

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 065**

51 Int. Cl.:

B63B 49/00 (2006.01)
G01C 21/20 (2006.01)
B63J 99/00 (2009.01)
B63B 79/10 (2010.01)
B63B 79/20 (2010.01)
B63B 79/30 (2010.01)
B63B 79/40 (2010.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.02.2020** **PCT/EP2020/052576**
87 Fecha y número de publicación internacional: **13.08.2020** **WO20161055**
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.02.2020** **E 20702133 (8)**
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2024** **EP 3921225**

54 Título: **Método y sistema para reducir el consumo de combustible de embarcaciones**

30 Prioridad:

07.02.2019 EP 19155930

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
02.12.2024

73 Titular/es:

**SHELL INTERNATIONALE RESEARCH
MAATSCHAPPIJ B.V. (100.0%)
Carel van Bylandtlaan 30
2596 HR The Hague, NL**

72 Inventor/es:

**STOJANOVIC, IVAN;
BROWN, STEPHEN, ANDREW;
NEEDHAM, CHRISTOPHER, DEBESH;
GODDERIDGE, BERNHARD y
HELLIWELL, JAMES MATTHEW**

74 Agente/Representante:

SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio

ES 2 991 065 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

Método y sistema para reducir el consumo de combustible de embarcaciones

5

Campo de la invención

10

La descripción se refiere a un método para mejorar el consumo de combustible de una embarcación o clase de embarcaciones mediante la optimización de parámetros operativos. La descripción también se refiere a un proceso para recopilar y analizar los datos de la embarcación a través de varios modelos matemáticos para determinar aún más los parámetros operativos óptimos.

Antecedentes de la invención

15

Generalmente, una embarcación inicia su viaje con un calado y asiento predeterminados, que luego cambiarán durante el viaje como resultado de transferencias internas, tal como transferencias de combustible o aceite lubricante, y debido al consumo y producción de agua dulce y otros fluidos. En el caso de los transportadores de gas natural licuado (GNL), gas licuado de petróleo (GLP) y otros transportadores de gas licuado, el calado y el asiento también se modificarán a medida que la carga se reduzca debido al consumo de gas evaporado (BOG). Es posible que este calado y asiento no sean las condiciones óptimas para la velocidad actual de las embarcaciones. Esta condición de calado y asiento no óptima produce un aumento de la resistencia y, para mantener una velocidad constante, se requiere más potencia del motor o motores principales para superar la mayor resistencia. Esto genera un aumento del consumo general de combustible, lo que contribuye a mayores emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero que de otro modo podrían evitarse con una mejor optimización del calado y el asiento de las embarcaciones. El aumento de los costes operativos también se refleja en el mayor consumo de combustible.

20

25

Las tecnologías actualmente disponibles para determinar la velocidad óptima del barco o la configuración y utilización de la fuente de energía normalmente se basan en un análisis estático que se realiza cuando se prueba un motor en la fábrica antes de enviarlo o en un barco durante las pruebas iniciales en el mar. Estos cálculos a menudo se realizan como cálculos manuales utilizando datos aproximados.

30

Después de las pruebas de fábrica y las pruebas iniciales en el mar, el perfil operativo óptimo del barco cambiará a medida que la embarcación y el equipo a bordo se desgasten, envejezcan, se mantengan, se operen, etc. Cada embarcación tendrá un aspecto ligeramente diferente y los parámetros operativos óptimos cambiarán con el tiempo. Las tecnologías existentes no tienen en cuenta estos diversos cambios en el perfil operativo del barco, que se relacionan directamente con la velocidad óptima y la configuración y utilización de la fuente de energía. Estas tecnologías existentes se basan en un análisis estático previo y carecen de cualquier análisis en tiempo real del rendimiento óptimo del barco en función de los parámetros operativos en tiempo real (es decir, la condición actual) del barco.

35

40

A pesar de la disponibilidad de sistemas de optimización del rendimiento, ya sea parcialmente automatizados o que involucran personal operativo, nuestra evaluación muestra que actualmente las embarcaciones suelen operar en condiciones no óptimas durante una parte significativa, por ejemplo, alrededor del 30 %, de su tiempo total de navegación.

45

La práctica industrial actual generalmente solo considera la optimización del asiento como un único parámetro para reducir la potencia del motor principal y el consumo de combustible, y hasta ahora las iniciativas han tenido un éxito limitado. Los valores de asiento generalmente se obtienen mediante modelos computacionales CFD o se miden en pruebas en el mar, y ambos cubren un número limitado de condiciones de navegación. La información obtenida de esta manera es menos precisa y no aprovecha todo el potencial de reducción de combustible (bajo número de condiciones de navegación probadas). Las soluciones convencionales también conllevan costes de desarrollo relativamente altos y un largo tiempo de implementación.

50

Actualmente, solo el parámetro asiento está optimizado para reducir el consumo de combustible. El documento US7243009 describe un sistema que utiliza un modelo estadístico de datos de entrada para determinar únicamente el asiento óptimo. Si bien este método produce algunas mejoras en el rendimiento, se pueden lograr mejoras mayores. Además, este método depende del asiento, la potencia y la velocidad de la embarcación en el momento actual, lo que limita la precisión.

55

En el documento US20140336853A1, se describe un método para determinar la velocidad óptima para una embarcación utilizando datos históricos y un método para calcular el ahorro de combustible logrado a partir de esta velocidad óptima. Este método optimiza únicamente la velocidad mediante la comparación de los datos actuales del barco con los datos históricos almacenados en un dispositivo informático.

60

El documento SG190462 describe un método para optimizar la eficiencia de combustible en una embarcación marina, que comprende varias etapas para recuperar datos operativos de la embarcación y comparar dichos datos con datos

65

óptimos para obtener varianza, ajustando así automáticamente los pares de tanques de lastre de la embarcación en función de la varianza para obtener un asiento óptimo de la embarcación a fin de lograr optimizar la eficiencia de combustible de la embarcación.

5 El documento US2016/121979 describe un sistema que permite la identificación de una condición de crucero de modo que un barco pueda proporcionar un mayor rendimiento de crucero que cuando navega en una condición de crucero predeterminada. Un dispositivo de gestión de barcos adquiere datos de entrada que indican una condición de crucero predeterminada y extrae datos de condición correspondientes a los datos de entrada. Los datos de condición incluyen
10 datos que describen una combinación de una condición de crucero y una cantidad de consumo de combustible y están predeterminados. El dispositivo de gestión de barcos, utilizando los datos de condición, identifica la cantidad de consumo de combustible en la condición de crucero indicada por los datos de entrada y determina si hay margen de mejora en la cantidad de consumo de combustible. Posteriormente, el dispositivo de gestión de barcos genera y emite datos de seguimiento correspondientes al resultado de la determinación.

