

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 905 670**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2014** **E 19188811 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.12.2021** **EP 3597902**

54 Título: **Generador de vórtices para una turbina de viento**

30 Prioridad:

02.09.2013 NL 1040365

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

11.04.2022

73 Titular/es:

WOBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Borsigstrasse 26
26607 Aurich, DE

72 Inventor/es:

CORTEN, GUSTAVE PAUL

74 Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 905 670 T3

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

DESCRIPCIÓN

Generador de vórtices para una turbina de viento

- 5 La invención se refiere a perfiles aerodinámicos de aeroturbinas, aviones o helicópteros, destinados a la generación de sustentación aerodinámica.

Tanto las aeroturbinas como los aviones y los helicópteros utilizan perfiles aerodinámicos que deben tener un alto coeficiente de sustentación y un buen rendimiento de la elevación/resistencia aerodinámica. Es un estado de la técnica aplicar generadores de vórtices a los perfiles aerodinámicos existentes, ya que se sabe que esto aumentará el coeficiente de sustentación máxima. Sin embargo, incluso después de muchos esfuerzos de investigación, el uso de generadores de vórtices no ha mostrado un desarrollo innovador dado que está asociado con los siguientes problemas.

15 El rendimiento de un perfil aerodinámico puede expresarse mediante el coeficiente de sustentación y la relación entre sustentación y resistencia aerodinámica. Los valores requeridos exactos dependen de la aplicación técnica del perfil aerodinámico, sin embargo, en general, cuando se considera la aplicación de generadores de vórtices, el diseñador tiene un perfil aerodinámico sin generadores de vórtices que funciona bien hasta cierto ángulo de ataque (α_{NV9}), y quiere extender el intervalo de buen rendimiento más allá de α_{NV9} usando generadores de vórtices. Sin embargo, esto puede realizarse con los generadores de vórtices clásicos para ángulos de ataque por debajo de α_{NV9} , la relación entre sustentación y resistencia aerodinámica disminuye sustancialmente. Esto normalmente no es aceptable. Por ejemplo, en el documento WO90/11929 de Wheeler se propone una gran cantidad de geometrías. Esta publicación no divulga qué geometría daría un rendimiento aceptable. Se ha demostrado que las geometrías divulgadas por Wheeler en las figuras 1 y 2 y 4 no proporcionaban un rendimiento de perfil aerodinámico que fuera mejor que el de los perfiles aerodinámicos sin generadores de vórtices. El documento WO00/15961 también describe varias geometrías que se muestran que no dan un rendimiento aceptable.

Un segundo problema es que la fijación de los generadores de vórtices a menudo falla. Los generadores de vórtices normalmente existen bancadas con una o más aletas que están pegadas en la superficie del perfil aerodinámico. En la práctica de las aeroturbinas, los generadores de vórtices se aflojan en semanas o unos pocos años. Se ha intentado aumentar el tamaño de la base de modo que se aumenta el área de fijación. Esta idea no dio una Aero turbinas mejor fijación. Por ejemplo, en el documento EP 2031243A1 de LM, se propuso una solución radical hundiendo los generadores de vórtices en la superficie del perfil aerodinámico. Sin embargo, obsérvese que los perfiles aerodinámicos pasan por momentos de flexión elevados, lo que significa que la superficie experimenta una gran tensión y, por lo tanto, una discontinuidad en la superficie como la propuesta de LM es inaceptable. Otro intento fue producir tiras con múltiples pares de generadores de vórtices de modo que se pudieran aplicar muchas aletas vg rápidamente y la superficie completa de tiras se fijó con adhesivo. Se han aplicado tiras de plástico y de aluminio en muchas aspas del rotor, pero se aflojaron en unas pocas semanas o años. Además, la fijación de las tiras con adhesivo a base de silicona de alta calidad no mejoró la situación.

