

SISTEMA DE PROPULSIÓN PARA EMBARCACIONES

DESCRIPCIÓN

5 La presente invención se refiere a un sistema de propulsión para embarcaciones, en particular, a un sistema de propulsión para embarcaciones que comprende una o más velas de succión.

Antecedentes de la invención

10

Toda embarcación requiere generar potencia de avance para poder navegar. La forma más extendida de generar dicha potencia es mediante el uso de sistemas que utilizan hidrocarburos como fuente de energía. Esto conlleva dos problemáticas: los costes asociados al consumo de combustible y las emisiones contaminantes derivadas de su uso. Dicha problemática es de especial relevancia en los buques mercantes vinculados al transporte marítimo, debido a su gran volumen.

15

Existen otras tecnologías que aprovechan fuentes de energía alternativas que permiten generar potencia de avance, pudiendo complementar o sustituir los métodos tradicionales basados en hidrocarburos. Ello permite reducir el consumo de combustible de las embarcaciones y, si la fuente de energía alternativa es además renovable, reducir las emisiones contaminantes. Una de estas fuentes de energía es el viento.

20

25

Los medios auxiliares de propulsión eólica de una embarcación se conocen como WASP ("Wind Assisted Ship Propulsion") por sus siglas en inglés. Existen diversos sistemas que pueden ser considerados como tales (por ejemplo, vela, "kite"/cometa, rotor "flettner", vela de succión...).

30

El viento al incidir sobre estos WAPS, genera una fuerza perpendicular a la dirección del viento, llamada sustentación (L , *Lift*). Además, se genera una resistencia aerodinámica (D , *Drag*). Generalmente estas fuerzas se expresan de forma adimensional a través de los coeficientes de sustentación y resistencia:

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

En un buque, el viento aparente puede provenir desde cualquier dirección. La dirección del viento aparente respecto del rumbo de la embarcación (β) determina el aprovechamiento de la fuerza propulsora del WAPS mediante la siguiente ecuación:

$$C_R = C_L \sin \beta - C_D \cos \beta.$$

El C_R se conoce como coeficiente de fuerza propulsora (*driving force coefficient*). Se observa que los coeficientes de sustentación y resistencia contribuyen a través de los valores de la función seno y coseno de diferente forma para cada rumbo. Las actuaciones de un WAPS van relacionadas, por tanto, con sus características aerodinámicas, que se expresan como dichos coeficientes de sustentación y resistencia. Se observa que existe una zona muerta o no aprovechable que comprende un arco de círculo alrededor de la proa de unos 15 grados. El tamaño de dicha zona no aprovechable depende, entre otras cosas, de la relación entre coeficientes de sustentación y resistencia.

La presente invención se refiere a la mejora de las actuaciones de un sistema de propulsión compuesto de un perfil espeso con alerón o aleta posterior (conocido como "flap") y que incluye un sistema de aspiración que permite la succión de la capa límite del fluido alrededor de la vela, de ahora en adelante 'vela de succión' o, simplemente, 'vela'. Dicho sistema de propulsión tiene su primer antecedente en el *Wind Motor* (US2713392) y más concretamente en la *Turbovoile* o *Turbosail* (US4630997A/ FR2495242A1). Estos sistemas pueden emplearse como sistemas auxiliares de propulsión, o si el tipo de embarcación lo permite como sistemas primarios de propulsión. La utilidad del sistema no se restringe a la propulsión de embarcaciones, sino que puede ser utilizada como parte del perfil de un aerogenerador para la producción de energía o cualquier otra aplicación que requiera de coeficiente de sustentación muy grande.