15 El documento WO2010/031399 describe un sistema para un barco, que comprende una pluralidad de sensores que miden una pluralidad de conjuntos de datos que incluyen una configuración que puede ser controlada por el operador del barco, cada uno de cuyos conjuntos de datos define un estado del barco en condiciones específicas del mar, dicho sistema genera un modelo de regresión estadística de la eficiencia de combustible del barco, y la configuración óptima que proporciona la mayor eficiencia de combustible para el estado actual del barco se determina optimizando el modelo
20 de regresión estadística de la eficiencia de combustible con respecto a la configuración que puede ser controlada por el operador del barco. En este sistema, el estado actual del barco se determina optimizando el modelo estadístico con respecto a las variables de control. Las variables de control son controlables por el operador del barco. Los datos entrantes se comparan con las variables de control y se solicita al operador del barco que ajuste las variables de control. Se realiza un filtrado de ruido para derivar los parámetros desconocidos Pf, Pg y los parámetros de ruido
25 correspondientes.

Otros métodos comúnmente utilizados en la industria para la optimización del asiento utilizan la dinámica de fluidos computacional (CFD) o pruebas de mar medidas. Esto solo permite probar un número limitado de condiciones de velocidad y asiento, y no el rango completo de condiciones de funcionamiento normales. Además, el buque solo se
30 prueba en condiciones “como nuevo” y la optimización del asiento no tiene en cuenta el deterioro del rendimiento con el paso del tiempo. Estos métodos CFD a menudo no incluyen datos meteorológicos u oceanográficos, ni el efecto de las incrustaciones en el casco o el rendimiento del revestimiento, lo que hace que los resultados producidos sean menos precisos. Los métodos de optimización del asiento descritos también tienen un coste elevado, debido a la necesidad de un software CFD costoso, potencia informática o la necesidad de realizar pruebas en el mar o pruebas
35 de modelos en la embarcación.

La optimización del rendimiento de la embarcación da como resultado la reducción del consumo total de combustible y de los costes de la embarcación y la maximización de la rentabilidad de la embarcación. El consumo de combustible se basa en los parámetros operativos del barco, tal como por ejemplo únicamente el rendimiento real del motor y del
40 generador. El consumo de combustible está relacionado tanto con la cantidad de combustible necesaria para la propulsión del barco a lo largo de su viaje, como con el combustible necesario para alimentar el equipo necesario a bordo del barco durante el viaje del barco. La velocidad óptima del barco debe equilibrar los beneficios de reducir la velocidad del barco para ahorrar combustible de propulsión con los costes asociados del impacto de la carga eléctrica adicional (es decir, la energía requerida para operar el equipo necesario) en el consumo de combustible resultante del
45 exceso de tiempo requerido para hacer el viaje a la menor velocidad. Esta velocidad óptima también puede tener en cuenta la oportunidad de optimizar las ganancias de la embarcación a través de mayores ingresos al realizar más viajes, si hay una demanda adicional no satisfecha. Además, el rendimiento del barco puede mejorarse según la configuración y utilización de diversas fuentes de energía.

50 Resumen de la invención

La presente descripción tiene como objetivo proporcionar un método y un sistema más precisos para optimizar los parámetros de navegación.

55 Según un primer aspecto, la descripción proporciona un método para determinar el calado y el asiento óptimos para una embarcación en condiciones de lastre y carga utilizando el análisis de datos históricos de la embarcación para la embarcación que se está optimizando, comprendiendo el método las etapas de:

- 60 – recopilar datos operativos de la embarcación correspondientes a uno o más de sus viajes anteriores, comprendiendo los datos operativos uno o más parámetros operativos o etiquetas de datos;
- filtrar errores y ruidos creados por una fuente elegida de datos operativos;
- 65 – filtrar el efecto de condiciones climáticas adversas, suciedad en el casco y/u otras condiciones que se ha demostrado que reducen la precisión del proceso;

- procesar los datos operativos que se han filtrado, colocando los datos operativos filtrados en clases o contenedores de tamaño creciente de velocidad, calado y asiento para determinar la potencia promedio para cada condición histórica de velocidad, calado y asiento;
- 5 – producir una base de datos de condiciones óptimas de calado y asiento basándose en los datos operativos, y proporcionar la base de datos a un operador, como el capitán, o como entrada a un sistema automático de optimización de calado y asiento;
- 10 – calcular un consumo de combustible previsto para cada condición de velocidad, calado y asiento basándose en los datos operativos, para estimar los ahorros de combustible alcanzables;
- comparar el consumo de combustible previsto con el consumo de combustible logrado para la embarcación para determinar los ahorros logrados utilizando información sobre el precio actual del combustible.
- 15 La etapa de filtrar errores y ruido puede incluir la eliminación de datos que estén fuera de lo que se considera razonablemente practicable.
- 20 La etapa de filtrar un efecto del clima adverso, suciedad en el casco y/u otras condiciones que se ha demostrado que reducen la precisión del proceso puede incluir la eliminación de datos que quedan fuera de un rango de puntos establecidos basados en la experiencia previa.
- 25 En una realización, los parámetros operativos incluyen uno o más de calado de la embarcación, asiento, consumo de combustible, fecha y hora de la muestra recogida, velocidad sobre el suelo, velocidad a través del agua, potencia del motor principal, rpm del motor principal, velocidad real del viento, ángulo relativo del viento, caudal másico de combustible del motor, consumo de combustible, profundidad del agua, rpm del eje y tiempo desde la última limpieza del casco.
- 30 En otra realización, el método incluye el uso de redes neuronales artificiales y modelos de árboles de regresión para mejorar aún más la precisión del modelo.
- En otra realización más, el método incluye la etapa de mostrar resultados en tiempo real al capitán o a un sistema automático de control de calado y asiento utilizando un software o código de ordenador y/o una pantalla gráfica.
- 35 En una realización, la pantalla gráfica proporciona al capitán el calado y el asiento óptimos de la embarcación para modificar la condición actual de la embarcación.
- Opcionalmente, cada etapa individual se combina en un flujo de trabajo que se instala en un ordenador o chip para ejecutar el análisis automáticamente.
- 40 El método puede incluir la etapa de medir continuamente la velocidad actual de la embarcación para seleccionar aún más el calado y el asiento óptimos.
- 45 En una realización, el método incluye la etapa de utilizar redes neuronales artificiales para analizar y proporcionar optimización del calado, el asiento y la velocidad para toda una flota, comprendiendo la flota múltiples embarcaciones sustancialmente similares o idénticas.
- El método puede incluir la etapa de utilizar datos sobre la calidad del combustible y los fallos mecánicos del motor principal para mejorar el consumo de combustible previsto para la estimación de ahorros.
- 50 Según otro aspecto, la descripción proporciona un sistema que comprende una herramienta para implementar el método como se describió anteriormente.
- 55 Para superar las limitaciones de los métodos actuales de optimización del asiento, se ha descrito un método de análisis de datos de embarcaciones para determinar tanto un asiento óptimo como un calado óptimo para cualquier velocidad de la embarcación, tanto en condiciones de carga como de lastre. Este método también puede determinar la mejor condición de calado y de asiento para la embarcación en su condición actual, en lugar del método actual de aplicar el asiento optimizado que se encuentra en la condición “como nueva” a lo largo de la vida útil de la embarcación. Al utilizar datos del “mundo real” de una embarcación en servicio, también se pueden tener en cuenta los efectos del clima, las incrustaciones en el casco y el rendimiento del revestimiento cuando se utiliza este método. La CFD y otros métodos solo pueden realizar predicciones sobre el clima del mundo real basándose en modelos y pueden no brindar una representación verdadera de los eventos del mundo real. El método descrito también tiene costes sustancialmente más bajos que los métodos actualmente implementados. El método descrito requiere una fuente de datos que puede provenir de cualquier número de proveedores de recopilación de datos. Como una reducción adicional de costes, los datos también pueden recopilarse mediante información reportada manualmente a través de un informe diario o de mediodía. El proceso se puede ejecutar en un ordenador o portátil típico utilizando un software gratuito y de amplio acceso, de bajo coste y requiere un tiempo mínimo para ejecutar el proceso. Actualmente, los métodos existentes que
- 60
- 65

