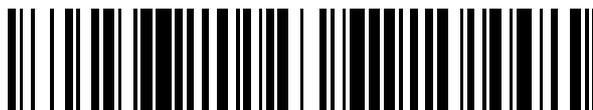


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 542 738**

51 Int. Cl.:

D07B 5/00 (2006.01)

D07B 1/02 (2006.01)

D07B 1/00 (2006.01)

D07B 1/16 (2006.01)

F03D 5/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.01.2010 E 10707975 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.06.2015 EP 2393980**

54 Título: **Generador eólico troposférico que comprende una sogá**

30 Prioridad:

23.01.2009 IT TO20090008 U

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

11.08.2015

73 Titular/es:

KITE GEN RESEARCH S.R.L. (100.0%)

Via XXV Aprile 8

10023 Chieri (TO), IT

72 Inventor/es:

IPPOLITO, MASSIMO

74 Agente/Representante:

LAZCANO GAINZA, Jesús

ES 2 542 738 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 eólico troposférico que comprende una soga.

5 La presente invención se refiere a un generador eólico troposférico que comprende una cuerda.

Se conoce una nueva categoría de generadores eólicos troposféricos en la técnica, que están siendo actualmente desarrollados por diferentes grupos de investigación, que comparten el objetivo común de explotar la gran cantidad de energía eólica a grandes altitudes a través de cometas, alas, aeronaves, aerostatos, y dirigibles constreñidos a la tierra a través de cuerdas largas con alta resistencia mecánica.

10 El principio operativo común de los generadores eólicos troposféricos se basa en mantener cuerpos aerodinámicos volando que sean capaces de convertir la energía del viento a grandes altitudes en energía mecánica capaz de efectuar trabajos y, posteriormente, convertir la energía mecánica en energía eléctrica que se pueda utilizar para propósitos civiles e industriales en general.

15 En su configuración más simple, más eficiente y segura, el cuerpo aerodinámico puede ser simplemente un ala con alta eficiencia aerodinámica, mantenida volando en las alturas lo que no se puede alcanzar mediante los aerogeneradores habituales y constreñidos a tierra a través de cuerdas de alta resistencia.

20 De manera alternativa, el cuerpo aerodinámico puede ser mucho más complejo, por ejemplo un rotor de turbina eólica que se mantiene volando debido a un dirigible, o a una aeronave equipada con planos de cola y miembros estabilizantes.

25 En particular, todos los generadores en esta categoría están equipados con al menos una cuerda de constreñimiento que es periódicamente enrollada y desenrollada a través de un cabrestante o un sistema de cabrestantes.

30 No solamente los generadores que explotan la rotación del cabrestante para convertir energía mecánica en energía eléctrica, sino también los generadores en los cuales la cuerda que se enrolla y se desenrolla se utiliza solamente para revisar la altura de vuelo y la trayectoria o, aun de manera más simple, solamente para las fases de despegue y aterrizaje, puede tener ventajas en la presente invención.

También los sistemas de tracción naval o los sistemas de generación eléctrica a bordo de los de los barcos y navíos basados en cometas pueden tener ventajas en la presente invención.

35 Ejemplos de tales generadores eólicos se describen en las patentes Italianas N. 0001344401 y 0001344926 a nombre de Ippolito Massimo, que describe el concepto general en el cual se basa el generador eólico troposférico, en la patente Europea No. EP1672214 a nombre de Ippolito Massimo, que describe una configuración tipo carrusel, en la Solicitud de Patente PCT No. PCT WO2007/129341 a nombre de Kite Gen Research S. r. l., que describe el sistema de control, y en la Solicitud de Patente Italiana No. TO2008A000423, que describe la infraestructura del generador en su configuración denominada "yo-yo".

40 En particular, la energía que puede ser extraída a través de los generadores conocidos mencionados anteriormente depende primeramente del fenómeno atmosférico, tal como la velocidad y dirección del viento, que se puede evaluar luego del diseño, pero que no se puede afectar por el diseñador. La energía que puede ser extraída sin embargo también depende de las elecciones de diseño precisas que se puedan controlar, tal como las características de superficies y aerodinámicas de las velas.

45 Todas las evaluaciones efectuadas por el solicitante sobre energía que se puede extraer a través de los generadores conocidos mencionados anteriormente han confirmado que, entre los parámetros que permanecen a discreción del diseñador, la eficiencia aerodinámica del sistema global compuesto de ala y cuerdas es el elemento más importante: de hecho, la eficiencia aerodinámica parece generar un poder de dos en las fórmulas que describen y prevén la energía que se pueda recolectar, aunque la superficie de la vela aparezca linealmente. La eficiencia de la vela, representada por la relación entre el coeficiente de levantamiento y el coeficiente de resistencia, es generalmente alto, debido a la sección aerodinámica de la vela que proporciona un valor bajo de coeficiente de resistencia aerodinámico.

50 Con el fin de mejorar la seguridad y la confiabilidad de los generadores descritos por el solicitante, se ha seleccionado la adopción de un par de cuerdas, en lugar de utilizar una cuerda única tal como se prefirió por otros, tal como se describió, por

ejemplo, en la Solicitud de Patente U.S. 2008/0210826 de Ockels et al. De hecho, el par de cuerdas permiten primero que todo controlar la trayectoria del viento sin la necesidad de instalar componentes electromecánicos a bordo, y protege la capacidad de maniobra del mal funcionamiento, fallas, dificultades de comunicación de los posibles componentes instalados a bordo de la cometa, además de la caída no controlada y la pérdida del ala en caso de ruptura de la única cuerda.

5

Un par de cuerdas transforman adicionalmente el evento raro representado por la ruptura de una cuerda, por ejemplo debido a un defecto de fabricación, de un evento potencialmente peligroso a un procedimiento simple de recuperación y mantenimiento: la ruptura de una de las dos cuerdas de hecho implica la disminución instantánea del levantamiento del ala, con la consiguiente reducción de la tensión que actúa sobre la cuerda restante. De esta manera, siempre es posible traer de regreso el ala a la tierra, al rebobinar rápidamente la cuerda restante, debido al comportamiento del ala que se puede asimilar a un paracaídas.

10

El mismo principio se adopta también y se explota de manera ventajosa bajo condiciones operativas durante la etapa de rebobinamiento de la cuerda que sigue a la etapa de enrollamiento y generación de energía: de hecho, al liberar de manera controlada una de las cuerdas y mantener la tensión en la segunda cuerda, el ala es naturalmente llevada a posición para lo cual la resultante de las fuerzas aerodinámicas está compuesta casi exclusivamente por la resistencia, mientras que el levantamiento se vuelve despreciable. Al mantener el ala en su inclinación particular, que se podría definir como una maniobra de "deslizamiento lateral", como analogía con la que se efectúa bajo situaciones de emergencia durante un vuelo por pilotos de una aeronave, es posible rebobinar a alta velocidad las cuerdas de control con un costo de energía mínimo.

15

20

El uso de dos cuerdas por lo tanto implica un incremento de la resistencia global con respecto a la solución con una cuerda única, pero suministra ventajas indudables en términos de seguridad y confiabilidad.

25

Las cuerdas comercialmente disponibles sin embargo no se han concebido, y consecuentemente optimizado, para ser utilizadas por un generador eólico troposférico y son un factor severamente limitante de los desempeños aerodinámicos globales.

30

Como es conocido, el comportamiento de las cuerdas en simulaciones se puede atribuir, como primera aproximación, al comportamiento de un cilindro liso con una longitud infinita cruzado por una corriente ortogonal al eje del cilindro, estimando un coeficiente de resistencia típicamente igual a $C_D = 1, 2$ dependiendo de los datos experimentales en la galería del viento relacionada con el número de Reynolds típico de muchas aplicaciones prácticas. Esta aproximación no tiene en cuenta la forma real del cable, la rugosidad de la superficie, la elasticidad longitudinal y de torsión, implica la infraestimación, en general, de la entidad real del coeficiente de resistencia.

