

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 878 052**

51 Int. Cl.:

B63G 8/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.12.2017 PCT/EP2017/082510**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2018 WO18130360**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.12.2017 E 17818505 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.04.2021 EP 3568345**

54 Título: **Procedimiento para la determinación de los coeficientes hidrodinámicos de los submarinos**

30 Prioridad:

12.01.2017 DE 102017200468

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

18.11.2021

73 Titular/es:

**THYSSENKRUPP MARINE SYSTEMS GMBH
(50.0%)**

Werftstraße 112-114

24143 Kiel, DE y

THYSSENKRUPP AG (50.0%)

72 Inventor/es:

BOHLMANN, HANS JÜRGEN

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 878 052 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para la determinación de los coeficientes hidrodinámicos de los submarinos

5 La invención se refiere a un procedimiento para determinar los coeficientes hidrodinámicos de los submarinos.

En particular, en el caso de la navegación estacionaria de un submarino, la fuerza normal que actúa sobre el buque es nula. Esto se describe por medio de la siguiente ecuación

$$10 \quad \begin{aligned} & Z'_* + Z'_w \cdot \tan(\alpha) + Z'_{|w|} \cdot |\tan(\alpha)| + Z'_{w|w|} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| + Z'_{ww} \cdot \tan^2(\alpha) + f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot \delta_s + \\ & Z'_{\delta b} \cdot \delta_b + \left(f_x \cdot Z'_{\delta s \eta} \cdot \delta_s + Z'_{w \eta} \cdot \tan(\alpha) + Z'_{w|w| \eta} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| \right) \cdot (\eta \cdot C - 1) + \frac{W' - B'}{u'^2} \cdot \cos(\theta) \\ & \cdot \cos(\phi) = 0 \end{aligned}$$

Asimismo, con la navegación estacionaria se cumple en el buque que los momentos de trimado aplicados son nulos. Esto lo describe la siguiente ecuación

$$15 \quad \begin{aligned} & M'_* + M'_w \cdot \tan(\alpha) + M'_{|w|} \cdot |\tan(\alpha)| + M'_{w|w|} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| + M'_{ww} \cdot \tan^2(\alpha) + f_x \cdot M'_{\delta s} \cdot \delta_s \\ & + M'_{\delta b} \cdot \delta_b + \left(f_x \cdot M'_{\delta s \eta} \cdot \delta_s + M'_{w \eta} \cdot \tan(\alpha) + M'_{w|w| \eta} \cdot \tan(\alpha) \cdot |\tan(\alpha)| \right) \cdot (\eta \cdot C - 1) + \\ & \frac{x'_G \cdot W' - x'_B \cdot B'}{u'^2} \cdot \cos(\theta) \cdot \cos(\phi) + \frac{x'_G \cdot W' - x'_B \cdot B'}{u'^2} \cdot \sin(\theta) = 0 \end{aligned}$$

La dirección z es la dirección perpendicular al eje longitudinal del submarino, en donde los valores positivos indican hacia abajo.

20 La dirección y es la dirección transversal al eje longitudinal del submarino, en donde los valores positivos indican a estribor.

Aquí son:

25 δs el ángulo del timón de profundidad trasero,
 δb el ángulo del timón de profundidad delantero,
 α el ángulo de ataque del submarino,
 β el ángulo de deriva del submarino,
 f_x un factor para el timón, para el timón X $f_x = 4$, para el timón cruzado $f_x = 1$,

η la relación $\frac{u_c}{u}$,

30 W el peso del submarino incluyendo las holguras de inundación,

$W' = \frac{W}{\frac{\rho}{2} \cdot L^2 \cdot \bar{U}^2}$ un valor adimensional,

B la flotabilidad de forma del submarino,

$B' = \frac{B}{\frac{\rho}{2} \cdot L^2 \cdot \bar{U}^2}$ un valor adimensional,

35 C el origen del sistema de coordenadas fijas de la embarcación,

L la longitud del submarino,

ρ la densidad del agua circundante,

g la aceleración debida a la gravedad,

U la velocidad del submarino cuando se desplaza por el agua,

u la componente de la velocidad en la dirección x,

40 $\bar{U}$ la velocidad del submarino en caso de la navegación estacionaria por el agua para un estado de navegación de referencia libremente seleccionable,

u_c la velocidad de propulsión correspondiente a la velocidad u , que la embarcación alcanzaría a la velocidad instantánea de la hélice cuando avanza en quilla nivelada con posiciones de timón nulas,

