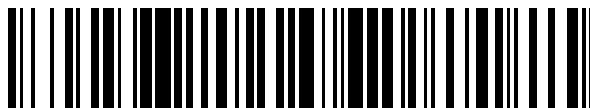


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 632 889**

21 Número de solicitud: 201631592

51 Int. Cl.:

B63B 1/28

(2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A1

22 Fecha de presentación:

15.12.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.09.2017

71 Solicitantes:

**RODRIGUEZ RONDON, Eloy (100.0%)
PATAGONIA, 27
35017 TARIFA BAJA (Las Palmas) ES**

72 Inventor/es:

RODRIGUEZ RONDON, Eloy

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Nuria

54 Título: **BARCO DE VELA CON HIDROALAS**

57 Resumen:

Barco de vela que comprende, una estructura de casco, una plataforma sobre dicho casco, un mástil dispuesto para ubicar al menos una vela, al menos una vela sujeta a dicho mástil, una caña conectada a un timón dispuesta para que un tripulante pueda manejar dicho timón, un timón, dos quillas unidas al casco y al menos cuatro alas sustentadoras ubicadas de la siguiente forma: una ala central situada entre ambas quillas en la parte inferior sumergida más alejada de la superficie, dos alas de quilla situadas una a cada lado hacia fuera de cada quilla en la parte inferior sumergida más alejada de la superficie y un ala de timón situada en el timón en la parte inferior sumergida más alejada de la superficie.

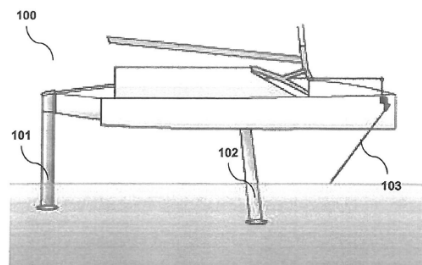


Figura 1

DESCRIPCIÓN

Barco de vela con hidroalas

Campo de la invención

La presente invención se engloba dentro de los tipos de barcos denominados hidroala
5 (hydrofoil en inglés) y más concretamente en barcos hidroala para navegación a vela.

Antecedentes de la invención

Una hidroala (o hydrofoil en inglés) es básicamente un ala que funciona dentro del agua. La sustentación y resistencia que proporciona un ala en cualquier fluido cumple las siguientes expresiones:

$$L = \frac{1}{2} \rho S V^2 \cdot C_L \qquad D = \frac{1}{2} \rho S V^2 \cdot C_D$$

Siendo:

- L . Sustentación del ala (N). Depende de la geometría y número de Reynolds.
- D . Resistencia del ala (N). Depende de la geometría y número de Reynolds.
- ρ . Densidad del fluido (kg/m³)
- 15 • S . Superficie en planta del alas (m²)
- V . Velocidad del fluido (m/s)
- C_L . Coeficiente de Sustentación (adimensional). En régimen incompresible, depende del ángulo de ataque del ala, y del número de Reynolds.
- C_D . Coeficiente de Resistencia (adimensional). En régimen incompresible, depende del
20 ángulo de ataque del ala, y del número de Reynolds.

Al ser la densidad del agua aproximadamente 1.000 veces mayor que la del aire, dos alas con la misma geometría, desplazándose a igual velocidad, una en agua y otra en aire, genera una sustentación 1.000 veces mayor la sumergida en agua que la sumergida en aire. Es por ello, que un barco que disponga de un ala relativamente pequeña, que se mantenga bajo la
25 superficie del agua, puede generar suficiente sustentación como para sacar el casco del agua.

Al sacar el casco del agua, la resistencia del barco disminuye considerablemente y permite que el barco alcance mayores velocidades.

Las hidroalas se llevan usando en barcos desde mediados del siglo XX. La mayoría de los barcos a vela usan dos conceptos básicos para controlar la sustentación de las hidroalas y por tanto hacer viable la navegación, se explica a continuación:

- Control por superficie sumergida.

Ajustan la sustentación de las superficies sustentadoras cambiando la superficie sumergida y por tanto sustentadora.

- Control por ángulo de ataque.

Ajustan la sustentación de las superficies sustentadoras cambiando el ángulo de ataque de las mismas, manteniéndolas siempre sumergidas por completo. El ejemplo más exitoso de vela ligera es la clase internacional de embarcación denominada *flying moth*, que permite elevar el casco del barco un metro por encima del agua.

- Control Mixto.

En el control mixto se combinan los dos sistemas de ajuste de la sustentación mencionados anteriormente, de modo que la superficie y el ángulo de ataque cambian.

Como la invención propuesta parte de la base del estado del arte del control del ángulo de ataque, a continuación se comenta con algo de detalle el funcionamiento de los barcos de vela del tipo *flying moth*, ya que es el barco más parecido en el que se basa la descripción de la invención.

Como se aprecia en las figuras 1 y 2, este tipo de barco (100) tiene dos superficies sustentadoras; un ala en el extremo del timón (101) y otra en la quilla (102). Cuando el barco tiene una velocidad mayor de la de "despegue", es decir, el casco sale del agua, ambas superficies sustentan hacia arriba, y por tanto la suma de ambas sustentaciones compensa el peso del tripulante más la embarcación. Debido a que la sustentación es proporcional al cuadrado de la velocidad y al ángulo de ataque, el ángulo de ataque del ala de la quilla (102) ha de ir cambiando con la velocidad del barco, para poder siempre dar una sustentación igual al peso de embarcación más tripulante. Esto se consigue mediante un alerón que tiene el ala del timón (101). El alerón está accionado por un sistema llamado *wand* (103). El *wand* (103) es un sistema o sensor que mide la altura del casco al agua.

En el caso teórico que el barco va a una velocidad donde todas las fuerzas están compensadas, si sube la velocidad del barco, aumenta la sustentación y el barco comenzaría a salir del agua, por lo que la altura del casco sobre el agua aumentaría. Por lo tanto, cuando el barco empieza a aumentar su altura sobre el agua hay que disminuir el ángulo de ataque del ala. Esta altura la mide el *wand* (103), y consta de una varilla con un flotador en la punta que sigue la superficie del agua. La varilla, por tanto es una medida de la altura sobre el agua. Esa varilla está conectada al alerón del ala del timón, y va ajustando el alerón del ala, es decir, modifica su ángulo de ataque.

El equilibrio de fuerzas y momentos en el resto de ejes se consigue mediante la posición del tripulante y modificando el ángulo de ataque del ángulo del timón.

El principal problema de los barcos sobre hidroalas o *hydrofoils* actuales es la dificultad de manejo debido a la poca estabilidad. En las soluciones presentadas anteriormente, el barco sube y baja con cambios de viento o rumbo. Esto provoca que el ángulo de ataque de las alas cambie mientras sube y baja, dificultando mucho el manejo del barco.

Por otro lado, los barcos son dinámicamente inestables. Si se les saca del equilibrio, no vuelven solos al equilibrio. El tripulante tiene que actuar para llevarlo a equilibrio. Debido a esta poca estabilidad son barcos que requieren mucho entrenamiento para poder navegar correctamente. Por ejemplo, se convierten en tipos de barcos que no son accesibles a navegantes amateur.

Descripción de la invención

Es necesario ofrecer una alternativa al estado de la técnica que cubra las lagunas encontradas en la misma y por tanto, al contrario que las soluciones existentes, esta invención propone una solución para barcos a vela sobre hidroala.

Concretamente, la invención se refiere a un barco (200) de vela que comprende, una estructura de casco (201), una plataforma (202) sobre dicho casco (201), un mastil (209) dispuesto para ubicar al menos una vela (210), al menos una vela (210) sujeta a dicho mastil (209), una caña (205) conectada a un timón (204) dispuesta para que un tripulante pueda manejar dicho timón (204), un timón (204), dos quillas (203) unidas al casco (201) y al menos cuatro alas sustentadoras ubicadas de la siguiente forma: una ala central (206) situada entre ambas quillas (203) en la parte inferior sumergida más alejada de la superficie, dos alas de quilla (207) situadas una a cada lado hacia fuera de cada quilla (203) en la parte inferior sumergida más alejada de la superficie y un ala de timón (208) situada en el timón (204) en el

parte inferior sumergida más alejada de la superficie.

Breve descripción de las figuras

Las anteriores y otras ventajas y características se entenderán más completamente a partir de la siguiente descripción detallada de realizaciones, con referencia a las siguientes figuras, que deben considerarse de una manera ilustrativa y no limitativa.

Figura 1. Muestra un esquema de una vista lateral de un barco del estado del arte del tipo *flying moth*, donde se observan las hidroalas y el sensor *wand* para el control de la elevación.

Figura 2. Muestra un esquema de una vista frontal de dicho barco del estado del arte del tipo *flying moth*, donde se observan las hidroalas y el sensor *wand* para el control de la elevación.

Figura 3. Muestra un esquema de una vista lateral de un barco tipo con una realización de la invención.

Figura 4. Muestra un esquema de una vista frontal de un barco tipo con una realización de la invención.

Figura 5. Muestra un esquema de una vista superior de un barco tipo con una realización de la invención.

Figura 6. Muestra un esquema de una vista lateral de un barco tipo de una realización de la invención donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas.

Figura 7. Muestra un esquema de los ángulos y composición de velocidades sobre el ala central y el ala del timón

Figura 8. Muestra un esquema de una vista superior de un barco tipo de una realización de la invención donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas.

Figura 9. Muestra un esquema de una vista frontal de un barco tipo de una realización de la invención donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas.

Figura 10. Muestra un esquema con el triángulo de velocidades que se dan en un barco tipo de una realización de la invención.

Figura 11. Muestra un esquema de las fuerzas sobre la vela y ángulo de ataque en un barco tipo de una realización de la invención.

Figura 12. Muestra un esquema de las fuerzas del timón y del ala del timón en un barco tipo de una realización de la invención, concretamente las fuerzas y ángulos del ala del timón se muestran en la gráfica superior izquierda, las de recaen sobre el timón en la gráfica superior derecha y la gráfica inferior muestra una vista en planta del ala del timón.

5 Figura 13. Muestra un esquema de las fuerzas sobre el ala central, las alas de la quilla y las quillas en un barco tipo de una realización de la invención.

Figura 14. Muestra un esquema o vista superior del ala central y de las alas de la quilla en un barco tipo de una realización de la invención.

Descripción detallada de la invención

10 Los elementos definidos en esta descripción detallada se proporcionan para ayudar a una comprensión global de la invención. En consecuencia, los expertos en la técnica reconocerán que variaciones y modificaciones de las realizaciones descritas en este documento pueden realizarse sin apartarse del alcance y espíritu de la invención. Además, la descripción
15 detallada de las funciones y elementos suficientemente conocidos se omiten por razones de claridad y concisión.

Por claridad en la descripción, aunque no debe tomarse de forma excluyente, es decir, la invención se puede aplicar a cualquier tipo de barco, a continuación se indican una serie de características que podría tener un tipo de barco sobre el que aplicar la presente invención y que permite posteriormente desarrollar los conceptos más detallados sobre los que se basa
20 la invención de forma uniforme:

- Monocasco

La invención es aplicable a barcos de todas las esloras. Por tanto se podría diseñar un barco de crucero basado en el nuevo concepto. Dado que la mayor habitabilidad y comodidad en navegación la dan hoy por hoy los monocascos, de forma preferida, la
25 solución sería aplicable a un barco monocasco.

Por otro lado, las distancia al centro de gravedad de los puntos de actuación de fuerzas de flotabilidad e hidrodinámicas en un catamarán, permiten simplificar en cierta medida el equilibrio en eje longitudinal, escora, del barco. Siendo uno de los objetivos de esta descripción mostrar la viabilidad y aplicabilidad industrial del nuevo concepto para los
30 casos más complicados de navegación a vela, se elige por tanto por claridad uno monocasco.

- Barco de vela ligera

El barco de vela ligera supone un reto mayor a la hora de equilibrar las diferentes fuerzas que actúan sobre el mismo. El hecho de que el peso de la tripulación sea del mismo orden que la embarcación, en muchos casos mayor, plantea un reto que un barco de crucero no tiene. Para mostrar la aplicabilidad de la invención con un modelo difícil, se elige un monocasco de vela ligera para un tripulante.

- Facilidad de manejo

Una de las ventajas que permite la presente invención hacer más popular la vela sobre hidroalas al simplificar su manejo y también su coste. Por tanto, el barco objetivo para la presente descripción tiene que poder llevarlo un aficionado a la vela amateur; que tenga los conocimientos básicos de la navegación a vela. El tripulante deberá centrarse, exclusivamente en llevar el barco trimado, catavientos paralelos, al rumbo que sea, para que el barco sea estable. El tripulante puede tener un peso de entre 30kg y 90kg de peso; con un estado de forma física medio. El barco debe permitir navegar en todo el rango de viento de diseño, para el ejemplo tomamos un rango de 6 a 20 nudos. En este rango de viento el tripulante podrá navegar sin tener que colgarse o hacer banda. Simplemente con estar sentado donde convenga en cada caso, como se verá más adelante.

- Estabilidad y seguridad

El barco debe ser, no solo fácil de manejar sino que, navegando siguiendo los roles de viento o con un rumbo fijo, el barco tiene que permanecer estable, adrizado y a la misma altura sobre el agua ante cambios de la intensidad del viento y ola moderada.

Las velocidades de navegación de barcos sobre hidroalas, siendo inestable, hacen disminuir la seguridad de estas embarcaciones frente a las tradicionales. El hecho de trabucar o pinchar la proa, puede proyectar al tripulante de forma violenta sobre la jarcia fija o casco. Normalmente se requiere casco. Por tanto, cuanta mayor estabilidad tenga el barco, más seguro será.

