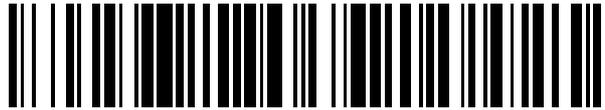


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 396 702**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.01.2007 E 07000617 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.11.2012 EP 1944505**

54 Título: **Pala de rotor de turbina eólica con generadores de vórtice**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
25.02.2013

73 Titular/es:

**SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT (100.0%)
WITTELSBACHERPLATZ 2
80333 MÜNCHEN, DE**

72 Inventor/es:

**ENEVOLDSEN, PEDER BAY y
HJORT, SOEREN**

74 Agente/Representante:

ZUAZO ARALUZE, Alexander

ES 2 396 702 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

Pala de rotor de turbina eólica con generadores de vórtice

5 La presente invención se refiere a una pala de rotor de turbina eólica con generadores de vórtice y a una turbina eólica con al menos una de tales palas de rotor.

10 Una pala de rotor del estado de la técnica para una turbina eólica se describe, por ejemplo, en el documento EP 1 314 885 A1. Una pala de este tipo comprende una parte de encastre que tienen una sección transversal conformada cilíndricamente mediante la cual la pala de rotor se fija a un buje del rotor y una parte de superficie aerodinámica con una sección transversal conformada aerodinámicamente.

15 Es habitual subdividir la parte de superficie aerodinámica en la práctica en una parte de superficie aerodinámica interior relativamente gruesa y una parte de superficie aerodinámica exterior relativamente delgada en la que la parte de superficie aerodinámica interior se sitúa entre la parte de encastre y la parte de superficie aerodinámica exterior.

La pala de rotor de turbina eólica dada a conocer en el documento EP 1 314 885 A1 está dotada de generadores de vórtice situados en el lado de succión de la parte de superficie aerodinámica interior.

20 Generadores de vórtice que están situados en una pala de rotor de turbina eólica cerca de la parte de buje también se conocen del documento WO 02/08600 A1. Además, el uso de generadores de vórtice se describe en el documento WO 00/15961 así como en el documento EP 0 947 693 A2.

25 En Van Rooij, R.P.J.O.M.; Timmer, W.A.: "Roughness sensitivity considerations for thick rotor blade airfoils", Journal of Solar Energy Engineering, vol. 125, n.º 4, noviembre de 2003 (11-2003), páginas 468-478, XP00807970 Nueva York, NY, EE. UU. y en Peter Fuglsang, Christian Bak: "Development of the Risø Turbine Airfoils" una muestra de 2003 EWEC en Madrid, vol. 7, n.º 2, 24 de mayo de 2004 (24-05-2004), páginas 145-162, XP002436915 John Wiley & Sons Ltd., se describen diferentes palas de rotor de turbina eólica con un grosor entre el 25% y el 40,1% en comparación con la longitud de cuerda. Las palas de rotor están equipadas con generadores de vórtice, que están
30 situados en el lado de succión de la superficie aerodinámica al 20% o al 30% de la longitud de cuerda, medida desde el borde de entrada de la superficie aerodinámica.

35 En el estado de la técnica mencionado, se describe el uso de generadores de vórtice para mejorar las propiedades aerodinámicas de las palas de rotor de turbina eólica. Sin embargo, una posición óptima de los generadores de vórtice depende de muchos parámetros. Por tanto, no puede esperarse necesariamente que una buena posición de generadores de vórtice en la parte de superficie aerodinámica exterior de una pala de rotor sea también una buena posición de los generadores de vórtice en la parte de superficie aerodinámica interior de la pala de rotor. Sin embargo, en particular, la parte de superficie aerodinámica interior de la pala de rotor tiene un rendimiento aerodinámico reducido en comparación con la parte de superficie aerodinámica exterior. El motivo es que la parte
40 interior de la pala de rotor de turbina eólica necesita soportar la carga de toda la pala. Esto significa varias limitaciones de diseño con el fin de conseguir rigidez suficiente de la pala de rotor. El rendimiento aerodinámico reducido de la parte de superficie aerodinámica interior en comparación con la parte de superficie aerodinámica exterior reduce la eficacia global de una turbina eólica. Por tanto, se desea mejorar el rendimiento aerodinámico de la parte de superficie aerodinámica interior.