40 Un tercer problema es que el generador de vórtices debe ser resistente a todas las condiciones climáticas posibles, lo que también establece las demandas en la forma. Por ejemplo, se requiere un espesor de 2-5 mm o más, en particular 3-4 mm, para que los plásticos estándar tengan resistencia a los rayos UV a largo plazo. Dicho espesor hace que el generador de vórtices se vuelva rígido de modo que no pueda adaptarse a la forma de la superficie del perfil aerodinámico. Además, dicho espesor para la bancada del generador de vórtices significa que el flujo tiene que subir y bajar la bancada por lo menos en 2-5 mm y significa que las aletas del generador de vórtices deben ser relativamente gruesas, lo que conlleva un mal rendimiento aerodinámico. Otro intento de resolver este problema fue colocar las tiras vg en un rebaje en la superficie de las aspas. El objetivo era reducir la resistencia aerodinámica causada por las tiras cuando se colocaban encima de la superficie. Sin embargo, en la práctica no era viable producir el rebaje y las tiras vg con exactitud de modo que la superficie de las aspas era lisa con las tiras vg colocadas en el rebaje. Además, estas 50 vg se aflojaron rápidamente y el rebaje en la superficie de las aspas redujo la altura del edificio y causó grietas en la superficie.

Un cuarto problema es que el generador de vórtices debe ser fácilmente aplicable y debe estar conformado de manera que los objetos no se queden atrapados por las aletas del generador de vórtices y no sean intrusivos en el perfil aerodinámico. En la práctica de la energía eólica, a menudo se aplican aletas de generador de vórtices de forma triangular, ya que se ha demostrado que esta forma genera vórtices fuertes, sin embargo, los bordes afilados podrían dañar al personal de servicio y obstruir las correas de elevación. Está claro que este problema también impone exigencias en la forma, de modo que se hace aún más difícil obtener una forma optimizada aerodinámicamente. Se sabe a partir del análisis teórico fundamental y no se duda de que se generan vórtices fuertes cuando una circulación limitada aerodinámica se detiene de repente. Es por esto que la forma triangular de borde afilado y también una forma rectangular de bordes afilados no se pueden evitar cuando se requieren vórtices concentrados fuertes. Entonces el experto en la técnica no tiene mucho espacio para resolver los problemas.

A la luz de los problemas anteriores, es necesario explicar por qué los generadores de vórtices a menudo se aplican para detener aeroturbinas reguladas. La razón es que muchas turbinas reguladas en pérdida sufrieron un bajo rendimiento y que la aplicación de generadores de vórtices podría resolver esto en gran medida. Sin embargo, la solución no fue duradera ya que los generadores de vórtices se aflojaron. Por lo tanto, los diseñadores de aeroturbinas se esforzaron en nuevos diseños de aspas y perfiles aerodinámicos que no requiriesen generadores de vórtices. Este procedimiento de diseño fue bastante satisfactorio y, por lo tanto, las aeroturbinas del estado de la técnica normalmente ya no requieren más generadores de vórtices.

10 El objetivo de la invención es superar las desventajas mencionadas anteriormente.

La invención es un perfil aerodinámico de cuerda c con un espesor de más del 20 % c y, en particular, de más del 25 % c que comprende un par generador de vórtices entre la posición de cuerda 20 % c y 70 % c , dicho par generador de vórtices que comprende 2 aletas no directamente conectadas y una base que interconecta dichas aletas y donde dichas aletas se colocan bajo ángulos de ataque opuestos, caracterizado porque dichas aletas están combadas en al menos el 1 %, en particular en al menos el 2 % y, más particularmente, en al menos el 3 % de la cuerda de aleta. La combadura de las aletas resultó en un mejor rendimiento aerodinámico y dio rigidez a las aletas al mismo tiempo. Las aletas podrían hacerse muy delgadas sin volverse demasiado flexibles gracias a la combadura. Y las aletas más delgadas requieren menos material. Además, gracias a la curvatura de las aletas, la bancada se vuelve flexible y puede seguir un intervalo de curvaturas de la superficie del perfil aerodinámico donde está fijado el par de generadores de vórtices. En el caso de las aletas sin comba, la bancada se vuelve muy rígida y solo tiene una curvatura fija. En conclusión, la combadura de las aletas también mejora la fijación del par de generadores de vórtices a la superficie. Sorprendentemente, la adición de combadura a las aletas conlleva 4 ventajas: mejor aerodinámica, mejor fijación, alta rigidez de las aletas y bajo uso de material.

