

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 554 112**

51 Int. Cl.:

F01N 3/04

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.03.2013** **E 13158355 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.10.2015** **EP 2775112**

54 Título: **Sistema de limpieza y método para la reducción de SOx en gases de escape**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
16.12.2015

73 Titular/es:

ALFA LAVAL CORPORATE AB (100.0%)
P.O. Box 73
221 00 Lund, SE

72 Inventor/es:

MÖLGAARD, SÖREN y
HANSEN, JENS PETER

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 554 112 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

Sistema de limpieza y método para la reducción de SOx en gases de escape

5 Campo técnico

La invención se refiere a un sistema de limpieza y a un método para la reducción de SOx y materia en forma de partículas en gases de escape de un motor de combustión marino, quemador o caldera. La invención se refiere también al uso de un sistema de este tipo.

10 Antecedentes

Durante la combustión de combustibles fósiles, se libera azufre en el combustible en forma de óxidos de azufre (SOx). Otros contaminantes son principalmente materia en forma de partículas, tal como hollín, aceite y partículas de metales pesados, y óxidos de nitrógeno (NOx). Se sabe bien que la contaminación del aire afecta gravemente a la salud de las personas y al entorno. Se sabe bien también que el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno son los principales precursores de la lluvia ácida.

Las presentes regulaciones respecto al control de emisiones para transporte internacional incluyen restricciones sobre el contenido de azufre del fueloil como una medida para controlar las emisiones de SOx. Existen provisiones especiales respecto a la calidad del combustible para SOx en las áreas de control de emisión y hay reducciones sustanciales en los límites de azufre en combustible permitidos que se pueden esperar en el futuro próximo. La legislación de MARPOL anexo VI que entró en vigor en mayo de 2005 siguiendo las especificaciones de varias directivas de la Unión Europea, ha refrenado el impacto del diésel marino sobre el entorno. Para 2015, las legislaciones serán aún más estrictas respecto a, a modo de ejemplo, los límites para el azufre en el combustible y las restricciones para NOx.

Hay diferentes posibilidades para reducir las emisiones, tomadas en solitario o en combinación. Una posibilidad es usar nuevos combustibles tales como combustibles destilados o combustibles de bajo contenido de azufre. Otra posibilidad es desarrollar adicionalmente métodos para controlar la emisión de SOx, tales como tecnologías de lavador en húmedo, usadas normalmente a bordo de barcos, usando agentes alcalinos tales como soluciones de NaOH o tecnologías de lavador en seco usando granulados de cal hidratada (Ca(OH)₂).

Se sabe bien en la industria marina actual que para el fin de reducir los SOx en el escape de un motor de barco se puede aplicar una Limpieza de Gas de Escape (EGC).

Un lavador en húmedo bien conocido del tipo EGC también se denomina lavador de bucle cerrado, que usa agua dulce en circulación en combinación con un agente alcalino tal como hidróxido sódico (NaOH) o carbonato sódico (Na₂CO₃) para lixiviar los óxidos de azufre y las partículas de hollín del gas de escape. Para controlar la calidad del agua dulce en circulación una pequeña cantidad de esta puede reemplazarse ocasional o continuamente por agua dulce limpia y almacenarse en el barco o descargarse por la borda después de la limpieza.

Aunque los lavadores del tipo mencionado anteriormente se conocen bien en la técnica, sigue habiendo varios aspectos no resueltos o problemáticos. El consumo de agua de un sistema lavador de bucle cerrado debido a la evaporación generalmente es tan alto que tienen que añadirse grandes cantidades de agua dulce continuamente al sistema para mantenerlo en equilibrio. Adicionalmente, la limpieza del agua en un sistema lavador de bucle cerrado es crítica. Si el agua está demasiado sucia no se permite descargarla, y puede ser difícil evitar una acumulación de hollín dentro del sistema lavador que eventualmente podría bloquear las válvulas y boquillas y provocar el mal funcionamiento de los componentes del sistema lavador. Asimismo, el consumo de productos químicos neutralizantes del pH como NaOH o Na₂CO₃ también es tan grande que resulta caro hacer funcionar el sistema lavador.

El documento EP 1 857 169 A1 desvela un sistema lavador de agua dulce que comprende un lavador de dos secciones, en el que la primera sección está destinada a la retirada de azufre mientras que la segunda sección está destinada a la condensación.

Sumario

Un objetivo de la invención es proporcionar un sistema que permita un consumo de agua dulce reducido.

Esto se consigue mediante un sistema de limpieza para la reducción de SOx y materia en forma de partículas en gases de escape de un motor de combustión marino, quemador o caldera, comprimiendo el sistema de limpieza:

un primer bucle del proceso de lavado que comprende un primer lavador y un primer tanque de circulación de agua, en el que el agua del primer tanque de circulación de agua se dispone para circular en el primer bucle del proceso de lavado, estando dispuesto el primer lavador para recibir gases de escape desde el motor de

combustión, el quemador o la caldera, y agua desde el primer tanque de circulación de agua, agua que, al menos parcialmente, está dispuesta para evaporarse a vapor de agua dentro del primer lavador por contacto con los gases de escape, con lo que el vapor de agua y los gases de escape forman gases de escape húmedos;

un segundo bucle del proceso de lavado que comprende un segundo lavador y un segundo tanque de circulación de agua, en el que el agua del segundo tanque de circulación de agua está dispuesta para circular en el segundo bucle del proceso de lavado,

una comunicación entre el primer y segundo lavadores que permite transferir los gases de escape húmedos del primer lavador al segundo lavador; estando dispuesto el segundo lavador para recibir agua desde el segundo tanque de circulación, agua que se dispone para condensar, dentro del segundo lavador, el vapor de agua en los gases de escape húmedos al menos parcialmente; y

una comunicación entre el primer y segundo bucles del proceso de lavado que permite un reflujo de agua del segundo bucle del proceso de lavado al primer bucle del proceso de lavado,

comprendiendo el sistema de limpieza además una disposición para suministrar un agente alcalino a al menos el segundo bucle del proceso de lavado, en el que al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total del agente alcalino suministrado al sistema de limpieza se suministra al segundo bucle del proceso de lavado.