utilizan datos históricos no pueden brindar asesoramiento para embarcaciones similares o hermanas dentro de una flota. Mediante el uso de los métodos descritos, esta optimización del calado, el asiento y la velocidad se puede aplicar en una flota de embarcaciones similares.

5 Al emplear el método de la presente descripción, se pueden reducir el consumo de combustible y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Se pueden ahorrar costes operativos gracias al menor consumo de combustible. Al optimizar el calado, el asiento y la velocidad, una embarcación puede mantener una mayor velocidad con el mismo consumo de combustible, o la misma velocidad con un menor consumo de combustible. Se observa que una embarcación típica navega en condiciones de calado y asiento no óptimas durante un bajo porcentaje de su tiempo total de navegación. Mediante el uso de esta invención, se puede aumentar el porcentaje de tiempo de navegación que la embarcación pasa en condiciones óptimas de calado, asiento y velocidad. A medida que el calado y el asiento cambian durante un viaje debido al consumo y la transferencia de combustible u otros líquidos, es posible que el calado y el asiento se alejen del nivel óptimo y también se puede realizar una corrección para ajustar el calado y el asiento nuevamente a su nivel óptimo.

15 El sistema de la presente descripción proporciona una solución más precisa, de menor coste y mayores ganancias para parámetros de navegación optimizados. El sistema también permite un despliegue rápido y puede implementarse en embarcaciones existentes.

20 Breve descripción de los dibujos

Las figuras de dibujo representan una o más implementaciones según las presentes enseñanzas, solo a modo de ejemplo, no como limitación. En las figuras, los números de referencia iguales se refieren a elementos iguales o similares. En estas,

25 – la figura 1 muestra un diagrama de flujo de trabajo de optimización de calado y asiento ilustrativo según una realización del método de la presente descripción, que demuestra la colocación de datos en contenedores o clases; y

30 – la figura 2 muestra un gráfico ilustrativo del consumo de combustible y potencia para estimar ahorros potenciales. Como se describió, es posible predecir el ahorro de combustible logrado a través de la optimización del calado y el asiento utilizando la ecuación de la línea polinomial de mejor ajuste que relaciona el consumo de combustible y la potencia del barco.

35 Descripción detallada de la invención

Algunos términos utilizados en el presente documento se definen de la siguiente manera:

40 “GNL” se refiere al gas natural licuado, que normalmente se enfría al menos a una temperatura en que el gas puede estar en fase líquida a aproximadamente 100 kPa (1 bar) de presión; para el metano licuado esta temperatura es de aproximadamente -162 grados C;

45 “calado” puede referirse a la profundidad del agua necesaria para que un barco flote; profundidad por debajo de la línea de flotación hasta el fondo del casco de una embarcación; y la profundidad del agua extraída por una embarcación. En la presente descripción, “calado” puede referirse en particular a la profundidad por debajo de la línea de flotación hasta el fondo del casco de la embarcación; y

“asiento” se refiere a la posición de una embarcación con respecto a la horizontal; En otras palabras, “asiento” se refiere a la diferencia entre el calado del extremo delantero y el calado del extremo trasero de la embarcación.

50 Cada vez que una embarcación navega a una velocidad determinada, ya sea transportando carga o con lastre, existe una condición óptima de calado y asiento para esa embarcación. Para una embarcación en servicio se genera una gran cantidad de datos relacionados con su rendimiento. Estos datos pueden ser recopilados por la tripulación, por ejemplo, a través de un informe de “mediodía” o mediante un sistema automatizado de recopilación de datos de alta frecuencia conectado a la maquinaria de la embarcación. Durante el funcionamiento, el capitán de la embarcación puede haber seleccionado un ajuste de calado y asiento a una velocidad determinada de la embarcación que requería una potencia del motor menor que un ajuste de calado y asiento anterior a la misma velocidad de la embarcación.

60 Mediante el método descrito, se pueden analizar los datos para determinar qué condiciones históricas de calado y asiento tuvieron un mejor rendimiento que otras para una velocidad determinada. Al proporcionar esta información al capitán del barco, se pueden seleccionar los ajustes de calado y asiento que proporcionaron una menor potencia del motor principal para una velocidad determinada, lo que a su vez reducirá el consumo general de combustible. Se logran ahorros de entre el 3 y el 7 % por embarcación por año implementando el proceso de la presente descripción.

65 El método descrito utiliza datos históricos de embarcaciones que comprenden uno o más de los siguientes parámetros que se recopilarán:

- fecha y hora de la muestra recogida;
- velocidad sobre el suelo;
- 5 – velocidad a través del agua;
- potencia del motor principal;
- 10 – rpm del motor principal;
- velocidad real del viento;
- ángulo relativo del viento;
- 15 – calado;
- asiento;
- 20 – caudal másico de combustible del motor;
- profundidad del agua;
- rpm del eje; y
- 25 – tiempo desde la última limpieza del casco.

Estos datos se pueden recopilar utilizando un registrador de datos de alta frecuencia (de los cuales existen numerosos proveedores), utilizando los datos del “mediodía” reportados por la tripulación del barco o mediante cualquier otra fuente de datos confiable. El lapso de tiempo de los datos utilizados debe ser relativamente corto para evitar que el aumento de las incrustaciones en el casco afecte a los requisitos de potencia. Los datos que excedan el período de un año comenzarán a incluir los efectos del aumento de la resistencia a la fricción causada por el crecimiento marino en el casco, lo que reducirá la precisión de este método.