- Vela de material flexible

El modelo está planteado con una vela de material flexible pero de muy poca deformación geométrica dentro de su rango de operación; siguiendo la línea que presentan la mayoría de los barcos sobre hidroalas que navegan actualmente. La razón principal para tener una vela poco deformable es que, como se describe más adelante, parte de la viabilidad del

modelo se basa en el fuerte acoplamiento entre la aerodinámica e hidrodinámica del barco. Como el barco objetivo pretende ser un barco lo más real posible y por tanto construible, lo más acertado es una vela de material flexible por la facilidad de uso, transporte, almacenaje, mantenimiento, etc. En definitiva el tipo de vela que usan la inmensa mayoría de los barcos de vela ligera.

Partiendo de este barco tipo y sus características, la invención propuesta presenta las siguientes ventajas o fundamentos:

- Altura constante

El barco, con la presente invención, mantiene la altura del centro de gravedad del barco respecto a la superficie media de la superficie libre, superficie del mar. Para ello el barco no requiere medir la altura sobre la superficie libre como los barcos actuales. El barco mantiene la altura debido al diseño en sí de los apéndices. El equilibrio de fuerzas para cualquier rumbo e intensidad de viento se da solo cuando el barco está a una altura determinada y constante sobre el agua, la altura de diseño. El hecho de que el barco no esté constantemente subiendo y bajando con cambios de viento u ola, elimina el ángulo de ataque inducido sobre las alas y por tanto elimina una fuente de inestabilidad.

- Configuración de masas y fuerzas estable

El barco tiene un diseño longitudinalmente estable dinámicamente. Si el barco sale del equilibrio estable debido a una acción externa, como una ola, el barco vuelve al equilibrio.

- Distancia de superficie sustentadora a superficie libre

El barco tiene las alas de timón y quillas lo más alejadas posible de la superficie libre para reducir la influencia negativa de la misma.

- Apéndices estrechos

El barco tiene la quilla y timón estrechos y rectos para que las olas no cambien sustancialmente la flotabilidad de la parte sumergida del casco. Reduciéndose de esta forma la influencia de ola sobre la navegación del barco.

El hecho de que el barco no use elementos de medida de la altura a la superficie libre se puede considerar la ventaja más diferencial de la invención respecto al estado del arte actual. Para todos los rumbos en los que pueda navegar un barco, el barco encuentra un punto de equilibrio entre fuerzas aerodinámicas, másticas e hidrodinámicas. La invención que se

plantea, define la geometría del barco para que todas las posiciones de equilibrio tengan la misma altura sobre el agua. Para ello se caracterizan todas las fuerzas que actúan sobre el barco para todas las condiciones de navegación y se diseña la geometría y el control de hidroalas acorde a dichas fuerzas. El diseño tiene en cuenta la aerodinámica e hidrodinámica de forma acoplada.

Los próximos puntos sustentan la forma del diseño geométrico y control de los apéndices.

Las figuras 3, 4 y 5 muestran un ejemplo de realización de los apéndices o alas objeto de la presente invención en un barco tipo (200) descrito anteriormente por claridad y a modo de ejemplo. En dichas figuras se pueden distinguir los siguientes elementos:

Por un lado lo que se pueden denominar elementos sustentadores, es decir, las alas sumergidas y las quillas y el timón. Esta invención, como una de las características diferenciadoras y a diferencia de los barcos habituales sobre hidroalas que suelen tener dos o tres, cuenta con al menos cuatro alas o superficies sustentadoras sumergidas, sin contar timón y quillas, lo permite implementar muchísimos sistemas de control al tener más superficies sustentadoras de las estrictamente necesarias para poder navegar.

La vela o velas, aun siendo una superficie sustentadora se dejan fuera de esta clasificación porque no es parte esencial de la invención en la medida que se puede aplicar también para barcos que sean de vela.

- Quillas (203). El barco (200) tiene dos quillas (203). Con dos quillas (203) se consigue mayor superficie dentro del agua con el mismo calado. Así mismo tiene mayor rigidez estructural. Las quillas (203) son las que contrarrestan la fuerza lateral de la vela e impiden que el barco derive. Por lo tanto tiene la misma función que en cualquier barco, es decir, permite que el barco pueda ceñir.
- Timón (204). El timón (204) en este barco (200), como en todos los demás, compensa el momento en el eje z de las fuerzas hidrodinámicas y aerodinámicas. El patrón, al sacar al barco de este equilibrio permite el cambio de rumbo del barco.
- Ala central (206). Entre los extremos sumergidos de las quillas (203) hay un ala rectangular (206) que modifica el ángulo de ataque acorde a las leyes de control que corresponda. El ángulo de ataque cambia en el punto $\frac{1}{4}$ de la cuerda. El ala central (206) exclusivamente compensa el peso del tripulante y barco en todos los rumbos y condiciones de viento.
- Alas de quilla (207). También en los extremos sumergidos de las quillas (203) pero hacia

fuera, hay dos alas elípticas con las cuerdas alienadas en su punto $\frac{1}{4}$ (207) que también modifican el ángulo de ataque en su punto $\frac{1}{4}$ de la cuerda. Estas alas de la quilla (207) tienen varias funciones:

- Compensan todos los momentos escorantes y adrizantes del barco (200); eje X.
- 5 ○ Debido a que las resistencias inducidas aportan momento en el eje Z, en algunos casos ayuda al timón (204) a compensar los momentos sobre el eje Z.
- Aportan sustentación para equilibrar fuerzas verticales y momentos en el eje Y.
- Ala de timón (208). En el extremo del timón (204) también hay un ala (208) elíptica con cuerdas alineadas en $\frac{1}{4}$ de la cuerda que modifica el ángulo de ataque en su punto $\frac{1}{4}$ de la cuerda. El ala del timón (208) no gira con el timón. El ala de timón (208) compensa,

10 junto con las alas de la quilla (207), los momentos en el eje Y.

Y estos son los elementos no sustentadores desde el punto de vista de la invención:

- Caña (205). El barco (200) tiene una caña (205) tradicional conectada al timón (204) del tal forma que el tripulante pueda operarlo.
- 15 • Casco (201) y plataforma (202). El barco (200) tiene una estructura de casco (201) muy esbelta para reducir peso. Dispone también de una plataforma o cubierta (202) de mayor manga para que se siente el tripulante y pueda hacer contrapeso.
- Mastil (209) y vela (210). El barco (200) tiene un mastil (209) y una vela (210) más adelantado que un barco de vela al uso, es decir, muy próximo a la proa del barco (200).

20 El tripulante está en todo momento más retrasado que el punto más a popa de la botavara y por delante de quilla y el timón, lo que aumenta la estabilidad dinámica longitudinal, lo cual no quiere decir que se no se pueda conseguir un barco estable con el tripulante situado entre quilla y timón, sino que esta situación tendrá algo menos de estabilidad dinámica.
- 25 • La razón principal es para adelantar el centro de gravedad del barco, lo cual favorece el equilibrio dinámico tal y como se describe más adelante.

A continuación se describe el modelo físico en el que se sustenta la presente invención.

En la figura 6 se muestra una vista lateral de un barco (200) tipo donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas, donde:

- M_B . Masa del barco. Centrada en el centro de gravedad del barco.
- M_T . Masa del tripulante. Centrada en el centro de gravedad del tripulante.
- F_{SX} . Fuerza aerodinámica en eje x que desarrolla la vela.
- $Flot_K$. Flotabilidad de las quillas (fuerza hidrostática).
- 5 • $Flot_R$. Flotabilidad del timón (fuerza hidrostática).
- $Flot_{WK}$. Flotabilidad de las alas de la quilla y ala central (fuerza hidrostática).
- $Flot_{WR}$. Flotabilidad del ala del timón (fuerza hidrostática).
- L_{WK} . Sustentación de las alas de la quilla y ala central (fuerza hidrodinámica).
- D_{WK} . Resistencia de las alas de la quilla y ala central (fuerza hidrodinámica).
- 10 • L_{WR} . Sustentación del ala del timón (fuerza hidrodinámica).
- D_{WR} . Resistencia del ala del timón (fuerza hidrodinámica).
- F_{Kx} . Resultante de fuerzas hidrodinámicas en eje x de las quillas.
- F_{Rx} . Resultante de fuerzas hidrodinámicas en eje x del timón.
- d_{SX} . Distancia del centro de presiones de la vela, al centro del mastil en la fogonadura según el eje x.
- 15 • h_{Sz} . Distancia del centro de presiones de la vela, al centro de gravedad del barco (C.G.) según el eje z.
- d_P . Distancia del centro del mastil en la fogonadura al C.G. según el eje x.
- d_{Tx} . Distancia del centro de gravedad del tripulante al C.G. según el eje x.
- 20 • d_R . Distancia de la línea $\frac{1}{4}$ de la cuerda del timón al C.G. según el eje x.
- d_{Kx} . Distancia de la línea $\frac{1}{4}$ de la cuerda de las quillas al C.G. según el eje x.
- $\theta(t)$. Ángulo de asiento longitudinal del barco en función del tiempo.
- $h(t)$. Altura del C.G. a la superficie media del agua en función del tiempo.

- h_K . Distancia de la línea $\frac{1}{4}$ de las cuerdas del ala central y alas de la quilla a C.G. según el eje z.
- h_R . Distancia de la línea $\frac{1}{4}$ de las cuerdas del ala del timón a C.G. según el eje z.
- α_{WKs} . Ángulo de ataque del ala de la quilla de estribor.
- 5 • α_{WKp} . Ángulo de ataque del ala de la quilla de babor (no figura explícitamente en la).
- α_{WKc} . Ángulo de ataque del ala central.
- α_{WR} . Ángulo de ataque del ala del timón.

En la figura 8 se muestra una vista superior de un barco (200) tipo donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas, donde:

- 10 • V_w . Velocidad del agua.
- F_{Sy} . Fuerza aerodinámica en eje y que desarrolla la vela.
- D_{WKp} . Resistencia del ala de la quilla de babor (fuerza hidrodinámica).
- D_{WKs} . Resistencia del ala de la quilla de estribor (fuerza hidrodinámica).
- D_{WKc} . Resistencia del ala central (fuerza hidrodinámica).
- 15 • L_{Kp} . Sustentación de la quilla de babor (fuerza hidrodinámica).
- D_{Kp} . Resistencia de la quilla de babor (fuerza hidrodinámica).
- L_{Ks} . Sustentación de la quilla de estribor (fuerza hidrodinámica).
- D_{Ks} . Resistencia de la quilla de estribor (fuerza hidrodinámica).
- L_R . Sustentación del timón (fuerza hidrodinámica).
- 20 • D_R . Resistencia del timón (fuerza hidrodinámica).
- d_{Sy} . Distancia del centro de presiones de la vela, al centro de gravedad del barco según el eje y.
- d_{Ky} . Distancia entre planos medios de las quillas.

- d_{WKy} . Distancia del centro de presiones de un ala de la quilla, al C.G. según el eje y.
- β . Ángulo de deriva del barco
- θ_R . Ángulo del timón.

En la figura 9 se muestra una vista frontal de un barco (200) tipo donde se identifican acotadas las fuerzas implicadas, donde:

- d_{Ty} . Distancia del centro de gravedad del tripulante al C.G. según eje y.
- F_{Ry} . Fuerza hidrodinámica del timón en eje y (fuerza hidrodinámica).
- F_{Kyp} . Fuerza hidrodinámica de la quilla de babor en eje y (fuerza hidrodinámica).
- F_{Kys} . Fuerza hidrodinámica de la quilla de estribor en eje y (fuerza hidrodinámica).
- L_{WKp} . Sustentación del ala de la quilla de babor (fuerza hidrodinámica).
- L_{WKs} . Sustentación del ala de la quilla de estribor (fuerza hidrodinámica).
- L_{WKc} . Sustentación del ala central (fuerza hidrodinámica).
- M_{WK} . Momento de las alas de quilla (fuerza hidrodinámica).

Figura 10. Muestra un esquema con el triángulo de velocidades que se dan en un barco (200) tipo, donde:

- R_{Tw} . Rumbo de viento real.
- R_b . Rumbo barco.
- V_w . Vector velocidad agua.
- V_{Aw} . Vector velocidad del viento aparente.
- V_{Tw} . Vector velocidad del viento real.
- β . Ángulo de deriva del barco.
- α_b . Ángulo de botavara.
- α_s . Ángulo de ataque de vela.

Donde la relación de módulos de velocidades y ángulos se define como:

$$\gamma = R_b + R_{TW}$$

$$\eta - \beta = \alpha_s + \alpha_b$$

$$V_{AW} = V_W \frac{\sin(\gamma + \beta)}{\sin(\gamma - \alpha_s - \alpha_b)}$$

$$V_{TW} = V_W \frac{\sin(\beta + \alpha_s + \alpha_b)}{\sin(\gamma - \alpha_s - \alpha_b)}$$

$$V_{AW} = V_{TW} \frac{\sin(\gamma + \beta)}{\sin(\beta + \alpha_s + \alpha_b)}$$

Para el análisis dinámico solo tendremos en cuenta la estabilidad vertical del barco (200); $h(t)$, y la estabilidad en el eje y ; $\theta(t)$. Es la que determina en mayor medida la dinámica del barco. Atendiendo a este planteamiento, las ecuaciones que gobiernan la dinámica del barco (200) suponiendo que $\theta(t)$ es pequeño son:

-F

$$F_{Sx} - D_{WK} - D_{WR} - F_{Kx} - F_{Rx} = 0$$

$$F_{Sy} + F_{Ry} - F_{Ky} = 0$$

$$L_{WK} - L_{WR} + Flot_K + Flot_{WK} + Flot_R + Flot_{WR} - (M_B + M_T) \cdot g = (M_B + M_T) \cdot \ddot{z}$$

-M

$$(L_{WKp} - L_{WKS}) \cdot \frac{d_{WKy}}{2} + M_T \cdot g \cdot d_{Ty} + F_{Ry} \cdot \frac{(h_R + h(t))}{2} - F_{Ky} \cdot \frac{(h_K + h(t))}{2} - F_{Sy} \cdot h_{Sz} = 0$$

$$\begin{aligned} & F_{Sx} \cdot h_{Sz} + (L_{WK} + Flot_K + Flot_{WK}) \cdot d_{Kx} - (L_{WR} - Flot_R - Flot_{WR}) \cdot d_R + D_{WK} \cdot h_K \\ & + D_{WR} \cdot h_R + F_{Rx} \cdot \frac{(h_R + h(t))}{2} + F_{Kx} \cdot \frac{(h_K + h(t))}{2} - M_T \cdot g \cdot d_{Tx} \\ & = (I_B - M_T \cdot d_{Tx}^2) \cdot \ddot{\theta} + M_T \cdot \ddot{z} \cdot d_{Tx} \end{aligned}$$

$$(D_{WKp} - D_{WKS}) \cdot \frac{d_{WKy}}{2} + F_{Ky} \cdot d_{Kx} - F_{Ry} \cdot d_R - F_{Sx} \cdot d_{Sy} - F_{Sy} \cdot (d_{Sx} - d_p) = 0$$

Donde I_B es el momento de inercia en el eje y centrado en el centro de gravedad del barco.