El sistema de limpieza inventivo tiene dos secciones - el primer bucle del proceso de lavado y el segundo bucle del proceso de lavado. El primer bucle del proceso de lavado es, debido al contacto con los gases de escape calientes, cálido, con lo que se evapora una gran cantidad de agua. De esta manera, el primer bucle del proceso de lavado tiene que considerarse como un bucle de evaporación. En el primer bucle del proceso de lavado los gases de escape se limpian de la materia en forma de partículas, como se describirá adicionalmente en este documento.

El segundo bucle del proceso de lavado es más frío, en comparación con el primer bucle del proceso de lavado, con lo que el agua evaporada se condensa al menos parcialmente y vuelve a su forma líquida. La evaporación deja atrás impurezas tales como sales y materia en forma de partículas y, de esta manera, da como resultado un transporte neto de vapor de agua pura del primer bucle del proceso de lavado al segundo bucle del proceso de lavado. La palabra "puro", como se usa a lo largo de este documento, debe interpretarse que significa esencialmente libre de sales sulfato y materia en forma de partículas.

Adicionalmente, mediante el segundo bucle del proceso de lavado que se proporciona con al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total de agente alcalino suministrado al sistema de limpieza, el SOx contenido en los gases de escape calientes húmedos alimentados al segundo lavador se lixiviará de los gases de escape y se oxidará a sulfito acuoso y sales sulfato. De esta manera, el segundo bucle del proceso de lavado debe considerarse como un bucle de limpieza, que limpia los gases de escape del SOx.

Mediante el reflujo, el agua sucia resultante de la limpieza de SOx anterior se devuelve al primer bucle del proceso de lavado. De esta manera, las sales y la materia en forma de partículas se acumularán y concentrarán en el primer proceso de lavado. Las simulaciones han mostrado que las concentraciones de sales y materia en forma de partículas serán hasta 20 veces mayores en el primer bucle del proceso de lavado que en el segundo bucle del proceso de lavado. Como se analizará adicionalmente más adelante, esto es un resultado de la evaporación, condensación y reflujo que tienen lugar en el sistema de limpieza.

El segundo bucle del proceso de lavado puede comprender un primer intercambiador de calor adaptado para enfriar el agua que se dispone para circular en el segundo bucle del proceso de lavado.

El sistema de limpieza puede adaptarse para mantener una temperatura del agua dispuesta para ser recibida por el segundo lavador en el intervalo de 0-35 °C. El enfriamiento del agua a esta temperatura puede hacerse mediante un intercambiador de calor usando, por ejemplo, agua de mar como refrigerante. Debe entenderse que la temperatura del agua de mar varía dependiendo de la geografía y del momento del año. En general, cuanto menor es la temperatura más agua se condensará desde los gases de escape húmedos. Debe entenderse que pueden usarse otros refrigerantes distintos del agua de mar.

El sistema de limpieza puede adaptarse para mantener una temperatura del agua dispuesta para ser recibida por el primer lavador en el intervalo de 40-70 °C. Este intervalo de temperatura está disponible debido a un efecto de equilibrio por el agua que circula en el primer bucle del proceso de lavado que se encuentra con los gases de escape calientes.

El sistema de limpieza puede adaptarse para ajustar el suministro del agente alcalino al segundo bucle del proceso de lavado de manera que un valor de pH del agua dispuesta para ser recibida por el segundo lavador está en el intervalo de 6-10 y, más preferentemente, en el intervalo de 7-8. Un valor de pH dentro de este intervalo puede proporcionar una retirada óptima de SOx desde el gas de escape. No es deseable operar con un valor de pH de entrada alto, tal como con un valor de pH de entrada de 9 o mayor, en un lavador tradicional (por ejemplo, como se desvela en el documento EP01857169A1) puesto que esto daría como resultado un consumo excesivo de agentes alcalinos así como que el agua de descarga podría superar los límites de descarga de pH permisibles. De acuerdo con esta invención, los constituyentes alcalinos en exceso de la segunda etapa del lavador no se descargan sino

que se consumen en la primera etapa del lavador.

El sistema de limpieza puede adaptarse para mantener un valor de pH del agua dispuesta para ser recibida por el primer lavador en el intervalo de 2-8 y, más preferentemente, en el intervalo de 2-4. Un valor de pH bajo posibilita un consumo reducido de agente alcalino en el sistema de limpieza, que se analizará adicionalmente más adelante.

En general, el efecto de lavado en un lavador se determina por la alcalinidad del agua de lavado. El fin del primer bucle del proceso del lavado es fundamentalmente la evaporación del agua para proporcionar gases de escape húmedos que se transfieran al segundo bucle del proceso de lavado en el que va a tener lugar la limpieza de SO_x junto con la condensación de la humedad de los gases de escape. El valor de pH del agua en el primer bucle del proceso de lavado no tiene un mayor impacto sobre el proceso de evaporación y, por lo tanto, puede mantenerse tan bajo como sea posible. Sin embargo, debe saberse que el criterio de descarga normal es un valor de pH por encima de 6,5, con lo que puede requerirse un ajuste del valor de pH antes de la descarga.

El agua alcalina que se somete a reflujo desde el segundo bucle de lavado se diluirá cuando se encuentre con el agua en el primer bucle del proceso de lavado sin contribuir significativamente a ninguna neutralización del SO_x contenido en los gases de escape que se están alimentando al primer lavador. En general, no hay necesidad de añadir ningún agente alcalino al agua en el primer bucle del proceso de lavado.

El sistema de limpieza puede comprender una primera unidad separadora en comunicación con el primer bucle del proceso de lavado. La primera unidad separadora se usa para retirar la materia en forma de partículas que se concentra en el agua en el primer bucle del proceso de lavado.

El sistema de limpieza puede comprender adicionalmente una disposición de limpieza de agua adaptada para ser suministrada con el agua restante desde la primera unidad del separador, en el que la disposición de limpieza de agua comprende un segundo intercambiador de calor adaptado para enfriar el agua restante para que las sales contenidas en su interior precipiten, y una segunda unidad separadora adaptada para separar las sales precipitadas del agua restante enfriada. El agua restante enfriada limpia de las sales precipitadas puede devolverse al segundo bucle del proceso de lavado.