35

Por ejemplo, una cuerda con muchas hebras puede tener aún mayor coeficiente de resistencia, igual a $C_D = 1, 5$ cuando se sumerge en un fluido uniforme. en el caso de cables largos, cuando se dispara el fenómeno de vibración producido por los vórtices (VIV), el coeficiente de resistencia puede alcanzar aun valores en el orden de $C_D = 2,5 - 3$, así como también pueden aparecer fuerzas que sean ortogonales a la corriente a la cual corresponde el coeficiente C_L de levantamiento. El problema es particularmente sensible en muchos campos de aplicación, en particular en los campos naval y de altamar, donde cuerdas y cables particularmente largos están sujetos a la acción de corrientes con intensidad variante, por ejemplo en los tirantes de las plataformas petroleras, o los cables que remolcan vehículos submarinos controlados de manera remota (ROV).

40

45

Existen obviamente también muchos ejemplos en el campo civil, donde las líneas suspendidas para transmitir energía eléctrica, o los tirantes de puentes suspendidos, pueden afectarse por oscilaciones potencialmente peligrosas. En estas aplicaciones, las soluciones son primero que todo investigadas para que sean capaces de reducir la amplitud de la oscilación y hacer poco probable que ocurran inestabilidades del balance elástico, y se requiere eficiencia independientemente de la dirección del fluido incidente.

50

En otras aplicaciones por encima de todo se investiga una reducción de la resistencia dinámica a fluidos del cable.

Entre los muchos métodos propuestos, es posible recordar las distribuciones de rugosidad de acuerdo con esquemas repetidos, la distribución de rugosidades o cavidades superficiales, los enrollamientos helicoidales, la adición de bandas de tela, carenados rígidos o flexibles más o menos aerodinámicos.

55

Sin embargo, cuando el cable se somete a ciclos de enrollamiento y desenrollamiento repetidos sobre un tambor del cabrestante, como ocurre en los generadores eólicos de los tipos previamente descritos, la complejidad del problema técnico se incrementa y la selección de soluciones disponibles se reduce.

5 También en aeronáutica, el problema es particularmente relevante, ya que al momento de biplanos, en los miembros estructurales perfilados en Inglaterra se desarrollaron los llamados "alambres RAF", como reemplazo de los tirantes hechos de cables de acero o por completo de hierro rojo. La importancia de tal fenómeno se puede evaluar iniciando con consideraciones acerca del dimensionamiento de un generador troposférico típico. Un ala de aeronave puede generar un levantamiento del orden de 10 kN/m^2 .

10 Por ejemplo, un Boeing 747-400 completamente cargado luego del despegue tiene una relación entre el peso y la superficie del ala igual a $w/s = 7500 \text{ N/m}^2$. Ya que esta es una aeronave para transporte de pasajeros, en la cual las aceleraciones deben ser limitadas (un factor de carga $n = 2,5$), se puede deducir que la estructura del ala es de un tamaño para tolerar, bajo condiciones de seguridad, un levantamiento específico igual a 18750 N/m^2 .

15 Un valor de referencia para la proporción entre el peso y la superficie del ala en una aeronave sin motor, tales como por ejemplo planeadores, planeadores con ala delta, "crazy fly crafts" y cometas pueden ser del orden de $w/s = 300 \text{ N/m}^2$.

20 Estas aeronaves, a pesar de la estructura de sus alas, pesan aproximadamente 50 N/m^2 , sin embargo pueden efectuar maniobras con un alto número de g (factor de carga $n = 6$ para la categoría acrobática), y por lo tanto pueden desarrollar y tolerar valores de levantamiento específico del orden de 1800 N/m^2 .

25 Asumiendo para la cometa del generador previsto por el Solicitante y descrito en las patentes anteriores, un coeficiente de levantamiento $C_L = 1$, un valor de densidad $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$, una superficie de ala $S = 100 \text{ m}^2$, una velocidad de vuelo $V = 40 \text{ m/s}$, la fórmula de levantamiento clásica arroja el valor de 98000 N , por lo tanto un valor cercano a 1000 N/m^2 .

Asumiendo por ejemplo $F = 100 \text{ kN}$ como valor de la fuerza generada por la cometa que tiene que ser transmitida al generador a través de las cuerdas, es claro que estas últimas deben tener un tamaño adecuado.

30 Examinando las tablas de las mejores fabricaciones de cuerdas sintéticas, asumiendo el uso de una cuerda única (solución A) optimizada para ciclos de flexión repetidos y adoptando un coeficiente de seguridad $S = 3$, sería necesaria una cuerda única cuyo diámetro sea $D(a) = 18 \text{ mm}$ con una tensión final de 304 kN .

35 Asumiendo en su lugar el uso de un par de cuerdas (solución B), debido a razones de confiabilidad y seguridad que se han establecido anteriormente, sería necesario dos cuerdas que tengan un diámetro $D(b) = 14 \text{ mm}$ y una tensión final de $168,6 \text{ kN}$ para 337 kN totales. De hecho, asumiendo muy aproximadamente, pero sin un comportamiento típico, que la cuerda se mueve con una velocidad nula con respecto al aire cerca al generador de tierra y con una velocidad igual a la velocidad de la cometa luego a la cometa misma, con una variación de velocidad lineal a lo largo de la cuerda, es posible estimar la resistencia global de la cuerda.

40 Al adoptar un coeficiente de resistencia aerodinámico $C_D = 1,2$ y una velocidad de vuelo igual a $V = 40 \text{ m/s}$, la cuerda simple con un diámetro $D(a) = 18 \text{ mm}$ y una longitud de 1000 m completamente desenrollada genera una resistencia global cercana a los 7054 N . Bajo las mismas condiciones, una cuerda con un diámetro $D(b) = 14 \text{ mm}$ genera una resistencia global cercana a los 5487 N , por lo tanto teniendo en cuenta un par de cuerdas que tienen un diámetro $D(b) = 14 \text{ mm}$, la resistencia global está próxima a 10974 N .

50 Es claro, que desde el punto de vista de la resistencia aerodinámica, tanto las soluciones A como B serían de todas maneras problemáticas, con una desventaja para la solución con las dos cuerdas (solución B) que es de cualquier manera ampliada de manera justificada por el incremento de la seguridad y la confiabilidad.

En vista de lo anterior, la técnica ha propuesto varias soluciones adecuadas para mejorar la resistencia a la fatiga cíclica de las cuerdas sometidas a flexión repetida alrededor de poleas y cabrestantes.

55 Por ejemplo, la solicitud de patente PCT WO2004/035896 de Knudsen R.B y Sloan F.E. describe una cuerda construida utilizando una mezcla de filamentos de diferente naturaleza, en este caso HMPE y LCP, de acuerdo a una proporción particular.

La Solicitud de Patente PCT WO2005/019525 de Frazer et al. Describe una cuerda con un núcleo sin función estructural que llene el espacio vacío entre las hebras requeridas para soportar las cargas

5 De manera similar, la Solicitud de Patente PCT WO2006/086338 de Bucher et al. Innova al introducir fibras con un coeficiente bajo de fricción, en particular fibras fluoropoliméricas, para componer las hebras de la cuerda.

Una solución similar se describe en la Solicitud de Patente PCT WO2006/101723 de Nye, en la cual se utiliza un filamento de polímero de fluorocarbono.

10 La Solicitud de Patente PCT WO2006/133881 de Bosman R. describe en su lugar una cuerda en la cual la sección transversal es oblonga, teniendo una relación de finura incluida entre 1,2 y 4,0, así como también una polea con una ranura adaptada para la sección de la cuerda.

15 En todos los casos, el propósito de incrementar el número de ciclos de vida útil en la cuerda sin incrementar excesivamente el diámetro y peso de la cuerda, al mismo tiempo que manteniendo la posibilidad de efectuar una inspección visual que puntualice el estado de desgaste y los posibles daños localizados.