La figura 11 muestra las fuerzas y ángulo de sobre la vela (210) El paño de la vela (210) en el borde de ataque está alineado con la velocidad incidente, catavientos paralelos.

Donde α_{sn} es el ángulo de ataque de sustentación nula si la vela fuera rígida. El paño del borde de ataque de la vela (210), pegada al mastil (209), se orienta según el ángulo de ataque α_s , catavientos paralelos.

El cabeceo del barco, θ , afecta a la velocidad del viento aparente y el ángulo de ataque de la vela (210) a lo largo de su altura. También afecta $\dot{x}$. Supondremos que son despreciables.

Planteamos las ecuaciones aerodinámicas de la vela:

$$L_S = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot V_{AW}^2 \cdot S_S \cdot (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s)$$

$$D_S = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot V_{AW}^2 \cdot S_S \cdot (C_{Dos} + K_S \cdot (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s)^2)$$

$$D_S = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot V_{AW}^2 \cdot S_S \cdot (C_{Dos} + K_S \cdot (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s)^2)$$

$$F_{Sy} = L_S \cdot \cos(\alpha_s + \alpha_b) + D_S \cdot \sin(\alpha_s + \alpha_b)$$

$$q_{air} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot V_{AW}^2$$

$$C_{FSx} = \frac{F_{Sx}}{\rho_{air} \cdot S_S}$$

$$C_{FSy} = \frac{F_{Sy}}{\rho_{air} \cdot S_S}$$

$$d_{Sx} = d'_{Sx} \cdot \cos \alpha_b - d'_{Sy} \cdot \sin \alpha_b$$

$$d_{Sy} = d'_{Sx} \cdot \sin \alpha_b + d'_{Sy} \cdot \cos \alpha_b$$

De las ecuaciones anteriores se obtienen los coeficientes de las fuerzas de la vela:

$$C_{FSx} = (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s) \cdot \sin(\alpha_s + \alpha_b) - (C_{Dos} + K_S \cdot (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s)^2) \cdot \cos(\alpha_s + \alpha_b)$$

$$C_{FSy} = (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s) \cdot \cos(\alpha_s + \alpha_b) + (C_{Dos} + K_s \cdot (C_{Los} + C_{Las} \cdot \alpha_s)^2) \cdot \sin(\alpha_s + \alpha_b)$$

La figura 12 muestra las fuerzas sobre el timón (204) y el ala del timón (208) de un barco (200).

La superficie en planta del ala del timón (208) es una elipse con los punto ¼ de la cuerda alineados. La elipse, atendiendo a la teoría de Prandtl-Glauert, da la menor resistencia inducida.

Para poder calcular las fuerzas, se obtiene primero la velocidad incidente en el ala del timón (204) y el ángulo de ataque. La figura 7 muestra los ángulos de ataque y composición de velocidades para el ala central de las quillas y la del timón. Por tanto:

$$\vec{V}_{WR} = -(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R) \cdot \vec{i} - (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R) \cdot \vec{k}$$

$$V_{WR}^2 = (V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)^2$$

$$\alpha'_{WR} = \alpha_{0WR} + \alpha_{WR} + \theta + \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)}$$

Siendo:

- α_{0WR} = Ángulo de trimado inicial del ala del timón (208). Se puede cambiar en tierra.
- α_{WR} = Ángulo de trimado del ala del timón (208). Se cambia en el agua atendiendo al control que corresponda. Se calculará más adelante.

A efectos teóricos se impone que el timón (204) tiene la misma cuerda a lo largo de toda la envergadura. Una cuerda estrecha y derivada nula de la cuerda a lo largo de la envergadura hace el barco menos vulnerable a la ola. Así mismo se supone que el timón (204) está entre dos paredes, superficie libre y ala, por lo tanto no tiene resistencia inducida.

Aplicando la teoría de ala larga de Prandtl- Glauert al ala del timón (208), las ecuaciones de fuerzas hidrodinámicas del timón (204) y su ala (208) quedan como sigue:

$$L_{WR} = \frac{1}{2} \cdot \rho_W \cdot S_{WR} \cdot C_{L\alpha_{WR}} \cdot ((V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)^2) \cdot (\alpha_{0WR} + \alpha_{WR} + \theta + \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)})$$

$$D_{WR} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot S_{WR} \cdot \left(C_{d0WR} + K_{WR} \cdot C_{L\alpha WR}^2 \cdot \left(\alpha_{0WR} + \alpha_{WR} + \theta + \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)} \right)^2 \right) \cdot ((V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_R)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_R)^2)$$

$$C_{L\alpha WR} = \frac{\pi \cdot b_{WR}^2 \cdot C_{l\alpha WR}}{\pi \cdot b_{WR}^2 + C_{l\alpha WR} \cdot S_{WR}}$$

5

$$K_{WR} = \frac{S_{WR}}{\pi \cdot b_{WR}^2}$$

$$Flot_{WR} = \rho_w \cdot g \cdot \frac{S_{WR}^2}{b_{WR}} \cdot e_R$$

$$F_{Rx} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_R \cdot (h_R - h(t)) \cdot V_W^2 \cdot (C_{l\alpha R} \cdot (\theta_R - \beta) \cdot \sin \beta + C_{d0R} \cdot \cos \beta)$$

$$F_{Ry} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot C_R \cdot (h_R - h(t)) \cdot V_W^2 \cdot (C_{l\alpha R} \cdot (\theta_R - \beta) \cdot \cos \beta - C_{d0R} \cdot \sin \beta)$$

$$Flot_R = \rho_w \cdot g \cdot (h_R - h(t)) \cdot C_R^2 \cdot e_R$$

10 Siendo:

- C_R = Cuerda del timón.
- e_R = Espesor medio del timón.
- $C_{l\alpha R}$ = Pendiente de la curva de sustentación del perfil del timón (simétrico).
- C_{d0R} = Coeficiente de resistencia parásita del timón.

15

- b_{WR} = Envergadura del ala del timón.
- S_{WR} = Superficie del ala del timón.
- $C_{L\alpha WR}$ = Coeficiente de sustentación del ala del timón.
- C_{d0WR} = Coeficiente de resistencia parásita del ala del timón.

- $C_{l\alpha WR}$ = Pendiente de la curva de sustentación del perfil del ala del timón (simétrico).

La figura 12 muestra las fuerzas sobre el timón (204) y el ala del timón (208) de un barco (200).

La figura 13 muestra las fuerzas sobre el ala central (206), las alas de la quilla (207) y las quillas (207), mientras que la figura 14 muestra una vista superior del ala central (206) y de las alas de la quilla (207).

Los ángulos de ataque de ambas alas de la quilla (207), estribor y babor, se componen con un ángulo simétrico y otro antisimétrico, de modo que los ángulos de ataque quedan en modo estacionario según se muestra en estas ecuaciones:

$$\alpha_{WKp} = \alpha_{0WK} + \alpha_{WK} - \theta$$

$$\alpha_{WKs} = \alpha_{0WK} - \alpha_{WK} - \theta$$

Para poder calcular las fuerzas, se obtiene primero la velocidad incidente en las alas (207) y el ángulo de ataque debido al cabeceo del barco (200):

$$\vec{V}_{WK} = -(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K) \cdot \vec{i} - (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx}) \cdot \vec{k}$$

$$V_{WK}^2 = (V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2$$

$$\alpha'_{WKc} = \alpha_{WKc} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)}$$

$$\alpha'_{WKp} = \alpha_{0WK} + \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)}$$

$$\alpha'_{WKs} = \alpha_{0WK} - \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_W \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)}$$

El ala central (206) tiene un perfil antisimétrico y está entre dos paredes, por lo que se comporta como un ala infinita. Planteando ecuaciones hidrodinámicas:

$$L_{WKc} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot S_{WKc} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2) \cdot \left(C_{l0_{WKc}} + C_{l\alpha_{WKc}} \cdot (\alpha_{WKc} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)}) \right)$$

$$D_{WKc} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot S_{WKc} \cdot C_{D0_{WKc}} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2)$$

$$Flot_{WKc} = \rho_w \cdot g \cdot C_{WKc}^2 \cdot e_{WKc} \cdot d_{Ky}$$

5 Siendo:

- C_{WKc} = Cuerda del ala central. Constante a lo largo de su envergadura.
- e_{WKc} = Espesor medio del ala central.
- $C_{l0_{WKc}}$ = Coeficiente de sustentación del perfil del ala central con ángulo de ataque nulo.
- $C_{l\alpha_{WKc}}$ = Pendiente de la curva de sustentación del perfil del ala central.
- $C_{D0_{WKc}}$ = Coeficiente de resistencia parásita del ala central.
- S_{WKc} = Superficie del ala central.

Para las alas de la quilla (207) se utiliza la teoría de ala larga de Prandtl-Glauert. Planteando las ecuaciones y despreciando términos de segundo orden queda:

$$L_{WKp} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot \frac{S_{WKa}}{2} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2) \cdot C_{L\alpha_{WK}} \cdot (\alpha_{0_{WK}} + \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)})$$

$$D_{WKp} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot \frac{S_{WKa}}{2} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2) \cdot \left(C_{D0_{WK}} + K_{WR} \cdot C_{L\alpha_{WK}}^2 \cdot \left(\alpha_{0_{WK}} + \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)} \right)^2 \right)$$

$$Mx_{WKp} = L_{WKp} \cdot d_{WKy}$$

$$Mz_{WKp} = D_{WKp} \cdot d_{WKy}$$

$$L_{WKS} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot \frac{S_{WKa}}{2} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2) \cdot C_{LaWK} \cdot (\alpha_{0WK} - \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)})$$

$$D_{WKS} = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot \frac{S_{WKa}}{2} \cdot ((V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)^2 + (\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})^2) \cdot \left(C_{d0WK} + K_{WK} \cdot C_{LaWK}^2 \cdot \left(\alpha_{0WK} - \alpha_{WK} - \theta - \tan^{-1} \frac{(\dot{h} + \dot{\theta} \cdot d_{Kx})}{(V_w \cdot \cos \beta - \dot{\theta} \cdot h_K)} \right)^2 \right)$$

$$M_{x_{WKS}} = -L_{WKS} \cdot d_{WKy}$$

$$M_{z_{WKS}} = -D_{WKS} \cdot d_{WKy}$$

$$C_{LaWK} = \frac{4 \cdot \pi \cdot l_w^2 \cdot C_{laWK}}{4 \cdot \pi \cdot l_w^2 + C_{laWK} \cdot S_{WKa}}$$

$$K_{WK} = \frac{S_{WKa}}{4\pi l_w^2}$$

$$d_{WKy} = \frac{d_{Ky}}{2} + \frac{4 \cdot l_w}{3\pi}$$

$$Flot_{WKa} = \rho_w \cdot g \cdot \frac{S_{WKa}^2}{2 \cdot l_w} \cdot e_{WKa}$$

Siendo:

- S_{WKa} = Suma de las superficies de las dos alas de la quilla.
- e_{WKa} = Espesor medio de las alas de la quilla.
- C_{laWK} = Pendiente de la curva de sustentación del perfil de las alas de la quilla.
- C_{LaWK} = Coeficiente de sustentación de las alas de la quilla.
- C_{d0WK} = Coeficiente de resistencia parásita de las alas de la quilla.

Sumando la flotabilidad de las alas de la quilla y central se tiene:

$$Flot_{WK} = \rho_w \cdot g \cdot \left(\frac{S_{WKa}^2}{2 \cdot l_w} \cdot e_{WKa} + C_{WKc}^2 \cdot e_{WKc} \cdot d_{Ky} \right)$$

Suponiendo que las quillas (203) están entre dos paredes, superficie libre y las alas, por lo tanto tendrán resistencia inducida cero. Las fuerzas hidrodinámicas, despreciando términos de segundo orden son:

$$L_K = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot 2 \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot V_W^2 \cdot C_{l\beta_K} \cdot \beta$$

$$D_K = \frac{1}{2} \cdot \rho_w \cdot 2 \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot V_W^2 \cdot C_{d0_K}$$

$$F_{Kx} = \rho_w \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot V_W^2 \cdot (C_{d0_K} \cdot \cos \beta - C_{l\beta_K} \cdot \beta \cdot \sin \beta)$$

$$F_{Ky} = \rho_w \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot V_W^2 \cdot (C_{d0_K} \cdot \sin \beta + C_{l\beta_K} \cdot \beta \cdot \cos \beta)$$

$$Flot_K = 2 \cdot \rho_w \cdot g \cdot (h_K - h) \cdot c_K^2 \cdot e_K$$

Como ya se ha comentado, con esta invención se persigue, entre otras cosas, un barco dinámicamente estable y por tanto interesa principalmente obtener las condiciones para un equilibrio estable longitudinal.