Los datos recopilados por registradores de datos de alta frecuencia a menudo se denominan datos “ruidosos”, con errores inducidos por el registrador de datos. Esto puede incluir datos faltantes, valores cero o datos extremadamente altos o imposibles de capturar en el registro. Antes de utilizar estos datos para su análisis, procesamiento o filtrado, se podrá eliminar cualquier dato que no se ajuste a lo que se considera razonablemente posible para eliminar o reducir el impacto de estos errores. Por ejemplo, los valores cero, los datos vacíos y los valores fuera de los físicamente posibles se pueden filtrar y eliminar del conjunto de datos. Para eliminar valores de datos fuera de los valores físicamente posibles, se pueden establecer umbrales superiores o inferiores, por ejemplo, en función de la experiencia o las especificaciones de una embarcación. De esta forma, el filtrado elimina el ruido introducido por el equipo de detección.

Por ejemplo, el método de descripción puede filtrar cualquier valor donde la velocidad sea mayor que la velocidad de diseño del barco. Por lo tanto, si la velocidad medida por un sensor es mayor que un porcentaje predeterminado por encima de una velocidad de diseño predeterminada de la respectiva embarcación, dicha velocidad medida se ignorará. La velocidad de diseño la proporciona, por ejemplo, el fabricante de la embarcación respectiva o se determina de antemano. Por ejemplo, si una velocidad medida es mayor que el 100,1 % de la velocidad de diseño, se ignorará. Por ejemplo, si una velocidad medida es mayor que el 101 % de la velocidad de diseño, se ignorará. Por ejemplo, si una velocidad medida es mayor que el 102 % de la velocidad de diseño, se ignorará. Por ejemplo, si una velocidad medida es mayor que el 103 % de la velocidad de diseño, se ignorará. Por ejemplo, si una velocidad medida es mayor que el 105 % de la velocidad de diseño, se ignorará.

Por ejemplo, un punto de datos que captura la velocidad de la embarcación a una velocidad (por ejemplo, 40 nudos) superior a la velocidad máxima alcanzable de la embarcación es obviamente erróneo y puede eliminarse.

También se elimina o filtra el efecto de las condiciones meteorológicas adversas para permitir la optimización del calado y del asiento. En condiciones climáticas extremas, se requiere una mayor potencia del motor principal para superar la mayor resistencia de las olas y del viento, lo que impide analizar el efecto de los cambios de calado y de asiento. Por ejemplo, puede ignorarse cualquier dato registrado cuando el estado del mar sea mayor a 4, la escala de viento de Beaufort sea mayor a 5 y la influencia de corriente sea mayor a 3 %. La influencia de corriente es una medida de cuánto ha afectado la corriente a la velocidad de las embarcaciones. Se puede calcular como un porcentaje, por ejemplo, como se muestra en la Fórmula 1:

$$\text{Influencia de corriente [\%]} = \left| \frac{\text{Velocidad sobre el suelo} - \text{velocidad a través del agua}}{\text{Velocidad sobre el suelo}} \right| \times 100$$

En el presente documento, la velocidad sobre el suelo y la velocidad a través del agua se expresan en nudos, en donde 1 nudo equivale a aproximadamente 0,514 m/s. Se debe tener en cuenta que, si bien los datos climáticos adversos se eliminan para el análisis, los consejos de optimización del calado y el asiento aún se pueden utilizar para ajustar el calado y el asiento en condiciones climáticas adversas. Sin embargo, en condiciones climáticas adversas, medir los ahorros logrados puede resultar un desafío.

Luego se aplica un método de promediado. Esto coloca los datos históricos en grupos o “contenedores” de tamaño creciente. Se han recopilado datos a lo largo del tiempo para las etiquetas de datos enumeradas anteriormente, que incluyen la velocidad, el calado, el asiento y la potencia de la embarcación durante sus viajes anteriores. Los datos históricos se colocan en contenedores de tamaño creciente redondeando la velocidad, el calado y el asiento del barco al incremento más cercano, y el resto de los datos de esa muestra también se colocan en el contenedor. Los datos históricos de velocidad del barco se promedian en incrementos de 0,5 nudos, el calado se promedia en incrementos de 0,25 metros y el asiento se promedia en incrementos de 0,5 metros. En cada contenedor habrá varios puntos de datos que ahora tendrán el mismo calado, asiento y velocidad, mientras que las demás etiquetas de datos permanecerán intactas en el formato capturado por el registrador de datos. Para todos los datos capturados en cada contenedor, se puede calcular un promedio medio de las mediciones de potencia en ese contenedor. Cada contenedor ahora tendrá un valor de calado, asiento, velocidad y potencia promedio asociado.

Para mejorar aún más la confianza en el asesoramiento brindado al capitán de la embarcación, los contenedores que contienen un número limitado de puntos de datos se ignoran. Normalmente se rechazan las condiciones en que la embarcación ha navegado menos de 50 veces, aunque se pueden utilizar umbrales diferentes. También se pueden utilizar datos de embarcaciones hermanas para mejorar aún más la precisión. Al utilizar datos de una embarcación hermana con la misma longitud, manga y otros parámetros geométricos, se dispone de un conjunto de datos más grande para el análisis. De igual modo, una embarcación hermana puede haber navegado en condiciones de calado y asiento diferentes a las de la embarcación original, o en partes del mundo diferentes a las de la original, ampliando el número de condiciones disponibles para el análisis. La embarcación hermana, además de ser geoméricamente similar, también debería ser mecánicamente similar en términos de diseño y disposición del motor principal, para permitir que se realice una comparación del ahorro de combustible.

Luego se desarrolló una base de datos que muestra la potencia promedio del motor principal para una variedad de condiciones de velocidades, calados y de asiento de embarcaciones, eliminando el efecto de las condiciones climáticas extremas y las incrustaciones en el casco. La Tabla 1 a continuación muestra una tabla de ejemplo que demuestra los cambios en la potencia del motor principal cuando se modifican el calado y el asiento para una velocidad constante dada, y demuestra el método de procesamiento para colocar datos en clases o contenedores como se describe. En este ejemplo solo se presenta una velocidad, aunque este proceso podría repetirse para un rango predeterminado de velocidades de la embarcación. La velocidad se expresa en nudos (símbolo: [kn] o [kt]), una unidad de velocidad en el mar. Un nudo se define como una milla náutica por hora, donde una milla náutica equivale a 1852 metros. Un nudo equivale aproximadamente a 1,852 kilómetros por hora o 0,514 m/s (por lo que 13 nudos equivalen aproximadamente a 6,69 m/s). Como se ha demostrado, el requisito de potencia del motor principal puede cambiar drásticamente a medida que se modifican el calado y el asiento, incluso aunque la velocidad permanezca constante. En el ejemplo de la Tabla 1, el requisito de potencia del motor más bajo (7,93 MW) es más de un 35 % menor que el requisito de potencia del motor más alto (12,27 MW).