20 Se han propuestos varias soluciones para reducir el desgaste por la dinámica de fluido de las cuerdas que se mueven relativamente con respecto a un fluido, casi todas para aplicaciones en los campos naval y oceanográfico, por lo tanto con necesidades y soluciones adoptadas que son muy diferentes de aquellas adecuadas para un generador eólico troposférico.

25 Por ejemplo, se puede citar lo siguiente: patente CA887428 de Pearce et al, patente US3859949 de Toussaint y Meyer, patente US4365574 de Norminton, patente US4836122 de Henderson y Wingham, patente US6179524 de Allen et al, Solicitud de Patente PCT WO2005/116459 de Allen et al., Solicitud de Patente PCT WO2006/134381 de Pearce, patente US6179524 de McMillan, patente US6223672 de Allen et al. Como ejemplo de cubiertas, carenados, perfiles adecuados para suprimir las vibraciones inducidos por vórtices y reducir la resistencia aerodinámica de cuerpos cilíndricos inmersos en el ambiente del mar.

30 Ejemplos interesantes son entonces la patente US 4084065 de Swenson y la patente más reciente US5067384 de scala que describe como hacer un cable equipado con una trenza en la cual una serie de filamentos están libres de ser orientados en la corriente y reducir las vibraciones inducidas y la resistencia aerodinámica.

35 De las pruebas de generación de potencia a través del generador descrito en las patentes anteriores, el solicitante ha descubierto que no es necesario rebobinar completamente las cuerdas al final de la fase positiva de cada ciclo de trabajo, tomando cada vez de regreso la cometa cerca al suelo, pero en su lugar es altamente deseable repetir los ciclos de trabajo a gran altitud, entre una altura intermedia y una altura máxima que se pueda alcanzar, por lo tanto solamente rebobinando parcialmente las cuerdas antes de iniciar un nuevo ciclo: al aplicar esta estrategia, es por lo tanto claro que solamente un sector de las cuerdas con una longitud limitada está sometido a un alto número de ciclos de flexión repetidas con gran carga en los miembros del generador mecánico, mientras que otro sector de la cuerda es enrollado o desenrollado sobre los cabrestantes solo durante las fases limitadas de despegue y aterrizaje. El documento DE-A1-2626659 describe una cuerda que tiene diferentes diámetros.

40 Por lo tanto, el objeto de la presente invención es resolver los problemas de la técnica anterior al suministrar una cuerda para un generador eólico troposférico compuesto de al menos tres sectores con diferente longitud y construcción, optimizados para una o más funciones específicas.

45 Otro objeto de la presente invención es suministrar una cuerda para un generador eólico troposférico compuesto de al menos tres sectores en el cual el sector de la cuerda más cercano al generador, sometido a ciclos de flexión repetidos dentro del sistema para transmitir y convertir la potencia mecánica en energía eléctrica, se estructura con el fin de garantizar una vida larga a la fatiga cíclica.

50 Otro objeto de la presente invención es suministrar una cuerda para un generador eólico troposférico compuesto de al menos tres sectores en los cuales el sector de la cuerda más cercano al ala o la cometa, que se pueda definir como una parte aérea de la cuerda, se estructura y se perfila con el fin de suministrar una baja resistencia aerodinámica y un mínimo peso.

55

Lo anterior y otros objetivos y ventajas de la invención, tal como aparecerán en la siguiente descripción, se alcanzan con una cuerda para un generador eólico troposférico tal como se reivindica en la reivindicación 1. Las realizaciones preferidas y las variaciones no triviales de la presente invención son la materia objeto de las reivindicaciones dependientes.

- 5 La presente invención será descrita mejor mediante algunas realizaciones preferidas de la misma, suministradas como un ejemplo no limitante, con referencia a los dibujos incluidos, en los cuales
- 10 - Figura 1 muestra una vista en perspectiva de un generador eólico troposférico equipado con una realización preferida de la cuerda de acuerdo con la presente invención;
 - Figura 2 muestra una vista en perspectiva de un generador eólico troposférico equipado con otra realización preferida de la cuerda de acuerdo con la presente invención;
 - 15 - Figura 3 es un diagrama que muestra el desempeño de una cuerda de acuerdo con la presente invención con respecto a las cuerdas de la técnica anterior;
 - Figura 4a es una vista lateral de otra realización preferida de la cuerda de acuerdo con la presente invención;
 - 20 - Figura 4b es una vista en sección de la cuerda de la Figura 4a;
 - Figura 5 es una vista lateral de otra realización preferida de la cuerda de acuerdo con la presente invención;
 - Figura 6 es una vista en detalle de la cuerda de la Figura 5; y
 - 25 - Figura 7 es otra vista detallada de la cuerda de la Figura 5.

30 Con referencia a la Figura 1, es posible notar esquemáticamente un generador 1 eólico troposférico en la configuración 3 con dos cuerdas de acuerdo con la presente invención, tales cuerdas son capaces de alcanzar longitudes del orden de las decenas y miles de metros para controlar y transmitir energía mecánica desde una cometa 2 al generador 1: en particular, la cuerda 3 de acuerdo con la presente invención para un generador 1 eólico troposférico se compone, en longitud, de:

35 - al menos un primer sector 4 optimizado para resistir ciclos de flexión repetidos, hechos preferiblemente con una mezcla de fibra sintéticas con alto módulo elástico y un tamaño al adoptar un coeficiente S_1 de seguridad, a saber la proporción entre la resistencia a la tensión final estática de la cuerda y la carga máxima suministrada cuando se opera, incluido entre 3 y 15 y que tiene un diámetro $D(b_1)$ incluido entre 6 mm y 72 mm, preferiblemente entre 8 mm y 48 mm y un coeficiente C_{D1} de resistencia aerodinámica;

40 - al menos un segundo sector 5 optimizado para resistir los ciclos de tracción repetidos con gran carga, preferiblemente hechos con una mezcla de fibras sintéticas con alto módulo elástico de un tamaño al adoptar un coeficiente $S_2 < S_1$ de seguridad de tal manera que el diámetro $D(b_2)$ del segundo sector 5 sea más corto que el diámetro $D(b_1)$ del primer sector 4. En particular, el segundo sector 5 tiene una sección circular y esta optimizado para reducir la resistencia aerodinámica y/o recubierto con un recubrimiento con un bajo coeficiente de fricción con el fin de permitir un deslizamiento relativo de las cuerdas en caso de un enredamiento mutuo.

45 En particular, el primero y segundo sector respectivamente 3 y 4 terminan en sus propios extremos y se unen mutuamente con uno o más elementos de unión hechos de un material metálico o compuesto, o unidos a través de una plomería o, preferiblemente, efectuando una transición suave entre los varios sectores 3, 4 durante el mismo proceso de construcción o efectuando una variación continua y progresiva.

50 Preferiblemente, tales fibras sintéticas son fibras de HMPE. De hecho, una característica principal de las cuerdas fabricadas con fibras de HMPE, por ejemplo utilizando las fibras comercializadas con las marcas Dyneema® y Spectra®, es la gran capacidad de resistir a ciclos de tracción simple efectuados en un alto porcentaje de la resistencia a la tensión final.

55 Preferiblemente, cada cuerda 3 de acuerdo con la presente invención está conectada a la cometa 2 por medio de al menos un par de bridas 7, una brida frontal y una brida trasera, respectivamente hechas de materiales que tienen diferentes módulos de elasticidad, que por lo tanto tienen una diferente elongación bajo la misma carga, haciendo posible hacer un ángulo de balance del cambio de la cometa 2 dependiendo de la carga que actúe sobre la cometa 2 misma.