Las ecuaciones a analizar para el estudio dinámico son complejas, por lo tanto se harán simplificaciones que no afectan cualitativamente el análisis. Por tanto, se prescindirá de las alas laterales de la quilla y se mantendrá el ala central. Así mismo se despreciarán los momentos debidos a las fuerzas de resistencia hidrodinámicas y las fuerzas de flotación frente a las fuerzas de sustentación y sus momentos. Por último se harán las siguientes suposiciones:

- $S_{WKc} = N_S \cdot S_{WR}$
- $h_K = N_h \cdot h_R$
- $d_{Kx} = N_d \cdot d_R$
- $C_{l0_{WKc}} = 0$ Perfil simétrico

- $\alpha_{0WR} = 0$
- $C_{l_{\alpha WKc}} = C_{l_{\alpha WR}}$ Ambas alas tienen la misma pendiente de curva de sustentación

Se simplifica más exponiendo dos casos extremos de comportamiento del barco, lo que se puede denominar las condiciones para un barco de respuesta rápida o barco "blando", es decir, que responde muy rápido a cambios de la posición de equilibrio; un barco con un momento de inercia pequeño y por otro lado un barco de respuesta lenta o barco "duro", es decir, un barco que responde lento a cambios de la posición de equilibrio; un barco con un momento de inercia grande.

- Barco de respuesta lenta. Momento de Inercia grande. $\theta \gg \frac{\dot{z} + \dot{\theta} \cdot d_R}{V_0}$ y $\theta \gg \frac{\dot{z} + \dot{\theta} \cdot d_K}{V_0}$
- Barco de respuesta rápida. Momento de Inercia pequeño y menor peso. $\dot{\theta} \cdot d_R \gg \dot{h}$, $\dot{\theta} \cdot d_K \gg \dot{h}$, $\frac{\dot{\theta} \cdot d_K}{V_0} \gg \theta$ y $\frac{\dot{\theta} \cdot d_R}{V_0} \gg \theta$

En base a estas simplificaciones y teniendo en cuenta que β es pequeño podemos decir que:

$$V_{WR}^2 \cong V_W^2 - 2 \cdot V_W \cdot \dot{\theta} \cdot h_R$$

$$V_{WK}^2 \cong V_W^2 - 2 \cdot V_W \cdot \dot{\theta} \cdot h_K$$

Para caso de barco de respuesta lenta. $\alpha'_{WR} \cong \alpha_{WR} + \theta$ y $\alpha'_{WKc} \cong \alpha_{WKc} - \theta$

Para de barco de respuesta rápida. $\alpha'_{WR} \cong \alpha_{WR} + \frac{\dot{\theta} \cdot d_R}{V_W}$ y $\alpha'_{WKc} \cong \alpha_{WKc} - \frac{\dot{\theta} \cdot d_{Kx}}{V_W}$

Por tanto, sustituyendo en las ecuaciones dinámicas vistas anteriormente, las fuerzas y momentos, salvo las explicaciones ya expuestas, se obtienen las ecuaciones dinámicas longitudinales del sistema. A esas ecuaciones hay que restarles las de equilibrio estático, las mismas con todas las aceleraciones igual a cero, para obtener las ecuaciones que se necesitan para hacer el análisis de estabilidad longitudinal. Tras algunas operaciones matemáticas nos quedan dos ecuaciones:

Para caso de barco respuesta lenta.

$$\ddot{\theta} = a_1 \cdot \theta + a_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \theta + a_3 \cdot \dot{\theta}$$

$$\ddot{z} = b_1 \cdot \theta + b_2 \cdot \dot{\theta} \cdot \theta + b_3 \cdot \dot{\theta}$$

Siendo:

$$a_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W^2 \cdot C_{l_{\alpha WR}}}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_d + 1) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (1 + N_s))$$

$$a_2 = \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_d \cdot N_h + 1) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (1 + N_s \cdot N_h))$$

$$5 \quad a_3 = -\frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_d \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR}) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR}))$$

$$b_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W^2 \cdot C_{l_{\alpha WR}}}{M_B + M_T} \cdot (N_s + 1)$$

$$b_2 = \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{M_B + M_T} \cdot (N_s \cdot N_h + 1)$$

$$b_3 = -\frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{M_B + M_T} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR})$$

10 Para caso de barco de respuesta rápida.

$$\ddot{\theta} = c_1 \cdot \dot{\theta} + c_2 \cdot \dot{\theta}^2$$

$$\ddot{z} = d_1 \cdot \dot{\theta} + d_2 \cdot \dot{\theta}^2$$

Siendo:

$$c_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot d_R}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_d^2 + 1) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (N_s \cdot N_d + 1))$$

$$15 \quad -\frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_W \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_d \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR}) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR}))$$

$$c_2 = \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot d_R \cdot h_R}{I_B + M_T \cdot d_{Tx}^2} \cdot ((N_s \cdot N_h \cdot N_d^2 + 1) \cdot d_R - \frac{M_T}{M_T + M_B} \cdot d_{Tx} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot N_d + 1))$$

$$d_1 = -\frac{1}{2} \cdot \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_w \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot d_R}{M_B + M_T} \cdot (N_s \cdot N_d + 1) - \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot V_w \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot h_R}{M_B + M_T} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR})$$

$$d_2 = \frac{\rho_w \cdot S_{WR} \cdot C_{l_{\alpha WR}} \cdot d_R \cdot h_R}{M_B + M_T} \cdot (N_s \cdot N_h \cdot N_d + 1)$$

Resolvemos las ecuaciones del barco de respuesta lenta. Son ecuaciones complicadas por lo que hacemos $a_2=0$. Este parámetro no modifica el criterio de convergencia en $t \rightarrow \infty$ como se puede comprobar con un modelo numérico sencillo. Las ecuaciones resultantes al hacer $a_2=0$ son las de un oscilador amortiguado, por lo que si $a_3 < 0$ el barco vuelve al equilibrio. Por tanto, de esta condición tenemos una limitación de la distancia máxima a la que se puede sentar el tripulante del centro de gravedad:

$$d_{Tx} < \frac{M_T + M_B}{M_T} \cdot \frac{(N_s \cdot N_d \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR}) \cdot d_R}{(N_s \cdot N_h \cdot \alpha_{WKc} - \alpha_{WR})}$$

Atendiendo a la relación entre los parámetros a_1 y a_2 tendremos:

Para $a_3^2 + 4 \cdot a_1 > 0 \rightarrow \lambda = \sqrt{a_3^2 + 4 \cdot a_1}$:

$$\theta = \frac{1}{a_3} \cdot e^{\frac{a_3}{2} t} \cdot ((2 \cdot \dot{\theta}_0 - \lambda \cdot \theta_0) \cdot \sinh \frac{\lambda}{2} t + a_3 \cdot \theta_0 \cdot \cosh \frac{\lambda}{2} t)$$

Para $a_3^2 + 4 \cdot a_1 < 0 \rightarrow \lambda = \sqrt{-(a_3^2 + 4 \cdot a_1)}$:

$$\theta = \frac{1}{a_3} \cdot e^{\frac{a_3}{2} t} \cdot ((2 \cdot \dot{\theta}_0 + \lambda \cdot \theta_0) \cdot \sin \frac{\lambda}{2} t + a_3 \cdot \theta_0 \cdot \cos \frac{\lambda}{2} t)$$

Para $a_3^2 + 4 \cdot a_1 = 0$

$$\theta = e^{\frac{a_3}{2} t} \cdot ((\dot{\theta}_0 - \frac{a_3}{2} \cdot \theta_0) \cdot t + \theta_0)$$

Donde:

$$\dot{\theta}_0 = \dot{\theta}(0)$$

$$\theta_0 = \theta(0)$$

Las dos primeras soluciones son oscilatorias, pero la última tiende al equilibrio sin oscilar. Es la más interesante para el barco.

Por tanto, queda demostrado que hay condicionantes geométricos para el barco de respuesta lenta que resultan en un barco dinámicamente estable; vuelve al equilibrio al sacarlo de dicho equilibrio.

El comportamiento de $z(t)$ se obtiene fácilmente teniendo $\theta(t)$

Resolvemos las ecuaciones del barco de respuesta rápida. Ya de inicio vemos que es la ecuación de un amortiguador, no tiene ninguna fuerza que recupere la posición al equilibrio. No es una solución buena:

$$\theta = \theta_0 - \frac{c_1}{c_2} \cdot \left(t + \frac{1}{c_1} \cdot \ln \left(\left(1 + \frac{c_2}{c_1} \cdot \dot{\theta}_0 \right) e^{-c_1 t} - \frac{c_2}{c_1} \cdot \dot{\theta}_0 \right) \right)$$

Queda por tanto demostrado que nos interesan barcos de respuesta lenta, barcos con momento de inercia elevado para que sean dinámicamente estables en pitch. En un estudio numérico de la estabilidad dinámica hay que comprobar que el ángulo θ no nos lleve a invertir el sentido de la sustentación de las alas. Cabe destacar que la geometría del modelo de barco ejemplo que se plantea en el presente documento, tiene el centro de gravedad por delante de las quillas y el timón, y el ala del timón sustenta hacia abajo por las conclusiones del estudio dinámico. Ningún barco sobre hidrofoil conocido por el autor presenta esta configuración que favorece el equilibrio dinámico.

Se pasa ahora a plantear las ecuaciones en régimen estacionario. Con ellas se puede sacar las leyes de control de los apéndices para llevar una navegación estable a todos los rumbos y para todos los vientos reales dentro de los cuales el barco (200) es operable.

A las ecuaciones estacionarias no les impondremos las limitaciones geométricas que hemos obtenido en el análisis dinámico, ya que las limitaciones obtenidas son para casos particulares. Empleamos por tanto ecuaciones más generales.

Las ecuaciones dinámicas vista al principio de esta descripción dan todas las ecuaciones que se necesitan, simplemente con hacer todas las derivadas del tiempo cero. Queda, por tanto:

$$q_{wat} \cdot (\cos \beta)^2 \cdot (C_{L_{WK}} - C_{L_{WR}}) = (M_B + M_T) \cdot g - Flot_K - Flot_{WK} - Flot_R - Flot_{WR}$$

$$q_{wat} \cdot (\cos \beta)^2 \cdot (C_{D_{WK}} + C_{D_{WR}}) = q_{air} \cdot C_{FSx} - q_{wat} \cdot (C_{FKx} + C_{FRx})$$

$$\begin{aligned} q_{air} \cdot C_{FSx} \cdot h_{Sz} + q_{wat} \cdot (\cos \beta)^2 \cdot (C_{L_{WK}} \cdot d_{Kx} - C_{L_{WR}} \cdot d_R + C_{D_{WK}} \cdot h_K + C_{D_{WR}} \cdot h_R) \\ + \frac{q_{wat}}{2} \cdot (C_{FKx} \cdot (h_K + h) + C_{FRx} \cdot (h_R + h)) + (Flot_K + Flot_{WK}) \cdot d_{Kx} \\ + (Flot_R + Flot_{WR}) \cdot d_R - M_T \cdot g \cdot d_{Tx} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5 \quad q_{air} \cdot C_{FSy} \cdot h_{Sz} - q_{wat} \cdot (\cos \beta)^2 \cdot \frac{d_{WKy}}{2} (C_{L_{WKp}} - C_{L_{WKs}}) + \frac{q_{wat}}{2} \cdot \\ \cdot (C_{FKy} \cdot (h_K + h) - C_{FRy} \cdot (h_R + h)) - M_T \cdot g \cdot d_{Ty} = 0 \end{aligned}$$

$$q_{wat} \cdot (C_{FKy} - C_{FRy}) = q_{air} \cdot C_{FSy}$$

$$\begin{aligned} q_{wat} \cdot (\cos \beta)^2 \cdot \frac{d_{WKy}}{2} (C_{D_{WKp}} - C_{D_{WKs}}) + q_{wat} \cdot (C_{FKy} \cdot d_{Kx} - C_{FRy} \cdot d_R) \\ = q_{air} \cdot (C_{FSy} \cdot (d_{Sx} - d_p) + C_{FSx} \cdot d_{Sy}) \end{aligned}$$

$$10 \quad q_{wat} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{wat} \cdot V_W^2$$

$$q_{air} = \frac{1}{2} \cdot \rho_{air} \cdot V_{AW}^2$$

$$\frac{q_{air}}{q_{wat}} = \frac{\rho_{air}}{\rho_{wat}} \cdot \left(\frac{\sin(\gamma + \beta)}{\sin(\gamma - \alpha_b - \alpha_s)} \right)^2$$

$$C_{L_{WKp}} = \frac{S_{WKa}}{2} \cdot C_{La_{WK}} \cdot (\alpha_{0WK} + \alpha_{WK})$$

$$C_{D_{WKp}} = \frac{S_{WKa}}{2} \cdot C_{d0_{WK}} + \frac{2}{S_{WKa}} \cdot K_{WK} \cdot C_{L_{WKp}}^2$$

$$15 \quad C_{D_{WKs}} = \frac{S_{WKa}}{2} \cdot C_{d0_{WK}} + \frac{2}{S_{WKa}} \cdot K_{WK} \cdot C_{L_{WKs}}^2$$

$$C_{L_{WK}} = S_{WKc} \cdot (C_{l0_{WKc}} + C_{l_{a_{WKc}}} \cdot \alpha_{WKc}) + C_{L_{WKp}} + C_{L_{WKs}}$$

$$C_{D_{WK}} = S_{WKc} \cdot C_{d0_{WK}} + C_{D_{WKp}} + C_{D_{WKs}}$$

$$C_{LWR} = S_{WR} \cdot C_{L\alpha_{WR}} \cdot (\alpha_{0WR} + \alpha_{WR})$$

$$C_{DWR} = S_{WR} \cdot C_{d0WR} + \frac{1}{S_{WR}} \cdot K_{WR} \cdot C_{LWR}^2$$

$$C_{FKx} = 2 \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot (C_{d0K} \cdot \cos \beta - C_{l\beta_K} \cdot \beta \cdot \sin \beta)$$

$$C_{FKy} = 2 \cdot c_K \cdot (h_K - h) \cdot (C_{d0K} \cdot \sin \beta + C_{l\beta_K} \cdot \beta \cdot \cos \beta)$$

$$5 \quad C_{FRx} = C_R \cdot (h_R - h) \cdot (C_{l\alpha_R} \cdot (\theta_R - \beta) \cdot \sin \beta + C_{d0R} \cdot \cos \beta)$$

$$C_{FRy} = C_R \cdot (h_R - h) \cdot (C_{l\alpha_R} \cdot (\theta_R - \beta) \cdot \cos \beta - C_{d0R} \cdot \sin \beta)$$

$$C_{FSx} = S_S \cdot ((C_{Los} + C_{L\alpha_S} \cdot \alpha_S) \cdot \sin(\alpha_S + \alpha_b) - (C_{Dos} + K_S \cdot (C_{Los} + C_{L\alpha_S} \cdot \alpha_S)^2) \cdot \cos(\alpha_S + \alpha_b))$$

$$10 \quad C_{FSy} = S_S \cdot ((C_{Los} + C_{L\alpha_S} \cdot \alpha_S) \cdot \cos(\alpha_S + \alpha_b) + (C_{Dos} + K_S \cdot (C_{Los} + C_{L\alpha_S} \cdot \alpha_S)^2) \cdot \sin(\alpha_S + \alpha_b))$$

$$Flot_K + Flot_{WK}$$

$$= 2 \cdot \rho_w \cdot g \cdot (h_K - h) \cdot c_K^2 \cdot e_K + \rho_w \cdot g \cdot \left(\frac{S_{WKa}^2}{2 \cdot l_w} \cdot e_{WKa} + C_{WKc}^2 \cdot e_{WKc} \cdot d_{Ky} \right)$$

$$Flot_R + Flot_{WR} = \rho_w \cdot g \cdot (h_R - h) \cdot c_R^2 \cdot e_R + \rho_w \cdot g \cdot \frac{S_{WR}^2}{b_{WR}} \cdot e_R$$