Tabla 1

Número de contenedor	Velocidad [Nudos]	Calado de entrecubierta [m]	Calado de proa [m]	Calado de popa [m]	Asiento [m]	Potencia [MW]
1	13	10,25	10,5	10	-0,5	12,27
2	13	10,5	10,75	10,25	-0,5	12,18
3	13	10,75	11	10,5	-0,5	10,99
4	13	9,75	9,75	9,75	0	10,56
5	13	9	8,5	9,5	1	10,26
6	13	11,25	11,75	10,75	-1	10,26
7	13	10,5	10	11	1	9,96
8	13	9	8,75	9,25	0,5	9,75
9	13	10,5	10,25	10,75	0,5	9,74

	Número de contenedor	Velocidad [Nudos]	Calado de entrecubierta [m]	Calado de proa [m]	Calado de popa [m]	Asiento [m]	Potencia [MW]
5	10	13	9,75	10	9,5	-0,5	9,44
	11	13	9	9	9	0	9,37
	12	13	10,75	10,75	10,75	0	9,29
10	13	13	9,5	9,5	9,5	0	9,27
	14	13	11,25	11,5	11	-0,5	9,27
	15	13	11	11,25	10,75	-0,5	8,99
15	16	13	9,25	9,25	9,25	0	8,66
	17	13	9,25	9	9,5	0,5	8,37
	18	13	9,25	8,75	9,75	1	8,36
20	19	13	11	11	11	0	8,16
	20	13	11	10,75	11,25	0,5	8,1
	21	13	10	10	10	0	7,93

El método de promediado descrito proporciona una solución simple y fácilmente implementable para pronosticar el calado y el asiento basándose en datos operativos previos. Sin embargo, el método de promediado puede llevar a algunas imprecisiones, observándose un error promedio del 10 %. El método de promediado también está limitado por su incapacidad para realizar pronósticos fuera del conjunto de datos. Si la embarcación navega en una condición no capturada previamente en los datos existentes, no se puede realizar una comparación directa de la condición de calado y de asiento óptimos. Para determinar el calado y el asiento óptimos fuera del conjunto de datos existentes, mejorando estas limitaciones, se han probado varios modelos de predicción matemática. Unos modelos de regresión de bosques aleatorios se pueden utilizar para reducir la inexactitud observada en el método de promediado. Se observa una reducción del error medio promedio del 10 % al 5 %. Sin embargo, los modelos de regresión de bosques aleatorios ofrecen un rendimiento limitado cuando se realizan pronósticos fuera del conjunto de datos existente. Se han probado e implementado redes neuronales artificiales como una optimización adicional del método. Se ha observado que las redes neuronales artificiales reducen el error del 10 % al 0,5 % en comparación con el método de promediado, con un error máximo del 23 % cuando se realizan pronósticos fuera del conjunto de datos. Para que las redes neuronales artificiales funcionen lo mejor posible, se deben ignorar los procedimientos de filtrado meteorológico descritos anteriormente.

Las redes neuronales artificiales (RNA) son estructuras matemáticas que consisten en nodos y conexiones llamadas bordes, que están diseñados para replicar la función del cerebro humano. Cada red consta de una capa de entrada y salida de nodos conectados entre sí por bordes. Las redes también pueden constar de capas ocultas entre la capa de entrada y la capa de salida. Cada nodo es una función de transferencia matemática. Los datos se proporcionan en la capa de entrada, donde el nodo envía un valor a la capa de salida. Este valor previsto se compara con un valor de entrada para determinar el nivel de error entre el valor previsto y el introducido. La red se entrena varias veces para reducir este error. La red puede entonces realizar predicciones basadas en el conjunto de datos original observado.

La regresión de bosques aleatorios (RFR) es un modelo de aprendizaje que puede realizar tareas de clasificación y regresión matemática mediante una técnica conocida como agregación de arranque o embolsado. Se produce una única agregación de arranque dentro de un árbol de decisión, y la regresión de bosques aleatorios es entonces la combinación de múltiples árboles de decisión. El objetivo de un árbol de decisión es dividir un conjunto de datos de entrenamiento en los dos mejores subconjuntos secundarios. Un proceso llamado crecimiento de árboles tiene como objetivo dividir los datos de entrenamiento en ramas y hojas en función de este proceso de división óptimo hasta que no sea posible realizar más ramificaciones. Cada división en un árbol de decisión en realidad plantea una pregunta de sí o no sobre el conjunto de datos, lo que conduce a un valor previsto basado en el conjunto de datos de entrada.

Al utilizar técnicas RFR o RNA para predecir la potencia para cada condición de calado y asiento, se aumenta la precisión en comparación con el simple promediado de los valores de potencia encontrados en el conjunto de datos.

Una vez determinados el calado y el asiento óptimos mediante el método de promediado o los modelos matemáticos descritos, se crea una base de datos de estos valores óptimos para cada velocidad de la embarcación. Estos datos se empaquetan luego en una pantalla utilizable y se instalan en el puente del barco. Dependiendo de la infraestructura disponible en la embarcación, esto podría ser en forma de una lectura en papel, una pantalla, un paquete de software u otro método de presentación de datos.