- 5 Cuando se experimentó, el solicitante, de hecho, descubrió que la regulación fija y la longitud de las cuatro bridas 7, respectivamente dos bridas frontales y dos bridas traseras, determinan, de una manera no ajustable, el ángulo del balance de la cometa 2 con respecto al aire, representando una limitación a un despegue de cometa fácil o a la potencia que se puede generar durante la operación.
- 10 Durante la fase de despegue, cuando las cargas que actúan sobre la cometa 2 son pequeñas, las bridas 7 en su lugar hechas de acuerdo con la presente invención tienen una longitud tal que le garantizan a la cometa una inclinación adaptada para el despegue, por ejemplo un valor del ángulo del balance $\alpha = \alpha_1$.
- 15 Durante las fases de vuelo cuando las cargas que actúan sobre la cometa 2 a su vez son muy altas, es posible hacer un par de bridas 7, por ejemplo las dos bridas frontales, respectivamente brida derecha frontal y brida izquierda frontal, que se sometan a una elongación bajo carga que sea mayor que la elongación de las bridas traseras, respectivamente brida derecha trasera y brida izquierda trasera, que le confieran a la cometa una inclinación más de halado con respecto a la inclinación de despegue, con un ángulo de ganancia $\alpha = \alpha_2 > \alpha_1$.
- 20 Un razonamiento similar se puede seguir si se desea que la inclinación de la cometa 2 que está más halada hacia abajo durante las fases de vuelo con respecto a la inclinación de despegue, haciendo que las bridas traseras se alarguen bajo carga más que las bridas frontales.
- 25 La elongación relacionada con las bridas se puede computar cuando se diseñan, con el fin de manejarse para imponer la inclinación de vuelo deseada dependiendo de la carga de la cometa y por lo tanto, debido a la relación existente entre la carga y la velocidad de vuelo, dependiendo de la velocidad de vuelo.
- 30 Asumiendo que el sector 5 de la cuerda, que podría definirse como "aéreo", está sometido solamente a ciclos de tracción y que en su lugar este no está sometido a unos ciclos de flexión repetidos sobre poleas y cabrestantes, se puede prever explotar las características óptimas de resistencia a la tracción de las fibras tales como HMPE reduciendo el coeficiente de seguridad a valores cercanos a la unidad.
- 35 Al concentrar la atención al caso en el cual se utilizan las dos cuerdas, se podría adoptar un coeficiente reducido de seguridad igual a $S_2 = 1,5$ que se podría adoptar solamente para el sector 5 aéreo y consecuentemente un diámetro reducido igual a $D(b_2) = 9$ mm, que corresponde a la resistencia a la tensión final igual a 77,8 kN globalmente para 155,6 kN.
- 40 La adopción de un coeficiente de seguridad reducido permite la reducción del diámetro del segundo sector 5 de la parte aérea de la cuerda 3 de acuerdo con la presente invención sin afectar la longitud y la seguridad de la cuerda como un todo.
- 45 La relación entre el coeficiente de seguridad del segundo sector 5 aéreo de la cuerda 3 y el coeficiente de seguridad del primer sector 4 de la cuerda 3 sometidos a ciclos de flexión repetidos se pueden obviamente definir y optimizar cuando se diseñan, de tal manera que la vida con fatiga de ambos sectores de las cuerdas, sometidos a diferentes tensiones, coincide.
- 50 Con referencia de nuevo a los valores numéricos del ejemplo previo, una primera gran ventaja ligada a la adopción de la cuerda 3 de la presente invención es la posibilidad de utilizar dos cuerdas 3 que tengan un diámetro del segundo sector 5 igual a $D(b_2) = 9$ mm en lugar de una cuerda tradicional única que tenga un diámetro constante igual a $D(a) = 18$ mm, sin ninguna penalidad aerodinámica, pero con una gran ventaja en términos de confiabilidad y seguridad.
- 55 De hecho, al asumir una cuerda compuesta de un primer sector 4 sometido a unos ciclos de flexión repetidos que tienen diámetro $D(b_1) = 14$ mm y longitud 500 m, y un segundo sector 5 que tiene diámetro $D(b_2) = 9$ mm y longitud 500 mm, la resistencia global de la cuerda, calculada para la cometa 2 velocidad de $V = 40$ m/s y variación de velocidad lineal entre 0 y 40 m/s, se reduce a solamente 3772 N, por lo tanto en el caso de las dos cuerdas una resistencia global igual a 7544 N.
- La ventaja de la solución propuesta como un ejemplo consiste en reducir la resistencia global a aproximadamente 31% con respecto a la solución A anterior a través de cuerdas que pertenecen a la técnica anterior.
- Esto ocurre ya que la más grande contribución a la resistencia aerodinámica global deriva del segundo sector 5 de la cuerda 3 que se mueve más rápidamente con respecto al aire, por lo tanto de la parte más cercana al ala 2.

Es por el contrario ampliamente tolerable adoptar grandes diámetros que garanticen una larga vida a la fatiga para el primer sector 4 de la cuerda 3 que se mueve más lentamente, por lo tanto cercano al generador 1.

5 Una segunda gran ventaja, ligada a la estrategia que suministra la repetición de los ciclos de trabajo a grandes altitudes, consiste en la posibilidad de mejorar las características aerodinámicas de la parte aérea de la cuerda con soluciones que un enrollamiento completo y repetido de la cuerda terminaría. De hecho, durante las fases de despegue y aterrizaje de la cometa, se pueden tolerar procedimientos que suministren las velocidades reducida de rotación del cabrestante y tensiones de la cuerda, sistemas automatizados para guiar las cuerdas, conectar y desconectar los sistemas para los cuerpos aerodinámicos.

10 Durante la fase de generación, el sistema de control debe en su lugar poder tener disponible todas las potencialidades mecánicas del generador en términos de una tensión de cuerda máxima y una velocidad de rotación; por lo tanto la capacidad de maniobra del sector de la cuerda sometido a flexión repetida de los miembros mecánicos se vuelve fundamental.

15 Una primera mejora, que tiene un gran impacto sobre los desempeños del generador 1 eólico troposférico, se puede obtener al adoptar, solamente para el segundo sector 5 de la parte aérea de la cuerda 3 con diámetro reducido, soluciones adecuadas similares a aquellas utilizadas de manera exitosa en otros campos, pero adaptadas a los requisitos de operación del generador para reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.

20 Es por ejemplo posible cubrir solamente el segundo sector 5 de la cuerda 3 con una funda extremadamente lisa o un recubrimiento hecho con material de plástico para reducir la rugosidad de la superficie y tomar el C_D a valores cercanos a aquellos del cilindro liso ($C_D = 1, 2$).

25 También es posible cubrir solamente el segundo sector 5 de la cuerda 3 con una funda o un recubrimiento hecho de material plástico equipado con una distribución de cavidades y aristas con el fin de anticipar la transición turbulenta de la capa límite y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.

30 Una solución adicional consiste en cubrir solamente el segundo sector 5 de la cuerda 3 con una funda equipada sobre su superficie con al menos un perfil elicoidal con una inclinación longitudinal adecuada, con el fin de reducir el efecto de separación de los vórtices de desplazamiento, evitar la ocurrencia de vibraciones inducidas por los vórtices y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.

35 Una solución adicional consiste en cubrir solamente el segundo sector 5 de la cuerda 3 con una transa protectora equipada con filamentos que son libres de ser orientados a lo largo de las líneas de flujo con el fin de anticipar la transición turbulenta de la capa límite y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.

40 Una solución adicional consiste en enrollar solamente alrededor del segundo sector 5 de la cuerda 3 bandas de tela o de material plástico que son libres de ser orientadas a lo largo de las líneas de flujo con el fin de anticipar la transición turbulenta de la capa límite y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.

Una solución adicional consiste finalmente en suministrar solamente la parte aérea de la cuerda con una funda hecha de material plástico que esta aerodinámicamente perfilada.