45 En vista de lo mencionado anteriormente es un objetivo de la presente invención proporcionar una pala de rotor de turbina eólica mejorada con generadores de vórtice situados de tal manera que puedan conseguirse un rendimiento aerodinámico suficiente y, al mismo tiempo, una alta capacidad portante.

50 Un objetivo adicional de la presente invención es proporcionar una turbina eólica mejorada.

El primer objetivo se resuelve mediante una pala de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1 y el segundo objetivo se resuelve mediante una turbina eólica según la reivindicación 6. Las reivindicaciones dependientes definen desarrollos adicionales de la presente invención.

55 Una pala de rotor de turbina eólica según la invención comprende una superficie aerodinámica que tiene un lado de succión y un lado de presión. La superficie aerodinámica comprende además una parte de superficie aerodinámica interior y una parte de superficie aerodinámica exterior en la que la parte de superficie aerodinámica interior es relativamente más gruesa que la parte de superficie aerodinámica exterior. Además, la parte de superficie aerodinámica interior está dotada de generadores de vórtice. En la pala de rotor de turbina eólica según la invención el grosor de la parte de superficie aerodinámica interior está entre el 30% y el 80% de la longitud de cuerda de la parte de superficie aerodinámica interior. Los generadores de vórtice están situados en el lado de succión de la parte de superficie aerodinámica interior entre el 8% y el 12% de la longitud de cuerda, medida desde el borde de entrada de la parte de superficie aerodinámica.

65 La pala de rotor de turbina eólica según la invención proporciona una rigidez mejorada en comparación con las palas

de rotor del estado de la técnica con rendimiento aerodinámico comparable de la parte de superficie aerodinámica interior. La alta rigidez se consigue mediante el grosor de extremo de la parte de superficie aerodinámica interior que se encuentra entre el 40 % y el 80 % de la longitud de cuerda. Sin embargo, habitualmente, las palas más gruesas se relacionan con un rendimiento aerodinámico más bajo. En la presente invención, el rendimiento aerodinámico más bajo de una parte de superficie aerodinámica gruesa de extremo se supera disponiendo generadores de vórtice en el lado de succión de la parte de superficie aerodinámica interior gruesa. Por tanto, la combinación del grosor de extremo de la parte de superficie aerodinámica interior y los generadores de vórtice adecuadamente situados permite palas de rotor de turbina eólica que tienen una alta rigidez en la parte de superficie aerodinámica interior y, al mismo tiempo, un rendimiento aerodinámico satisfactorio. Hasta ahora, no se conocía el uso de generadores de vórtice para palas de grosor de extremo. Incluso en el documento WO 02/08600 A1, en el que se sitúan generadores de vórtice cerca del encastre, la parte de superficie aerodinámica que soporta los generadores de vórtice no es una parte de superficie aerodinámica gruesa.

Una resistencia suficiente de la parte de superficie aerodinámica interior de palas de rotor de turbina eólica también puede conseguirse con un grosor entre el 40% y el 65% de la longitud de cuerda.

Para conseguir el efecto máximo de los generadores de vórtice es ventajoso cuando los generadores de vórtice están presentes a lo largo de toda la envergadura de la parte de superficie aerodinámica interior. Todos los generadores de vórtice pueden estar situados a la misma longitud de cuerda.

Debe observarse, que la invención no excluirá el uso de generadores de vórtice en la parte de superficie aerodinámica exterior más delgada.

Un rotor de turbina eólica según la invención comprende al menos una pala de rotor según la invención. En particular, todas las palas de rotor de la turbina eólica, por ejemplo, las tres palas de rotor de un rotor de turbina eólica de tres palas, son palas de rotor según la invención.

Otras características, propiedades y ventajas de la presente invención quedarán claras a partir de la siguiente descripción de realizaciones de la invención en combinación con los dibujos adjuntos.

En los dibujos:

la figura 1 muestra una pala de rotor de turbina eólica en una vista plana en el plano definido por la envergadura de la pala y la cuerda de la pala.

La figura 2 muestra una sección según la cuerda a través de la parte de superficie aerodinámica exterior de la pala mostrada en la figura 1.

La figura 3 muestra una sección según la cuerda a través de la parte de superficie aerodinámica interior de la pala mostrada en la figura 1 según una primera realización de la invención.