$u'_c = \frac{u}{\bar{U}}$ un valor adimensional,

45 v la componente de la velocidad en dirección y transversal al submarino,

$v' = \frac{v}{\bar{U}}$

un valor adimensional,

w la componente de la velocidad en dirección z normal al submarino,

- $w' = \frac{w}{U}$
un valor adimensional,
- 5 Z la fuerza hidrodinámica en dirección z,
 Z^* el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de u^2 ,
- $Z'_* = \frac{Z_*}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- Z_w el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función del producto $u \cdot w$,
- $Z'_w = \frac{Z_w}{\frac{\rho}{2} L^2}$
- 10 un valor adimensional,
 $Z_{|w|}$ el coeficiente que describe la fuerza normal Z en función de $u \cdot |w|$,
- $Z'_{|w|} = \frac{Z_{|w|}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- $Z_{w|w|}$ el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
- 15 $Z'_{w|w|} = \frac{Z_{w|w|}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- Z_{ww} el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $|w| \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,
- $Z'_{ww} = \frac{Z_{ww}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- 20 $Z_{w|w|\eta}$ el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2} \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
- $Z'_{w|w|\eta} = \frac{Z_{w|w|\eta}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- $Z_{\delta s}$ el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $u^2 \cdot \delta_s$,
- $Z'_{\delta s} = \frac{Z_{\delta s}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
- 25 un valor adimensional,
 $Z_{\delta b}$ el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $u^2 \cdot \delta_b$,
- $Z'_{\delta b} = \frac{Z_{\delta b}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
un valor adimensional,
- $Z_{\delta s \eta}$ el coeficiente para la descripción de la fuerza normal Z en función de $u^2 \cdot \delta_s \cdot (\eta \cdot C - 1)$,
- $Z'_{\delta s \eta} = \frac{Z_{\delta s \eta}}{\frac{\rho}{2} L^2}$
- 30 un valor adimensional,
 M el par hidrodinámico alrededor del eje y, también llamado momento de cabeceo,
 M^* el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M,
- $M'_* = \frac{M_*}{\frac{\rho}{2} L^3}$
- 35 un valor adimensional,
 M_w el coeficiente que describe el momento de cabeceo M en función de $u \cdot w$,
- $M'_w = \frac{M_w}{\frac{\rho}{2} L^3}$
un valor adimensional,

$M_{|w|}$ el coeficiente para la descripción del momento de lanzamiento M en función de $u \cdot |w|$,

$$M'_{|w|} = \frac{M_{|w|}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

un valor adimensional,

5 $M_{w|w|}$ el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M en función de $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2}$,

$$M'_{w|w|} = \frac{M_{w|w|}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

un valor adimensional,

M_{ww} el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M en función de $|w|$.

$$M'_{ww} = \frac{M_{ww}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

10 un valor adimensional,

$M_{w|w|\eta}$ el coeficiente para la descripción del momento de lanzamiento M en función de $w \cdot \sqrt{v^2 + w^2} \cdot (\eta \cdot C - 1)$,

$$M'_{w|w|\eta} = \frac{M_{w|w|\eta}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

un valor adimensional,

$M_{\delta s}$ el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M en función de $u^2 \cdot \delta_s$,

$$M'_{\delta s} = \frac{M_{\delta s}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

15 un valor adimensional,

$M_{\delta b}$ el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M en función de $u^2 \cdot \delta_b$,

$$M'_{\delta b} = \frac{M_{\delta b}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

un valor adimensional,

20 $M_{\delta s \eta}$ el coeficiente para la descripción del momento de cabeceo M en función de $u^2 \cdot \delta_s \cdot (\eta \cdot C - 1)$,

$$M'_{\delta s \eta} = \frac{M_{\delta s \eta}}{\frac{\rho}{2} L^3}$$

un valor adimensional.

25 Estos coeficientes hidrodinámicos se pueden calcular teóricamente o determinarse por vía experimental en ensayos con modelos. Sin embargo, esto es extremadamente complejo y no puede llevarse a cabo con precisión para la situación de carga actual del submarino, por lo que hay que usar valores aproximados.