45 Una solución completamente nueva consiste en fabricar solamente el sector 5 de la cuerda 3, usualmente circular, con el fin de asignarle una sección alargada, con una relación entre el eje más largo y el eje más corto que varía entre 1,5 y 5. Esto es técnicamente posible, aunque la sección resultante no tenga todavía las características aerodinámicas deseadas. Una mejora de las características aerodinámicas se puede obtener al enrollar la cuerda 3 elaborada con una sección alargada con una trenza y llenar las cavidades con un material de baja densidad con el fin de obtener una sección elíptica. Alternativamente, es posible extrudir a lo largo de la cuerda 3, elaborada con una sección alargada, una funda hecha de material plástico y flexible, con el fin de obtener una sección elíptica. Una mejora mayor adicional con respecto a esta solución sin embargo consiste en utilizar, en lugar de la cuerda 3, 2 o más cuerdas con diferente diámetro que están mutuamente ubicadas en paralelo, de tal manera que la suma de las secciones de resistencia de las cuerdas únicas 3 sea igual a la sección de resistencia adaptada para soportar las tensiones mecánicas suministradas cuando se diseña. Al rellenar adecuadamente las cavidades entre las cuerdas 3 con diferente diámetro con un material de baja densidad, es posible asignarle un perfil en forma de ala a la sección, en la cual la cuerda 3 con mayor diámetro ocupará el área con

mayor grosor (Figura 4b). La cuerda 8 múltiple perfilada de esta manera, como se muestra en el ejemplo en las Figuras 4a, 4b y 5, se puede recubrir con una trenza protectora tejida adecuada para tomar parte en la resistencia mecánica global.

5 Alternativamente, la cuerda 8 múltiple perfilada de esta manera se puede cubrir con una funda flexible hecha de material plástico con el fin de reducir su rugosidad superficial al mínimo.

Alternativamente, la cuerda misma puede ser tejida con el fin de obtener una sección aerodinámica.

10 Alternativamente, la cuerda puede ser tejida de acuerdo con las metodologías tradicionales, cuando se recose en un material plástico o elastomérico y se deforma bajo presión con el fin de obtener una sección aerodinámica.

15 La posible trenza protectora hecha de tela o la posible funda hecha de material plástico se puede interrumpir a intervalos regulares (tales como se muestra, por ejemplo, en la Figura 5), dejando una cuerda única o un conjunto de cuerdas múltiples que componen la cuerda global, libres de flexión, con el fin de incrementar la flexibilidad de la parte aérea de la cuerda y facilitar el rebobinamiento sobre los tambores del cabrestante.

20 Más aún, teniendo en cuenta las diferentes velocidades de vuelo a las cuales áreas diferentes de la parte aérea de la cuerda perfilada se mueven con respecto al aire, el perfil del ala elegida puede tener diferente geometría, y por lo tanto aerodinámica, características en diferentes áreas de la parte aérea de la cuerda.

25 Perfilar la cuerda de acuerdo con las formas que son diferentes de la sección circular, sin embargo, implica la ocurrencia de fenómenos de inestabilidad similarmente a los que ocurren en las alas de una aeronave. De hecho, sabemos que los perfiles elípticos y los perfiles de alas simétricos son inestables, a saber una variación positiva del ángulo de incidencia genera un momento aerodinámico que tiende a incrementar adicionalmente el ángulo de incidencia, hasta que el perfil se orienta de manera ortogonal a la corriente. Este comportamiento puede inducir obviamente separaciones de la estela, incremento en la resistencia e inestabilidad aeroelástica de la cuerda como un todo.

30 Por esta razón, con referencia particular a las Figuras 2, 4a, 4b, 5, 6 y 7, otra realización preferida de la cuerda 3 de acuerdo con la presente invención puede comprender un segundo sector 5 equipado con unos planos de cola reales, similares a aquellos utilizados por las aeronaves, que pueden balancear el momento aerodinámico generado por las variaciones de incidencia sobre la cuerda y garantizar un comportamiento estable. Con referencia por lo tanto en particular a la Figura 2, la cuerda 3 de acuerdo con la presente invención para un generador 1 eólico troposférico está compuesta adicionalmente, en su longitud, de al menos un tercer sector 6, tal como el sector 6 que es equipado con una sección 9 perfilada de tal manera que su propia sección transversal tiene un coeficiente de resistencia aerodinámico C_{D3} preferiblemente incluido entre 1, 2 y 0,05, aún más preferiblemente entre 0,6 y 0,05 de tal manera que $C_{D3} < C_{D1}$; más aún tal tercer sector 6 se puede equipar con establecer planos 10 de cola en tal número y colocado a tal distancia mutua que garantice la estabilidad de la cuerda global.

40 Con referencia a las Figuras 5 y 6, los planos 10 de cola están preferiblemente constreñidos al tercer sector 6 de la cuerda 3 a través de al menos una bisagra 12 y un pasador 13 que, permitiendo la rotación de los planos 10 de cola alrededor del eje ortogonal del eje de la cuerda 3, garanticen un rebobinamiento ordenado del tercer sector 6 de la cuerda 3 incluyendo los planos 10 de cola sobre el tambor de recolección de la cuerda 3 durante el procedimiento de aterrizaje. Preferiblemente, la bisagra 12 está constreñida a la sección 9 perfilada a través de al menos una brida 11. Como se muestra en la Figura 7, los planos 10 de cola pueden rotar alrededor del eje de la bisagra 12 con el fin de ser reinclinados hacia la cuerda 3.

45 El número y la posición mutua de los planos 10 de cola obviamente dependerán de las características aerodinámicas de la cuerda 3 y de la velocidad máxima de la cuerda 3 con respecto al aire, escogiendo la solución que garantice la estabilidad de la cuerda 3 bajo todas las condiciones de operación y la resistencia aerodinámica adicional mínima debido a los planos 10 de cola.

50 Los planos 10 de cola pueden ser finalmente constreñidos a la parte aérea de la cuerda, o se pueden asegurar al cable automáticamente con un mecanismo tipo gancho al iniciar el generador y desenrollar lentamente la parte aérea de la cuerda. De manera similar, ellos se pueden desconectar cuando se rebobina la parte aérea del cable y se detiene el generador.

55 Si los planos 10 de cola están finalmente constreñidos en la parte aérea de la cuerda, ellos pueden ser enrollados sobre los cabrestantes de reconexión integralmente con la cuerda durante las fases limitadas de despegue y aterrizajes.

Se ha encontrado que, al constreñir los planos de cola sobre la bisagra 12 cerca al borde de escape de la sección 9 aerodinámicamente perfilada, es posible hacer que los planos 10 de cola se doblen cerca a los tambores de cabrestante y se dispongan ordenadamente sobre el tambor de recolección.

5 Es claro que los planos 10 de cola pueden ser más fácilmente enrollados sobre la última capa de cuerda, más periférica, enrollada sobre el tambor de recolección.

10 Con el fin de garantizar la orientación correcta de los planos 10 de cola durante las fases de vuelo, se ha encontrado que un resorte, por ejemplo un resorte de torsión, colocado cerca a la bisagra 12 y con suficiente rigidez y para mantener en posición los planos 10 de cola a pesar de la acción de las fuerzas aerodinámicas, se puede resolver eficientemente este problema técnico.

15 Como se estableció ya, las innovaciones aportadas por la presente invención pueden ser utilizadas de forma rentable por cualquier generador eólico troposférico o de gran altitud.

20 En particular, sin embargo, si la solución 3 con dos cuerdas 3 se utiliza para transmitir la energía mecánica al piso, como en el caso del generador descrito en las patentes anteriores del solicitante, es necesario tener en cuenta y garantizar la oportunidad de que las cuerdas puedan enredarse durante el vuelo y generar fases. Cuando se experimenta un prototipo de tal generador, el comportamiento de las alas y los sistemas de control han sido ampliamente probados cuando las cuerdas se enredan mutuamente.