La principal diferencia de la vela de succión respecto a una vela tradicional o un perfil alar pasivo es que, gracias al sistema de aspiración que permite la succión de la capa límite del fluido, se consigue controlar y retardar la entrada en pérdida del

perfil, logrando un coeficiente de sustentación mucho mayor. Como las fuerzas aerodinámicas son proporcionales a la superficie de la vela, un coeficiente de sustentación elevado permite reducir el área requerida para la obtención de unas mismas fuerzas globales. Como resultado se tiene un sistema mucho más compacto o, alternativamente, se pueden aumentar en número de velas sobre cubierta en el caso de su aplicación a buques. Además, resulta en un dispositivo de peso y coste potencialmente inferiores, con un menor impacto en los requisitos de visibilidad de un buque.

La vela de succión, en funcionamiento, es similar al ala de un avión o a las velas de una embarcación a vela tradicional. El viento, al incidir sobre la vela, genera sustentación (*L Lift*) y resistencia aerodinámica (*D Drag*), generando, por tanto, una cierta fuerza propulsora.

El control de dichas fuerzas aerodinámicas se realiza mediante la orientación de la vela respecto del viento incidente (llamado ángulo de ataque) como lo haría una vela tradicional, además, mediante el control de la aspiración de la capa límite.

El sistema produce rendimientos positivos si la potencia neta desarrollada por la vela es positiva. En ello influye que las fuerzas aerodinámicas generen una potencia de propulsión positiva mayor a la potencia consumida por el sistema de aspiración. Por analogía se puede definir un coeficiente de aspiración en base a la potencia consumida:

$$C_a = \frac{P_{consumida}}{1/2 \rho V^3 S}$$

La potencia neta propulsiva es el producto de la velocidad de la embarcación (V_s) por la fuerza propulsora. La fuerza propulsora depende de la velocidad del viento al cuadrado (V^2), mientras que la potencia consumida depende de la velocidad del viento al cubo (V^3). La potencia neta se puede expresar como:

$$P_{net} = 1/2 \rho V^2 S (V_s \cdot C_R - V \cdot C_a)$$

En el rango de intensidades de viento aprovechables, la velocidad de la embarcación es típicamente inferior a la velocidad del viento aparente; para casi la totalidad de embarcaciones a motor y vela. De la anterior ecuación se deduce que

para obtener un rendimiento positivo de la propulsión debe cumplirse:

$$C_R > \frac{V}{V_S} C_a$$

5 Esta última ecuación revela el efecto multiplicador sobre el coeficiente de aspiración de la relación de velocidades entre la velocidad aparente y la de la embarcación.

En el estado de la técnica actual, tal cual esta descrito en las patentes mencionadas, la succión del flujo se realiza a través de un área de succión. La succión se realiza a través de uno o varios ventiladores situados en el interior del
10 cuerpo de la vela, de sección tubular y gran espesor, que generan una depresión (o aspiración) uniforme. Este cuerpo sirve a los efectos de cámara de succión, a través de la cual se succiona el fluido. Es decir que la presión es uniforme a lo largo de todo el cuerpo. Se menciona la posibilidad de poder variar el tamaño de dicha área de succión, así como la permeabilidad de dichas áreas de succión con la
15 altura de la vela con el objeto de adaptarlo al gradiente de velocidad del viento con la altura.

Descripción de la invención

20 Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es proporcionar un sistema de propulsión para embarcaciones que permita reducir su consumo de combustible y emisiones contaminantes utilizando una versión mejorada de velas de succión.

El objetivo de la presente invención es la mejora de la potencia neta a través de,
25 por un lado, la disminución del coeficiente de aspiración (C_a), y, por otro, en el aumento de la sustentación y disminución de la resistencia aerodinámica para incrementar el coeficiente de fuerza propulsora (C_R), al realizar un control más preciso de la capa límite y de su aspiración.

30 El objeto de la invención tiene como finalidad reducir el gasto de aspiración (Q) y el salto de presiones (ΔP) requerido. Una forma equivalente de expresar el coeficiente de aspiración es haciendo uso de estas dos variables y la eficiencia del compresor o ventilador (η_{fan}):

$$C_a = Q \cdot \Delta P / \eta_{fan}$$

De esta manera, reduciendo el gasto de aspiración al mínimo necesario y configurando el sistema de aspiración de tal forma que se reduzca el salto de presiones, el coeficiente de aspiración puede reducirse; o lo que es lo mismo la potencia consumida.