25 Según una realización de la invención anterior, el perfil aerodinámico es adecuado para aviones y helicópteros incluso para perfiles aerodinámicos de menos del 20 % c de espesor cuando el par generador de vórtices está fijado entre el 20 % c y el 50 % c .

30 Un pensamiento innovador fue que la idea clásica de que un generador de vórtices debería generar vórtices concentrados fuertes resultó ser incorrecta. En cambio, se descubrió que la vorticidad no concentrada es aún más eficaz y, por lo tanto, que las aletas que tienen un borde trasero redondeado comportan un mejor rendimiento de la superficie de perfil aerodinámico. Según el autor de la invención, el generador de vórtices es eficaz al mezclar aire a alta velocidad desde el exterior de la capa límite con aire a baja velocidad dentro de la capa límite (esto se conoce) y al transportar aire a baja velocidad desde el interior de la capa límite al exterior de la capa límite (esto es nuevo). Este segundo efecto es más fuerte cuando la vorticidad no está concentrada sino distribuida y cuando se aplican pares de generadores de vórtices, de los cuales las aletas generan vorticidad opuesta.

40 Por lo tanto, según una realización de la invención, el área lateral de la mitad trasera de las aletas del generador de vórtices es inferior al 45 % y, en particular, inferior al 40 % del producto de la cuerda de aleta y la altura de la aleta.

Una conclusión sorprendente fue que la idea de que el problema de fijación de los vg podía resolverse ampliando la base era errónea y que, en cambio, la fijación mejoró al reducir la bancada y elegir una forma que permitiera la dilatación térmica.

45 Por lo tanto, una realización favorable de la invención es aquella donde la base tiene la forma de una "U", una "V" o una "W" y aquella donde la base esencialmente no se prolonga más allá del área entre las aletas. Al mismo tiempo, esas formas conllevan un mejor rendimiento aerodinámico. Se obtiene más beneficio cuando la base comprende 2 aletas secundarias que son más pequeñas que las aletas principales y que están ubicadas entremedio de dichas aletas principales. La altura de las aletas secundarias es típicamente entre el 5 % y el 30 % de la de las aletas principales.

55 Se obtiene más beneficio cuando la distancia medida hasta la mitad de la cuerda de aleta entre los lados de succión de las aletas principales adyacentes de diferentes pares de generadores de vórtices es al menos el 120 % y preferentemente alrededor del 150 % de la distancia entre los lados de presión de las aletas principales adyacentes de un par de generadores de vórtices.

60 Según una realización favorable de la invención, la mayor longitud en la dirección lateral en el material sólido de la base es inferior al 100 %, en particular, inferior al 90 % y, más particularmente, inferior al 70 % de la cuerda de aleta inferior.

Según otra realización favorable de la invención, la longitud del borde de la base tiene un ángulo con la dirección de

entrada de flujo de diseño entre 50 y 0 grados en más del 70 %, en particular más del 80 % y, más en particular, el 90 % de su longitud.

5 Según otra realización favorable de la invención, la base se fija a la superficie del perfil aerodinámico mediante una cinta adhesiva de doble cara con un espesor de al menos el 0,3 %, por ejemplo, al menos el 0,5 % y, por ejemplo, aproximadamente el 1 % de la longitud más larga en el material sólido de la bancada.

Según otra realización favorable de la invención, el par de generadores de vórtices y la superficie del perfil aerodinámico forman un cuerpo sólido sin huecos ni inclusiones de aire.