Se ha demostrado que el sistema puede operar regularmente también con muchos enrollados mutuos de las cuerdas, ya que el control del ala está ligado a la longitud diferente de las cuerdas y a los diferentes valores de tensión en las cuerdas.

25 Las cuerdas con sección circular están sin embargo libres de deslizarse una con respecto a la otra cuando ellas se enredan, y más aún el número de enrollados mutuos no reduce la eficiencia del sistema de control de vuelo.

30 También es claro que la libertad de deslizamiento mutuo de las cuerdas estaría limitada por la sección perfilada y afectada y aun se evitaría la presencia de los planos de cola.

35 Cuando se experimenta, también se ha verificado que el enredamiento del cable ocurre arrancando de la distancia central de la parte de vuelo de la cuerda y, al incrementar los enrollados, extendiéndose a lo largo de la dirección del ala de vuelo y la sección del generador de tierra.

40 Por esta razón, se ha encontrado que la parte aérea de la cuerda, en una realización preferida, puede a su vez ser dividida en dos sectores, para los 3 sectores globalmente.

45 Al moverse a lo largo de la cuerda es completamente desenrollada partiendo del generador a lo largo de la dirección del ala, por lo tanto en este caso hay un primer sector sometido a unos ciclos de flexión repetidos, un segundo sector equipado con una sección circular y capaz de tolerar los enredamientos de cuerda mutuos, y un tercer sector que es aerodinámicamente perfilado y equipado con planos de cola.

50 En particular, el sector de la parte aérea de la cuerda equipada con la sección circular se puede cubrir con una trenza, una funda o un recubrimiento de superficie con una fricción superficial baja, con el fin de facilitar el deslizamiento mutuo de las cuerdas cerca a las áreas donde se pueden generar los enrollamientos mutuos.

La funda o recubrimiento también se puede llevar ventajosamente con cavidades de superficie con el fin de anticipar la transición turbulenta y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico

55 Regresando al ejemplo numérico previo, es posible elaborar una cuerda 3 de acuerdo con una realización preferida en la cual la cuerda este compuesta por un primer sector 4 que tenga el diámetro $D(b1) = 14$ mm, longitud 500 m, $C_D = 1, 2$, un segundo sector 5 que tiene un diámetro $D(b2) = 9$ mm, longitud 300 m y $C_D = 1, 2$, un tercer sector 6 que tiene un diámetro $D(b3) = 9$ mm, longitud 200 m y un coeficiente de resistencia aerodinámico reducido $C_D = 0,5$ que tiene una resistencia global igual a 2768 N.

Finalmente, la cuerda para un generador eólico troposférico de la presente invención está compuesta de al menos 3 sectores con diferentes características de longitud y construcción. El sector de la cuerda más cercano al generador,

sometido a ciclos de flexión repetidos dentro del sistema para transmitir y convertir energía mecánica en energía eléctrica, se estructura con el fin de garantizar una vida larga a la fatiga cíclica.

5 El sector de la cuerda más cercano al ala o cometa, que se puede definir como la parte aérea de la cuerda, se estructura y se perfila con el fin de suministrar baja resistencia aerodinámica y mínimo peso.

El paso entre los sectores de cuerda contigua se efectúa con el fin de garantizar una transición suave.

10 Una ventaja adicional que deriva de una cuerda 3 de acuerdo con la presente invención es que, en caso de ruptura de una de las cuerdas, la pieza de la cuerda se desliza suavemente en lugar de caer al piso, y por lo tanto el sistema de control automático tiene tiempo suficiente para rebobinar rápidamente la cuerda dañada antes de que ella llegue al piso.

Reivindicaciones

1. Generador 1 eólico troposférico que comprende una cuerda (3), dicha cuerda (3) está compuesta, en longitud, de:
- 5 - al menos un primer sector (4) adaptado para resistir a los ciclos de flexión repetidos, que tiene: un coeficiente S1 de seguridad, a saber la relación entre la resistencia a la tensión final estática de la cuerda (3) y la carga máxima suministrada cuando se opera la cuerda (3), incluida entre 3 y 15; un diámetro D(b1) incluido entre 6 mm y 72 mm; y un coeficiente de resistencia aerodinámico C_{D1} ;
- 10 caracterizado por que dicha cuerda (3) está compuesta adicionalmente, en su longitud, de:
- al menos un segundo sector (5) adaptado para resistir a los ciclos de tracción repetidos bajo carga, que tiene un coeficiente de seguridad $S2 < S1$ y un diámetro $D(b2) < D(b1)$ y
- 15 -al menos un tercer sector (6), dicho tercer sector (6) está equipado con una sección (9) perfilada que tiene una sección transversal con un coeficiente de resistencia aerodinámico C_{D3} en el cual $C_{D3} < C_{D1}$.
2. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho coeficiente de resistencia aerodinámico C_{D3} está incluido entre 1, 2 y 0,05, más preferiblemente entre 0,6 y 0,05.
- 20 3. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones previas, caracterizado por que dichos sectores (4; 5; 6) están unidos para hacer una variación continua y progresiva, dichos sectores (4; 5; 6) están terminados en sus propios extremos y mutuamente unidos con uno o más elementos de unión hechos de material metálico o compuesto.
- 25 4. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicha cuerda (3) está conectada a una cometa (2) a través de al menos un par de bridas (7) respectivamente hechas con materiales que tienen diferentes módulos de elasticidad.
- 30 5. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho tercer sector (6) está equipado con planos (10) de cola estabilizantes, preferiblemente dichos planos (10) de cola están constreñidos a dicho tercer sector (6) a través de al menos una bisagra (12) y un pasador (13) adaptado para permitir una rotación de dichos planos (10) de cola alrededor de un eje ortogonal a un eje de dicha cuerda (3).
- 35 6. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por que dicha bisagra (12) esta constreñida a dicha sección (9) perfilada a través de al menos una brida (11), o dicha bisagra (12) está equipada con al menos un resorte adaptado para mantener en posición los planos (10) de cola.
- 40 7. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho primer sector (4) y dicho segundo sector (5) están hechos con unas mezclas de fibras sintéticas con un módulo de elasticidad alto, a saber, fibras HMPE.
- 45 8. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho segundo sector (5) está cubierto con una funda o recubrimiento hecho de material plástico equipado con una distribución de cavidades y aristas adaptadas para anticipar la transición turbulenta de la capa limite y reducir el coeficiente de resistencia aerodinámico.
- 50 9. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho segundo sector (5) está cubierto con una funda equipada sobre su superficie con al menos un perfil elicoidal, o está cubierto con una trenza protectora equipada con filamentos libres de ser orientados a lo largo de las líneas de flujo.
- 55 10. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho segundo sector (5) está enrollado con bandas de tela o material plástico libres de ser orientadas a lo largo de las líneas de flujo.
11. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho segundo sector (5) está cubierto con una funda aerodinámicamente perfilada hecha de material plástico.
12. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que dicho segundo sector (5) tiene una forma en sección alargada que tiene una relación entre eje mayor y eje menor que varía entre 1, 5 y 5.

13. Generador (1) eólico troposférico que comprende una cuerda (8) múltiple, compuesta de una pluralidad de cuerdas (3) de acuerdo con la reivindicación 1 mutuamente colocadas en paralelo.
- 5 14. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por que las cavidades entre dichas cuerdas (3) con diferente diámetro están rellenas con un material de baja densidad para hacer un perfil de ala en sección, en el cual una de dichas cuerdas (3) con diámetro mayor ocupan un área con grosor máximo de dicho perfil de ala.
- 10 15. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado por que dicha cuerda (8) múltiple está cubierta por una trenza protectora, o por una funda flexible hecha de material plástico.
- 15 16. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 1 o 13, caracterizado por que dicha cuerda (3) esta tejida para obtener una sección aerodinámica, o es tejida y recocida en un material plástico o elastomérico y deformada para obtener una sección aerodinámica.
- 20 17. Generador (1) eólico troposférico de acuerdo con la reivindicación 15, caracterizado por que dicha trenza protectora hecha de tela o dicha funda hecha de material plástico está interrumpida a intervalos regulares, dejando dicha cuerda (3) o dicha cuerda (8) múltiple libre de ser flexionada.