De acuerdo con otro aspecto, la invención se refiere a un método para reducir SO_x y materia en forma de partículas en los gases de escape a partir de un motor de combustión marino, quemador o caldera usando un sistema de limpieza, comprendiendo el sistema de limpieza:

un primer bucle del proceso de lavado que comprende un primer lavador y un primer tanque de circulación de agua;
un segundo bucle del proceso de lavado que comprende un segundo lavador y un segundo tanque de circulación de agua;
una comunicación entre el primer y segundo lavadores;
una comunicación entre el primer y segundo bucles del proceso de lavado; y
una disposición para suministrar un agente alcalino a al menos el segundo bucle del proceso de lavado, comprendiendo el método:

- hacer circular agua desde el primer tanque de circulación de agua en el primer bucle del proceso de lavado,
- hacer circular agua desde el segundo tanque de circulación de agua en el segundo bucle del proceso de lavado,
- suministrar al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total del agente alcalino suministrado al sistema de limpieza al segundo bucle del proceso de lavado,
- recibir gases de escape desde el motor de combustión, el quemador o la caldera, y agua desde el primer tanque de circulación de agua, en el primer lavador, agua que, al menos parcialmente, se evapora a vapor de agua dentro del primer lavador por contacto con los gases de escape, con lo que el vapor de agua y los gases de escape forman gases de escape húmedos,
- transferir los gases de escape húmedos del primer lavador al segundo lavador,
- recibir agua desde el segundo tanque de circulación en el segundo lavador, agua que condensa, dentro del segundo lavador, el vapor de agua en los gases de escape húmedos al menos parcialmente, con lo que el SO_x contenido en los gases de escape se oxida a sulfatos; y
- proporcionar un reflujo de agua del segundo bucle del proceso de lavado al primer bucle del proceso de lavado.

El método está basado en un sistema de limpieza que tiene esencialmente la misma configuración que el sistema de limpieza analizado anteriormente. De esta manera, se ofrecen las mismas ventajas y para evitar una repetición excesiva, hágase referencia a las secciones anteriores.

De acuerdo con otro aspecto más, la invención se refiere al uso del sistema de limpieza anterior a bordo de un barco con el fin de reducir los SO_x y materia en forma de partículas en los gases de escape de un motor de combustión marino, quemador o caldera.

Otros objetos y características resultarán evidentes a partir de la descripción detallada de las reivindicaciones.

Dibujos

- 5 Se describirá ahora una realización de la invención, a modo de ejemplo, con más detalle con referencia al dibujo adjunto en el que:

La Figura 1 es una vista global esquemática del sistema inventivo.

10 Descripción detallada

En la Figura 1 se ilustra un sistema de limpieza 1. El sistema de limpieza 1 se usa a bordo de un barco para limpiar los gases de escape de un motor de combustión 104. Más particularmente, el sistema de limpieza 1 está dispuesto para retirar la materia en forma de partículas y los gases ácidos tales como SOx de los gases de escape lavando los gases de escape con agua. Como se analizará adicionalmente más adelante, la materia en forma de partículas se retira de los gases de escape disolviéndola en el agua que después se separa de los gases de escape. Adicionalmente, los SOx se retiran de los gases de escape lavándolos con agua que contiene un agente alcalino, por ejemplo NaOH, con lo que los SOx reaccionan con el oxígeno y el agente alcalino para formar una sal disuelta en agua.

El sistema de limpieza 1 comprende un primer bucle del proceso de lavado 100 que tiene un primer tanque de circulación de agua 101 y un segundo bucle del proceso de lavado 200 que tiene un segundo tanque de circulación de agua 201.

El sistema de limpieza 1 debe considerarse como un sistema de agua dulce cerrado, es decir, funciona con agua dulce que circula en el sistema de limpieza 1 sin suministro continuo de agua dulce nueva. Debe entenderse que, por supuesto, puede suministrarse agua dulce nueva para reemplazar al agua dulce que se descarga tal como por ejemplo en forma de vapor, agua restante o agua residual junto con el lodo.

Partiendo del primer bucle del proceso de lavado 100, este comprende un primer lavador 102 que tiene una primera entrada 103 conectada a un escape del motor de combustión 104 para recibir los gases de escape desde el mismo. Adicionalmente, el primer lavador 102 está conectado a través de una primera salida 105 del mismo a una primera entrada 106 del primer tanque de circulación de agua 101, tanque que a su vez está conectado a través de una primera salida 107 del mismo a una segunda entrada 108 del primer lavador 102. De esta manera, se permite un flujo de circulación de agua entre el primer lavador 102 y el primer tanque de circulación de agua 10.

El agua suministrada al primer lavador 102 se distribuye dentro del mismo a través de una pluralidad de boquillas 109. Esto se sabe bien en la técnica, con lo que no se da una explicación adicional. Adicionalmente, como se sabe también bien en la técnica, el tiempo de residencia del agua dentro del primer lavador 102 puede aumentarse cuando el primer lavador comprende materiales de lecho de relleno aleatorios o estructurados o recirculando parte del agua desde una parte superior a una inferior del primer lavador con ayuda de una bomba adicional y boquillas de pulverización adicionales (no mostradas).

La circulación de agua en el primer bucle del proceso de lavado 100 tiene un valor de pH en el intervalo de 2-8 y, más preferentemente, en el intervalo de 2-4 según se mide en la segunda entrada 108 del primer lavador 102. De esta manera, el agua recibida por el primer lavador tiene un valor de pH en el intervalo de 2-8 y, más preferentemente, en el intervalo de 2-4.

Para tener en cuenta los contaminantes, tal como materia en forma de partículas, que se concentran en el primer tanque de circulación de agua 101 durante el funcionamiento del sistema de limpieza 1, como se analizará con más detalle a continuación, el primer bucle del proceso de agua 100 está conectado a una primera unidad separadora 110. La primera unidad separadora 110 está conecta al primer tanque de circulación de agua 101 a través de una segunda salida 117 del mismo. La primera unidad separadora 110 puede ser, a modo de ejemplo, un separador de alta velocidad bien conocido en la técnica.

La primera unidad separadora 110 está dispuesta para separar el agua sucia en el lodo, que contiene materia en forma de partículas, y el agua restante. El lodo recogido por la primera unidad separadora 110 puede recogerse en un tanque de lodo 113 para una descarga controlada posterior, tal como durante una parada en puerto.

El agua restante puede reintroducirse en el primer bucle del proceso de lavado 100 a través de una segunda entrada 111 del primer tanque de circulación de agua 101 o descargarse a través de una primera salida 118 de la primera unidad separadora 110, una disposición de válvula 114 y una tubería de descarga por la borda (no desvelada).