15 Estas veinticinco ecuaciones anteriores definen el movimiento estacionario del barco (200). Por tanto, de las mismas se pueden obtener las leyes de control del barco (200); en otras palabras, los ángulos que han de tener todas las superficies sustentadoras para que el barco tenga las performances que se buscan.

20 A continuación, se resaltan todas las hipótesis y simplificaciones del modelo. Es importante porque el modelo físico-matemático planteado anteriormente sirve para comprobar la viabilidad de la solución y obtener por tanto unos pre-diseños. Para afinar el diseño, como es habitual en la construcción de barcos, se ha de proceder con CFD, cálculos estructurales, túnel/canal, etc.

Sobre el sistema o barco (200) actúan principalmente fuerzas inerciales (pesos),

hidroestáticas (flotabilidad), hidrodinámicas y aerodinámicas. Todas están contenidas en el modelo estático. Las fuerzas inerciales y flotabilidad son simples de modelizar al ser lineales, sin embargo, tanto las aerodinámicas como hidrodinámicas requieren simplificaciones para poder tener un modelo analítico resoluble.

5 Las fuerzas aerodinámicas de la vela (210) se modelizan según la teoría de línea sustentadora de Prandtl. Ninguna fuerza aerodinámica del casco (201) o tripulante se tienen en cuenta al considerarse despreciables frente a las de la vela (210). Solo se considera el rango lineal de la curva de sustentación, por lo tanto, el flujo siempre está adherido, cumple la condición de Kutta y catavientos paralelos. Se considera que el tripulante siempre lleva los catavientos
10 paralelos, por lo que actúa sobre el timón (204) ante cambios de viento aparente para mantener los catavientos paralelos. Por tanto, la vela (210) siempre mantiene su ángulo de ataque y nunca trabaja con la corriente desprendida. Se ha de estudiar mediante CFD o túnel la condición de las fuerzas sobre la vela en condición de desprendimiento para obtener las leyes de control a rumbos muy abiertos.

15 El modelo estático que se ha obtenido modela el barco (200) cuando navega sobre el agua. La vela (210), entre otros parámetros, se ha de dimensionar para que el barco(200) pueda superar la resistencia del casco (201) dentro del agua. Se ha de diseñar el casco (201) y calcular las performances del barco (200) dentro del agua con la teoría de diseño clásica de barcos de vela.

20 Al ser el timón (204) y las quillas (203) elementos muy esbeltos, también se puede aplicar la teoría de línea sustentadora de Prandtl. Sin embargo, como ya se dijo anteriormente, ambas superficies se supone que operan entre dos paredes, como si fueran infinitas. Las paredes son la superficie libre y las alas. Esta aproximación vale para analizar la viabilidad de la invención, pero para el diseño de detalle se requiere una herramienta (CFD por ejemplo) que
25 tenga en cuenta los efectos de la superficie libre e interferencias entre quilla/timón y las alas. Los efectos de la superficie libre se consideran despreciables en teoría clásica de hidroalas cuando la profundidad del hidroala es superior a 4 veces la cuerda. Así mismo, no se han tenido en cuenta efectos de ventilación sobre quillas y timón dado que son despreciables los efectos frente a la envergadura sumergida. Tampoco, se ha tenido en cuenta la deflexión de
30 estela de las alas de la quilla (207) y quilla (203) sobre el timón (204) y su ala (208). Así mismo, para facilitar la resolución matemática detallada en el siguiente capítulo, se ha supuesto que timón (204) y quilla (203) calan lo mismo, esto es: $h_K=h_R$.

Se han despreciado todos los momentos hidrodinámicos de los perfiles sustentadores al ser

de menor orden que los generados por la sustentación de los mismos por su brazo al centro de gravedad.

Control y Manejo del Barco. Llegados a este punto se tienen las ecuaciones que gobiernan la navegación del barco (200) con el casco (201) fuera del agua y la vela (210) con catavientos paralelos (máxima eficiencia aerodinámica). Sin embargo, hay infinitas maneras de controlar el barco (200) con los grados de libertad que se tienen. Hay muchos parámetros sobre los que se puede actuar como posición del tripulante y todos los ángulos de vela (210) y apéndices. La infinidad de maneras de controlar el barco (200) son el gran valor de la presente invención, ya que el mismo barco (200) se puede navegar de muchas maneras.

En este punto se muestra un ejemplo de control del barco (200), con todas las leyes de control y se plantea posteriormente otros ejemplos también implementables de control. Lo que si se conserva en todos los modelos o realizaciones es que el barco (200) sea lo menos sensible al peso del tripulante y que no cambie h con cambios de rumbo o viento, ya que induciría velocidades verticales en los apéndices haciendo el barco (200) más difícil de controlar. Por otro lado la superficie del agua es irregular y no es una buena variable para el control; complica mucho el manejo del barco (200).

Para que el barco (200) sea poco sensible al peso, se impone una primera condición al control, y es que el ala central (206) es la "responsable" de sustentar el peso del tripulante y embarcación. Al estar el ala central (206) entre las dos quillas (203), su resistencia inducida se ve muy poco afectada por el ángulo de ataque, que a su vez es proporcional al peso del barco (200) y tripulante, a su superficie, su perfil y a la velocidad del barco (200). Así mismo se escogerán perfiles aerodinámicos donde la resistencia de fricción sea muy poco sensible al ángulo de ataque. Se puede por tanto decir que el peso influirá menos si es el ala central (206) quien compensa el mismo.

Como se ha comentado anteriormente, se tiene muchos grados de libertad a controlar por lo que se pueden implementar infinitos controles diferentes. Para poder implementar diferentes controles se tienen que imponer ciertas condiciones a las variables que se pueden modificar.

En el ejemplo que se presenta en este punto se supone que el tripulante no tiene que cambiar su posición dado un rumbo del barco ya suba o baje el viento, en otras palabras, el tripulante no tiene que hacer banda. Por otro lado, se busca un control que no requiera al patrón controlar ninguna variable que no controle en un barco tradicional. Por lo tanto, el barco tiene que "volar" estable con el patrón atendiendo únicamente al rumbo, a catavientos paralelos y a cambiar su peso con cambios de rumbo. El patrón solo maneja escota y caña, no tiene que

modificar ningún ángulo de apéndices; todos están relacionados con el timón y ángulo de botavara. En otras palabras, el timón y la botavara están conectados mecánicamente (o electrónicamente) a las superficies de control. Por tanto, el objetivo es obtener de las ecuaciones la relación entre los ángulos de timón y botavara con todos los ángulos de ataque de superficies sustentadoras, para todas las condiciones de navegación; esas son las leyes de control.

Resolviendo las últimas ecuaciones vistas, las ecuaciones estacionarias con las condiciones anteriores obtenemos:

Parámetros de entrada. Las ecuaciones estacionarias sirven para todo tipo de barco que se diseñe con el nuevo concepto que se muestra en esta invención, ya sea una vela ligera o un gran crucero. Se tiene por tanto que imponer ciertos parámetros de entrada para llegar al diseño que se desea; por ejemplo, el peso del tripulante, la eslora y manga (para poder transportarlo), el calado, la superficie velica, etc.

Para el ejemplo de realización se han fijado, de forma no limitativa, los siguientes parámetros de la siguiente tabla:

Variables		Valor
Viento + Parámetros Físicos	g =gravedad (m/s^2)	9,8
	γ_{min} = Mínimo ángulo de ceñida ($^\circ$)	35
	ρ_{air} =Densidad del aire (kg/m^3)	1
	ρ_{wat} =Densidad del agua (kg/m^3)	1027
Barco	h =Altura del C.G. sobre el agua (m)	0,80
	M_t =Masa del tripulante (kg)	65
	M_b =Masa del barco (kg)	50
	B_b =Manga del casco del barco (m)	1
	d_{Tmax} =Max dist. Del patron del C.G. (m)	1,50
	d_R =Distancia del timón al C.G. (m)	2,5
	d_{Kx} =Distancia de las quillas al C.G. (m)	0,5
	d_p = Distancia del mastil al C.G. (m)	2
Vela	α_s =Ángulo de ataque óptimo de la vela ($^\circ$)	10
	S_s =Superficie de la vela (m^2)	10
	d_{mast} =Altura del mastil (m)	5
	d_{sx} =Distancia x del C.P. de la vela a C.G. con $\alpha_b=0$ (m)	0,8
	d_{sy} =Distancia y del C.P. de la vela a C.G. con $\alpha_b=0$ (m)	0,05
	h_{sz} = Altura z del C.P. de la vela a C.G. con $\alpha_b=0$ (m)	2,5
	CL_{0s} = CL_0 de la vela	0
	$CL_{\alpha s}$ = CL_{α} de la vela	5
	CD_{0s} = CD_0 de la vela	0,005

5	Quilla	ck=Cuerda de la Quilla (m)	0,4
		ewk=Ratio de espesor del ala de la quilla	0,08
		ek= Ratio de espesor de la quilla	0,1
		CL _Q K=CL _Q de la Quilla	3
		Cd ₀ K=Cd ₀ de la Quilla	0,005
		cwkc=Cuerda del ala central (m)	0,4
		Cl ₀ wkc=Cl ₀ del ala central	0,2
		Cl _Q wkc=Cl _Q del ala central	5
		Cd ₀ wkc=Cd ₀ del ala central	0,002
		W _Q kmax=Max W de alas de la quilla	6,5
		Cl _Q wk=Cl _Q de alas de la quilla	5
		Cd ₀ wk=Cd ₀ de alas de la quilla	0,002
		cwka=Cuerda en raiz de alas de la quilla (m)	0,50
		bw=Envergadura total del ala (m)	4
15	Timón	cr=Cuerda del timón (m)	0,15
		Swr=Superficie del ala del timón (m ²)	0,20
		bwr=Envergadura del ala del timón (m)	1,20
		ewr=Ratio de espesor del ala del timón	0,08
		er=Ratio de espesor del timón	0,03
		Cl _α R=Cl _α de timón	3,5
		Cd ₀ R=Cd ₀ de timón	0,002
		Cl _α wr=Cl _α del ala del timón	4
		Cd ₀ wr=Cd ₀ del ala del timón	0,002

Variando la parametrización y volviendo a realizar los cálculos se podría observar que la velocidad del barco (200) no depende el peso del tripulante. Sin embargo, la velocidad más baja de viento real a la que el barco (200) puede navegar en todos los rumbos, sí que depende del peso. Cuanto más pesado es el tripulante, más velocidad necesita el barco (200) para despegar, pero también puede navegar con más viento. En un barco real (no modelo teórico) la velocidad si dependerá ligeramente del tripulante.

Como ya se ha resaltado anteriormente, la gran ventaja de esta invención es la versatilidad de controles que se pueden implementar con las superficies de control. Se podrían por ejemplo implementar tres modos de control diferentes en un mismo barco:

- Modo Regata. Sería un barco rápido, con gran sollicitación física y técnica del tripulante pero que no requiera grandes sesiones de entrenamiento para dominar el barco, como es el caso de los barcos sobre hidroalas actuales. Además, podría navegar con ola.
- Modo Crucero. El barco sería menos rápido que en el modo anterior pero no exigiría tanto del tripulante. Es el modo calculado como ejemplo en esta descripción. Podrían competir personas de diferentes edades y pesos en casi igualdad de condiciones. Esto último no es posible hoy en barcos de vela ligera.

- Modo Principiante. El barco sería muy fácil de llevar. Un principiante con los conceptos de navegación básicos podría llevar el barco sin problema. Sentado en el mismo sitio todo el rato. El barco le iría diciendo lo que tiene que hacer.

Aunque las leyes de control se pueden implementar en el barco de forma mecánica mediante
5 levas, cables y varillas, lo más versátil es montar un sistema electro mecánico.

