento del gas, y el diseño de la parte superior del cuerpo de deflexión y los deflectores de pared 5, tanto una distribución óptima del gas como un contacto óptimo entre el gas y las gotitas de agua introducidas por los inyectores de agua 6, 6', se obtienen.

El deflector de pared 5 tiene preferentemente una sección transversal en forma de cuña que tiene un ángulo agudo  $\beta$  que apunta hacia abajo en el depurador 1, es decir, dirigido hacia la parte inferior del depurador. Se ha descubierto que el ángulo  $\beta$  preferentemente debería ser de alrededor de  $5^\circ$  a alrededor de  $30^\circ$ . De acuerdo con los cálculos, el ángulo más preferente  $\beta$  es alrededor de  $20^\circ$ , para obtener el contacto de agua/gas óptimo mencionado anteriormente y al mismo tiempo una distribución uniforme de gas y flujo de gas en el depurador 1.

La forma de la parte superior del cuerpo de deflexión 4, es decir, el cono que apunta hacia arriba también es importante para la optimización del diseño del depurador. La parte superior del cuerpo de deflexión afecta el patrón de flujo del gas por encima del cuerpo de deflexión y cooperará con el deflector de pared 5. El ángulo definido por la parte superior del cono superior,  $\alpha'$ , se ajusta de modo que el cono superior del deflector 4 interactúe con el deflector de pared 5, y de modo que el agua que cae en la parte superior del deflector 4 se dirija hacia la pared externa del depurador en una dirección que minimiza las salpicaduras que pueden golpear el tubo de escape 2. Para obtener esto, el ángulo  $\alpha'$  normalmente será  $<90^\circ$ , tal como  $90^\circ$  a  $70^\circ$ , o alrededor de  $93^\circ$ .

El gas de escape en el tubo de escape 2 tiene normalmente una temperatura de alrededor de  $220^\circ\text{C}$  a alrededor de  $385^\circ\text{C}$ , dependiendo de la carga del motor que produce el gas de escape y si es un economizador, normalmente dispuesto para utilizar el calor en el gas de escape para la generación de vapor, se ha enganchado. El gas de escape entrante se refrigera mediante la introducción de gotitas de agua o niebla en el gas de escape y eso refrigera el gas de escape por evaporación, como se describirá más a continuación. El gas de escape entrante es relativamente seco y se refrigera eficazmente por evaporación de la niebla de agua y las gotitas de agua que se mezclan con el gas de escape entrante como se describe anteriormente. Para lograr una absorción eficaz de SOx del gas de escape en el agua de depuración, una temperatura de alrededor de  $40^\circ\text{C}$ , o inferior, se requiere en la cámara de depuración.

El agua introducida por los inyectores de agua puede refrigerar el escape entrante suficientemente. El agua introducida en los inyectores de agua 6,6', cae hacia abajo en la cámara del depurador inferior 3 como se describe anteriormente, y como se describirá con más detalle a continuación.

El agua adicional, en forma de niebla de agua, puede introducirse a través de las boquillas de niebla opcionales 9, recibir agua de las líneas de niebla 10, estando las boquillas de niebla 9 dispuestas dentro de la pared del depurador 1 en el área donde el gas de escape es conducido hacia las paredes del depurador por el cuerpo de deflexión 4. La turbulencia en el flujo de gas de escape redirigido en esta área entre las paredes del depurador y el cuerpo de deflexión determina una mezcla íntima de gotitas de agua, niebla de agua y gas de escape.

La persona experta también comprenderá que la niebla de agua para refrigerar el gas de escape entrante se puede disponer en otras posiciones. En consecuencia, las boquillas 9 pueden estar dispuestas en el área entre el tubo de gas de escape 2 y la parte inferior del cuerpo de deflexión como se ilustra en la figura 1, o disponerse o cerrar las paredes del depurador. Alternativamente, o adicional a las boquillas 9, las boquillas no mostradas pueden estar dispuestas dentro del tubo de gas de escape 2. El flujo de agua y el tamaño de las boquillas de gotitas formadas dispuestas dentro del tubo de gas de escape deben controlarse para evitar la formación de gotas que puedan caer hacia atrás y terminar en el motor del barco.

Para obtener una mezcla íntima de gas de escape y las gotitas de agua y agua, las boquillas de niebla 9 opcionales pulverizan en un ángulo obtuso, normalmente entre 100 y 150°, tal como alrededor de 130°. El tamaño medio de gotita de la pulverización de las boquillas de pulverización 9 opcionales es de alrededor de 0,1 mm a alrededor de 0,5 mm, tal como alrededor de 0,25 mm para permitir una evaporación rápida para refrigerar el gas de escape. Los mismos ángulos de pulverización y tamaños de gotitas se aplican a cualquier boquilla no mostrada en el tubo de gas de escape 2. Para obtener una distribución uniforme de las gotitas de agua en el gas de escape, la persona experta comprenderá que se prefiere una pluralidad de boquillas de niebla.

El uso de boquillas de niebla dispuestas debajo de la parte más ancha del cuerpo de deflexión, es decir, debajo del paso de gas de escape más estrecho entre el cuerpo de deflexión y las paredes del depurador, la niebla se está mezclando íntimamente con el gas de escape debido al flujo turbulento del gas de escape creado debajo de la parte más ancha del cuerpo de deflexión y el camino de flujo adicional a medida que se abre hacia arriba.