El objetivo de la presente invención es mejorar la eficiencia las velas de succión incrementando la potencia propulsiva neta entregada, respecto al estado del arte actual, mediante un diseño optimizado del sistema de aspiración que permite la succión de la capa límite del fluido alrededor de la vela.

Este diseño optimizado permite realizar un control más preciso de la capa límite y de su aspiración con lo que se consigue, por un lado, disminuir el coeficiente de aspiración (C_a), y, por otro, aumentar el coeficiente de sustentación (C_L) y disminuir el coeficiente de resistencia (C_D) aerodinámica para incrementar así el coeficiente de fuerza propulsora (C_R).

La reducción del gasto de aspiración se consigue mediante succión selectiva del flujo en el lugar adecuado. El flujo alrededor del perfil debe de aspirarse antes de que este se desprenda de la superficie. La succión se realiza a través de una superficie porosa que puede tomar diversas formas: hileras de orificios, ranuras, canales o cualquier otra forma que permita el paso del fluido del exterior al interior de la vela mediante aspiración.

La superficie de aspiración no es homogénea, sino que se adecua a las peculiaridades del flujo en cada punto de la superficie. En el inicio de la aspiración, la presión en el extradós del perfil es la mínima sobre la superficie de aspiración. Según el flujo progresa aguas abajo en dirección a la aleta, la presión aumenta. De esta forma, ajustando la presión de aspiración a cada punto del perfil, se consigue que el salto de presiones total en cada punto sea mínimo (ΔP). Cuando esto se combina con la adecuada porosidad de la superficie se minimiza el gasto de aspiración (Q).

El sistema que permite la aspiración selectiva del flujo puede considerarse como un

sistema neumático. La aspiración se realiza a través de cajeados que comunican con el interior de la vela, a través de los cuales hay una caída de presión intermedia. El cajeadado consiste en realizar una cámara intermedia alrededor de la zona de aspiración, de tal forma que se crea una cámara de aspiración intermedia.

5 Esta solución está indicada en el caso de la utilización de uno o más ventiladores que presurizan la cámara principal, a través de la cual se succiona el fluido de la corriente exterior.

Otra posibilidad consiste en el empleo de ventiladores o compresores dedicados para cada posición de aspiración. De esta forma cada ventilador, mediante un sistema de tuberías succiona el flujo.

10

La aspiración puede extenderse más allá del cuerpo de la vela, mediante la integración de ventiladores dedicados en la aleta. Esto permite la succión de flujo en la aleta, que sustancialmente reduce la resistencia de base y aumenta el coeficiente de sustentación. Los costes energéticos de realizar la aspiración en la aleta son mínimos pues la presión en esa zona es casi la presión ambiente y la potencia requerida para aspirar es mínima.

15

Como la aleta es móvil, la succión la aleta puede integrarse en el cuerpo de la vela de tal forma que, en cada posición de trabajo, la aleta se conecta al cuerpo de la vela que le trasfiere capacidad de succión mediante las conexiones o tuberías correspondientes.

20

El sistema de propulsión para embarcaciones de acuerdo con la presente invención se define en la reivindicación 1, y comprende una vela de succión, comprendiendo dicha vela de succión un sistema de succión y una unidad de transmisión para accionar la rotación de dicha vela de succión, en el que la vela de succión comprende al menos dos zonas de succión dispuestas simétricas en dos lados de la vela de succión, comprendiendo dichas zonas de succión medios de succión variable.

25

30

De acuerdo con una realización, los medios de succión variable son orificios de las zonas de succión de dimensiones diferentes entre sí, o dicho de otro modo, con

porosidad diferente.

5 De acuerdo con una realización, los medios de succión variable comprenden un cajeado en al menos una de las zonas de succión, que divide cada zona de succión en secciones.

Además, si se desea, al menos una de las zonas de succión puede estar dispuesta en la aleta.