El agua restante puede someterse a un control de calidad (no desvelado) para ver si su calidad satisface o no los criterios de descarga por la borda legislados. A modo de ejemplo, hay criterios de descarga por la borda que establecen los niveles máximos de compuestos orgánicos, sólidos suspendidos, conocidos también como turbiedad,

y valor de pH cuando se arroja el agua restante al mar.

Si la calidad se considera aceptable, el agua restante puede descargarse por la borda. Si se considera no aceptable, o si la descarga no está permitida debido a una parada en puerto o el barco está en un área sensible, el agua

La primera unidad separadora 110 puede ajustarse para funcionar, y por tanto alimentarse, con agua desde el primer tanque de circulación de agua 101 cuando se determina que el nivel de contaminación del agua que circula en el primer bucle del proceso de lavado ha alcanzado un nivel preestablecido durante el funcionamiento. Puede ajustarse también para que tenga lugar con los intervalos de tiempo preestablecidos.

Como se describirá más adelante, la primera unidad separadora 110 separa la suciedad, tal como materia en forma de partículas, lixiviándola del fondo del primer y segundo bucles del proceso de lavado 100, 200. Esto se debe a que la primera unidad separadora 110 se alimenta con agua desde el primer tanque de circulación de agua 101 que a su vez, directa o indirectamente, se alimenta con agua desde el segundo tanque de circulación de agua 201.

Volviendo ahora al segundo bucle del proceso de lavado 200, este comprende un segundo lavador 202. Una primera salida 203 del segundo lavador 202 está conectada con una primera entrada 204 del segundo tanque de circulación de agua 201. Una primera salida 205 del segundo tanque de circulación de agua 201 está conectada con una primera entrada 206 del segundo lavador 202 a través de un primer intercambiador de calor 207. De esta manera, se permite un flujo de circulación de agua entre el segundo lavador 202 y el segundo tanque de circulación de agua 201. Adicionalmente, una segunda salida 208 del segundo lavador 202 está conectada a una salida de gas de escape limpio 209. El agua suministrada al segundo lavador 202 se distribuye dentro del mismo a través de una pluralidad de boquillas 213. Esto se conoce bien en la técnica, por lo que no se da una explicación adicional.

El primer intercambiador de calor 207, por ejemplo un intercambiador de calor de placas, está dispuesto para enfriar el agua en circulación entre el segundo tanque de circulación de agua 201 y el segundo lavador 202. El refrigerante usado para el enfriamiento, en su forma más fácil, puede ser agua de mar proporcionada por una tubería (no desvelada) en el casco.

El sistema de limpieza 1 comprende una disposición 230 para suministrar un agente alcalino que comprende un tanque de agente alcalino 210 que contiene el agente alcalino y las válvulas 231, 232.

El tanque de agente alcalino 210 está dispuesto con una primera salida 220 que permite un suministro del agente alcalino al segundo bucle de proceso 200 en una posición entre la primera salida 205 del segundo tanque de circulación de agua 201 y el primer intercambiador de calor 207. Adicionalmente, el tanque de agente alcalino 210 está dispuesto con una segunda salida 221 que permite un suministro del agente alcalino al primer bucle de proceso 100. Este suministro se realiza mediante una comunicación 300 que se extiende entre una segunda salida 212 del segundo tanque de circulación de agua 201 y una tercera entrada 116 del primer tanque de circulación de agua 101. Como alternativa, el suministro del agente alcalino al primer bucle del proceso de lavado 100 podría hacerse en otra posición, tal como mediante una comunicación 300' que se extiende entre la segunda salida 212 del segundo tanque de circulación de agua del lavador 201 y la segunda entrada 108 del primer lavador 102.

El suministro del agente alcalino puede controlarse mediante las válvulas 231, 232.

Debe entenderse que el tanque de agente alcalino 210 puede estar igualmente dispuesto en otra posición, por ejemplo entre el primer intercambiador de calor 207 y la primera entrada 206 del segundo lavador 202.

Al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total del agente alcalino suministrado al sistema de limpieza 1 debería suministrarse al segundo bucle de proceso 200.

La alcalinidad del agua que circula en el segundo bucle del proceso 200 se ajusta con el agente alcalino a un valor de pH en el intervalo de 6-10 y, más preferentemente, en el intervalo de 7-8 según se mide en la primera entrada 206 del segundo lavador 202. De esta manera, el agua recibida por el segundo lavador tiene un valor de pH en el intervalo de 6-10 y, más preferentemente, en el intervalo de 7-8.

El agente alcalino puede ser, por ejemplo, hidróxido sódico (NaOH) o carbonato sódico (Na₂CO₃). El experto en la materia debe entender que también pueden usarse otros agentes alcalinos. Debe entenderse también que la alcalinidad del agua y, por tanto, la dosificación del agente alcalino puede controlarse mediante un equipo de control no desvelado.

El primer bucle del proceso de lavado 100 está dispuesto en comunicación con el segundo bucle del proceso de lavado 200 mediante una comunicación 400 que se extiende entre una segunda salida 115 del primer lavador 102 y una segunda entrada 211 del segundo lavador 202. Adicionalmente, el segundo bucle del proceso de lavado 200 está dispuesto en comunicación con el primer bucle del proceso de lavado 100 mediante la comunicación 300 y/o la comunicación 300'.

De esta manera, se permite un flujo, es decir, un reflujo de agua, del segundo tanque de agua 201 al primer bucle del proceso de lavado 100, a través de una comunicación 300 y/o la comunicación 300', mientras que también se permite un flujo de gases de escape húmedos del primer lavador 102 al segundo lavador 202 a través de la comunicación 400. Esto se analizará con detalle a continuación.

5

En los siguientes párrafos, se analizará el funcionamiento del sistema de limpieza 1.

10 Durante el funcionamiento, los gases de escape calientes y sucios entrarán en el primer lavador 102 con una temperatura de aproximadamente 180-350 °C. Dentro del primer lavador 102 los gases de escape se someterán a un flujo de agua suministrado desde las boquillas 109 que, en la realización desvelada, están dispuestas en la parte superior del primer lavador 102. El agua se suministra desde el primer tanque de circulación de agua 101.