Las gotas de agua que llueve de los inyectores de agua 6, 6' caerán en el espacio abierto entre el cuerpo de deflexión y las paredes del depurador, o golpearán el cono que apunta hacia arriba del cuerpo de deflexión 4. El cono que apunta hacia arriba del cuerpo de deflexión 4, o la parte superior del cuerpo de deflexión 4, también tiene la función de "paraguas" para evitar que el agua caiga en el tubo de escape 2. El agua que cae hacia abajo sobre la parte superior del cuerpo de deflexión 4 rebotará hacia las paredes del depurador. El flujo de agua resultante que comprende gotas y gotitas de agua de diferentes tamaños fluirá principalmente hacia abajo y contracorriente hacia el gas de escape en el espacio entre el cuerpo de deflexión y las paredes del depurador.

Los inyectores de agua 6, 6' están dispuestos en los tubos del inyector 7 que están conectados a los tubos de suministro de agua fuera del depurador 1. El depurador ilustrado en la figura 1 tiene dos inyectores de agua 6, 6' dispuestos en cada tubo del inyector 7 dispuestos a diferentes niveles de altura en el depurador 1. El número de inyectores de agua 6, 6' en la cámara de depuración inferior puede variar dependiendo del diseño real y los criterios de diseño para el depurador en cuestión.

La figura 1 ilustra una realización en donde dos inyectores de agua 6, 6', uno dispuesto para pulverizar principalmente hacia arriba, y el otro dispuesto para pulverizar principalmente hacia abajo, están dispuestos en cada tubo del inyector 7. De acuerdo con la realización ilustrada, dos tubos del inyector 7, cada uno provisto de dos inyectores 6, 6', se proporcionan en la cámara de depuración inferior 3. La persona experta en la materia entenderá tener boquillas pulverizando tanto hacia arriba como hacia abajo, una apuntando hacia arriba, 6', y una o varias apuntando hacia abajo, 6. Opcionalmente, un inyector de agua 6 en los tubos del inyector superiores 7 se dirige hacia arriba, mientras que un inyector de agua 6' en el tubo del inyector inferior 7 apunta hacia abajo. La pulverización de agua del inyector de agua dirigido hacia arriba 6 ayuda a impulsar el gas de escape desde la cámara de depuración inferior 3, a través de la constricción definida por la salida de gas de escape de la cámara inferior 12 y dentro de la cámara de depuración superior creando un efecto Venturi en la constricción.

El(los) inyector(es) de agua que apunta(n) hacia abajo 6' se dirige(n) hacia abajo contra la dirección principal del gas de escape que fluye hacia arriba en el depurador 1. Los inyectores de agua 6,6' comprende una o varias boquillas diseñadas para proporcionar un flujo de gotas ampliamente extendido que tenga un tamaño promedio lo suficientemente grande como para permitir que las gotas de agua caigan en la parte inferior del depurador contra el flujo del gas de escape, y al mismo tiempo lo suficientemente pequeño como para proporcionar un área de contacto suficiente para la absorción de SOx, y para capturar partículas presentes en el gas de escape.

Normalmente, el ángulo del cono de pulverización de los inyectores de agua 6, 6' es de 90 a 150°, tal como alrededor de 120°, para obtener una distribución suficiente de gotitas de agua en el depurador. El tamaño de la gotita puede variar dependiendo de la velocidad media típica del gas de escape dentro del volumen del depurador. Normalmente, la velocidad media del gas es de alrededor de 6 a 12 m/s, tal como alrededor de 8-10 m/s. El tamaño medio de la gotita (diámetro) para permitir que el agua caiga hacia abajo en el depurador contra el gas de escape que fluye hacia arriba, y al mismo tiempo obtener un área de contacto suficiente, es de alrededor de 2 mm a alrededor de 3,5 mm, tal como de alrededor de 2,5 a alrededor de 3 mm.

Los inyectores de agua 6, 6' puede ser de cualquier tipo que sea capaz de producir gotitas de agua del diámetro medio indicado. Cada inyector de agua 6, 6' puede comprender uno o varios orificios de pulverización todos dirigidos en un ángulo hacia la entrada del gas de escape y en diferentes ángulos para cubrir un ángulo de cono de pulverización como se indicó anteriormente.

5 El agua introducida a través de las boquillas de pulverización 9 opcionales y los inyectores de agua 6, 6' es preferentemente agua de mar. La pulverización de agua de las boquillas de pulverización 9 opcionales refrigera y satura el gas de escape con agua, mientras que el agua pulverizada de los inyectores de agua 6, 6' funcionan ambos como una solución de depuración para el gas de escape, para la eliminación/reducción de SOx, y polvo, tal como el hollín y otra materia particulada presentes en el gas de escape, además de refrigerar el gas de escape. Las gotitas de agua rociadas de los inyectores de agua 6, 6' disuelve SOx basándose en de la solubilidad en el agua. Adicionalmente, SOx puede reaccionar con solutos en el agua para aumentar la capacidad de captura del agua. Las partículas en el gas de escape son capturadas por el agua. Las gotitas que caen hacia abajo en el depurador se recogen en la parte inferior de la cámara de depuración inferior, y el agua recogida se extrae a través de una o varias salidas de agua de la cámara inferior 8, y tratadas adicionalmente como se describirá con más detalle a continuación.