10 Según otra realización favorable de la invención, la altura de las aletas principales está entre el 2 %c y el 6 %c.

Según otra realización favorable de la invención, el espesor del perfil aerodinámico puede ser inferior al 20 %c de espesor en caso de que deba ser resistente a la contaminación de la superficie.

15 Según otra realización favorable de la invención, el perfil aerodinámico comprende un par generador de vórtices y 2 aletas, caracterizado porque el área lateral del 50 % de la parte trasera de dichas aletas es inferior al 200 % y preferentemente inferior al 150 % del área lateral del 50 % de la parte delantera de dichas aletas.

20 El *contenedor* del techo de un automóvil debe tener una forma que proporcione un gran volumen, lo cual tiene el inconveniente de que el contenedor añade mucha resistencia aerodinámica a un automóvil y, por lo tanto, aumenta el consumo de combustible.

25 Para explicar más la invención, se introducen algunas definiciones.

Combadura, la combadura puede referirse a una sección del perfil aerodinámico del aspa o a una aleta de un generador de vórtices (vg). En el primer caso, es la distancia máxima entre la línea de cuerda del perfil aerodinámico y la línea de combadura en porcentaje de la cuerda. En el caso de la aleta vg, se refiere de manera análoga a la distancia máxima entre la línea de combadura y la línea de cuerda de la aleta, donde ambas líneas se toman al 30 % de la altura de la aleta por encima de la superficie del aspa y donde la *altura de la aleta* es la máxima altura de la aleta por encima de la superficie del aspa.

35 *Cuerda de aleta*: la cuerda de la aleta de un vg al 10 % de la altura la aleta por encima de la superficie del aspa. La cuerda de aleta inferior se define como la longitud sobre la cual la aleta está conectada a la base. Longitud del borde de la base: la longitud total del contorno de la proyección de la base en la superficie del aspa.

40 *Distancia entre aletas*: la distancia entre aletas se refiere a la distancia entre las aletas más altas o las aletas principales de un par de generadores de vórtices.

Otras realizaciones según la invención son las siguientes:

45 Una realización donde el generador de vórtices existe con una base separada y aletas separadas que puedan conectarse mediante un sistema de clic. Por ejemplo, para el transporte de aspas de aeroturbinas, es favorable que las aletas se puedan instalar después de que las aspas estén en el sitio.

50 Una realización donde la aleta de un par de generadores de vórtices tiene una parte trasera que está floja desde la base, de modo que se flexiona por el flujo: a altas velocidades de flujo, esta parte podría alinearse con el flujo mientras que a bajas velocidades de flujo está inclinada con el flujo, por ejemplo, 10 grados, para que se creen vórtices fuertes. Además, la inclinación al flujo puede ser una función de la temperatura mediante el uso de un bimetálico. Esto podría ser favorable para retrasar la pérdida a altas temperaturas y avanzar a temperaturas más bajas para compensar la dependencia de la temperatura del aire de los niveles de potencia de pérdida de las aeroturbinas controladas en pérdida.

55 Una realización donde las aletas de los pares de generadores de vórtices se controlan automáticamente, por ejemplo, mediante actuadores magnéticos debajo de la superficie del perfil aerodinámico que controlan la posición o la orientación de las aletas.

60 Una realización donde la sección transversal de una aleta tiene forma de J, donde la parte inferior de la J está conectada a la superficie del perfil aerodinámico y la parte vertical de la J es la aleta saliente, de modo que la aleta puede empujarse contra la superficie del perfil aerodinámico quitando la curvatura de la J. Una realización donde las

aletas de un par de generadores de vórtices están esencialmente alineadas con las tangenciales alrededor del eje del rotor, de modo que el ángulo de ataque de las aletas es próximo a cero en caso de flujo 2D, pero aumenta con un componente radial creciente en el flujo, lo cual significa que el ángulo de ataque es bajo cuando la superficie del aspa está limpia y que el ángulo de ataque aumenta al aumentar la contaminación de la superficie, dado que la mayor contaminación conlleva una capa límite más gruesa y, por lo tanto, un componente radial más grande en el flujo por el gradiente de presión radial y la fuerza centrífuga.