30 El conocimiento preciso de estos parámetros permite predecir con exposición el comportamiento del buque. De este modo, se pueden controlar las maniobras con gran precisión si se conocen exactamente estos parámetros. Por lo tanto, los coeficientes hidrodinámicos calculados o determinados en el modelo de prueba son, por lo general, demasiado inexactos para una predicción precisa del comportamiento de la embarcación. Por esta razón, los coeficientes hidrodinámicos suelen verificarse o corregirse mediante la evaluación de pruebas de ejecución a gran escala, aunque las pruebas de ejecución a gran escala que se usan en la actualidad son solo complejos procedimientos de aproximación.

35 El documento JP S63 43896 A tiene el propósito de ajustar automáticamente el lastrado y el trimado. Para ello, se recogen datos con sensores.

40 Del documento US 2004/224577 A1 se conoce un dispositivo para el control de la navegación de una embarcación.

Es un objetivo de la invención proporcionar un procedimiento para medir o determinar fácilmente y con precisión estos coeficientes hidrodinámicos en un submarino real.

45 Este objetivo se consigue mediante el procedimiento para determinar los coeficientes hidrodinámicos de los submarinos que tienen las características indicadas en la reivindicación 1. Perfeccionamientos ventajosos se desprenden de las reivindicaciones dependientes, de la siguiente descripción así como de los dibujos.

El procedimiento de la invención para determinar los coeficientes hidrodinámicos de los submarinos que tienen un timón de profundidad delantero y un timón de profundidad trasero comprende los siguientes pasos:

- (a) navegación sin aceleración con la quilla nivelada a profundidad constante y a una primera primera velocidad y una primera primera posición de trimado,
 - (b) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada a profundidad constante y a la primera primera velocidad y la segunda primera posición de trimado,
 - (c) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada a profundidad constante y a una segunda primera velocidad y la primera primera posición de trimado,
 - (d) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada a profundidad constante y a la segunda primera velocidad y la segunda primera posición de trimado,
 - (e) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a una primera segunda velocidad y una primera posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,
 - (f) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
 - (g) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y la primera posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado,
 - (h) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y la segunda posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
 - (i) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a una segunda segunda velocidad y la primera posición de control de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
 - (j) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la segunda posición de control de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
 - (k) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la primera posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
 - (l) navegación sin aceleración con la quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la segunda posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
 - (m) determinación de los coeficientes hidrodinámicos a partir de las magnitudes de medición determinadas en los pasos anteriores,
- en donde las etapas a) a l) se realizan en cualquier orden. La etapa m) se realiza después de las etapas a) a l).

En este procedimiento, el submarino flota libremente. La flotación libre significa que el submarino no es remolcado ni tiene ninguna otra forma de sujeción, por ejemplo, se trata de un modelo de submarino que está sujeto a un poste. De este modo no hay fuerzas externas que actúen sobre el submarino, por ejemplo, una fuerza a través de un cable de remolque. Al navegar sin aceleración, el submarino no tiene fuerzas, es decir, la suma de todas las fuerzas, la aceleración debida a la hélice, la fricción, el empuje debido al casco, el empuje debido al timón, etc., se equilibran. La flotación libre permite así una determinación directa y sencilla en un submarino real y no en un modelo. Con ello los parámetros determinados son exactos y, en función de las condiciones, por ejemplo, diferentes cargas, se pueden determinar de manera individual.

Por quilla nivelada se entiende en particular un ángulo de cabeceo θ del submarino de $-1^\circ < \theta < +1^\circ$, preferentemente de $-0,2^\circ < \theta < +0,2^\circ$, más preferentemente de $-0,05^\circ < \theta < +0,05^\circ$. El ángulo de cabeceo es el ángulo entre el eje longitudinal del submarino y la proyección del eje longitudinal del submarino en el plano y, por tanto, da la inclinación en la dirección z.

Por quilla inclinada se entiende un ángulo de cabeceo particular θ del submarino de $|\theta| > 0,5^\circ$, preferentemente de $|\theta| > 1^\circ$, más preferentemente de $|\theta| > 2^\circ$.

Por navegación sin aceleración se entiende un modo de funcionamiento en el que la embarcación se mueve a una velocidad constante, en donde constante se considera constante en el contexto de la precisión de detección y la precisión de control.

Dado que la navegación tiene lugar a una profundidad constante, las fuerzas que discurren en vertical, es decir, la aceleración gravitatoria o la aceleración de empuje, se compensan mutuamente de tal modo que no se produce ningún empuje hacia arriba ni hacia abajo.