15 El gas depurado en la cámara de depuración inferior 3 se extrae a través de la salida de gas de escape de la cámara inferior 12 como se mencionó anteriormente. La salida de gas de escape de la cámara inferior 12 es, como se ha mencionado anteriormente, una constricción dispuesta coaxialmente formada sustancialmente de un estrechamiento axial de la cámara de depuración inferior 3. El diseño del estrechamiento axial de la cámara de depuración inferior es, sin embargo, importante para reducir la caída de presión sobre el depurador. Preferentemente, el estrechamiento está diseñado sustancialmente como un cuello de botella diseñado para reducir la caída de presión sobre el estrechamiento evitando bordes afilados que pueden perturbar el flujo de gas de escape y aumentar el flujo resistente en el mismo.

20 El(los) inyector(es) de agua dirigido(s) hacia arriba mencionado(s) anteriormente 6 debajo de la restricción de salida de gas de escape 12 de la cámara inferior, provoca(n) un efecto Venturi en la salida de gas de escape 12 de la cámara inferior que tanto reducirá la caída de presión y como que provocará un contacto íntimo entre el gas de escape y el agua inyectada desde el inyector de agua dirigido hacia arriba 6.

25 El gas extraído a través de la salida de gas de escape de la cámara inferior 12 se introduce en una cámara de depuración superior 13, configurándose principalmente de la misma manera que la cámara de depuración inferior 3.

30 El gas de escape entrante se redirige por medio de un cuerpo de deflexión de la cámara superior 14, un deflector de pared de la cámara superior 18, y se pulveriza niebla de agua en la cámara de depuración 13 a través de inyectores de agua 16 dispuestos en tubos del inyector 17. Todos los inyectores de agua en la cámara de depuración superior 13 están dirigidos hacia abajo. El agua se recoge en la parte inferior de la cámara de depuración superior 13, y se extrae a través de una o varias salidas de agua de la cámara superior 18.

35 El gas depurado sale de la cámara de depuración superior 13 a través de una salida del depurador 20 desde la cual el gas de escape depurado se libera a la atmósfera directamente o a través de una tubería de salida de gas de escape limpio no mostrada. La salida del depurador 20 puede estar formada sustancialmente por un estrechamiento axial de la cámara de depuración superior 13 correspondiente a la salida de gas de escape de la cámara inferior 12, ya que se deben tomar las mismas consideraciones con respecto a la reducción de la caída de presión, etc.

40 Un desnebulizador 19 está dispuesto en la parte superior de la cámara de depuración superior 13, o en la transición entre la cámara de depuración y la salida del depurador 20, para eliminar o reducir sustancialmente la cantidad de gotitas de agua que se liberan del depurador junto con el gas de escape depurado. El desnebulizador 19 comprende una almohadilla de cables, ya sea de punto, tejida o no tejida, apoyada por un marco, para capturar gotitas arrastradas con el gas para evitar o reducir sustancialmente la cantidad de gotitas en el gas liberado a la atmósfera. Los cables de la almohadilla pueden ser de cualquier material adecuado siempre que el material sea duradero y no se vea erosionado por las condiciones del decapante. El acero inoxidable es actualmente el material más preferente para los cables. Preferentemente, se proporciona un distribuidor de agua 21 que recibe agua de una línea de suministro de agua del desnebulizador 22 para distribuir agua sobre el desnebulizador para eliminar los sólidos acumulados en la malla del desnebulizador y para mejorar la captura de niebla por el desnebulizador. Los sólidos pueden ser el resultado de sólidos contenidos en gotitas de agua y/o sales que precipitan de las gotitas capturadas. Las gotitas capturadas y el agua de lavado forman gotas más grandes que caen hacia abajo en la cámara de depuración superior 13 y se eliminan junto con el líquido de depuración en la línea 18.

55 La figura 2 es un esquema principal simplificado de un sistema de limpieza de escape que incluye el depurador 1 descrito anteriormente. El agua de mar se toma del cofre marino a través de una toma de agua de mar no mostrada, común para varios consumidores de agua de mar a bordo. El agua de mar de la toma de agua de mar común se trata para la reducción de sólidos, etc., y para evitar o reducir las incrustaciones en líneas y tanques. El agua de mar así tratada se introduce en la presente planta a través de una tubería de toma de agua de mar 99 a través de una bomba de toma de agua de mar 100 que proporciona la presión requerida. El agua excita la bomba 100 a través de una tubería de mar presurizada 101, que se divide en una tubería de agua de refrigeración 102 y una línea de agua de proceso 103, cada una controlada por las válvulas 104, 105, respectivamente.

65 El agua de refrigeración en la tubería de agua de refrigeración 102 se introduce en un refrigerador 106 para refrigerar el agua de proceso que se utilizará para pulverizar en el depurador 1 en el modo cerrado de operación como se describirá a continuación. El agua de refrigeración que sale del refrigerador 106 se conduce a través de una línea de salida de agua de refrigeración 107 y se libera al mar que rodea la embarcación a través de una línea común de salida

de agua al agua 108.

El presente sistema de limpieza de gas de escape puede funcionar en modo abierto o cerrado. El modo abierto se describirá primero, a continuación.

5 El agua en la línea de agua de proceso 103 es, como se ha mencionado anteriormente, controlada por una válvula de agua de proceso 104. En el modo abierto, la válvula 104 está abierta para permitir que el agua de mar entre en la línea 103. Una bomba de agua de proceso 112 está dispuesta en la línea 103 para aumentar la presión del agua a la presión necesaria para la introducción en el depurador 1. Una válvula de tanque de proceso 114 en una tubería de tanque de proceso 113 conectada a un tanque de proceso 152 se cierra en el modo de operación abierta.