Una realización donde el par de generadores de vórtices se aplica a un aspa de aeroturbina y el espacio entre los pares de generadores de vórtices es mayor que el 10 %c y, en particular, mayor que el 20 %c y más en particular mayor que el 30 %c, donde el espaciado se mide desde el centro de un par al centro de un par adyacente.

Una realización donde el par de generadores de vórtices está hecho de un material que consiste esencialmente en PVC o PVDF o aluminio. La fijación del par de generadores de vórtices a un perfil aerodinámico de un avión se puede realizar mediante soldadura, tornillos, clavos o cinta adhesiva de doble cara.

Una realización donde el par de generadores de vórtices comprende una base cuyo lado inferior es cóncavo para que se ajuste bien en el lado de succión convexo del perfil aerodinámico y, en particular, que el radio de curvatura del lado inferior cóncavo sea menor que el radio de curvatura del lado de succión convexo.

Una realización donde la base del generador de vórtices y el adhesivo de doble cara están unidos con una imprimación en condiciones controladas.

Figuras

Figura 1: Mejora del coeficiente de sustentación mediante el generador de vórtices.

Figura 2: Mejora de la relación entre sustentación y resistencia aerodinámica mediante el generador de vórtices.

Figura 3: Perfil aerodinámico con 3 pares de generadores de vórtices.

Figura 4: Vista lateral de un par de generadores de vórtices.

Figura 5: Vista frontal de un par de generadores de vórtices.

Figura 6: Vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de W.

Figura 7: Vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de U.

Figura 8: Vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de V.

Figura 9: Contenedor de techo de automóvil.

La figura 1 muestra el coeficiente de sustentación c_l en función del ángulo de ataque de un perfil aerodinámico de 40 % de espesor. Se puede ver que el coeficiente de sustentación para el caso con generadores de vórtices instalados al 30 %c (etiqueta VG30 cl) es (mucho) mayor en el intervalo de 0 a 26 grados en comparación con el resultado sin generadores de vórtices (etiqueta NVG cl). La figura 2 muestra la relación entre sustentación y resistencia aerodinámica para la misma configuración. Se puede ver que L/D es (mucho) mejor para el intervalo de ángulo de ataque entre 2 y 22 grados. Los resultados se obtienen por simulación CFD. La figura 3 muestra un perfil aerodinámico 1 con la cuerda 2 y tres pares de generadores de vórtices 3 que están instalados en la superficie del perfil aerodinámico 6. Los pares de generadores de vórtices se muestran en una escala mayor que el perfil aerodinámico por razones ilustrativas. Cada par generador de vórtices tiene dos aletas 5 y una base 4 que solo están etiquetadas en un par generador de vórtices. La distancia entre los lados de presión de las aletas de un par de generadores de vórtices 8 es menor que la distancia entre los lados de succión de las aletas adyacentes de diferentes pares de generadores de vórtices. La figura 4 muestra una vista lateral de un par generador de vórtices que está fijado por una cinta adhesiva de doble cara que tiene una capa adhesiva 10 fijada a la base del par generador de vórtices y una capa adhesiva 11 fijada a la superficie del perfil aerodinámico 6 y entremedio de una capa de espuma 12. El espesor de las capas 10, 11 y 12 se muestra más grueso que realista por razones de ilustración. La figura 5 muestra una vista frontal de un par de generadores de vórtices. La figura 6 muestra una vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de W y la dirección de entrada de flujo de diseño 14. La dirección lateral se define como perpendicular a la dirección de entrada de flujo de diseño y en la base del par de generadores de vórtices. La figura 7 muestra una vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de U. La figura 8 muestra una vista superior de un par de generadores de vórtices en forma de V. La figura 9 muestra un contenedor de techo de automóvil 20, con una longitud L entre el extremo delantero 21 y un extremo posterior 22, donde está instalada una aleta de generador de vórtices 23. La superficie superior de la parte trasera del recipiente 24 tiene un ángulo 25 con la horizontal.