- Con el sistema desplegado en el puente, se puede tomar una medición de la velocidad, el calado y el asiento actuales de la embarcación. Estos pueden luego compararse con la velocidad, el calado y el asiento almacenados en el sistema, y el calado y asiento óptimos para esa velocidad dada pueden mostrarse al capitán, o como una entrada para el sistema automático de control de calado y asiento. El capitán, o un sistema de lastre controlado automáticamente, puede ajustar la embarcación a la condición óptima para comenzar a lograr el ahorro de combustible. El capitán o el sistema automático de control de lastre pueden entonces mantener la embarcación cerca del nivel óptimo durante el mayor tiempo posible del viaje.
- El término “comparar” utilizado en el presente documento se relaciona con la implementación más que con la generación de resultados. A diferencia de los sistemas de la técnica anterior, el método y el sistema de la presente descripción no utilizan ninguna comparación para generar resultados o análisis. En cambio, una vez que se han generado valores óptimos de calado y asiento mediante el proceso de la descripción, un operador, por ejemplo el capitán de una embarcación, puede comprobar la velocidad actual de la embarcación con la misma velocidad en los resultados generados utilizando el método de la descripción. De esta manera, el operador identifica el calado y el asiento óptimos. En efecto, el capitán está comparando su velocidad actual con la misma velocidad en la tabla (véase, por ejemplo, la Tabla 1 para un ejemplo) para buscar un valor. Sin embargo, el método de la descripción carece de etapas de comparación en la generación de los resultados.
- El método de la presente descripción se puede automatizar en un flujo de trabajo, por ejemplo como se detalla en la figura 1. El flujo 10 de trabajo puede incluir la recopilación, el procesamiento, el filtrado, el promediado y la salida automatizados de datos a una tabla, una interfaz basada en web o una pantalla para que el capitán del barco los utilice para seleccionar una condición óptima de asiento o calado. Este flujo de trabajo consta de varias etapas.
- La etapa 1 puede comprender una primera etapa 12, que incluye la recopilación 14 de datos de una fuente de datos (la fuente de datos puede incluir instrumentación de equipo de campo y/o sensores dedicados). Una segunda etapa 16 incluye el procesamiento de los datos 14 de la embarcación que se está optimizando para eliminar errores tales como valores negativos y extremos como se describió anteriormente.
- La etapa 2 puede implicar una etapa 18 de filtrado meteorológico y una etapa 20 de promediado como se describió anteriormente, o alternativamente una etapa 22 de uso de modelos matemáticos tal como redes neuronales artificiales para proporcionar un pronóstico 24 de calado y asiento óptimos.
- La etapa 3 puede incluir la etapa 26 de mostrar al capitán el calado y el asiento óptimos 24 determinados en la etapa 2 para la velocidad actual de la embarcación y/o se proporciona como entrada a un sistema automático de control de lastre. Opcionalmente, la etapa 3 puede incluir la etapa 28 de calcular los ahorros de combustible estimados (potenciales) en función del pronóstico de calado y asiento óptimos, y reportar los ahorros estimados calculados.
- La etapa 4 incluye el ajuste del calado y el asiento, ya sea manualmente o mediante un sistema automático de control de lastre, a la condición mostrada en la etapa 3, es decir, al pronóstico 24 de calado y asiento óptimos.
- La etapa 5 puede incluir una etapa 32 de realizar un cálculo del consumo de combustible real ahorrado comparando el consumo de combustible promedio antes de la fecha de optimización con el consumo de combustible promedio después de la fecha de optimización.
- En otra etapa se prevé el ahorro de combustible. Para predecir el potencial de ahorro que puede alcanzar la embarcación, la potencia del motor principal 50 (eje x; por ejemplo, expresado en [MW]) frente al consumo de combustible 52 (eje y; por ejemplo, expresado en caudal másico [kg/s]) se representa gráficamente. Se puede aplicar una curva polinomial de mejor ajuste 54 al gráfico, como se muestra en la figura 2. Los valores atípicos extremos de la curva de potencia o polinomial se filtran para mejorar el mejor ajuste de la curva de potencia. La curva debería mostrar que a medida que aumenta la potencia del motor, también aumenta el consumo de combustible. Utilizando la ecuación de la curva 54 de mejor ajuste para aproximar la relación entre el consumo 52 de combustible y la potencia 50, se puede calcular el consumo de combustible para cada potencia promedio en el ajuste de calado y asiento optimizados.
- La curva 54 de consumo de combustible frente a potencia se puede actualizar continuamente mediante un sistema automatizado utilizando datos en tiempo real del barco, para tener en cuenta los cambios en la relación entre el consumo de combustible y la potencia a lo largo del tiempo, dando una estimación actualizada de los ahorros potenciales. Al calcular la diferencia en el consumo de combustible entre la condición óptima de calado y asiento con el consumo de combustible calculado para cada ajuste de calado y asiento no óptimo, se puede determinar una diferencia o “delta” en el consumo de combustible. A través de la suma de estos valores delta de ahorro de combustible, se obtiene el ahorro potencial total de combustible que puede lograr la embarcación. Esto se puede multiplicar por el precio actual del combustible y el número de días de navegación previstos por año. Se puede incorporar un factor para considerar el porcentaje de tiempo que el capitán elige para implementar el método de la presente descripción y la probabilidad de que el clima adverso impida que se utilice el sistema. Por experiencia, se ha descubierto que el método de la presente descripción puede ser utilizado por el capitán durante, por ejemplo, aproximadamente entre el 30 y el 50 % o más del tiempo total de navegación.

Con el método descrito empleado a bordo de la embarcación, se puede utilizar la misma fuente de datos de la embarcación o una diferente para comparar el rendimiento de la embarcación antes de introducir la optimización del calado y el asiento con el posterior al evento. El consumo de combustible registrado antes y después se puede comparar para determinar el ahorro logrado. Las pruebas realizadas han demostrado que se pueden lograr ahorros en el consumo de combustible de entre un 3 y un 7 % o más por barco por año empleando el método descrito. Como realización adicional, la comparación de los ahorros logrados podría automatizarse como una parte adicional del flujo de trabajo, como se detalla en la figura 1. Los ahorros de combustible medidos también se pueden comparar con los ahorros de consumo de combustible previstos para validar la precisión de este método.

El método descrito detalla un proceso para la determinación del calado y asiento óptimos para reducir el consumo de combustible en condiciones de lastre y carga. El proceso utiliza una fuente de datos de la embarcación o embarcaciones que se están optimizando para determinar el calado y el asiento óptimos para la embarcación a cualquier velocidad determinada. Los datos podrían presentarse en forma de datos reportados al mediodía, datos electrónicos de alta frecuencia u otra fuente de datos. Los datos del informe del mediodía son datos operativos de la embarcación reportados una vez al día, generalmente por el ingeniero jefe, y brindan una actualización diaria sobre el estado de la embarcación.

Se detallan varios procesos de filtrado y optimización de datos para garantizar un buen estándar de datos para que se complete el proceso. Normalmente, los datos procedentes de grabadores de datos de alta frecuencia tienden a ser “ruidosos” y a veces se registran valores erróneos. Antes de aplicar el método detallado en esta patente, se debe realizar un filtrado para eliminar los valores extremos. Se filtran las condiciones climáticas adversas que requieren una mayor potencia del motor para superar la mayor resistencia del viento y las olas. Se ha determinado que el tiempo es adverso cuando el estado del mar es superior a 4, la escala Beaufort es superior a 5 y la influencia de corriente es superior al 3 %. Se podrían aplicar diferentes límites en caso de condiciones climáticas adversas sin desvirtuar el proceso.

Luego se describe un método de promediado que analiza qué condiciones de asiento y calado en los datos anteriores dieron un menor consumo de combustible. Durante el periodo cubierto por los datos, a veces la embarcación habrá navegado con un calado y asiento a una velocidad determinada que requirió una potencia del motor principal menor que un calado y asiento diferentes a la misma velocidad. Esto se compila en una base de datos o matriz que indica qué condiciones de calado y asiento a cada velocidad contribuyen a una menor potencia del motor principal. La información de la base de datos o de la tabla se puede presentar luego al capitán o actuar como entrada para un sistema automático de control de calado y asiento. Esta información puede presentarse en papel o mediante una pantalla electrónica, basada en la web o similar. Utilizando la información sobre el calado y el asiento óptimos para la velocidad actual de la embarcación, se pueden modificar el calado y el asiento para alcanzar esta condición óptima.

Luego, como una etapa adicional del proceso, se puede predecir el consumo de combustible con base en los datos históricos para brindar una estimación del ahorro potencial que se podría lograr con la introducción de este método. Para estimar el potencial ahorro de combustible, se debe representar el caudal másico de combustible en los datos históricos frente a la potencia de las embarcaciones, y se puede encontrar la ecuación de la curva polinomial que relaciona estos dos parámetros. Esto se puede utilizar luego para estimar el consumo de combustible para la potencia promedio calculada en cada condición de calado y asiento almacenada en la base de datos.