15 Como se ha mencionado anteriormente, un refrigerador 106 está dispuesto en la tubería 103 para refrigerar el agua en su interior. En el modo abierto, el agua de refrigeración y el agua en la línea 103 están a la misma temperatura. En consecuencia, la refrigeración puede apagarse cerrando la válvula de agua de refrigeración 103 en la línea de agua de refrigeración 102. Apagar la refrigeración en el modo abierto, reduce el consumo de potencia y, por lo tanto, el coste de funcionamiento, ya que se bombea menos agua.

20 El agua de proceso en la línea 103 se divide en los tubos de boquilla 7, 17 y la línea de niebla de pulverización 10. El flujo de agua en los tubos de boquillas en las boquillas está controlado por las válvulas 7', 17'. El agua recogida en la parte inferior de cada cámara del depurador se extrae a través de las tuberías de salida de agua 8, 18. Las válvulas 8', 18' están dispuestas en las tuberías 8, 18 para controlar el flujo. El agua en las líneas 8, 18 se introducen en la tubería de extracción de agua 150 y se introducen en el tanque de proceso 152. Una válvula de control 154 puede disponerse en el flujo en la tubería 150. La persona experta también comprenderá que se puede proporcionar una bomba no mostrada para bombear el agua en la tubería 150 si es necesario.

25 Se proporciona un tanque de aditivos químicos 109 conectado a una bomba dosificadora 110 para agregar productos químicos al agua en la línea 103, para ajustar el pH del agua y/o agregar los químicos necesarios, iones, etc., al agua. Cuando se opera en modo cerrado, se debe tener cuidado para evitar agregar productos químicos que sean ambientalmente inaceptables como tales o que puedan formar compuestos ambientalmente inaceptables en reacción con componentes en el agua de mar y/o gas de escape. La adición de productos químicos tales como, por ejemplo,  $Mg(OH)_2$  al agua entrante puede usarse para ajustar el pH, para aumentar la capacidad del agua para unir gases ácidos, tales como  $SO_x$ , pero en muchas aguas no será estéticamente aceptable debido a la turbidez del agua resultante que se liberará.

35 Si está permitido debido a restricciones ambientales, el agua en el tanque de proceso 152 puede liberarse a través de la tubería de salida del tanque de proceso 160 a través de las válvulas 161, 162 y liberarse a través de la línea de salida de agua al agua 108.

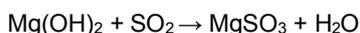
40 Si se aplican regulaciones ambientales más estrictas, la válvula 161 está cerrada, y la bomba 154 se activa para bombear agua desde el tanque 152 al hidrociclón 166 para eliminar materiales particulados del agua. El agua limpia se extrae del hidrociclón 166 a través de las líneas de agua limpia de hidrociclón 170, y se libera al mar a través de la línea de salida de agua al agua 108. Se extrae una cantidad menor de agua del hidrociclón junto con la materia particulada a través de las líneas de residuos 168 y se introduce en una unidad de filtro de bolsa 167. Los filtros en la unidad de filtro de bolsa se cambian de acuerdo con la necesidad, por lo tanto, y los residuos sólidos son atendidos para su eliminación. El agua filtrada a través de las unidades de filtro de bolsa se devuelve al tanque de proceso 152.

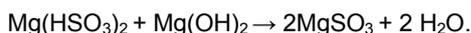
45 Cuando se aplican las regulaciones ambientales más estrictas, tal como en aguas costeras, en puertos, o en áreas ambientalmente protegidas, tal como el mar Báltico, etc., el presente sistema funciona en un modo cerrado.

50 En el modo cerrado, la válvula 162 que permite que el agua del tanque de proceso 151 se libere a través de la línea de salida de agua al agua 108, está cerrada. Adicionalmente, válvula 114 en la línea 113 que conecta el tanque de proceso 152 a la línea 103 para el agua circulante, se abre para que el agua de proceso se tome del tanque de agua de proceso 152, para que el agua vuelva a circular.

55 En el álcali de modo cerrado, tal como  $Mg(OH)_2$  se agrega al tanque de proceso 152 para aumentar el pH, y, por lo tanto, aumentar la capacidad de absorción/unión de  $SO_x$ . Se agrega álcali al tanque 152 desde un tanque de álcali 180 a través de una tubería de álcali 181. Se proporciona una bomba dosificadora 182 en la línea 181 para introducir la cantidad requerida de álcali al tanque 152.

60 La mayor parte del  $SO_x$  en el gas de escape está en forma de  $SO_2$ . Dentro del depurador, el  $SO_2$  se disuelve en el agua. El  $Mg(OH)_2$  agregado al agua de depuración reaccionará con  $SO_2$  de acuerdo con las siguientes ecuaciones:





El  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  puede cargarse como tal a bordo de la embarcación e introducirse en el proceso. Alternativamente, puede proporcionarse  $\text{MgO}$ . El  $\text{MgO}$  puede reaccionar con agua para producir  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  en una instalación de proceso a bordo para aumentar la reactividad de la misma.

El oxígeno se agrega al agua en los tanques de proceso 152 por aireación, es decir, la introducción de un gas como oxígeno, aire u aire enriquecido con oxígeno a través de una línea de aire 148 conectada a un difusor de aire 149, y permitiendo que el gas introducido burbujee a través del agua. La introducción de oxígeno en los tanques permite una mayor oxidación del  $\text{MgSO}_3$  de acuerdo con la fórmula:



La refrigeración del agua circulante es especialmente importante para la operación del sistema en el modo cerrado. La refrigeración del agua circulante se obtiene por medio del refrigerador 106, como se describió anteriormente. El agua de refrigeración usada introducida desde la toma de agua 100, no está contaminada por ningún proceso interno a bordo de la embarcación y puede liberarse a través de la salida de agua al agua 108.