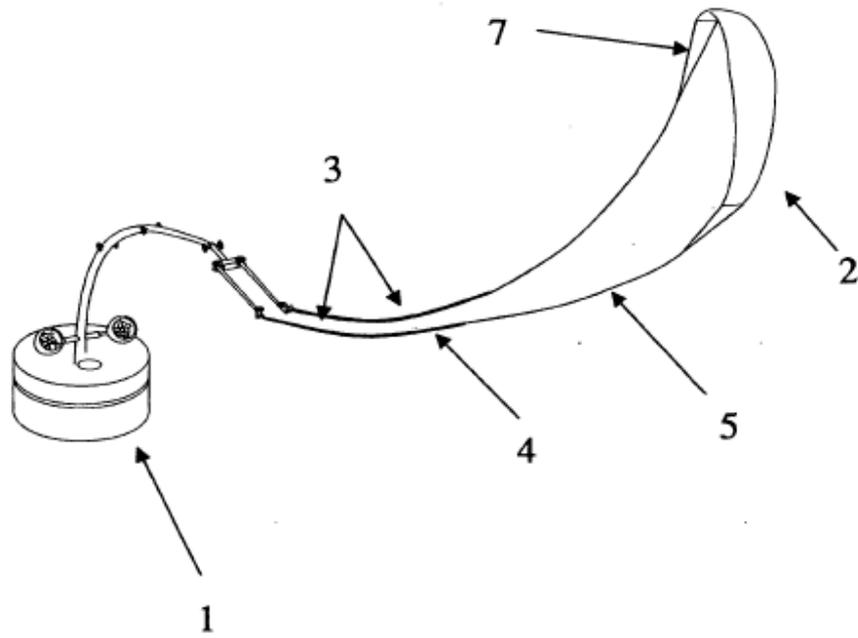


FIG. 1

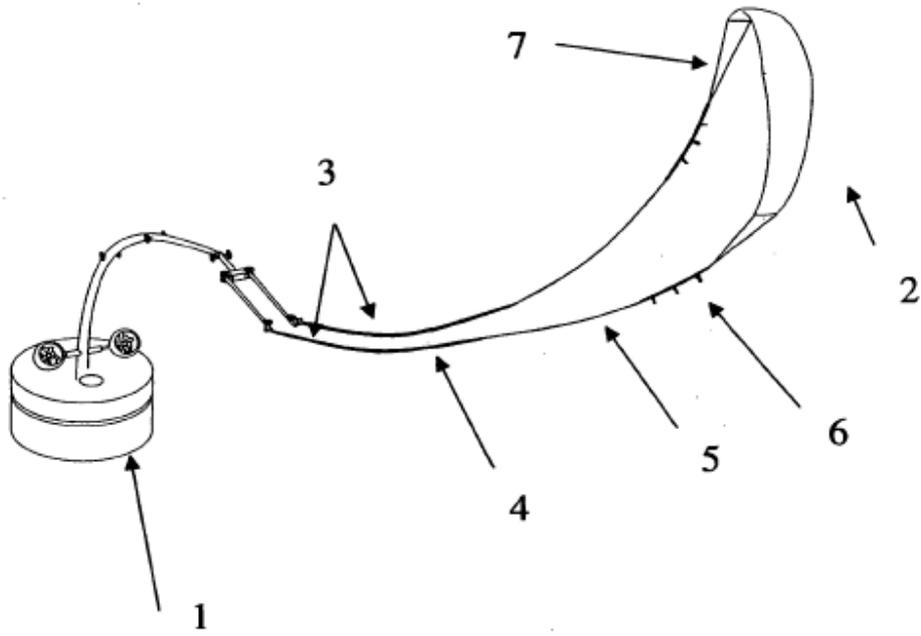


FIG. 2

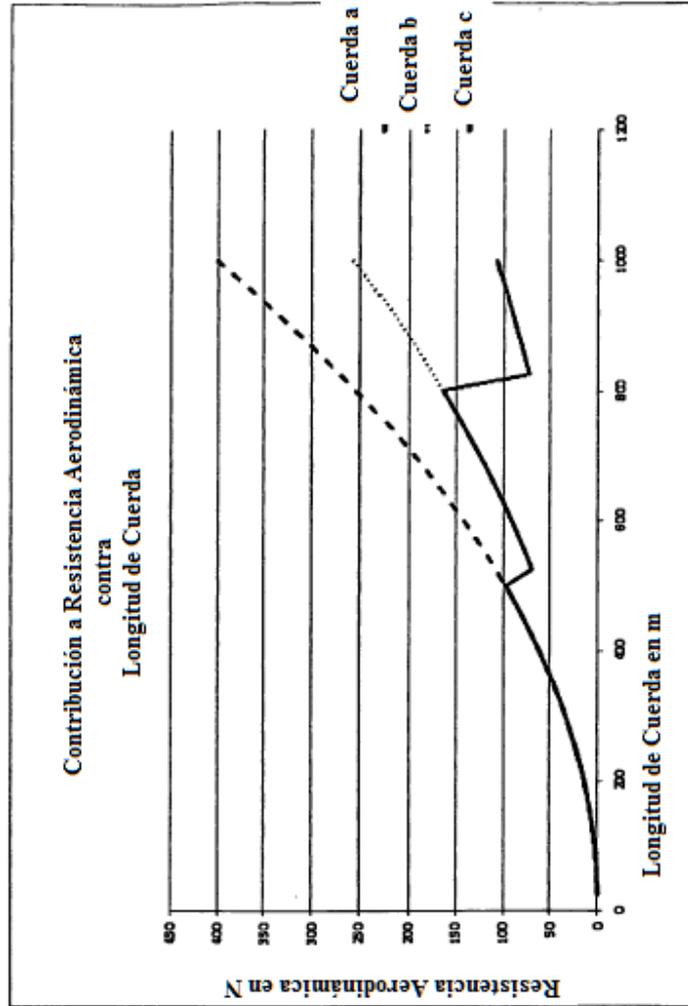
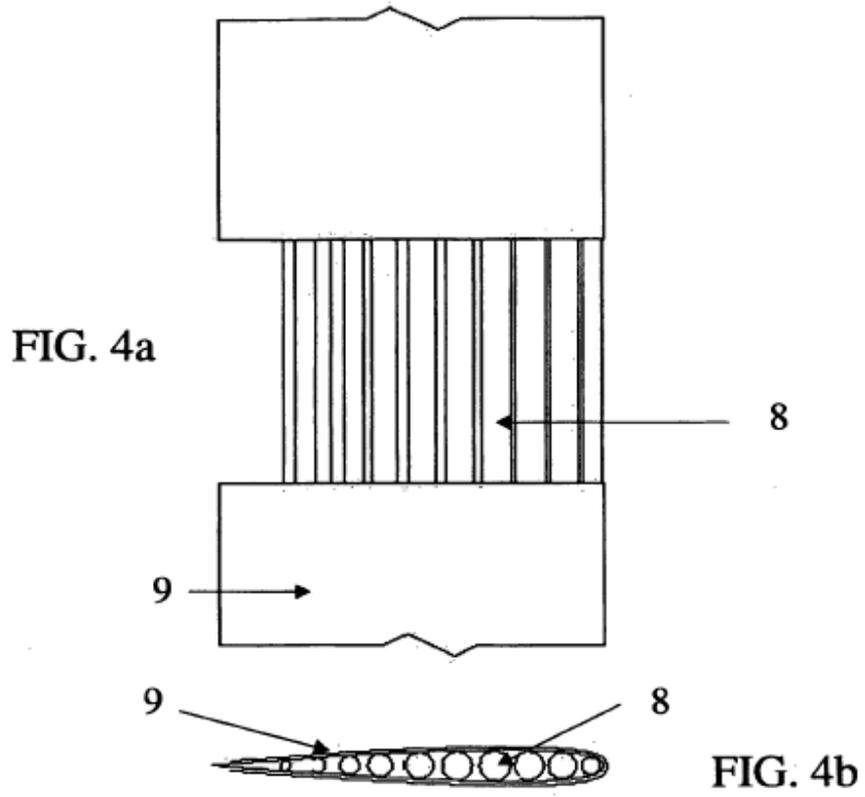