En una navegación sin aceleración, las fuerzas se equilibran. Por lo tanto, no hay ninguna fuerza resultante que actúe sobre el submarino. Por lo tanto, se cumple que la suma de todas las fuerzas que actúan es cero. Además, la suma de todos los cambios de fuerza entre dos navegaciones sin aceleración también debe ser cero. La velocidad absoluta en la dirección horizontal es, por definición, mayor de cero durante la navegación. Por razones técnicas, las velocidades muy bajas, en particular de menos de 2 nudos, y especialmente de menos de 1 nudo, no resultan ventajosas.

Con el fin de indexar significativamente los valores medidos, las distintas primeras velocidades y segundas velocidades

se designan con el subíndice i . Por lo tanto, $i = 1$ para la primera primera velocidad y la primera segunda velocidad, e $i = 2$ para la segunda primera velocidad y la segunda segunda velocidad.

5 Como índice adicional, se usa k para distinguir los estados de trimado y de lastrado. Así, $k = 1$ para la primera posición de trimado y la primera posición del timón de profundidad delantero, y $k = 2$ para la segunda posición de trimado y la segunda posición del timón de profundidad delantero.

Los valores medidos se evalúan por separado para la navegación con quilla nivelada y con quilla inclinada.

10 Por ejemplo, primero se evalúan los valores medidos para la navegación con la quilla nivelada.

En primer lugar, se evalúan los valores medidos obtenidos en los pasos a) a d) en función de $\frac{1}{u_{ki}^2}$, calculando las líneas de compensación. Las líneas de compensación dan por resultado como valores límite para

15 $u \rightarrow \infty$ los ángulos del timón de profundidad trasero δ_{sn} y los ángulos del timón de profundidad delantero δ_{bn} para la denominada navegación sin empuje y sin momento. Con ello solo se evalúan los valores límite.

$$\delta_{ski} = \delta_{sn} - \frac{g \cdot L}{u_{ki}^2} \cos(\phi_{ki}) \frac{(x_{CT}' - x_{\delta b}') \cdot V_{CTki}' + \Delta x_{TT}' \cdot V_{TTki}'}{f_x \cdot Z_{\delta s}' \cdot (x_{\delta s}' - x_{\delta b}')} \\ \delta_{bki} = \delta_{bn} + \frac{g \cdot L}{u_{ki}^2} \cos(\phi_{ki}) \frac{(x_{CT}' - x_{\delta s}') \cdot V_{CTki}' + \Delta x_{TT}' \cdot V_{TTki}'}{Z_{\delta s}' \cdot (x_{\delta s}' - x_{\delta b}')} \\$$

20 En donde son:

x_{CT} la coordenada x del centro de gravedad de la célula de control,

25 $x_{CT}' = \frac{x_{CT}}{L}$ un valor adimensional,

Δx_{TT} la distancia positiva del centro de gravedad desde el volumen de la célula de trimado delantera a la trasera,

$\Delta x_{TT}' = \frac{\Delta x_{TT}}{L}$ un valor adimensional,

30 $x_{\delta s}$ la coordenada x del timón de profundidad delantero,

$x_{\delta s}' = \frac{x_{\delta s}}{L}$ un valor adimensional,

35 $x_{\delta b}$ la coordenada x del timón de profundidad trasero,

$x_{\delta b}' = \frac{x_{\delta b}}{L}$ un valor adimensional,

40 V_{CT} el volumen de llenado de la célula de control,

$V_{CT}' = \frac{V_{CT}}{\frac{1}{2}L^3}$ un valor adimensional,

V_{TT} el relleno de la célula de trimado, en donde el momento de trimado $M_{TT} = -\rho \cdot \Delta x_{TT} \cdot V_{TT}$,

45 $V_{TT}' = \frac{V_{TT}}{\frac{1}{2}L^3}$ un valor adimensional.

Tal como se ha explicado anteriormente, los ángulos del timón se trazan sobre $\frac{1}{u_{ki}^2}$. La pendiente de esta recta no es

relevante, lo que es decisivo es el valor límite extrapolado hacia el infinito para el cero y, por tanto, para u_{ki}^2 . Las coordenadas x de las celdas de trimado y de control y la posición del timón se conocen a partir de la geometría del buque.