Durante el modo cerrado, la válvula 105 en la línea 103 que controla el agua de mar entrante se controla solo para agregar la pérdida de agua en el proceso causada por la evaporación en el depurador.

El sistema descrito con referencia a la figura 2 tiene un tiempo limitado de operación en el modo cerrado, ya que los solutos, etc., se acumulan en el agua circulante y el sistema de purificación actualmente descrito no está desarrollado para una operación continua durante un período prolongado. El sistema descrito con referencia a la figura 2 puede ser diseñado, por ejemplo, para operar durante alrededor de 72 horas, que corresponde al tiempo que tarda un crucero en ingresar al área protegida en los países bálticos a los puertos de interés. En el puerto, el agua de depuración circulante puede ser eliminada en las plantas para residuos líquidos y reemplazarse por agua nueva.

La persona experta comprenderá que se puede introducir redundancia para partes críticas del sistema de tratamiento de agua descrito con referencia a la figura 2. Tales partes críticas pueden ser, por ejemplo, hidrociclón 166 y unidades de filtro de bolsa 167.

El presente sistema tiene ventajas importantes sobre soluciones anteriores, ya que el depurador tendrá la función de silenciador, así como de limpieza del gas de escape de materia particulada, así como de  $\text{SO}_x$ . Adicionalmente, en caso de falla con la circulación del agua, el presente depurador puede operar como un silenciador incluso sin agua, mientras que las soluciones alternativas conocidas no pueden operarse en seco y requieren la presencia de una línea de escape de bypass en caso de que se detenga la circulación del agua. El presente sistema también consume menos espacio que las soluciones conocidas anteriores y no requiere, o solo algunas, modificaciones a bordo de un barco existente. En la mayoría de las circunstancias, un barco existente puede estar en plena operación durante la instalación del presente sistema.

La persona experta comprenderá que incluso si el depurador descrito anteriormente comprende dos cámaras del depurador conectadas en serie, el depurador puede comprender más de dos cámaras del depurador conectadas en serie.

En la mayoría de los diseños de barcos, tal como cruceros, los presentes depuradores pueden instalarse en la mayoría de los casos durante la operación de la embarcación. El gas de escape es conducido desde los motores a la tubería de escape en los tubos de escape, donde se coloca un silenciador por tubo de escape para amortiguar el ruido del motor, antes de que el gas de escape se libere en los alrededores. Los depuradores actualmente descritos y reivindicados sustituyen el silenciador, como el depurador tiene sustancialmente el mismo diámetro que el silenciador al que sustituye, y es, como se ha mencionado anteriormente, normalmente alrededor del 30 % más largo que el silenciador. Normalmente, la sustitución del silenciador por el presente depurador no requiere ninguna reconstrucción importante a bordo de la embarcación, ya que hay suficiente espacio dentro de la chimenea para permitir este aumento de longitud en comparación con el silenciador.

Durante la sustitución del silenciador con un depurador de acuerdo con la presente invención, el gas de escape al tubo de escape correspondiente se apaga deteniendo uno de los motores del barco, sin afectar la operación de la embarcación. Tan pronto como el presente depurador haya reemplazado el silenciador y esté bien sujeto dentro de la chimenea y al tubo de escape, el motor puede reiniciarse, y funcionar de manera normal ya que el presente depurador funcionará como un silenciador y no se dañará, incluso si funciona en seco. La instalación del depurador puede entonces continuar sin afectar la operación de la embarcación. Tan pronto como el sistema de inyección de agua y tratamiento de agua esté instalado a bordo, se puede iniciar la depuración.

El sistema restante para el tratamiento del agua y la inyección en el depurador puede instalarse independientemente del depurador como tal. El tanque de proceso 152, hidrociclón, 166, bombas, tuberías, intercambiador de calor 106, etc., también requieren mucho espacio, pero pueden organizarse dentro o cerca de la sala de máquinas y requerirán

una reconstrucción mínima a bordo, lo que dará como resultado un área reducida disponible para los pasajeros, como tales reducciones resulta en ingresos reducidos para la embarcación.

Una ventaja específica para los presentes depuradores es que los depuradores pueden funcionar en seco, es decir, sin introducción de agua a través de las boquillas de pulverización o los inyectores de agua. La presión del agua puede caer o desaparecer debido a fallas técnicas. Durante la operación en seco, los presentes depuradores funcionan como silenciadores sin ningún resultado dañino para los depuradores, incluso si los depuradores operan en seco durante un período de tiempo prolongado. Aunque la operación en seco puede dar como resultado un mayor nivel de ruido en comparación con la operación normal de los depuradores, debido al efecto silenciador del agua, el ruido no es peor que en una situación en la que los silenciadores originales redujeron el ruido. Tan pronto como vuelva el agua, los depuradores volverán a funcionar como se describió anteriormente.

Los Depuradores empacados, por otra parte, no puede sin la cantidad suficiente cantidad de agua durante un período prolongado ya que el lecho compacto está obstruido por las partículas presentes en el gas de escape si se opera sin agua. Para evitar tener que detener los motores si desaparece la presión del agua de decapado, la corriente de gas de escape debe ser redirigida a los silenciadores originales si el suministro de agua a los depuradores empacados se detiene por más de un período predeterminado como se mencionó anteriormente. Esto significa que los tubos de escape originales y los silenciadores deben mantenerse dentro de la chimenea, y que los depuradores que consumen espacio tienen que desplazar áreas a bordo que normalmente se usan como áreas para pasajeros.