15 Como el agua que se encuentra con los gases de escape calientes, una gran cantidad de agua se evaporará a vapor de agua mientras que, al mismo tiempo, se reduce la temperatura de los gases de escape. Debe entenderse que la evaporación no debe ser completa, lo que garantiza un flujo de agua suficiente en el primer bucle del proceso de lavado. Como un ejemplo, un grado de evaporación podría ser tal que al menos un 50 % del agua recibida en el primer lavador permanece en forma líquida. El vapor de agua se entremezcla con los gases de escape para formar gases de escape húmedos que se transfieren al segundo lavador 202 a través de la comunicación 400.

20 Para evitar la transferencia de agua en forma líquida, es decir, no agua evaporada, del primer bucle del proceso de lavado 100 al segundo bucle del proceso de lavado 200, puede disponerse un dispositivo antivaho 500 en la comunicación 400. Como alternativa al dispositivo antivaho 500, la comunicación 400 puede estar provista de uno o varios codos pronunciados o similares que impiden el paso del agua líquida.

25 El agua restante no evaporada se devuelve al primer tanque de circulación de agua 101 a través de la primera salida 105 del primer lavador 102. Esta agua contendrá materia en forma de partículas lixiviada desde los gases de escape por el agua.

30 El agua recirculada en el primer bucle del proceso de lavado 100 preferentemente tiene un valor de pH por debajo de 4, según se mide en la segunda entrada 108 del primer lavador 102. De esta manera, sustancialmente no tiene lugar retirada de SOx de los gases de escape en el primer lavador 102. Por consiguiente, el primer bucle del proceso de lavado 100 debe considerarse como un bucle de evaporación que genera agua pura evaporada que, junto con los gases de escape, se alimenta al segundo bucle del proceso de lavado 200 en forma de gases de escape húmedos.

35 Haciendo circular el flujo de agua entre el primer lavador 102 y el primer tanque de agua 101, el intercambio de calor entre el agua y los gases de escape dará como resultado que el agua alcance una temperatura de equilibrio de aproximadamente 40-70 °C según se mide en la segunda entrada 108 del primer lavador 102. De esta manera, el agua recibida por el primer lavador 102 tendrá una temperatura dentro del intervalo de 40-70 °C.

40 Los gases de escape húmedos entran en el segundo lavador 202 a través de la segunda entrada 211 del mismo. Dentro del segundo lavador 202 se encontrarán con un contra-flujo de agua fría proporcionado desde las boquillas 213. El agua se suministra desde el segundo tanque de circulación de agua 201. El agua que circula en el segundo bucle del proceso de lavado, debido al primer intercambiador de calor 207, tiene una temperatura sustancialmente menor que la del agua que circula en el primer bucle del proceso de lavado 100. Dependiendo de la temperatura del refrigerante usado en el primer intercambiador de calor 207, la temperatura del agua que circula en el segundo bucle del proceso de lavado 200 puede estar en el intervalo de 0-35 °C, según se mide en la segunda entrada 206 del segundo lavador 202. De esta manera, el agua recibida por el segundo lavador 202 tendrá una temperatura dentro del intervalo de 0-35 °C. La temperatura preferida del agua que se va a alimentar al segundo lavador 202 se analizará adicionalmente más adelante.

50 Cuando el flujo de gases de escape húmedos se encuentra con el contra-flujo de agua fría en el segundo lavador 202, ocurrirá una transferencia de calor entre los gases de escape húmedos y el agua fría. Como resultado de esto, el vapor de agua en los gases de escape se condensará al menos parcialmente y el agua pura líquida resultante se entremezclará con el agua fría. De esta manera, el condensador proporciona un exceso de agua pura al segundo bucle de lavado 200.

60 Adicionalmente, cuando el flujo de gases de escape húmedos se encuentra con el contra-flujo de agua fría, los gases de escape reaccionan con el agente alcalino en el agua que circula en el segundo bucle del proceso de lavado 200, con lo que los SOx contenidos en los gases de escape se absorben en el agua y se oxidan a sulfatos. De esta manera, el segundo bucle del proceso de lavado debe considerarse como un bucle de limpieza, donde los gases de escape se limpian de SOx.

65 El agua que contienen sulfato que sale del segundo lavador 202 se devuelve al segundo tanque de circulación de agua 201 a través de la primera salida 203 del segundo lavador 202. Adicionalmente, los gases de escape limpios resultantes saldrán del segundo lavador 202 a través de la segunda salida 208 donde pueden liberarse directa o indirectamente al aire ambiente a través de la salida de gas de escape limpio 209.

Parte del agua recogida en el segundo tanque de circulación de agua 201 se recircula de vuelta al segundo lavador 202 a través del primer intercambiador de calor 207.

Debido a la condensación de agua en el segundo lavador 202, hay un flujo neto de agua pura al segundo bucle del proceso de lavado 200 desde el primer bucle del proceso de lavado 100. Por agua pura se entiende en este documento agua que tiene una concentración baja de sales y materia en forma de partículas.

Un flujo de agua correspondiente al flujo neto de agua pura referido anteriormente se alimenta como un reflujo de vuelta al primer bucle del proceso de lavado 100 desde el segundo tanque de circulación de agua 201 a través de la comunicación 300 y/o la comunicación 300'. El reflujo de agua contiene, debido a la acción de lavado en el segundo bucle del proceso de lavado 200, donde el SO_x se oxida a sulfatos, sales y otros contaminantes del lavado. Debido al reflujo, estas sustancias no deseadas se concentrarán en el agua que circula en el primer bucle del proceso de lavado 100 y pueden separarse de la misma en una etapa posterior.

Para dar una idea de la relación de agua que se somete a reflujo del segundo bucle del proceso de lavado 200 al primer bucle del proceso de lavado 100 se da el siguiente ejemplo no limitante. El ejemplo se basa en simulaciones realizadas por ordenador.

Durante el funcionamiento de un motor de 2 MW, el flujo de agua en el primer bucle del proceso de lavado 100 era de aproximadamente 20 m³/h mientras que el flujo de agua en el segundo bucle del proceso de lavado 200 era de aproximadamente 40 m³/h. Cuando los gases de escape que entran desde el motor 104 tenían una temperatura de 300 °C, la cantidad de agua que se evaporaba en el primer lavador 102 era de 2,6 m³/h. Adicionalmente, la cantidad de agua que se condensaba en el segundo lavador 202 era de 2,7 m³/h. La cantidad de agua que se condensa puede ser mayor que la cantidad de agua que se evapora debido a la humedad del aire ambiente. De esta manera, el flujo neto de agua que se va a someter a reflujo en el primer bucle del proceso de lavado 100 era $2,7/20 = 13,5 \%$ del flujo de agua en el primer bucle del proceso de lavado.