- 5 Restando los valores de los ángulos del timón medidos en diferentes condiciones de trimado y de lastrado obtenidos en los pasos a) a d) según

$$\Delta\delta_{si}(u_i) = \delta_{s2i}(u_i) - \delta_{s1i}(u_i)$$

y

10

$$\Delta\delta_{bi}(u_i) = \delta_{b2i}(u_i) - \delta_{b1i}(u_i)$$

se obtienen los valores

$$Z'_{\delta si} = -\frac{g \cdot L}{2} \left(\frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{ki}^2} + \frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{2i}^2} \right) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta b}) \cdot \Delta V'_{CT} + \Delta x'_{TT} \cdot \Delta V'_{TT}}{f_x \cdot \Delta\delta_{si} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

15 y

$$Z'_{\delta bi} = -\frac{g \cdot L}{2} \left(\frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{ki}^2} + \frac{\cos(\phi_{ki})}{u_{2i}^2} \right) \frac{(x'_{CT} - x'_{\delta s}) \cdot \Delta V'_{CT} + \Delta x'_{TT} \cdot \Delta V'_{TT}}{f_x \cdot \Delta\delta_{bi} \cdot (x'_{\delta s} - x'_{\delta b})}$$

Los coeficientes $Z'_{\delta s}$ y $Z'_{\delta b}$ resultan a partir de esto en forma de valores medios.

20

Se obtienen de este modo los coeficientes para describir el momento de cabeceo:

$$M'_{\delta s} = -Z'_{\delta s} \cdot x'_{\delta s}$$

$$M'_{\delta b} = -Z'_{\delta b} \cdot x'_{\delta b}$$

25

así como:

$$Z'_* = -f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot \delta_{sn} - Z'_{\delta b} \cdot \delta_{bn}$$

30

$$M'_* = -f_x \cdot M'_{\delta s} \cdot \delta_{sn} - Z'_{\delta b} \cdot \delta_{bn}$$

$$V'_{CTki} = -\frac{u_i^2}{g \cdot L} \cdot \frac{f_x \cdot Z'_{\delta s} \cdot (\delta_{ski} - \delta_{sn}) + Z'_{\delta b} \cdot (\delta_{bki} - \delta_{bn})}{\cos(\phi_{ki})}$$

$$V'_{TTki} = \frac{1}{\Delta x'_{TT}} \left(\frac{u_i^2}{g \cdot L} \cdot \frac{f_x \cdot M'_{\delta s} \cdot (\delta_{ski} - \delta_{sn}) + M'_{\delta b} \cdot (\delta_{bki} - \delta_{bn})}{\cos(\phi_{ki})} - x'_{CT} \cdot V'_{CTki} \right)$$

35

Los volúmenes de llenado de las células de control V_{CT1} y V_{CT2} y los llenados de la célula de trimado V_{TT1} y V_{TT2} para las condiciones de trimado y de lastrado del submarino, designados por los subíndices $k = 1$ y $k = 2$, se obtienen como valores medios de los valores V_{CT1i} , V_{CT2i} , V_{TT1i} y V_{TT2i} , respectivamente.

40

En particular, mediante la evaluación de la serie de experimentos a) se determinan los coeficientes Z'_* , $Z'_{\delta s}$, $Z'_{\delta b}$, M'_* , $M'_{\delta s}$ y $M'_{\delta b}$, los volúmenes de llenado de las células de control V_{CT1} y V_{CT2} , los llenados de las células de trimado V_{TT1} y V_{TT2} y los ángulos del timón δ_{sn} y δ_{bn} para el navegación sin empuje y sin momento.

- 45 A continuación se evalúan los valores medidos determinados en los pasos e) a l) para la navegación con la embarcación trimada estáticamente con carga delantera o trasera.