### Ejemplo

Se han realizado cálculos para el manejo de gas de escape de un motor de barco de 12,6 MW, que tiene un caudal de gas de escape al 100 % de carga de alrededor de 71.000 m<sup>3</sup>/h. El flujo de gas de escape del motor puede variar de alrededor de 14,000 m<sup>3</sup>/ha alrededor de 71.000 m<sup>3</sup>/h. Los cálculos se realizan con la carga normal de alrededor del 75 % de la carga máxima, resultando en un flujo de gas de alrededor de 53.200 m<sup>3</sup>/h, correspondiente a una velocidad de entrada de gas en una tubería de gas de escape que tiene un diámetro de alrededor de 1,2 m de 38 m/s. Como se ha mencionado anteriormente, el gas de escape en el tubo de escape 2 tiene normalmente una temperatura de alrededor de 220 a alrededor de 375 °C, dependiendo de la carga del motor que produce el gas de escape y si es un economizador, normalmente dispuesto para utilizar el calor en el gas de escape para la generación de vapor, se ha enganchado.

El depurador 1 utilizado para los cálculos tiene un diámetro de alrededor de 2,3 metros, y una altura total de alrededor de 15,5 metros. Partiendo de una carga normal y una temperatura de gas de escape de 240 °C y un flujo másico de gas de escape de 22,4 kg/s, se introducen alrededor de 3 kg/s de agua a través de las boquillas de niebla 9 para refrigerar el gas de escape a alrededor de 40 °C, una temperatura cercana a la temperatura del agua de refrigeración introducida, confirmando que toda la refrigeración es resultado de la evaporación. Las boquillas de pulverización produjeron niebla con un tamaño medio de gotita de 0,25 mm. El uso de boquillas de niebla 9 es, como se mencionó anteriormente, opcional, y se puede omitir en las temperaturas de entrada de gas de escape más bajas, es decir, si se opera un economizador aguas arriba del presente depurador.

Se introdujeron alrededor de 36 kg de agua/segundo a través de cada uno de los dos inyectores de agua 6, 6' por cámara de depuración, o un total de alrededor de 144 kg de agua/segundo, en el modelo calculado para obtener una eliminación suficiente de partículas y SOx. El tamaño medio de las gotitas introducidas a través de los inyectores de agua 6, 6', 16 es entre 0,5 y 3 mm, tal como alrededor de 2,5 a 2,8, o alrededor de 2,7 mm, para obtener un área superficial suficientemente grande para obtener la captura requerida de partículas y SOx, y para permitir que las gotitas caigan hacia abajo contra el flujo del gas de escape.

Las simulaciones indican que la uniformidad en la distribución de la velocidad del gas en las cámaras del depurador era muy buena, inmediatamente por encima del primero, o cuerpo de deflexión inferior 4, lo cual es prometedor para la eficacia del depurador. La simulación también confirmó que la temperatura era uniforme directamente encima del primer cuerpo de deflexión 4. La demanda de agua para una depuración eficaz es menor que para los sistemas de depuración conocidos de gas de escape. El bombeo de agua a ser introducida en el depurador consume mucha potencia. La reducción del volumen de agua por segundo es importante para reducir el requisito de potencia, y, por lo tanto, los costes de funcionamiento de la solución del depurador.

La caída de presión sobre el depurador aumentó de alrededor de 0,9 kPa cuando el depurador operó sin agua, es decir, solo como silenciador, a <1,47 kPa durante la operación como depurador. Esta caída de presión, provocada por las gotitas, es más menor que para los depuradores de lecho compacto sugeridos anteriormente que consumen más espacio además de las otras desventajas mencionadas anteriormente.

Los resultados de las simulaciones han sido confirmados por una instalación prototipo en una embarcación en operación. El prototipo fue instalado y operado sin perturbar la operación de la embarcación. El prototipo eliminó el > 85 % de las partículas en el gas de escape medido por mediciones con láser. Adicionalmente, alrededor del 99 % del SOx se eliminó del gas de escape cuando el depurador operaba en el modo abierto.