Aunque las realizaciones ilustrativas de la presente invención se han descrito más en detalle en referencia a los dibujos adjuntos, se entenderá que la invención no se limita a esas realizaciones. Un experto en la materia puede realizar diversos cambios o modificaciones, donde el alcance de protección está definido por las reivindicaciones adjuntas.

Se ha de entender que, en la presente solicitud, el término "que comprende" no excluye otros elementos o etapas.

Además, cada uno de los términos "un" y "uno" no excluye una pluralidad. Cualquier signo o signos de referencia en las reivindicaciones no se interpretará como una limitación del alcance de las reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Aspa de una aeroturbina que comprende un perfil aerodinámico (1) con cuerda c (2) con un espesor de más del 20 % con un par de generadores de vórtices (3) entre el 20 % y 70 % de la posición en el sentido de la cuerda, que comprende dos aletas (5) no conectadas directamente y una base (4, 15, 16), donde dicho par de generadores de vórtices (3) comprende una aleta combada (5), donde el perfil aerodinámico (1) comprende un espesor de más del 20 % y, en particular, más del 25 %, y donde dicha base (4, 15, 16) cubre menos del 90 % del área entre dichas aletas (5).
- 10 2. Aspa de una aeroturbina según la reivindicación 1, donde el área lateral del 50 % de la parte trasera de dichas aletas es inferior al 200 % y, preferentemente, inferior al 150 % del área lateral del 50 % de la parte delantera de dichas aletas.
3. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha base abarca 15 menos del 90 % del área entre dichas aletas y, en particular, donde dicha base tiene la forma de una "U" (15), una "V" (16) o una "W" (4).
4. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha base comprende dos aletas secundarias que son más pequeñas que dichas aletas y que están ubicadas entremedio de 20 dichas aletas.
5. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende dos pares de generadores de vórtices adyacentes donde la distancia (9) medida a la mitad de la cuerda de aleta entre los lados de succión de las aletas adyacentes de diferentes pares de generadores de vórtices es al menos el 120 % y, 25 preferentemente, aproximadamente el 150 % de la distancia (8) entre los lados de presión de las aletas adyacentes de un par de generadores de vórtices.
6. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores que comprende 2 aletas y una base donde la mayor longitud en la dirección lateral en el material sólido de la base es inferior al 100 %, en 30 particular inferior al 90 % y, más en particular, inferior al 70 % de la cuerda de aleta inferior.
7. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde más del 70 %, en particular más del 80 % y, más en particular, más del 90 % de la longitud del borde de dicha base tiene un ángulo con la dirección de entrada de flujo de diseño entre 50 y 0 grados.
- 35 8. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicha base está fijada a la superficie del perfil aerodinámico mediante una cinta adhesiva de doble cara (11, 12, 13) con un espesor de al menos 0,3 %, por ejemplo, al menos 0,5 % y, por ejemplo, aproximadamente el 1 % de la mayor longitud en el material sólido de la bancada.
- 40 9. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde dicho generador de vórtices está fijado a la superficie del perfil aerodinámico y dicha bancada, dichas aletas y dicha superficie forman un cuerpo sólido sin inclusiones de aire.
- 45 10. Aspa de una aeroturbina según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la altura de dicha aleta está entre el 2 % y el 6 %.