10 De acuerdo con una realización, la o cada zona de succión dispuesta en la aleta comprende un cajeado y/o una porosidad variable.

15 El sistema de propulsión para embarcaciones de acuerdo con la presente invención también puede comprender más de un sistema de succión asociado con diferentes zonas de succión.

Por ejemplo, cada cajeado puede estar asociado con un sistema de succión.

20 De acuerdo con una realización, la zona de succión situada en la aleta comprende su sistema de succión situado también en la aleta.

El sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención permite proporcionar, entre otras las siguientes ventajas:

25 - Mejor control de la succión de la capa límite (porosidad variable, cajeados, múltiples sistemas de succión), minimizando la sobre-succión innecesaria y, con ello, reduciendo el consumo en potencia de succión necesario. Ello hace que la vela sea más eficiente, al generar mayor potencia propulsiva para el buque y, al mismo tiempo, reduciendo el consumo de potencia de la vela

30 - Extensión de la succión y su control variable a la aleta permite retrasar aún más el desprendimiento del flujo al incrementar el ángulo de ataque y la asimetría, permitiendo incrementar así los coeficientes aerodinámicos y mejorando las prestaciones de la vela.

Breve descripción de los dibujos

5 Para mejor comprensión de cuanto se ha expuesto, se acompañan unos dibujos en los que, esquemáticamente y tan sólo a título de ejemplo no limitativo, se representa un caso práctico de realización.

La figura 1 es una vista en alzado lateral de una embarcación que incorpora el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención;

10 La figura 2 es una vista en alzado lateral de una vela de succión utilizada en el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención;

La figura 3 es una vista en perspectiva vista desde abajo de una vela de succión utilizada en el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención;

15 La figura 4 es una vista en planta superior de una vela de succión utilizada en el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención, en la que se ve el sistema de succión;

20 La figura 5 es una vista en sección de una vela de succión utilizada en el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención, en la que se ve la unidad de transmisión y la unidad de potencia;

25 La figura 6 es una vista de la parte inferior de una vela de succión que se utiliza en el sistema de propulsión de la presente invención, de acuerdo con una realización alternativa, en la que la vela de succión es basculante respecto a un eje substancialmente horizontal;

30 Las figuras 7 a 14 son vistas en sección transversal de diferentes realizaciones de la vela de succión.

En estas figuras se representa, a modo de simplificación, únicamente las zonas de succión de uno de los dos lados del cuerpo de la vela y de la aleta. Se debe entender que dichas zonas de succión serán simétricas a ambos lados del cuerpo y

de la aleta.

Descripción de realizaciones preferidas

5 En la figura 1 se muestra una embarcación 2 que comprende el sistema de propulsión de acuerdo con la presente invención.

10 El sistema de propulsión comprende al menos una vela de succión 3 que incluye un recubrimiento exterior 4, que puede ser rígido o flexible, y dicha vela de succión 3 puede rotar alrededor de su eje longitudinal 5.

15 La vela de succión 3 también comprende al menos una aleta 6 capaz de operar rotando entre distintas posiciones y al menos dos zonas de succión 7 iguales y simétricas provistas de múltiples orificios, con las zonas de succión 7 comprendiendo medios de succión variables.

20 De acuerdo con una realización, la succión variable se realiza variando las dimensiones de los orificios entre sí en cada zona de succión 7, o dicho de otro modo, variando la porosidad de la zona de succión a lo largo de ésta.

25 La vela de succión 3 también comprende un sistema de succión 10, que puede ser de tipo ventilador o equivalente para succionar parte del flujo de aire del extradós del perfil, y al menos una unidad de transmisión 8, que puede ser eléctrica o hidráulica para rotar la vela de succión 3 dotada de una unidad de potencia eléctrica o hidráulica 18, que acciona dicha unidad de transmisión 8.