FIG. 3



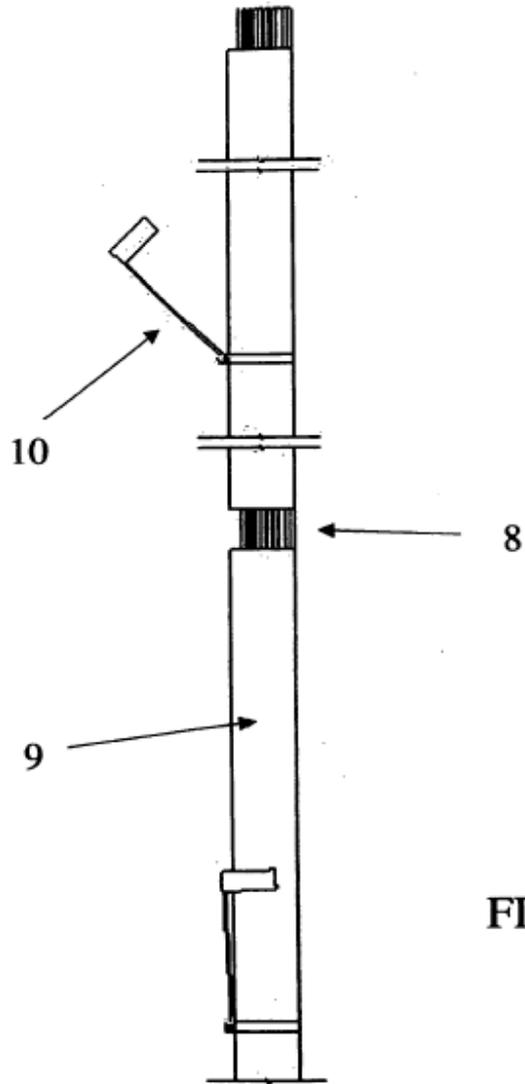


FIG. 5

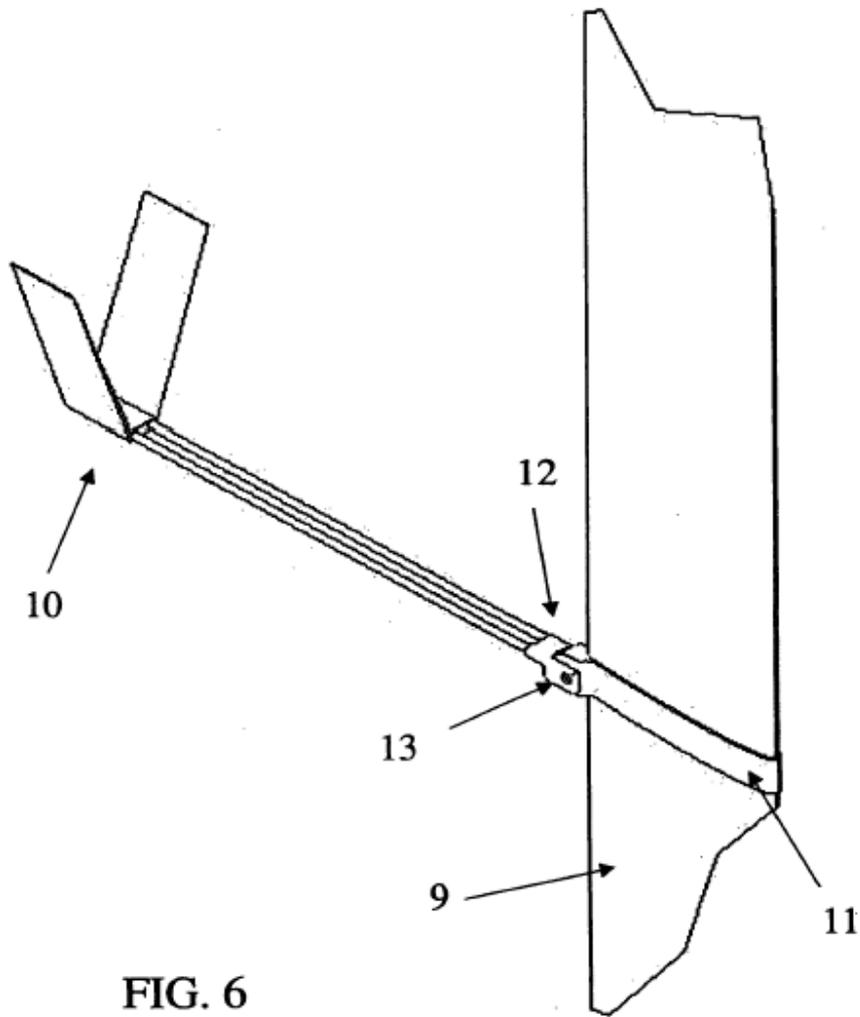


FIG. 6

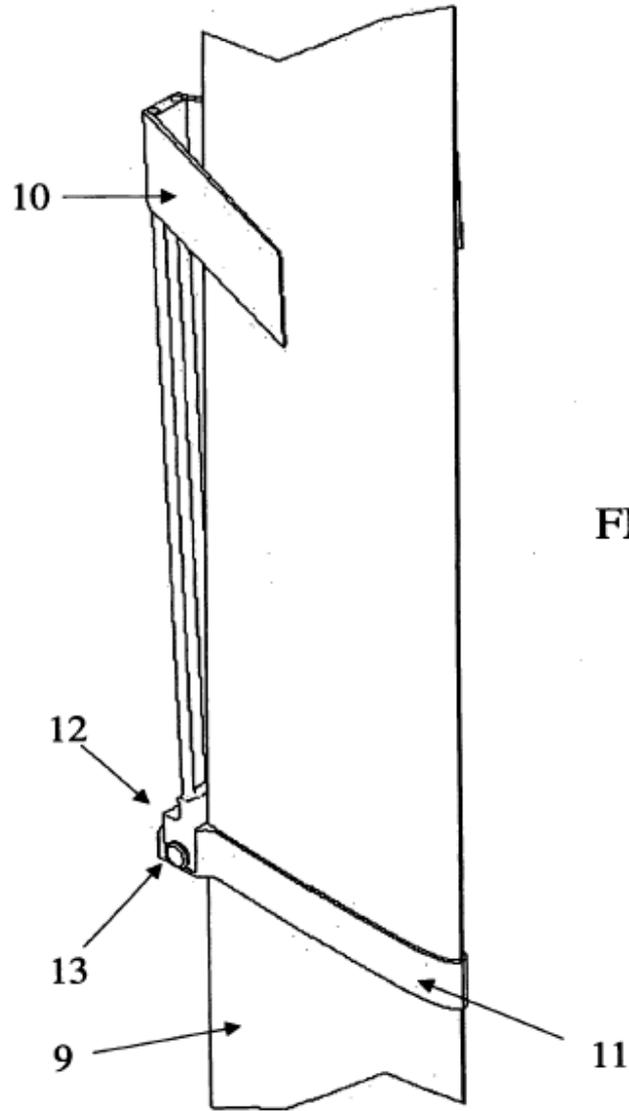


FIG. 7