La diferencia en la temperatura del agua usada en el primer y segundo bucles del proceso de lavado 100, 200 no afectará significativamente al rendimiento del primer bucle del proceso de lavado 100. La simulación referida anteriormente reveló que la recirculación de agua en el primer bucle del proceso de lavado 100 después de un tiempo se estabilizaba a una temperatura de 63 °C. El reflujo de agua desde el segundo bucle del proceso de lavado 200 no afectó significativamente a esta temperatura. Las simulaciones indicaron una reducción de aproximadamente 2-4 °C.

El sistema de limpieza 1 descrito anteriormente tiene una ventaja principal en tanto que puede funcionar durante un tiempo muy largo sin realizar ninguna descarga de agua. Sin embargo, un factor limitante para hacer funcionar un sistema de lavado en bucle es que en algún punto, el agua en circulación, en este caso el agua que circula en el primer bucle del proceso de lavado, se saturará con azufre en forma de sulfuro y sulfato. Después, se requiere una limpieza minuciosa y descarga del agua en circulación.

El sistema de limpieza puede estar provisto de una disposición de limpieza de agua 600 adicional, como se ilustra en la Figura 1. La disposición de limpieza de agua 600 está dispuesta en comunicación con la primera unidad separadora 110. Una comunicación 610 se extiende desde la primera salida 118 de la primera unidad separadora 110 hasta un segundo intercambiador de calor 601 a través de una válvula 611. El segundo intercambiador de calor 601, a modo de ejemplo, puede usar agua de mar como refrigerante. El segundo intercambiador de calor 601 está dispuesto para enfriar el agua restante proporcionada desde la primera unidad separadora 110 a una temperatura por debajo de 30 °C. El agua restante enfriada se recoge en un tanque de retención 602. Mediante la temperatura reducida del agua restante, el sulfato sódico contenido en el agua restante precipitará en forma de sólidos en forma de sulfato sólido o sulfato sólido. El agua restante se mantiene en dicho tanque de retención 602 durante un tiempo suficiente para que la precipitación tenga lugar antes de transferirla a una segunda unidad separadora 603. La segunda unidad separadora 603 separa los sólidos del agua restante y los sólidos después se recogen en un tanque de recogida 604 para una descarga controlada posterior. El agua restante más limpia resultante se devuelve al segundo bucle del proceso de lavado 200 a través de una comunicación 605 que se extiende desde la segunda unidad separadora 603 hasta el segundo lavador 202. De esta manera, en la realización desvelada el agua restante más limpia se devuelve al segundo bucle del proceso de lavado 200 en una posición entre el primer intercambiador de calor 207 y el segundo lavador 202. Sin embargo, debe entenderse que el agua restante puede devolverse al segundo bucle de lavado 200 en otras posiciones.

La segunda unidad separadora 603, en su forma más fácil, puede ser un separador basado en tecnología de sedimentación. Sin embargo debe entenderse que pueden usarse otras tecnologías de separador.

Usando la disposición de limpieza de agua 600 en el sistema de limpieza 1 no hay necesidad de preparar ninguna descarga debido a la alta concentración de sales, sino más bien puede hacerse una precipitación de sal controlada, y las precipitaciones de sal pueden retirarse por la segunda unidad separadora.

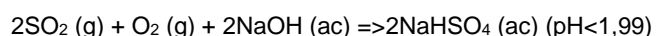
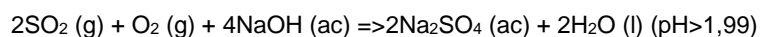
De esta manera, en el sistema de limpieza ilustrado en la Figura 1, la primera unidad separadora 110 se alimenta con agua desde el primer bucle del proceso de lavado 100 que separa el agua sucia en el lodo que contiene materia en forma de partículas y agua restante. Esta agua restante puede descargarse ya sea a través de la válvula 114 o alimentarse a la disposición de limpieza de agua 600 para separación en precipitaciones de sal y agua restante más limpia.

La temperatura preferida del agua que se va a alimentar al segundo lavador 202 depende de la cantidad de vapor de agua en el gas de escape desde el motor 104 y, de esta manera, de la humedad ambiente, del combustible del motor así como del enfriador de aire de barrido del motor si estuviera presente (no desvelado). Si solo hay un poco de vapor de agua en el gas de escape, se requiere un alto grado de enfriamiento y, por tanto, una temperatura de agua relativamente baja, para condensar tanta agua como sea posible en el segundo lavador y, de esta manera, evitar que tenga "completarse" con el agua generada en cualquier otra parte. Esta agua "completada" normalmente es cara de generar y solo está disponible en cantidades limitadas a bordo del barco. Si se requiere un alto grado de enfriamiento, y si se aplica el primer intercambiador de calor 107 que funciona con agua de mar en su lado frío, el agua que se va a alimentar al segundo lavador 202 se enfría preferentemente tan cerca como sea posible de la temperatura ambiente del agua de mar. Esto es normalmente 2-6 °C por encima de la temperatura ambiente del agua de mar. En otras situaciones con alta humedad ambiental y baja temperatura del agua de mar, podría ser necesario limitar el enfriamiento para evitar la generación, por condensación, de cantidades excesivas de agua en el segundo lavador, puesto que esta agua finalmente sería necesario limpiarla y descargarla. De esta manera, el agua que se va a alimentar al segundo lavador 202 preferentemente se enfría a una temperatura para la cual no hay un consumo global o generación de agua por el sistema de limpieza 1 completo.

Debido a las condiciones cambiantes para un barco que está navegando, podría ser beneficioso generar un exceso de agua en el segundo lavador durante algunos periodos y después acumular tal exceso de agua en el primer y segundo tanques de circulación de agua, o en cualquier otro lugar, para un uso posterior cuando no puede conseguirse un enfriamiento y, por tanto, una generación de agua suficientes.