En este caso se aplica lo siguiente:

$$\begin{pmatrix} Z'_w & Z'_{w|w|} & Z'_{\delta s \eta} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tan(\theta_i) \\ \tan(\theta_i) |\tan(\theta_i)| \\ f_x \cdot (\eta_i \cdot C - 1) \cdot \delta_{si} \end{pmatrix} = - \frac{g \cdot L \cdot V'_{CTi}}{u_i^2} \cdot \cos(\theta_i) \cdot \cos(\phi_i) - Z'_{\delta s} \cdot f_x \cdot (\delta_{si} - \delta_{sn}) - Z'_{\delta b} \cdot (\delta_{bi} - \delta_{bn})$$

5

$$\begin{pmatrix} M'_w & M'_{w|w|} & M'_{\delta s \eta} & Z'_{GB} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tan(\theta_i) \\ \tan(\theta_i) |\tan(\theta_i)| \\ f_x \cdot (\eta_i \cdot C - 1) \cdot \delta_{si} \\ - \frac{g \cdot L \cdot V'}{u_i^2} \cdot \sin(\theta_i) \end{pmatrix} = \frac{g \cdot L}{u_i^2} \cdot \left[(x'_{CT} \cdot V'_{CTi} + x'_{TT} \cdot V'_{TTi}) \cdot \cos(\theta_i) \cdot \cos(\phi_i) + z'_{CT} \cdot V'_{CTi} \cdot \sin(\theta_i) \right] - M'_{\delta s} \cdot f_x \cdot (\delta_{si} - \delta_{sn}) - M'_{\delta b} \cdot (\delta_{bi} - \delta_{bn})$$

En donde:

10 z_{GB} el brazo de palanca de estabilidad $z_{GB} = z_{Gn} - z_B$,

$$Z'_{GB} = \frac{z_{GB}}{L} \text{ un valor adimensional,}$$

15 z_{Gn} la componente z del centro de gravedad de la embarcación, incluyendo los espacios libres inundados para el estado de navegación sin empuje y sin momento,

z_B la coordenada z del centro de gravedad de empuje del desplazamiento de forma en el sistema de coordenadas fijo de la embarcación.

20 La determinación se realiza a partir de los datos medidos mediante una regresión multineal usando las magnitudes ya conocidas de a).

En particular, se determinan los coeficientes $Z'_w, Z'_{w|w|}, Z'_{\delta s \eta}, M'_w, M'_{w|w|}$ y $M'_{\delta s \eta}$ y el brazo de palanca de estabilidad Z_{GB} .

25

En otra forma de realización de la invención, además de los pasos a) a d), se realizan los siguientes pasos:

n) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una tercera primera velocidad y una primera primera posición de trimado,

30 (o) navegación sin aceleración con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una tercera primera velocidad y una segunda primera posición de trimado.

De manera particularmente preferente, se usan otras primeras velocidades, en particular un total de cinco a ocho primeras velocidades, particularmente preferentes seis primeras velocidades.

35

En otra forma de realización de la invención, además de los pasos e) a h), se realizan los siguientes pasos:

p) navegación sin aceleración con la quilla inclinada, a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una primera posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,

40

q) navegación sin aceleración con la quilla inclinada, a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,

(r) navegación sin aceleración con la quilla inclinada, a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una primera posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado,

45

s) navegación sin aceleración con la quilla inclinada, a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado.

5 De manera particularmente preferente, se usan otras segundas velocidades, en particular un total de cuatro a ocho segundas velocidades, particularmente preferentes cinco segundas velocidades.

En otra forma de realización de la invención, las primeras velocidades se seleccionan en el intervalo de 4 km a 25 km, preferentemente en el intervalo de 5 km a 20 km, más preferentemente en el intervalo de 6 km a 15 km.

10 En otra forma de realización de la invención, las segundas velocidades se seleccionan en el intervalo de 4 km a 25 km, preferentemente en el intervalo de 5 km a 20 km, más preferentemente en el intervalo de 6 km a 14 km.

15 En otra forma de realización de la invención, se selecciona un ángulo de + 15° a + 25°, más particularmente de + 18° a + 22° como la primera posición del timón de profundidad delantero y se selecciona un ángulo de - 15° a - 25°, más particularmente de - 18° a - 22° como la segunda posición del timón de profundidad delantero.

20 En otra forma de realización de la invención, el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua, y por debajo del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua.

Este procedimiento determina los coeficientes hidrodinámicos en la región de las aguas profundas no afectadas.

25 En otra forma de realización de la invención, el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino menos de 25 m, preferentemente menos de 15 m de agua son de agua, y por debajo del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua.

30 Este procedimiento determina los coeficientes hidrodinámicos en la región cercana a la superficie y es importante, por ejemplo, para la navegación con el snorkel. Este procedimiento se usa preferentemente como complemento para la determinación en las aguas profundas no afectadas.

35 En otra forma de realización de la invención, el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua, y por debajo del submarino menos de 25 m, preferentemente menos de 15 m son de agua.