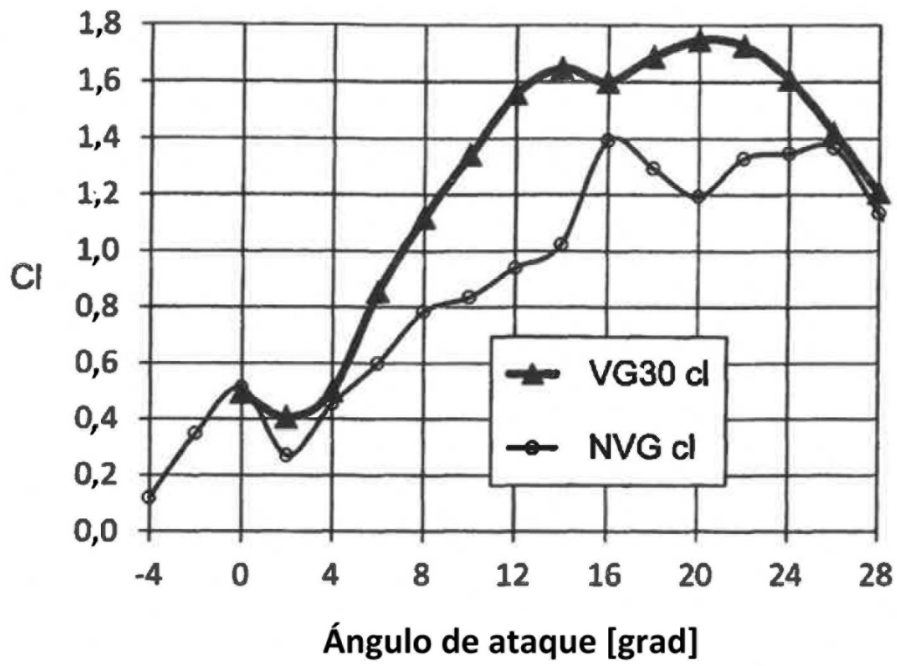


Fig. 1

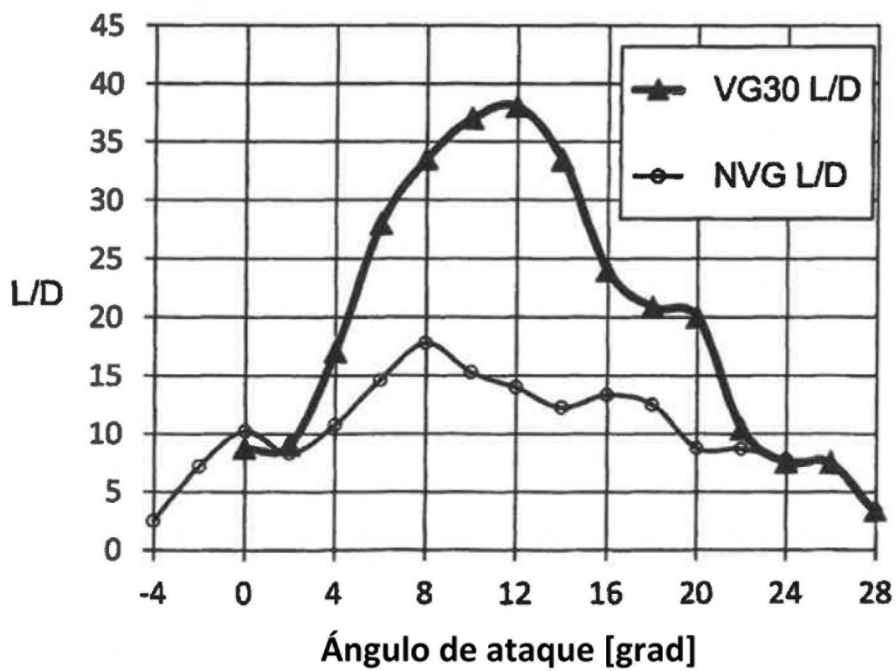


Fig. 2

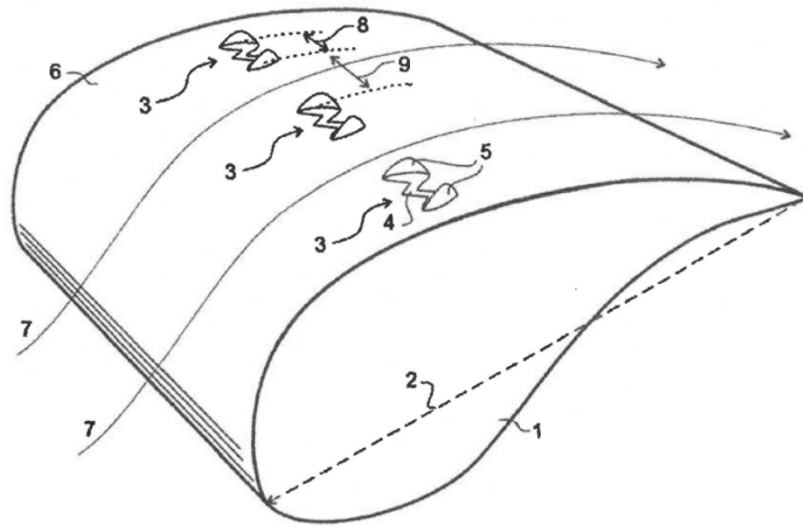


Fig. 3

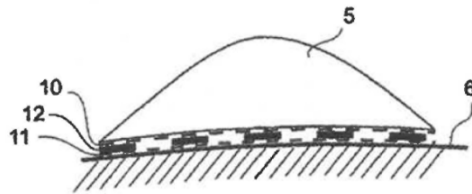


Fig. 4

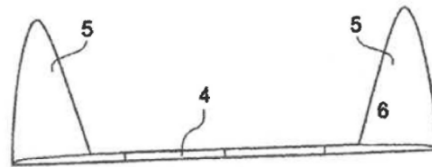