Utilizando el consumo de combustible estimado en cada condición optimizada de calado y asiento, y conociendo el número de días de navegación por año y el precio actual del combustible, se pueden predecir ahorros potenciales. Los datos de los barcos equipados con dispositivos para medir la calidad del combustible también pueden utilizarse para mejorar la precisión de la estimación del ahorro de combustible, ya que los cambios en la calidad del combustible pueden afectar al consumo de combustible. Del mismo modo, también se puede incluir información reportada sobre problemas mecánicos o fallas en los motores principales del barco, ya que un motor con una falla mecánica puede consumir demasiado combustible, lo que afecta a la estimación del consumo de combustible. También debería incluirse un factor que tenga en cuenta cuándo las condiciones meteorológicas adversas impiden optimizar el calado y el asiento. Por lo general, se ha comprobado que la optimización del calado y del asiento no se puede llevar a cabo debido al mal tiempo u otras prioridades del viaje durante el 30 a 40 % del tiempo total de navegación.

Utilizando el mismo método de recopilación de datos empleado para calcular el calado y el asiento óptimos, también se puede medir el ahorro real de combustible. Comparando los datos de consumo de combustible recopilados antes y después de la implementación de la optimización del calado y del asiento, se puede medir el ahorro de combustible. Mediante la implementación de este proceso se han medido ahorros de combustible de entre el 3 y el 7 % por barco y año.

Las distintas etapas detalladas se incorporan a un flujo de trabajo o proceso que puede automatizarse a distintos niveles. Esto podría realizarse de forma semimanual, utilizando una aplicación de hoja de cálculo como Microsoft Excel. Para reducir el tiempo necesario para realizar esta optimización, el flujo de trabajo descrito se puede automatizar utilizando un lenguaje de programación tal como Python o C++. Como otra realización, la salida del proceso podría

automatizarse de modo que el calado y el asiento se modifiquen automáticamente mediante un sistema de control automático sin la intervención del capitán.

Una limitación del método de promediado descrito es que solo puede proporcionar el calado y el asiento óptimos para las condiciones en que la embarcación ha navegado anteriormente. Si la embarcación navega en una condición en que no navegaba anteriormente, el sistema de promediado no puede asesorar sobre el calado y el asiento óptimos. Otra limitación del método de promediado es que incorpora cierta inexactitud en el análisis. Se observan errores medios del 10 % utilizando el método de promediado. Para mejorar esto, se pueden utilizar varios modelos matemáticos e incorporarlos al proceso para hacer predicciones del calado y asiento óptimos en función del rendimiento anterior para condiciones nuevas e invisibles. Se han implementado modelos de regresión bosques aleatorios y redes neuronales artificiales para mejorar las predicciones fuera del conjunto de datos existente.

Las redes neuronales artificiales han demostrado ser las más exitosas en la predicción de condiciones óptimas de calado y asiento fuera del conjunto de datos existente, con errores porcentuales máximos del 23 %. Las redes neuronales artificiales también pueden reducir significativamente la inexactitud en el análisis, reduciendo el error medio del 10 % al 0,5 %.

El sistema y método de la presente descripción permiten reducir la potencia del motor principal y el consumo de combustible en los barcos, mediante la aplicación de procesos de analítica avanzada para identificar los parámetros óptimos de navegación. Luego se asesora a los capitanes sobre qué parámetros cambiar (y en qué medida) para optimizar el viaje y reducir el consumo de combustible. Los consejos que se ofrecen en el presente documento pueden referirse, por ejemplo, a la adición de agua de lastre para cambiar el calado y el asiento, ajustar la velocidad, etc. El producto final puede ser una herramienta basada en la web fácil de usar, con análisis patentados que impulsen los resultados.

El método y sistema de la descripción no compara datos operativos medidos con un conjunto de datos predeterminados por defecto u óptimos. El método de la descripción procesa y analiza datos históricos para calcular un óptimo. El método de la descripción no es un método de comparación con un conjunto de datos ya optimizado existente en una memoria u otro almacenamiento de un procesador de datos, o en donde algunos datos medidos o identificados de otro modo se comparan con una condición de viaje predeterminada.

Los métodos y sistemas convencionales normalmente incluyen una etapa de comparación de los datos medidos con un caso base óptimo predeterminado. El procesamiento de datos en el método y sistema de la presente descripción no incluye la comparación y en realidad lleva el procesamiento un paso más allá, al procesar los datos operativos en clases de tamaño creciente de velocidad, calado y asiento para determinar la potencia promedio para cada condición histórica de velocidad, calado y asiento. Por ejemplo, las líneas respectivas en la tabla 1 corresponden a las “clases” mencionadas.

El sistema y el método permiten una evaluación holística del rendimiento hidrodinámico de la embarcación y permiten la identificación de puntos óptimos de rendimiento que anteriormente no se habían observado utilizando metodologías convencionales. El sistema y el método de la descripción utilizan un conjunto de algoritmos avanzados para procesar y analizar datos de alta frecuencia en tiempo real registrados en los barcos. Se destacan además los valores óptimos en que los barcos pueden operar en un momento determinado y dentro de un contexto determinado (viento, corriente, etc.).

Con respecto a los sistemas convencionales, el sistema y el método de la descripción proporcionan un mayor número de parámetros optimizados, una mayor opcionalidad en su selección y una mayor precisión. Los algoritmos avanzados aplicados en el sistema y el método de la descripción pueden superar las limitaciones de los sistemas de la técnica anterior y predecir con éxito valores optimizados para un mayor número de parámetros, proporcionando más opcionalidad (número de intervenciones) a los capitanes.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de datos han sido probados y validados a escala real en las embarcaciones del solicitante, dando como resultado un margen de error inferior a aproximadamente el 5 %. El sistema y el método de la descripción lograron un aumento promedio superior al 3 % en la eficiencia del combustible del motor principal en barcos de carga típicos. Dichos barcos pueden incluir, pero no están limitados a, petroleros de crudo (petroleros MR, VLCC, etc.), metaneros, buques GLP, graneleros, portacontenedores, etc.