La figura 4 muestra una sección según la cuerda a través de la parte de superficie aerodinámica interior de la pala mostrada en la figura 1 según una segunda realización de la invención.

La figura 5 muestra una sección según la cuerda a través de la parte de superficie aerodinámica de la pala mostrada en la figura 1 según una tercera realización de la invención.

La figura 6 muestra los coeficientes de sustentación conseguidos por las palas de rotor según la invención en función del ángulo de ataque del viento.

La figura 7 muestra los coeficientes de resistencia aerodinámica de las palas de rotor según la invención en función del ángulo de ataque del viento.

La figura 1 muestra una pala de turbina eólica tal como se usa habitualmente en un rotor de tres palas. Sin embargo, la presente invención no se limitará a palas para rotores de tres palas. De hecho, también puede implementarse en otros rotores como rotores de una pala o rotores de dos palas, o incluso en rotores con más de tres palas.

La pala 1 de rotor mostrada en la figura 1 comprende una parte 3 de encastre con un perfil cilíndrico, y una punta 2 que forma la parte más exterior de la pala. El perfil cilíndrico de la parte 3 de encastre sirve para fijar la pala 1 a un cojinete de un buje de rotor. La pala 1 de rotor comprende además lo que se denomina hombro 4 que se define como la ubicación de la profundidad de perfil máxima de la pala, es decir su longitud de cuerda máxima.

La superficie 5 aerodinámica se extiende a lo largo de lo que se denomina envergadura (línea discontinua de puntos en la figura 1) entre la parte 3 de encastre y la punta 2. Puede subdividirse en la práctica en una parte 6 de superficie aerodinámica delgada exterior y una parte 7 de superficie aerodinámica gruesa interior. Dado que el límite entre la parte de superficie aerodinámica delgada y la parte de superficie aerodinámica gruesa no suele estar

definido, la presente invención considera una parte de superficie aerodinámica como gruesa si la relación de su grosor respecto a la longitud de cuerda está por encima del 30%.

Una sección transversal según la cuerda a través de la parte 6 de superficie aerodinámica delgada de las palas de rotor a lo largo de la línea I-I se muestra en la figura 2. El perfil aerodinámico de la parte de superficie aerodinámica mostrada en la figura 2 comprende un lado 13 de succión convexo y un lado 15 de presión menos convexo. La línea discontinua de puntos que se extiende desde el borde 9 de entrada de la palas hasta su borde 11 de salida muestra la cuerda del perfil. Aunque el lado 15 de presión comprende una sección 17 convexa y una sección 19 cóncava en la figura 2, puede implementarse sin sección cóncava siempre que el lado 13 de succión sea más convexo que el lado 15 de presión.

Una sección según la cuerda transversal a través de la parte 7 de superficie aerodinámica gruesa de las palas de rotor a lo largo de la línea II-II en la figura 1 se muestra en la figura 3 para una primera realización de la invención. La forma general de la sección transversal de las partes de superficie aerodinámica gruesa corresponde a la forma general de la sección transversal de las partes de superficie aerodinámica delgada y, por tanto, no se describirá en detalle de nuevo. Además, elementos de la sección transversal mostrada en la figura 3 correspondiente a elementos mostrados en la sección transversal de figura 2 se designan con los mismos números de referencia.

La diferencia principal entre la sección transversal de la parte de superficie aerodinámica gruesa mostrada en la figura 3 y la sección transversal de la parte de superficie aerodinámica delgada mostrada en la figura 2 es que la relación entre el grosor más alto del perfil, definido como la línea recta más larga desde el lado 13 de succión hasta el lado 15 de presión perpendicular a la cuerda, y la longitud de cuerda del perfil está por encima del 30% mientras que la relación respectiva del perfil mostrado en la figura 2 está por debajo del 30%.

También se muestra en la sección transversal de la parte de superficie aerodinámica gruesa según la primera realización un generador 21 de vórtice que está situado en el lado 13 de succión entre el 25 y el 30 % de longitud de cuerda, medida desde el borde 9 de entrada.