**REIVINDICACIONES**

1. Un depurador (1) para gas de escape de una embarcación marina, que comprende una cámara de depuración superior e inferior (3, 13), siendo las cámaras de depuración (3, 13) sustancialmente simétricas sobre un eje longitudinal común que está dispuesto sustancialmente de manera vertical, donde una salida de gas de escape de la cámara inferior (12) está dispuesta en la parte superior de la cámara de depuración inferior (3) como una constricción coaxial, para extraer el gas de escape parcialmente depurado de la primera cámara de depuración e introducir el gas en la cámara de depuración superior (13), en donde un tubo de gas de escape (2) está dispuesto sustancialmente de manera coaxial a través de la parte inferior de la cámara de depuración inferior, que el tubo de gas de escape (2) se abre en la cámara de depuración inferior (3), y que una salida de gas de escape (20) está dispuesta coaxialmente a través de la parte superior de la cámara de depuración superior, en donde un cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior (4) está dispuesto por encima de la abertura del tubo de gas de escape (2) para redirigir el gas de escape hacia las paredes del depurador y crear un flujo de gas turbulento,
- caracterizado por que**
- el cuerpo de deflexión comprende dos conos rectos dirigidos en sentidos opuestos que tienen una base común y un eje de rotación común que coincide con el eje longitudinal del depurador;
  - los inyectores de agua de la cámara inferior (6, 6') están dispuestos a lo largo del eje longitudinal de la cámara de depuración inferior y por encima del cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior (4), para introducir agua de depuración en la corriente de gas de escape, y donde al menos uno de los inyectores de agua debajo de la salida de gas de escape de la cámara inferior (6) se dirige hacia arriba, hacia la constricción de salida del gas de escape de la cámara inferior (12), creando, por lo tanto, un efecto Venturi en la salida de gas de escape de la cámara inferior (12).
2. El depurador de acuerdo con la reivindicación 1, en donde una o varias salidas de agua de la cámara inferior (8) está(n) dispuesta(s) para extraer el agua de depuración recogida en la parte inferior de la cámara de depuración inferior (3).
3. El depurador de acuerdo con las reivindicaciones 1 o 2, en donde dos o más inyectores de agua están dispuestos en la cámara de depuración inferior y donde al menos uno de los inyectores de agua (6') está dirigido hacia abajo, hacia el cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior (4).
4. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un deflector de pared de cámara inferior en forma de anillo (5) está dispuesto en la pared del depurador.
5. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el ángulo superior ( $\alpha$ ) del cono dirigido hacia abajo es 80-100° y el ángulo superior del cono dirigido hacia arriba es 70-90°.
6. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde una o varias boquillas de niebla de agua está(n) dispuesta(s) en la cámara de depuración inferior (3) debajo del cuerpo de deflexión de la cámara de depuración inferior (4).
7. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un cuerpo de deflexión de la cámara de depuración superior (14) está dispuesto dentro de la cámara de depuración superior (13) y por encima de la salida de gas de escape de la cámara de depuración inferior (12).
8. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde uno o varios inyectores de agua de la cámara de depuración superior (16) está(n) dispuesto(s) en la cámara de depuración superior.
9. El depurador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un desnebulizador está dispuesto en la parte superior de la cámara de depuración superior para reducir la niebla de agua en el gas de escape depurado.
10. Un método para la depuración de gas de escape, en donde el gas de escape se introduce en un depurador donde el gas de escape se depura en contacto con agua de mar para reducir el SOx y las partículas en el gas de escape, comprendiendo el método las etapas de:
- a. introducir el gas de escape a depurar a través de un tubo de gas de escape dispuesto coaxialmente en una cámara de depuración inferior en un depurador tubular que comprende dos o más cámaras de depuración conectadas en serie,
  - b. redirigir la corriente de gas de escape mediante un cuerpo de deflexión, que comprende dos conos rectos dirigidos en sentidos opuestos que tienen una base común y un eje de rotación común que coincide con el eje longitudinal del depurador, y que está dispuesto por encima de la abertura del tubo de gas de escape para crear un flujo de gas turbulento;

- c. introducir gotitas de agua en el gas de escape para depurarlo,
- d. extraer el gas de escape depurado de la primera cámara de depuración a través de la salida de escape de la cámara inferior que está dispuesta como una constricción dispuesta coaxialmente,
- e. introducirlo en una segunda cámara de depuración en donde el gas de escape se depura adicionalmente,
- f. liberar el gas de escape depurado en el entorno,

5

**caracterizado por que** al menos una parte de las gotitas de agua introducidas en la etapa c) se introducen por medio de inyectores de pulverización de agua de la cámara inferior dispuestos a lo largo del eje longitudinal de la cámara de depuración inferior y encima del cuerpo de deflexión de la cámara inferior, y por que al menos uno de los inyectores de pulverización de agua está pulverizando agua hacia arriba hacia la constricción de salida de gas de escape de la cámara inferior, creando, por lo tanto, un efecto Venturi en la salida de gas de escape de la cámara inferior.

10

11. El método de la reivindicación 10, en donde la niebla de agua se introduce en el gas de escape entrante para refrigerarlo y humedecerlo entre las etapas a) y b).

15

12. El método de las reivindicaciones 10 u 11, en donde el agua de depuración usada extraída del depurador se libera en el mar circundante.

20

13. El método de la reivindicación 12, en donde las partículas se eliminan del agua de depuración usada antes de liberar el agua.

14. El método de las reivindicaciones 10 u 11, en donde el agua de depuración usada se recicla en el depurador.

25

15. El método de la reivindicación 14, en donde el agua de depuración usada se trata para reducir la cantidad de partículas antes de ser reciclada en el depurador.

16. El método de las reivindicaciones 14 o 15, en donde se agrega álcali al agua de depuración usada antes de reciclarla en el depurador.