La presente descripción no se limita a las realizaciones descritas anteriormente. Son concebibles muchas modificaciones en la misma y se pueden combinar características de las respectivas realizaciones. El alcance de protección de la presente solicitud está definido por las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método para determinar el calado y asiento óptimos para una embarcación en condiciones de lastre y carga utilizando el análisis de datos históricos de la embarcación que se está optimizando, comprendiendo el método las etapas de:
 - recopilar datos operativos de la embarcación para uno o más de sus viajes anteriores, comprendiendo los datos operativos uno o más parámetros operativos o etiquetas de datos;
 - filtrar errores y ruidos creados por una fuente elegida de datos operativos;
 - filtrar un efecto de condiciones climáticas adversas, suciedad en el casco y/u otras condiciones que se ha demostrado que reducen la precisión del proceso;
 - procesar los datos operativos que se han filtrado, colocando los datos operativos filtrados en clases o contenedores de tamaño creciente de velocidad, calado y asiento para determinar la potencia promedio para cada condición histórica de velocidad, calado y asiento;
 - producir una base de datos de condiciones óptimas de calado y asiento basándose en los datos operativos procesados, y proporcionar la base de datos a un operador, tal como el capitán, o como entrada a un sistema automático de optimización de calado y asiento;
 - calcular un consumo de combustible previsto para cada condición de velocidad, calado y asiento basándose en los datos operativos, para estimar los ahorros de combustible alcanzables; y
 - comparar el consumo de combustible previsto con el consumo de combustible logrado para la embarcación para determinar los ahorros logrados utilizando información sobre el precio actual del combustible.
2. El método de la reivindicación 1, incluyendo la etapa de filtrar errores y ruido la eliminación de datos que caen fuera de un umbral superior y/o un umbral inferior para eliminar uno o más valores que son cero y/o no son físicamente posibles.
3. El método de una de las reivindicaciones anteriores, en donde los parámetros operativos incluyen uno o más de calado de la embarcación, asiento, consumo de combustible, fecha y hora de la muestra recogida, velocidad sobre el suelo, velocidad a través del agua, potencia del motor principal, rpm del motor principal, velocidad real del viento, ángulo relativo del viento, caudal másico de combustible del motor, consumo de combustible, profundidad del agua, rpm del eje y tiempo desde la última limpieza del casco.
4. El método de la reivindicación 1, que incluye el uso de redes neuronales artificiales y modelos de árboles de regresión para mejorar aún más la precisión del modelo.
5. El método de la reivindicación 1, que incluye la etapa de mostrar resultados en tiempo real al capitán o a un sistema automático de control de calado y asiento utilizando un software o código de ordenador y/o una pantalla gráfica.
6. El método de la reivindicación 6, en donde la pantalla gráfica proporciona al capitán el calado y el asiento óptimos de la embarcación para modificar la condición actual de la embarcación.
7. El método de la reivindicación 1, en donde cada etapa individual se combina en un flujo de trabajo que se instala en un ordenador o chip para ejecutar automáticamente el análisis.
8. El método de la reivindicación 8, que incluye la etapa de medir continuamente la velocidad actual de la embarcación para seleccionar además el calado y el asiento óptimos.
9. El método de la reivindicación 5, que incluye la etapa de utilizar redes neuronales artificiales para analizar y proporcionar optimización del calado, el asiento y la velocidad para toda una flota, comprendiendo la flota múltiples embarcaciones sustancialmente similares o idénticas.
10. El método de la reivindicación 1, que incluye la etapa de utilizar datos sobre la calidad del combustible y los fallos mecánicos del motor principal para mejorar el consumo de combustible previsto para la estimación de ahorros.

Figura 1

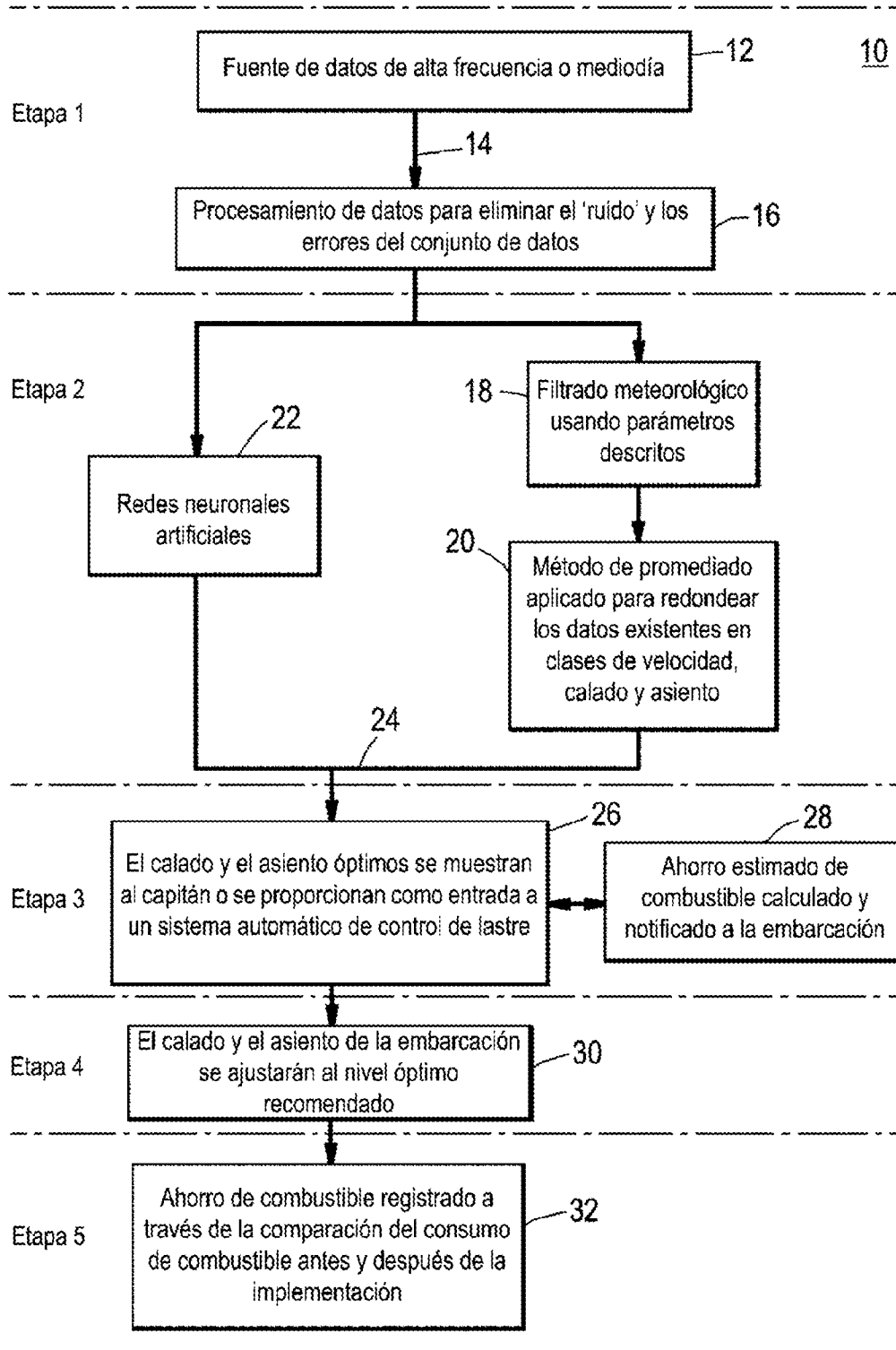


Figura 2