30 Además, la vela de succión 3 está conectada a la cubierta de la embarcación 2 usando una estructura de soporte 17, que puede comprender un mecanismo de engranajes o una estructura con rodamientos, donde la estructura de soporte 17 es capaz de soportar el peso total y restringir el movimiento lateral de la vela de succión 3.

En la figura 6 se ha representado una realización alternativa en la que la parte inferior de la vela de succión 3 comprende un soporte basculante 19, que permite que la vela de succión se pueda inclinar respecto a la vertical, es decir, es

basculante respecto a un eje substancialmente horizontal, accionando un motor 20 o uno o más cilindros.

5 En las figuras 7 a 14 se muestran diferentes realizaciones de la vela de succión, que difieren entre sí, por la disposición de las zonas de succión y/o por los medios utilizados para lograr el control variable de la succión. En estas figuras se representa, a modo de simplificación, únicamente las zonas de succión de uno de los dos lados del cuerpo de la vela y de la aleta. Se debe entender que dichas zonas de succión serán simétricas a ambos lados del cuerpo y de la aleta.

10

En la figura 7 se muestra una configuración que comprende una zona única y global de succión 7, a lo largo de la cual se ajusta la porosidad de la zona para ajustar/adaptar la succión a medida que se avanza por el extradós, siendo los orificios de las zonas de succión 7 de dimensiones diferentes entre sí y/o porosidad variable.

15

Con la succión se crea una presión interior P_{int} distinta de la presión exterior P_{ext} , indicando las flechas el sentido del flujo de aire absorbido de la capa límite (capa de aire muy cercana a la superficie de la vela).

20

En la figura 8 se muestra una realización que comprende una pluralidad de zonas de succión 7, es decir, tramos provistos de orificios separados entre sí, lo que permite tener un mayor control sobre la succión.

25

Debe indicarse que estas zonas de succión 7 se extienden en toda la altura de la vela.

30

En la figura 9 se muestra una realización que comprende una única zona de succión 7, pero dividida en diferentes cajeados 19, que forman los medios de succión variable y que pueden ser distintos, por ejemplo, con permeabilidades (tamaño y número de orificios) distintos. De esta manera, aspirando de forma central, se generan niveles (o presiones) de aspiración distintos en cada sección 19 y tener así un mayor control de la succión.

En la figura 10 se muestra una realización que comprende diferentes zonas de succión 7 y cajeados 19, estando las zonas de succión 7 separadas entre sí, permitiendo un mejor control de cada zona.

5 En la figura 11 se muestra otra realización, que es muy similar a la anterior, con la diferencia de que cada cajeadado 19 puede aspirarse de forma independiente con sistemas de succión 10 independientes.

10 En la realización mostrada en la figura 12, la aleta 6 comprende una zona de succión 7, que también se extiende en toda la vertical.

Debe indicarse que la zona de succión 7 en la aleta 6 puede incluirse en cualquiera de las realizaciones descritas en el presente documento, y que la aleta 6 puede comprender dos o más zonas de succión 7.

15 La realización de la figura 13 es una variación de la realización anterior, con la diferencia de que se incluye un sistema de succión 10 en el interior de la aleta 6 para la zona de succión 7 de la propia aleta 6.

20 Finalmente, en la realización de la figura 14, la zona de succión 7 de la aleta 6 también puede comprender uno o más cajeados 19, cada uno asociado a un sistema de succión 10.

Debe indicarse que puede haber medios de sellado de un lado de la aleta 6, mientras el otro está operativo, por ejemplo.

25 También debe indicarse que, para todas las realizaciones anteriores, las velas de succión 3 son simétricas, es decir, cuando se ha descrito que hay una o varias zonas de succión 7 en un lado, también están en el otro, no solo en un lado.

30 A pesar de que se ha hecho referencia a una realización concreta de la invención, es evidente para un experto en la materia que el sistema de propulsión descrito es susceptible de numerosas variaciones y modificaciones, y que todos los detalles mencionados pueden ser sustituidos por otros técnicamente equivalentes, sin apartarse del ámbito de protección definido por las reivindicaciones adjuntas.

35