La presente invención permite que el primer bucle del proceso de lavado funcione a un valor de pH bajo. Por ejemplo, si se mantiene un valor de pH de 6,5 según se mide en la segunda entrada 108 del primer lavador 102, la relación de reacción molar entre sodio y azufre y, por tanto, también el coste operativo del lavador, puede reducirse en comparación con la operación del primer bucle del proceso de lavado a un valor de pH por encima de 7, que se considera normal en la técnica para lavadores en húmedo del tipo de bucle cerrado. En un extremo, el valor de pH podría reducirse a menos de 2. En estas circunstancias, el azufre se uniría como hidrogenosulfato sódico en lugar de sulfato sódico. La consecuencia sería que la velocidad de reacción entre el sodio y el azufre sería de 1:1 en lugar de la normal de 2:1, que daría costes operativos de solo la mitad de los niveles normales.

En el caso de que esté presente oxígeno suficiente, se espera una oxidación completa del azufre absorbido de acuerdo con las siguientes reacciones:



Como la segunda constante de ácido para el ácido sulfúrico es 1,99, el óxido de azufre aparecerá principalmente como bisulfato (HSO_4^{1-}) en lugar de sulfato (SO_4^{2-}) en el agua.

Todas las comunicaciones mencionadas anteriormente pueden comprender unas tuberías adecuadas.

Debe entenderse también que hay numerosos lavadores disponibles y que la invención no debe limitarse a los ejemplos desvelados del primer y segundo lavadores.

En una realización, una disposición para suministrar un coagulante (no desvelado) puede disponerse en una posición entre el primer tanque de circulación de agua 101 y la primera unidad separadora 110. El coagulante, normalmente en forma de un ión metálico equivalente tal como Aluminio o Hierro, pueden usarse para mejorar el rendimiento de la primera unidad separadora 110, mediante el coagulante que forma los compuestos químicos donde la materia en forma de partículas está conectada con las sales metálicas. Tales compuestos químicos son más pesados y más fáciles de separar por la primera unidad separadora 110 que la materia en forma de partículas "libre".

Asimismo, debe entenderse que la presente invención alternativa o adicionalmente puede usarse para limpiar los gases de escape de un quemador o una caldera que funcionan con aceite.

Se apreciará que son posibles numerosas variantes de las realizaciones descritas anteriormente de la presente invención dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de limpieza (1) para la reducción de SOx y materia en forma de partículas en los gases de escape de un motor de combustión marino (104), un quemador o una caldera, comprendiendo el sistema de limpieza:

un primer bucle del proceso de lavado (100) que comprende un primer lavador (102) y un primer tanque de circulación de agua (101), en donde el agua del primer tanque de circulación de agua está dispuesta para circular en el primer bucle del proceso de lavado (100), estando dispuesto el primer lavador (102) para recibir los gases de escape del motor de combustión (104), el quemador o la caldera y agua desde el primer tanque de circulación de agua (101), agua que, al menos parcialmente, está dispuesta para evaporarse y convertirse en vapor de agua dentro del primer lavador (102) por contacto con los gases de escape, con lo que el vapor de agua y los gases de escape forman gases de escape húmedos;

un segundo bucle del proceso de lavado (200) que comprende un segundo lavador (202) y un segundo tanque de circulación de agua (201), en donde el agua del segundo tanque de circulación de agua (201) está dispuesta para circular en el segundo bucle del proceso de lavado (200),

una comunicación (400) entre el primer y el segundo lavadores (102, 202) que permite la transferencia de los gases de escape húmedos del primer lavador (102) al segundo lavador (202); estando dispuesto el segundo lavador (202) para recibir agua desde el segundo tanque de circulación (201), agua que está dispuesta para condensar, dentro del segundo lavador (202), al menos parcialmente el vapor de agua en los gases de escape húmedos; y

una comunicación (300; 300') entre el primer y el segundo bucles del proceso de lavado (101, 201) que permite un reflujo de agua del segundo bucle del proceso de lavado (200) al primer bucle del proceso de lavado (100), estando el sistema de limpieza **caracterizado por que** comprende además una disposición para suministrar un agente alcalino (230) a al menos el segundo bucle del proceso de lavado (200), en donde al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total del agente alcalino suministrado al sistema de limpieza (1) se suministra al segundo bucle del proceso de lavado (200).

2. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el segundo bucle del proceso de lavado (200) comprende un primer intercambiador de calor (207) adaptado para enfriar el agua que está dispuesta para circular en el segundo bucle del proceso de lavado (200).

3. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, adaptado para mantener una temperatura del agua dispuesta para ser recibida por el segundo lavador (202) en el intervalo de 0-35 °C.

4. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 1, adaptado para mantener una temperatura del agua dispuesta para ser recibida por el primer lavador (102) en el intervalo de 40-70 °C.

5. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 1, adaptado para ajustar el suministro del agente alcalino al segundo bucle del proceso de lavado (200) de manera que un valor de pH del agua dispuesta para ser recibida por el segundo lavador (202) está en el intervalo de 6-10 y, más preferentemente, en el intervalo de 7-8.

6. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 1, adaptado para mantener un valor de pH del agua dispuesta para ser recibida por el primer lavador (102) en el intervalo de 2-8 y, más preferentemente, en el intervalo de 2-4.

7. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 1 que comprende además una primera unidad separadora (110) en comunicación con el primer bucle del proceso de lavado (100).

8. El sistema de limpieza (1) de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además una disposición de limpieza de agua (600) adaptada para ser suministrada con el agua restante desde la primera unidad separadora (110), en donde la disposición de limpieza de agua (600) comprende un segundo intercambiador de calor (601) adaptado para enfriar el agua restante para que las sales contenidas en su interior precipiten, y una segunda unidad separadora (603) adaptada para separar las sales precipitadas del agua restante enfriada.