Fig. 5

Fig. 6

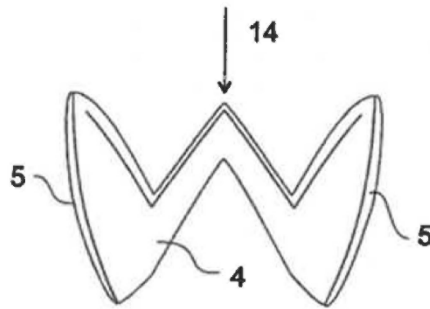


Fig. 7

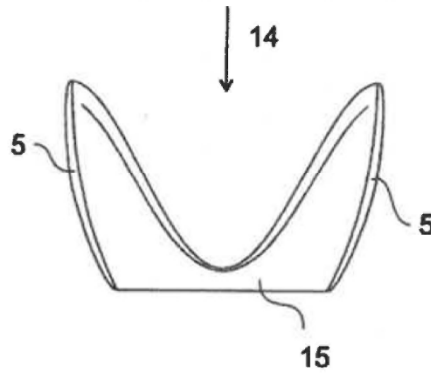
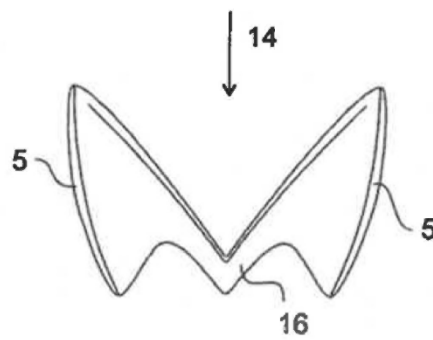


Fig. 8



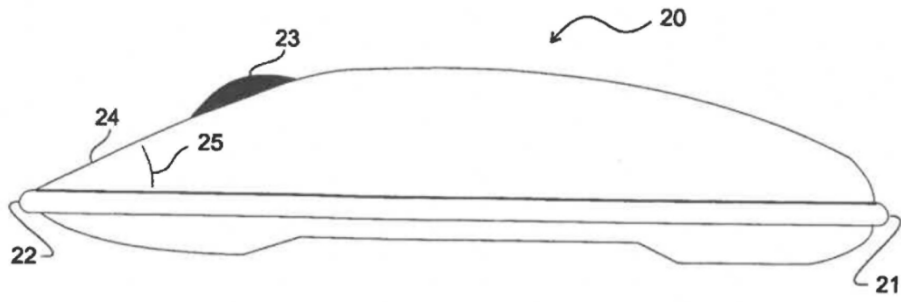


Fig. 9