Las ventajas principales de implementar un sistema electromecánico con actuadores y software y hardware adecuados embarcados son:

- Versatilidad. Se pueden implementar muchas leyes de control diferentes. El navegante elegiría cómo quiere navegar en cada momento. Incluso lo podría elegir con una aplicación
10 móvil.
- Trazabilidad. El sistema podría ir registrando todos los datos de navegación y trimado. Podría por tanto servir cada barco como un banco de ensayo que reportaría los datos al astillero u oficina de diseño para mejorar el diseño de próximos barcos. Se podría también hacer una web social de usuarios del barco donde compartir los datos de navegación.
- Actualizaciones. El barco sería como un móvil, el sistema de control se va actualizando a
15 lo largo de los años. Si se quiere, incluso implementar más leyes de control que te permitan navegar en otras condiciones.

Así mismo la sensorización del barco para implementar las leyes de control puede ser tan
20 diversa como las leyes de control que se quieran implementar. Lo más básico sería medir los ángulos de timón y botavara. Con eso ya se puede navegar, sin usar ningún *wand*. Esto no quita que se pueda poner un tubo de pitot o una corredera para medir la velocidad del barco y mediante esta variable controlar el ángulo de ataque del ala central. Lo que le daría mayor precisión y lo haría menos sensible a la caña. Así mismo se puede mejorar mucho el control con acelerómetros y sensores de inclinación.

25 La ausencia o no necesidad de un sensor de altura o *wand* para tener un adecuado control del barco es, por tanto, una de las principales ventajas de la presente invención respecto al estado del arte actual, ya que el control del barco no se basa en una medición de altura sobre la superficie libre. Esto es una novedad en tipos de barcos sobre hidroalas donde los alas van completamente sumergidas. El control se basa, por el contrario, en el acoplamiento de fuerzas
30 hidrodinámica y aerodinámica

Por tanto, como diferenciales el barco sobre hidroalas propuesto en esta invención presenta al menos estos:

- Accesibilidad. El nuevo concepto hace la vela sobre hidroala más segura y fácil de manejar, por lo que da acceso a mucha más gente a navegar sobre hidroalas.
- 5 • Versatilidad. El nuevo concepto se puede aplicar a todas las esloras y mangas de veleros; mono-cascos y multicascos. Además, permite implementar infinitos modos de control, por lo que se convierte en el velero sobre hidroala más versátil diseñado hasta ahora. Como ejemplo, en un barco de vela ligera implemento según esta invención pueden competir por igual un adulto de 95kg y baja forma física contra un niño.
- 10 • Coste. El coste sería más reducido que barcos sobre hidroalas de su misma categoría al poder fabricar barcos más pesados.

REIVINDICACIONES

1. Un barco (200) de vela que comprende:

- una estructura de casco (201),

- una plataforma (202) sobre dicho casco (201),

5 - un mastil (209) dispuesto para ubicar al menos una vela (210),

- al menos una vela (210) sujeta a dicho mastil (209),

- una caña (205) conectada a un timón (204) dispuesta para que un tripulante pueda manejar dicho timón (204),

- un timón (204),

10 - dos quillas (203) unidas al casco (201),

caracterizado porque además comprende al menos cuatro alas sustentadoras ubicadas de la siguiente forma:

- un ala central (206) dispuesta para modificar su ángulo de ataque situada entre las dos quillas (203) en el extremo inferior de las mismas.

15 - dos alas de quilla (207) dispuesta para modificar su ángulo de ataque y situadas a cada lado de las quillas (203) en el extremo inferior de las mismas.

- un ala de timón (208) dispuesta para modificar su ángulo de ataque situada en el extremo inferior del timón (204).

20 2. Un barco (200) de vela según la reivindicación 1 **caracterizado** porque dicha ala de central (206) tiene un perfil hidrodinámico antisimétrico.

3. Un barco (200) de vela según la reivindicación 1 **caracterizado** porque dicho barco (200) cuenta con medios mecánicos o electromecánicos para controlar el barco, donde al menos una parte de dichos medios implica poder actuar sobre el ángulo de ataque del ala central (206), de las alas de quilla (207) y del ala de timón (208).