9. Método para reducir SOx y materia en forma de partículas en los gases de escape de un motor de combustión marino (104), un quemador o una caldera usando el sistema de limpieza (1), comprendiendo el sistema de limpieza:

un primer bucle del proceso de lavado (100) que comprende un primer lavador (102) y un primer tanque de circulación de agua (101);

un segundo bucle del proceso de lavado (200) que comprende un segundo lavador (202) y un segundo tanque de circulación de agua (201);

una comunicación (400) entre el primer y el segundo lavadores (102, 202);

una comunicación (300; 300') entre el primer y el segundo bucles del proceso de lavado (100, 200); y

una disposición para suministrar un agente alcalino (230) a al menos el segundo bucle del proceso de lavado (200); comprendiendo el método:

- hacer circular agua desde el primer tanque de circulación de agua (101) en el primer bucle del proceso de lavado (100),
 - hacer circular agua desde el segundo tanque de circulación de agua (202) en el segundo bucle del proceso de lavado (200),
 - 5 - suministrar al menos un 60 % y, más preferentemente, al menos un 90 % de la cantidad total del agente alcalino suministrado al sistema de limpieza (1) al segundo bucle del proceso de lavado (200),
 - recibir gases de escape desde el motor de combustión (104), el quemador o la caldera, y agua desde el primer tanque de circulación de agua (101), en el primer lavador (102), agua que, al menos parcialmente, se
 - 10 evapora a vapor de agua dentro del primer lavador (102) por contacto con los gases de escape, con lo que el vapor de agua y los gases de escape forman gases de escape húmedos,
 - transferir los gases de escape húmedos del primer lavador (102) al segundo lavador (202),
 - recibir agua desde el segundo tanque de circulación (201) en el segundo lavador (202), agua que condensa, dentro del segundo lavador, al menos parcialmente el vapor de agua en los gases de escape húmedos, con lo que los SO_x contenidos en los gases de escape se oxidan a sulfatos, y
 - 15 -proporcionar un reflujo de agua del segundo bucle del proceso de lavado (200) al primer bucle del proceso de lavado (100).
10. El método de la reivindicación 9, que comprende ajustar el suministro del agente alcalino al segundo bucle del proceso de lavado (200) de manera que un valor de pH del agua recibida en el segundo lavador (202) esté en el intervalo de 6-10 y, más preferentemente, en el intervalo de 7-8.
- 20 11. El método de la reivindicación 9, que comprende mantener un valor de pH del agua dispuesta para ser recibida en el primer lavador (102) en el intervalo de 2-8 y, más preferentemente, en el intervalo de 2-4.
- 25 12. El método de la reivindicación 9, que comprende además enfriar el agua dispuesta para ser recibida en el segundo lavador (202) a una temperatura en el intervalo de 0-35 °C.
13. El método de la reivindicación 9, que comprende además mantener una temperatura del agua dispuesta para ser recibida en el primer lavador (102) en el intervalo de 40-70 °C.
- 30 14. Uso del sistema de limpieza de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1-8 a bordo de un barco con el fin de reducir los SO_x y la materia en forma de partículas en los gases de escape del motor de combustión marino (104), el quemador o la caldera.

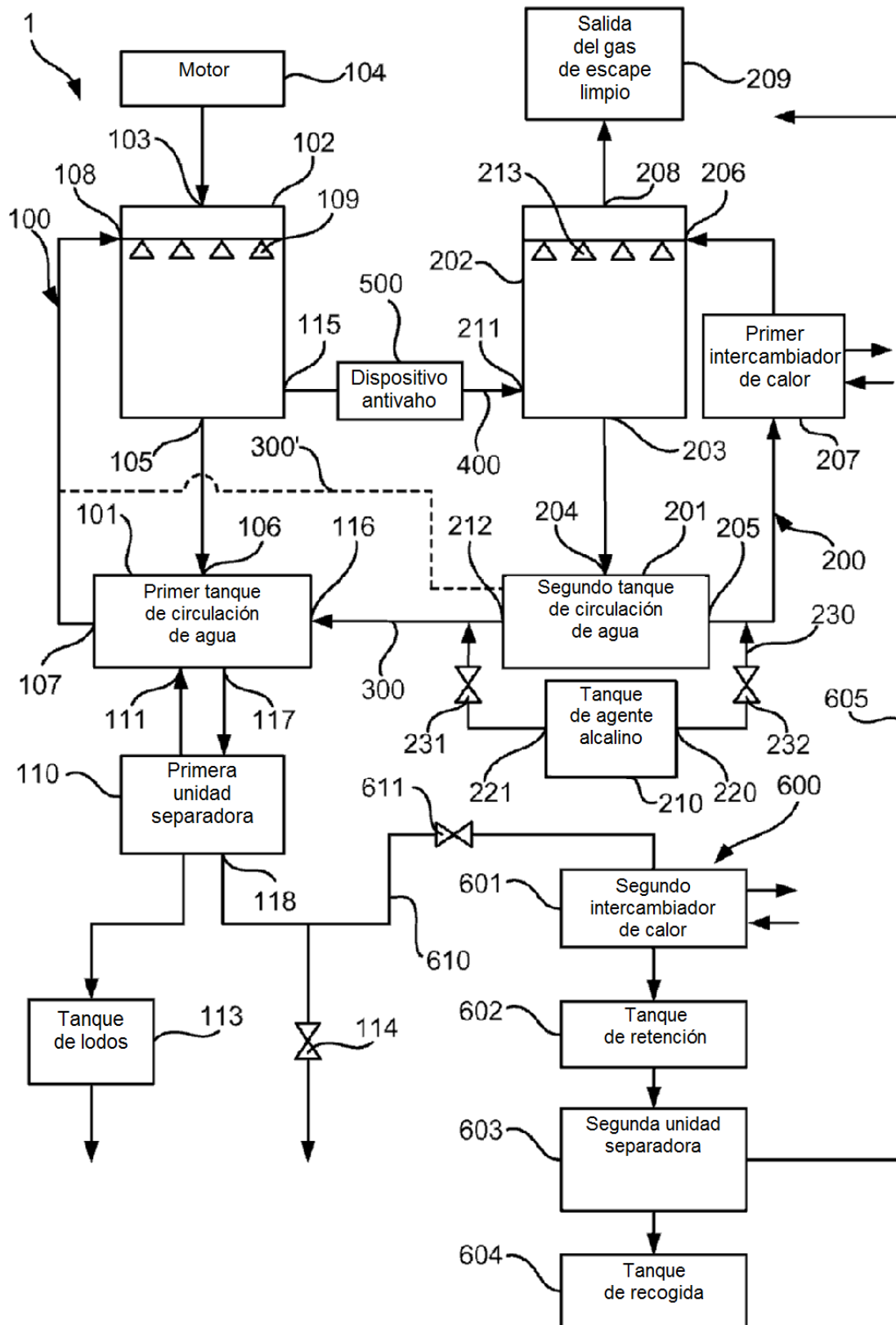


Fig. 1