30

17. El método de la reivindicación 16, en donde el álcali es una solución acuosa de MgO o Mg(OH)<sub>2</sub>.

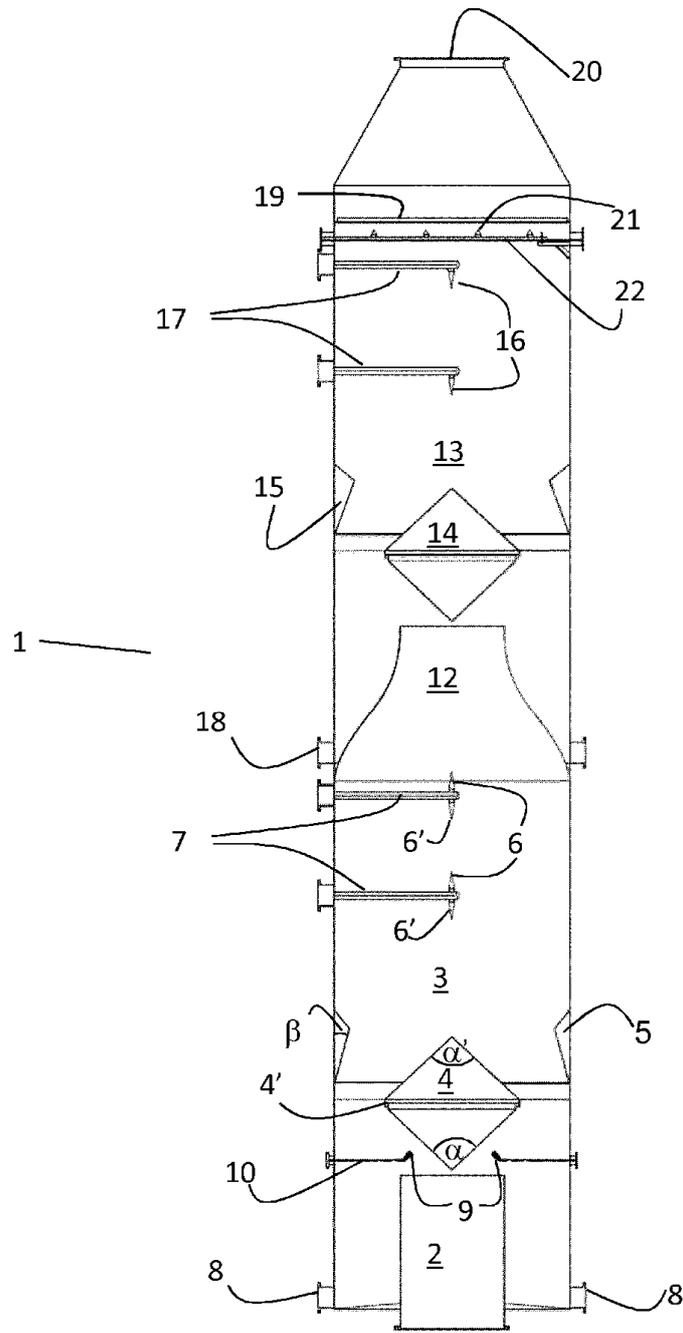


Fig. 1

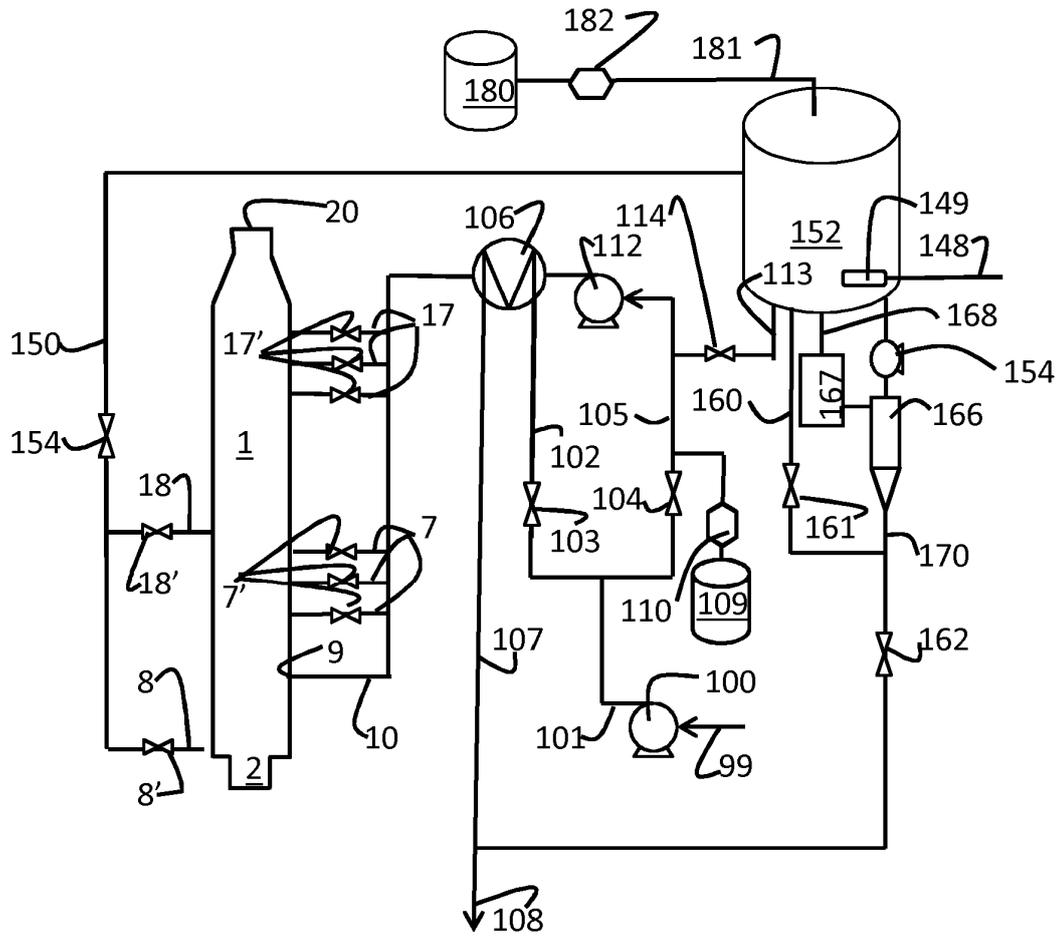


Fig. 2