40 Este procedimiento determina los coeficientes hidrodinámicos en la región cercana al fondo y es importante, por ejemplo, para la navegación en inmersión en aguas poco profundas. Este procedimiento se usa preferentemente como complemento de la determinación en las aguas profundas no afectadas.

45 Según la invención, durante la navegación sin aceleración se registran cada una de la velocidad u del submarino, el ángulo del timón de profundidad delantero δ_s , el ángulo de timón de profundidad trasero δ_b , el cambio de volumen de los tanques de trimado ΔV_{TT} y el cambio de volumen de la célula de control ΔV_{CT} .

En otra forma de realización de la invención, durante la navegación sin aceleración se registran además la velocidad de rotación n de la hélice y el ángulo de trimado θ .

50 En otra forma de realización de la invención, durante la navegación sin aceleración se registran además el ángulo de balanceo φ y el cambio de volumen del tanque de lastre ΔV_{CT} .

55 En otra forma de realización de la invención, la distribución del peso en el submarino se mantiene constante durante el proceso, excepto para los cambios dirigidos. Se presta especial atención a que la tripulación no cambie de posición, ya que esto da lugar a desplazamientos de masa que no se pueden detectar y, por tanto, reduce la precisión de la medición del procedimiento.

En otra forma de realización de la invención, para el navegación sin empuje y sin momento, en el paso m) los

60 coeficientes Z'_* , Z'_{δ_s} , Z'_{δ_b} , M'_* , M'_{δ_s} y M'_{δ_b} determinan los volúmenes de llenado de las células de control V_{CT1} y V_{CT2} y los llenados de las células de trimado V_{TT1} y V_{TT2} y los ángulos del timón δ_{sn} y δ_{bn} .

En otra forma de realización de la invención, la primera primera posición de trimado y la segunda primera posición de trimado se seleccionan de manera diferente alrededor de 500 kNm $\pm$ 50 kNm.

65 En otra forma de realización de la invención, en los pasos e) y l) se seleccionan una primera segunda posición de

trimado y una segunda segunda posición de trimado en donde la primera segunda posición de trimado y la segunda segunda posición de trimado se seleccionan de manera diferente alrededor de $1000 \text{ kNm} \pm 100 \text{ kNm}$.

En otra forma de realización de la invención, en el paso m) se determinan los coeficientes $Z'_w, Z'_{w|w|}, Z'_{\delta s \eta}, M'_w,$

5 $M'_{w|w|}$ y $M'_{\delta s \eta}$ y el brazo de palanca de estabilidad z_{GB} .

10 Durante la navegación sin aceleración del submarino, las fuerzas estáticas aplicadas por el cambio de llenado de los tanques son compensadas por las fuerzas de flujo en el timón y en el casco. Dado que las fuerzas de flujo en la navegación en inmersión aumentan con el cuadrado de la velocidad de navegación, mientras que las fuerzas estáticas permanecen constantes, resulta la posibilidad de determinar las fuerzas de flujo o los coeficientes hidrodinámicos a partir de la compensación de las fuerzas de peso conocidas introducidas estáticamente con una precisión no alcanzada anteriormente. Todos los recorridos de medición se realizan a diversas velocidades constantes y varios ángulos de trimado predeterminados de la embarcación, colocando de manera adecuada los timones de profundidad delantero y trasero a una profundidad constante. Con ello resulta la posibilidad de determinar los coeficientes

15 hidrodinámicos en función de la profundidad de inmersión de la embarcación o de la distancia de ésta a la superficie del agua.

Figura 1 Representación de los vectores y los ángulos en el submarino

20 En la Fig. 1, los ángulos y las magnitudes se muestran usando como ejemplo un submarino con timón cruzado.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para determinar los coeficientes hidrodinámicos en submarinos que tienen un timón de profundidad delantero y un timón de profundidad trasero, siendo dicho submarino de flotación libre, comprendiendo dicho procedimiento los pasos de:

- (a) Navegación sin aceleración con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una primera primera velocidad inicial y una primera primera posición de trimado,
- (b) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a la primera primera velocidad y una segunda primera posición de trimado,
- (c) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una segunda primera velocidad y la primera posición de trimado,
- (d) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a la segunda primera velocidad y la segunda posición de trimado,
- (e) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una primera segunda velocidad y con una primera posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,
- (f) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
- (g) el navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y la primera posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado,
- (h) el navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la primera segunda velocidad y la segunda posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
- (i) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una segunda segunda velocidad y la primera posición del timón de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
- (j) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la segunda posición del timón de profundidad delantero y el primer llenado del tanque de trimado,
- (k) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la primera posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
- (l) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a la segunda segunda velocidad y la segunda posición del timón de profundidad delantero y el segundo llenado del tanque de trimado,
- (m) determinación de los coeficientes hidrodinámicos a partir de las magnitudes de medición determinadas en los pasos anteriores,

donde los pasos a) a l) se llevan a cabo en cualquier orden, en donde el paso m) se lleva a cabo después de los pasos a) a l), en donde durante la navegación sin aceleración se registran como magnitudes de medición cada una de la velocidad u del submarino, el ángulo de trimado θ , la posición del timón de profundidad delantero δs , el ángulo del timón de profundidad trasero δb , el cambio de volumen del tanque de trimado ΔV_{TT} y el cambio de volumen de la célula de control ΔV_{CT} .

2. El procedimiento según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, además de las etapas a) a d), se realizan las siguientes etapas:

- (n) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una tercera primera velocidad y una primera primera posición de trimado,
- (o) navegación sin aceleración, con la quilla nivelada, a profundidad constante y a una tercera primera velocidad y una segunda primera posición de trimado.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, además de las etapas e) a l), se realizan las siguientes etapas:

- (p) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una primera posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,
- (q) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y un primer llenado del tanque de trimado,
- (r) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una primera posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado,

s) navegación sin aceleración con una quilla inclinada a profundidad constante y a una tercera segunda velocidad y una segunda posición del timón de profundidad delantero y un segundo llenado del tanque de trimado.

- 5 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las primeras velocidades se seleccionan en el intervalo de 4 km a 25 km, preferentemente en el intervalo de 5 km a 20 km, más preferentemente en el intervalo de 6 km a 15 km.
- 10 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** las segundas velocidades se seleccionan en el intervalo de 4 km a 25 km, preferentemente en el intervalo de 5 km a 20 km, más preferentemente en el intervalo de 6 km a 14 km.
- 15 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** como primera posición del timón de profundidad delantero se selecciona un ángulo de + 15° a + 25°, en particular de + 18° a + 22°, y porque como segunda posición del timón de profundidad delantero se selecciona un ángulo de - 15° a - 25°, en particular de - 18° a - 22°.
- 20 7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua, y por debajo del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua.
- 25 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino menos de 25 m, preferentemente menos de 15 m son de agua y por debajo del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua.
- 30 9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** el procedimiento se lleva a cabo de modo que la profundidad de inmersión se selecciona de tal manera que por encima del submarino al menos 25 m, preferentemente al menos 50 m, más preferentemente al menos la longitud del submarino son de agua, y por debajo del submarino menos de 25 m, preferentemente menos de 15 m son de agua.
- 35 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** adicionalmente se registran como magnitudes de medida la velocidad de giro n de la hélice y el ángulo de balanceo φ .
- 40 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** durante el procedimiento la distribución del peso en el submarino se mantiene constante, excepto para los cambios dirigidos.
- 45 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en el paso m) los coeficientes $Z'_*, Z'_{\delta s}, Z'_{\delta b}, M'_*, M'_{\delta s}$ y $M'_{\delta b}$ determinan los volúmenes de llenado de la célula de control V_{CT1} y V_{CT2} , los llenados de las células de trimado V_{TT1} y V_{TT2} y los ángulos del timón δ_{sn} y δ_{bn} para el navegación sin empuje y sin momento.
- 50 13. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la primera posición de trimado y la segunda posición de trimado se seleccionan de manera diferentes alrededor de 500 kNm $\pm$ 50 kNm.
- 55 14. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en los pasos e) a l) se seleccionan una primera segunda posición de trimado y una segunda segunda posición de trimado, en donde la primera segunda posición de trimado y la segunda segunda posición de trimado se seleccionan de manera diferente alrededor de 1000 kNm $\pm$ 100 kNm.
15. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** en el paso m) se determinan los coeficientes $Z'_w, Z'_{w|w|}, Z'_{\delta s \eta}, M'_w, M'_{w|w|}$ y $M'_{\delta s \eta}$ y el brazo de palanca de estabilidad z_{GB} .