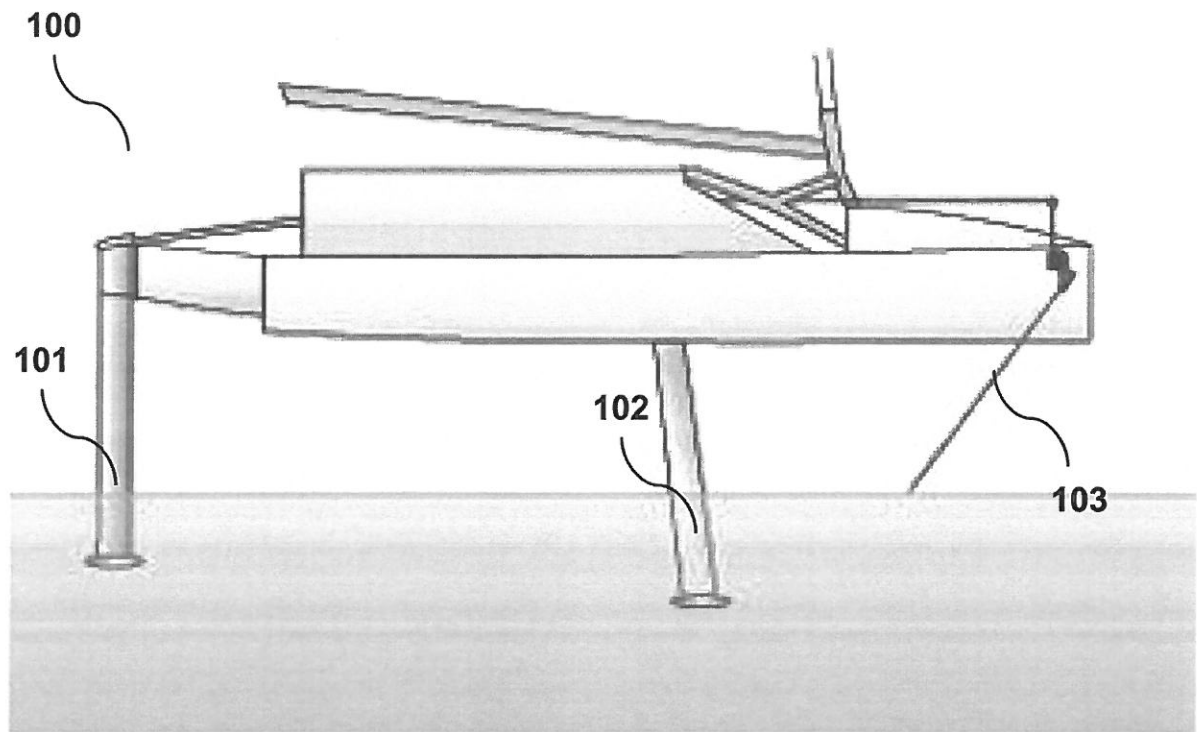


Figura 1

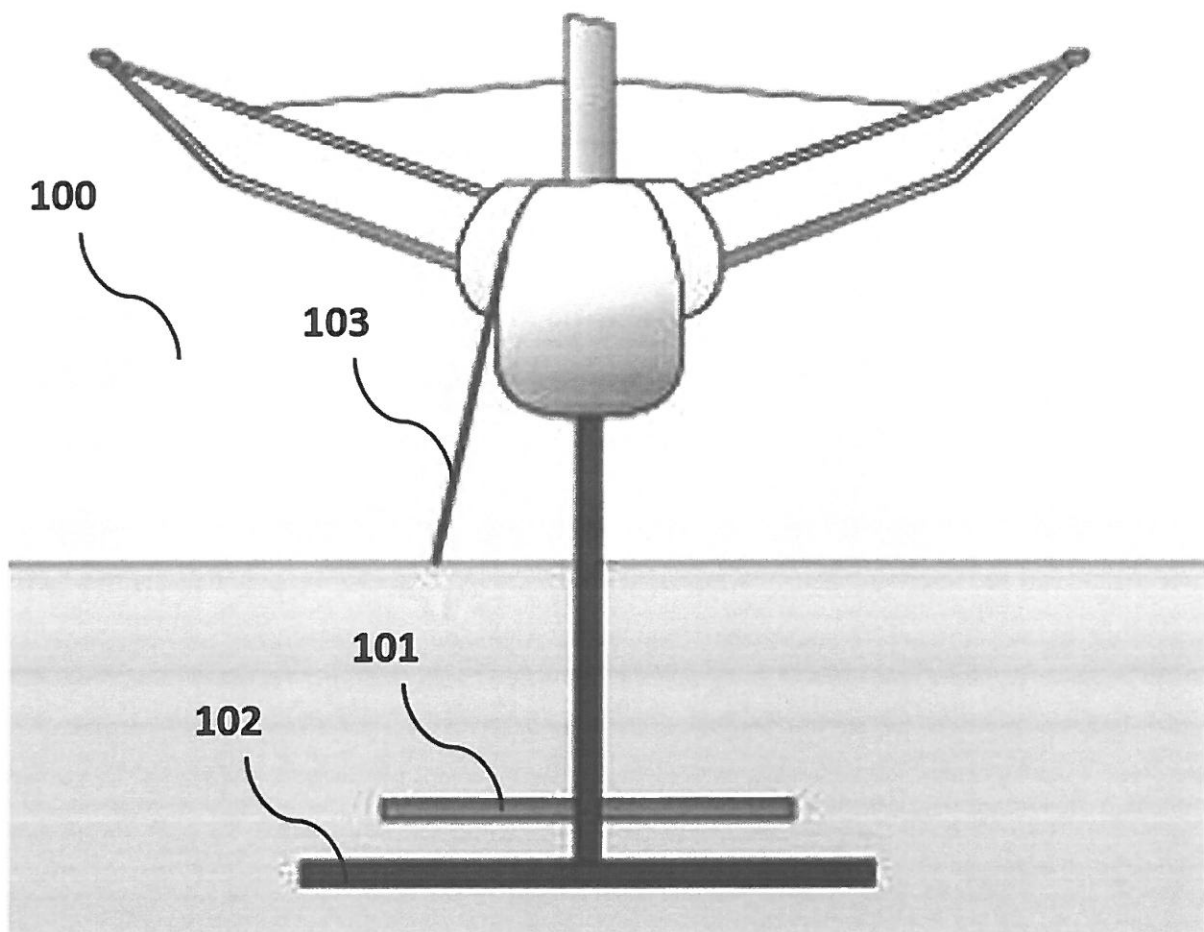


Figura 2

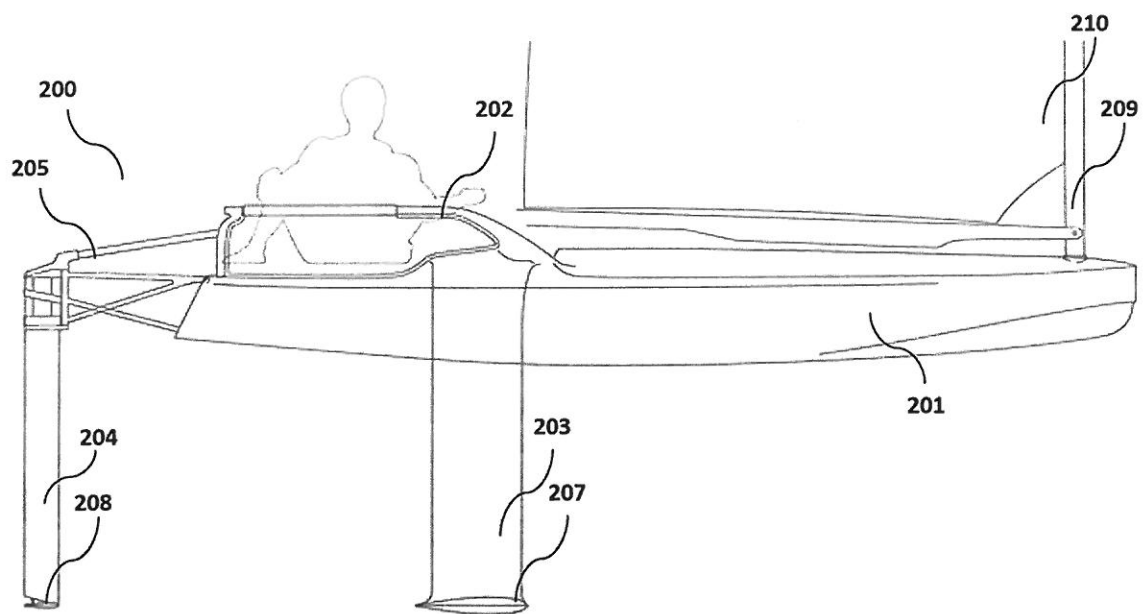


Figura 3

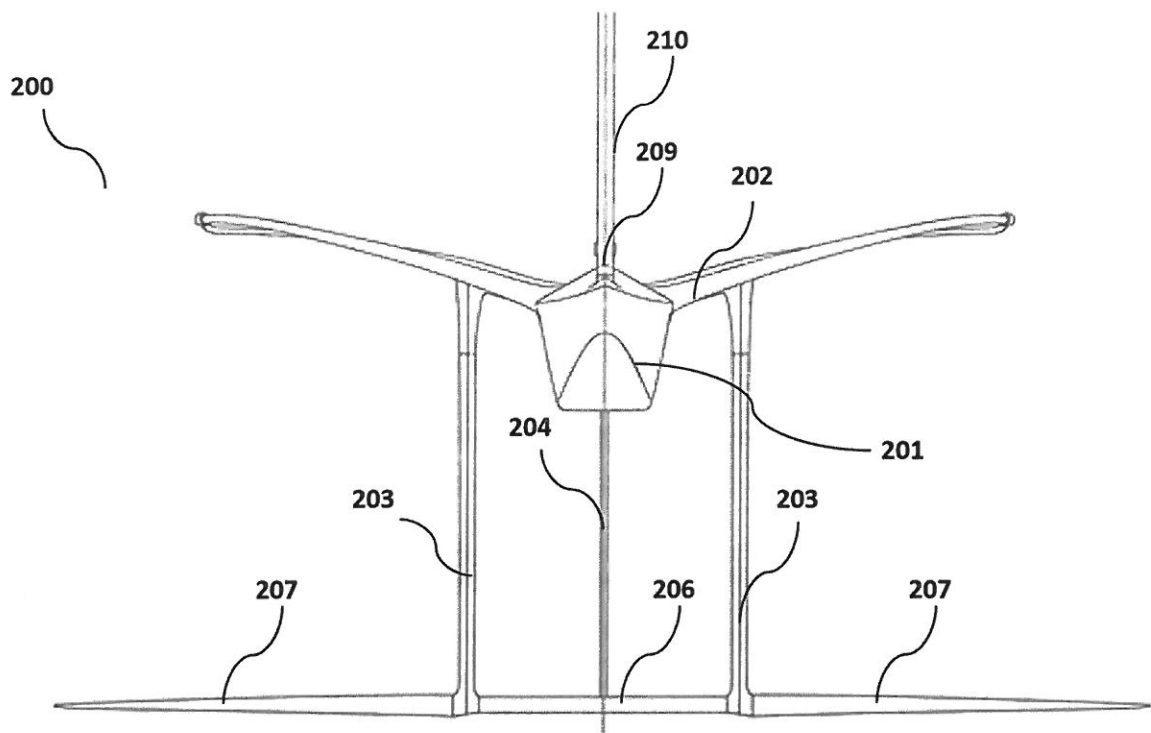


Figura 4

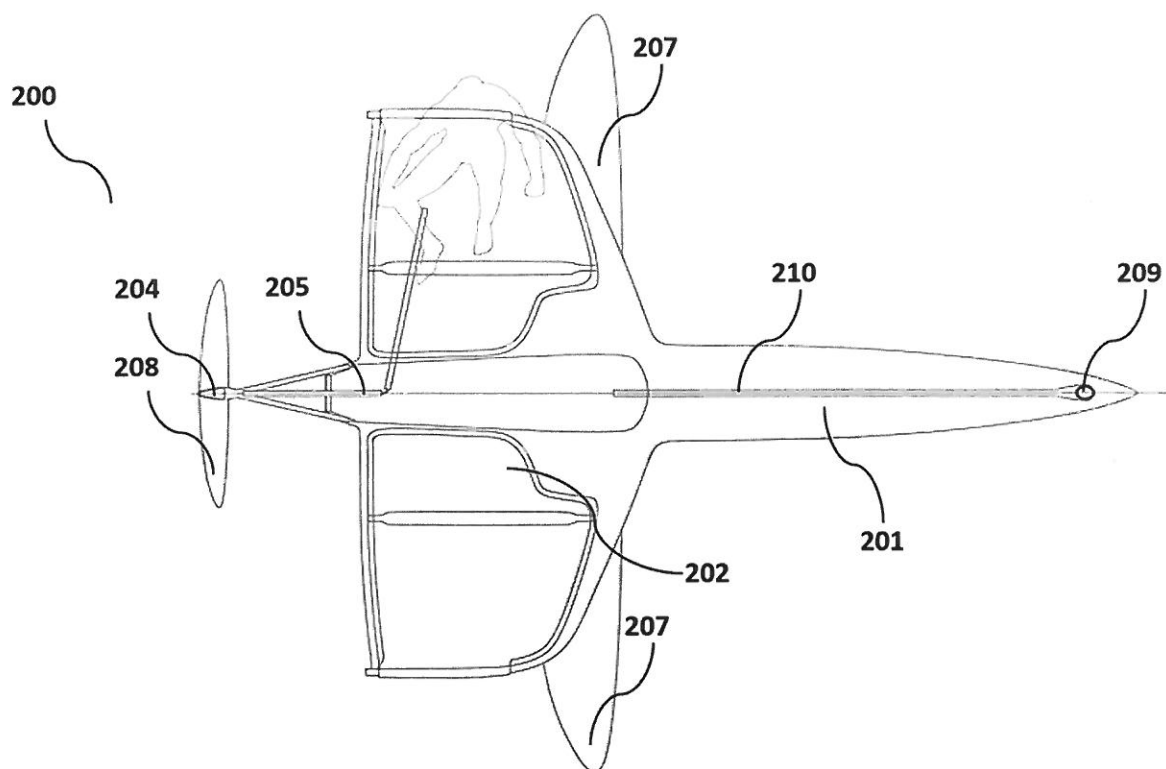


Figura 5

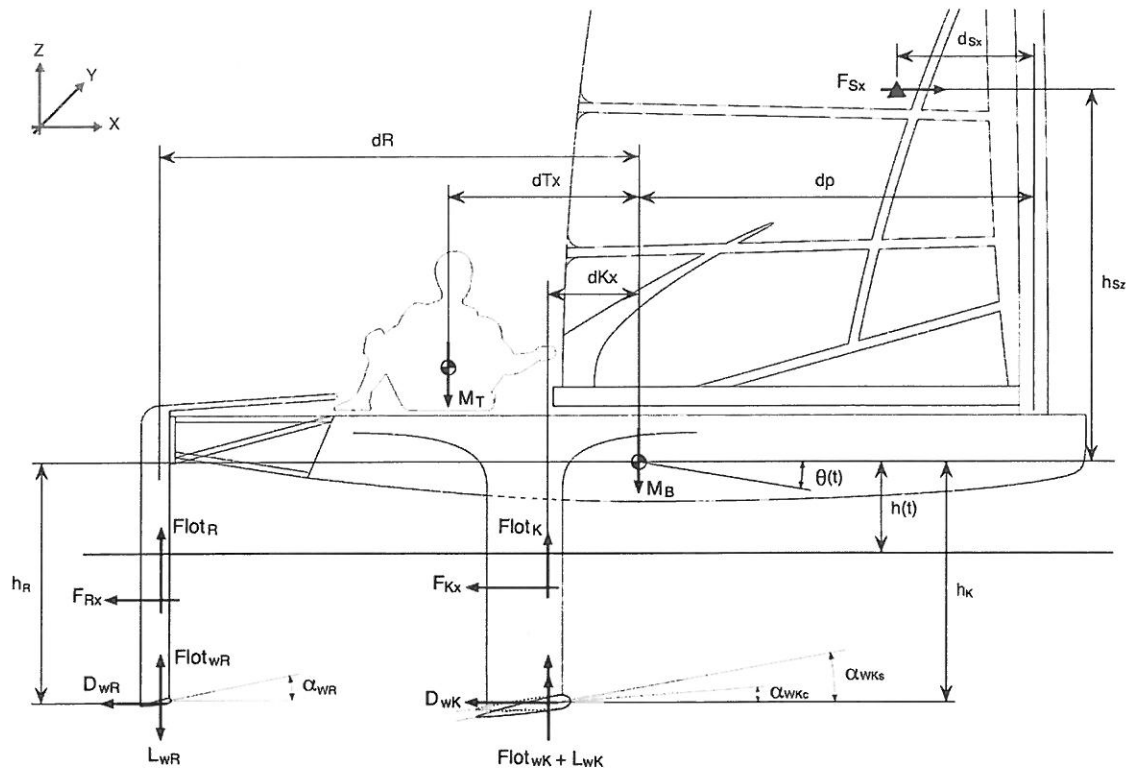


Figura 6

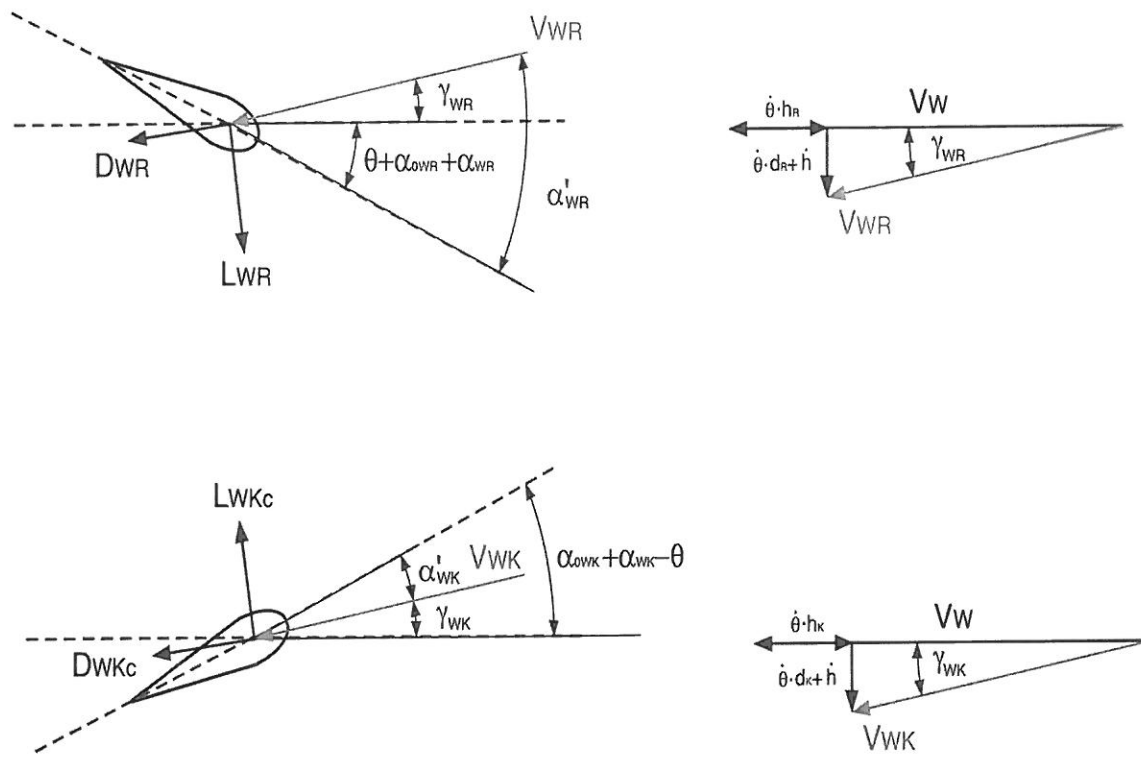


Figura 7

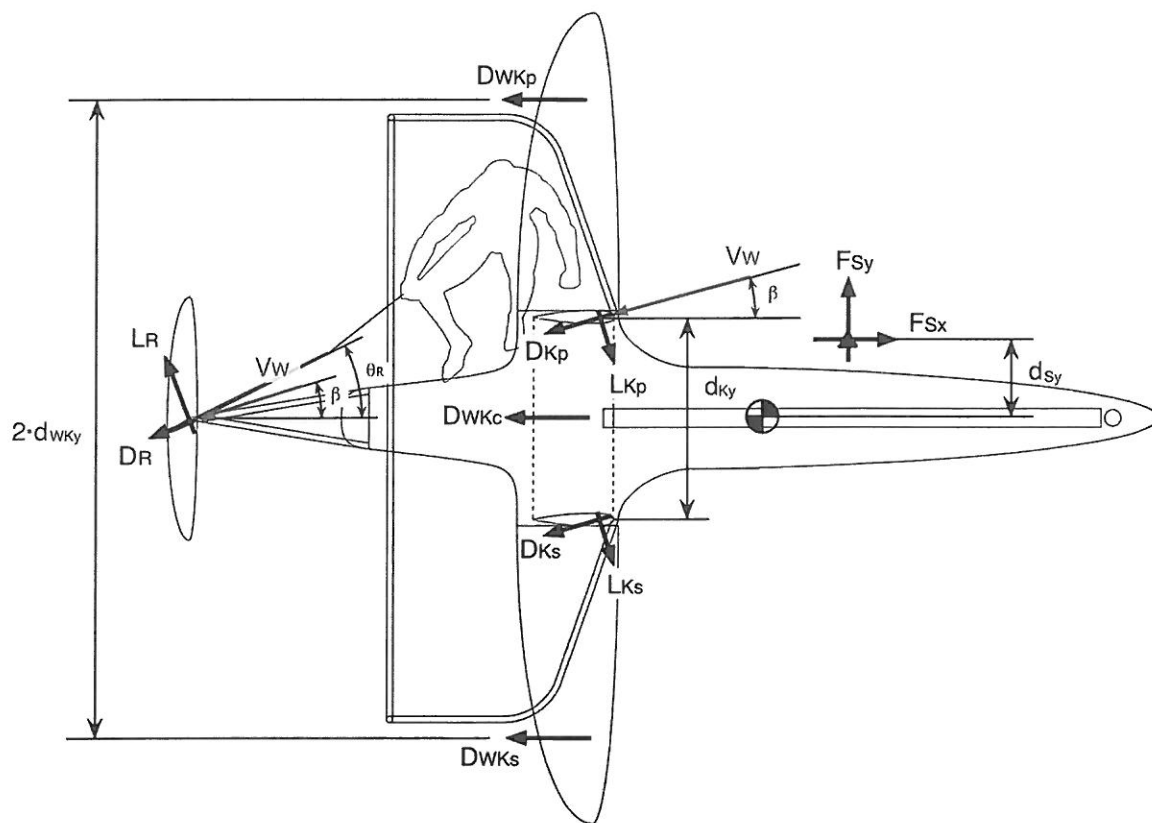


Figura 8

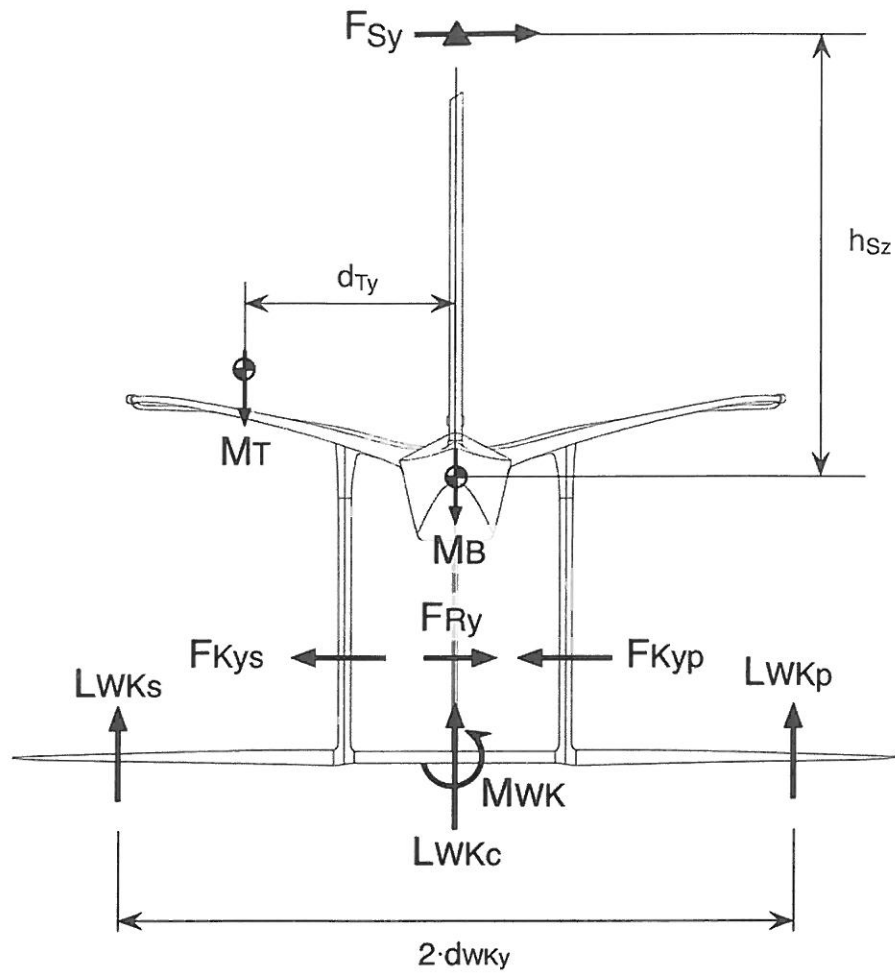


Figura 9

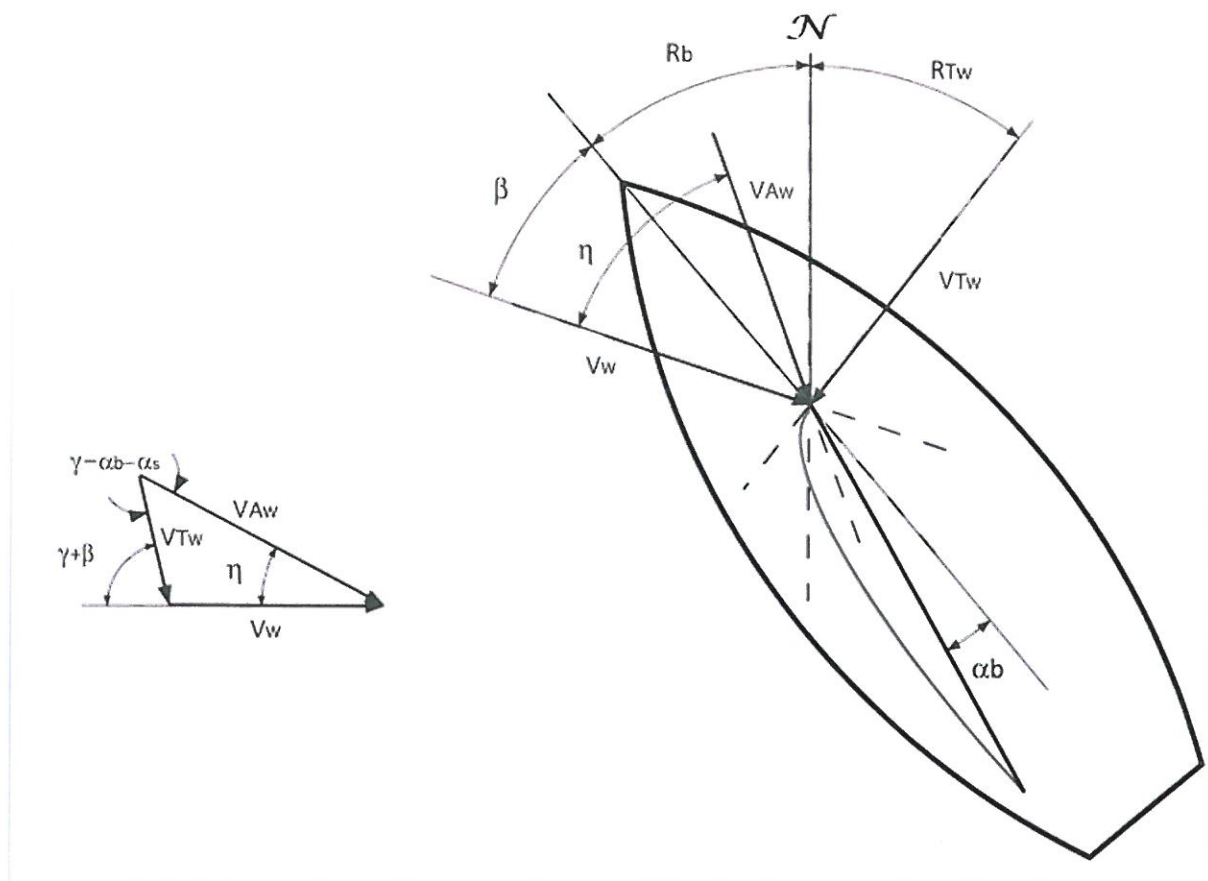


Figura 10

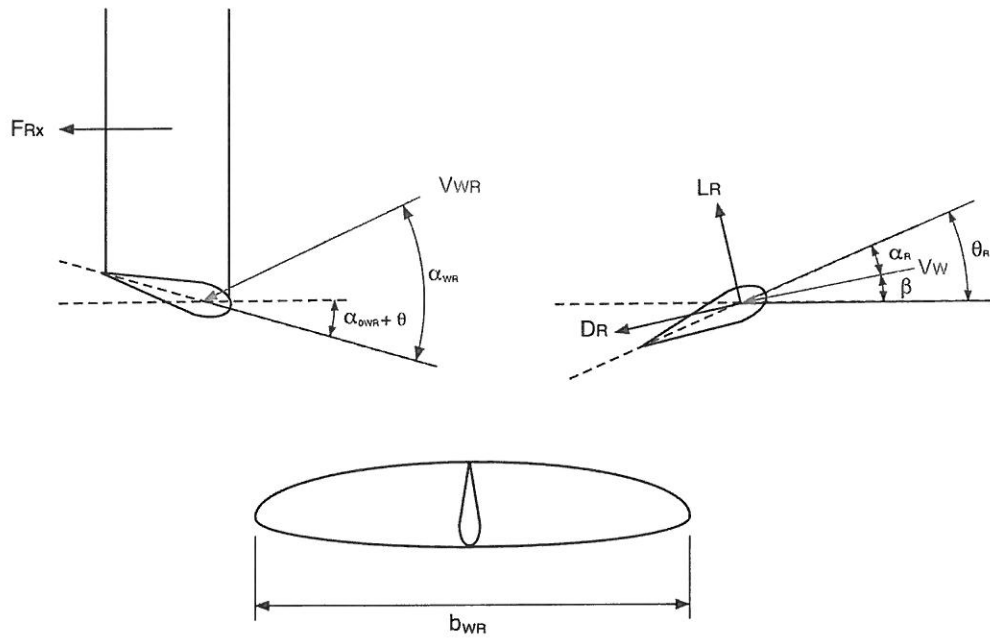


Figura 12

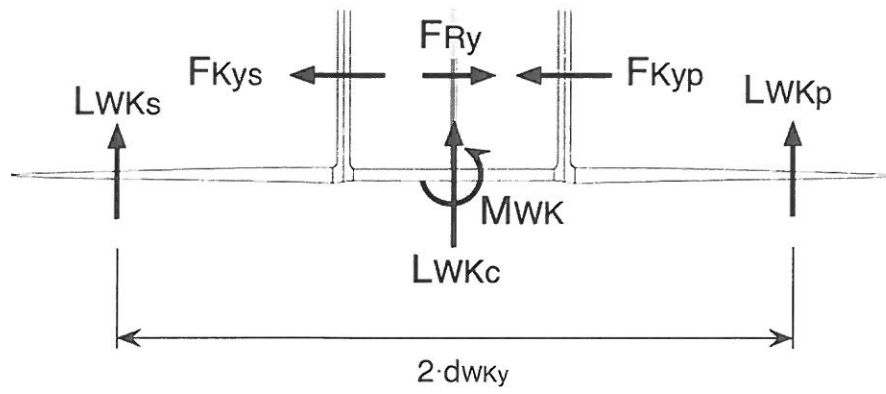


Figura 13

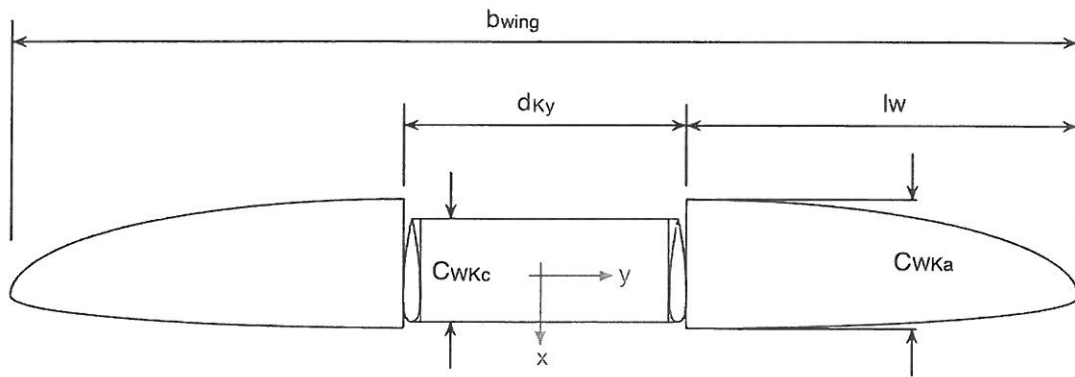


Figura 14



- ②① N.º solicitud: 201631592
②② Fecha de presentación de la solicitud: 15.12.2016
③② Fecha de prioridad:

INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑤① Int. Cl.: **B63B1/28** (2006.01)

DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	⑤⑥ Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	US 3373710 A (AMIRAM STEINBERG) 19/03/1968, Columna 2, líneas 19 - 54; figuras.	1-3
A	FR 1262043 A (ISSAIEWITCH REBIKOFF DIMITRI) 26/05/1961, figuras.	1-3
A	US 2703063 A (GILRUTH ROBERT R) 01/03/1955, columna 2, líneas 29 - 70; figuras.	1-3
A	US 6499419 B1 (BUSSARD ROBERT W) 31/12/2002, resumen; figuras.	1-3

Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones nº:

Fecha de realización del informe
07.09.2017

Examinador
D. Herrera Alados

Página
1/4

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

B63B

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

INVENES, EPODOC

Fecha de Realización de la Opinión Escrita: 07.09.2017

Declaración

Novedad (Art. 6.1 LP 11/1986)	Reivindicaciones 1-3	SI
	Reivindicaciones	NO
Actividad inventiva (Art. 8.1 LP11/1986)	Reivindicaciones 1-3	SI
	Reivindicaciones	NO

Se considera que la solicitud cumple con el requisito de aplicación industrial. Este requisito fue evaluado durante la fase de examen formal y técnico de la solicitud (Artículo 31.2 Ley 11/1986).

Base de la Opinión.-

La presente opinión se ha realizado sobre la base de la solicitud de patente tal y como se publica.

1. Documentos considerados.-

A continuación se relacionan los documentos pertenecientes al estado de la técnica tomados en consideración para la realización de esta opinión.

Documento	Número Publicación o Identificación	Fecha Publicación
D01	US 3373710 A (AMIRAM STEINBERG)	19.03.1968
D02	FR 1262043 A (ISSAIEWITCH REBIKOFF DIMITRI)	26.05.1961
D03	US 2703063 A (GILRUTH ROBERT R)	01.03.1955

2. Declaración motivada según los artículos 29.6 y 29.7 del Reglamento de ejecución de la Ley 11/1986, de 20 de marzo, de Patentes sobre la novedad y la actividad inventiva; citas y explicaciones en apoyo de esta declaración

El documento D01, considerado como el más cercano de la técnica, divulga una embarcación que dispone de un ala central, sujeta a un soporte central bajo el mástil, en cuyos extremos están dispuestos unos estabilizadores sujetos a su vez por dos soportes al casco. Además, dispone de una hidroala con sendos estabilizadores en sus extremos, sujeta a un soporte articulado al timón de la embarcación (ver columna 2, línea 19 - línea 54; figuras).

La diferencia entre el documento D01 y la invención es que las hidroalas divulgadas, si bien disponen de alerones, no disponen de medios para cambiar su ángulo de ataque y que además, son necesarios más soportes para la sujeción.

El documento D02 divulga una embarcación que dispone de un ala central fija y cuyos extremos pueden variar su ángulo de ataque y un timón de profundidad (ver figuras). Sin embargo, dicho documento no divulga un ala central ni un ala de timón que pueda cambiar su ángulo de ataque.

El documento D03 divulga un catamarán con un ala central capaz de subir y bajar y un ala de timón con un flap en la parte posterior (ver columna 2, línea 29 - línea 70; figuras). Sin embargo, dicho documento no divulga unos medios para variar el ángulo de ataque de las alas.

La invención reivindicada difiere principalmente de los documentos citados en que ninguno de los documentos muestra una configuración de hidroalas y soportes (quillas) y con capacidad de variar el ángulo de ataque.

Así la invención reivindicada implica un efecto mejorado comparado con el estado de la técnica. Además, no se considera obvio que un experto en la materia obtenga la invención a partir de los documentos mencionados anteriormente. Por consiguiente, la invención se considera que tiene novedad y actividad inventiva (Art. 6.1 y 8.1 de LP11/86).

Las reivindicaciones 2 y 3 son dependientes de la reivindicación 1 y por lo tanto, también cumplen con los requisitos de novedad y actividad inventiva.