Ubicaciones alternativas de los generadores 21', 21'' de vórtice en el lado 13 de succión de la parte de superficie aerodinámica gruesa se muestran en las figuras 4 y 5. Excepto por la ubicación de los generadores de vórtice, la forma de las secciones transversales mostradas en las figuras 3 a 5 son idénticas. En la sección transversal mostrada en la figura 4, el generador 21' de vórtice está situado aproximadamente del 18 % al 22 % de la longitud de cuerda mientras que el generador 21'' de vórtice en la sección transversal mostrada en la figura 5 está situado entre el 8% y el 12% de la longitud de cuerda.

Debe observarse que la posición óptima del generador de vórtice puede variar dependiendo de la relación grosor respecto a longitud de cuerda del perfil así como de la forma global de la sección transversal. Sin embargo, es ventajoso si el generador de vórtice se encuentra en el intervalo entre el 5% y el 30% de la longitud de cuerda para partes de superficie aerodinámica gruesa con una relación de grosor respecto a longitud de cuerda en el intervalo entre el 30% y el 80% y en particular para relaciones en el intervalo entre el 40% y el 65%.

La influencia de los generadores 21, 21', 21'' de vórtice en las ubicaciones mostradas en las figuras 3 a 5 en la sustentación de la pala 1 de turbina eólica se muestra en la figura 6. La figura muestra el coeficiente de sustentación c_l de la pala 1 de turbina en función del ángulo de ataque (AOA) del viento, es decir, el ángulo entre la cuerda y el viento relativo visto desde el borde 9 de entrada de la pala 1 de rotor. En general, un coeficiente de sustentación más alto aumenta la eficacia de la pala de turbina.

La línea indicada por A es el resultado de una medición de coeficiente de sustentación para una pala de turbina eólica sin ningún generador de vórtice. Las líneas designadas por B, C y D muestran los resultados de palas de turbina que tienen generadores de vórtice en el lado de succión de la parte de superficie aerodinámica gruesa en las ubicaciones mostradas en la figura 3(B), en la figura 4(C) y en la figura 5(D). Excepto por la presencia y la ubicación de los generadores de vórtice, respectivamente, las cuatro palas de turbina son idénticas.

Puede verse fácilmente a partir de la figura 6 que la presencia de los generadores de vórtice en la parte de superficie aerodinámica gruesa aumenta el coeficiente de sustentación en cuanto el ángulo de ataque del viento sea mayor de aproximadamente 3 grados. Con mayores ángulos de ataque los coeficientes de sustentación de las diferentes palas de rotor de turbina eólica se fusionan de nuevo. Para la pala de rotor B que tiene generadores de vórtice tal como se muestra en la figura 3 el coeficiente de sustentación c_l es más o menos idéntico con la pala de rotor A sin ningún generador de vórtice para ángulos de ataque mayores de aproximadamente 15 grados. Para palas de rotor de turbina eólica C que tienen generadores de vórtice en la ubicación mostrada en la figura 4 el coeficiente de sustentación c_l es más o menos idéntico con la pala de rotor A sin generadores de vórtice para ángulos de ataque mayores de aproximadamente 18 grados. Con los generadores de vórtice en la ubicación mostrada en la figura 5 el coeficiente de sustentación c_l de la pala de rotor de turbina eólica es significativamente mayor que el coeficiente de sustentación de la pala de rotor A sin generadores de vórtice en un amplio intervalo de ángulo de ataque, concretamente entre aproximadamente 3 grados y 23 grados. Por tanto, la pala D representa una realización particularmente ventajosa de la invención.

Como tendencia general puede observarse que el coeficiente de sustentación máximo de la pala se mueve hacia ángulos de ataque mayores a medida que la ubicación de los generadores de vórtice se mueve hacia el borde de entrada del perfil. Además, el valor máximo del coeficiente de sustentación c_1 aumenta en consecuencia.

5 La figura 7 muestra el coeficiente de resistencia aerodinámica c_d para las cuatro palas mostradas en la figura 6. Las diferencias en el coeficiente de resistencia aerodinámica c_d entre las cuatro palas de turbina A, B, C, D son menos importantes que las diferencias entre los coeficientes de sustentación c_1 . Mientras que los coeficientes de sustentación c_1 difieren de manera importante entre las diferentes palas en el intervalo desde 3 grados AOA hasta el intervalo de 23 grados AOA sólo pueden verse mayores diferencias entre los coeficientes de resistencia aerodinámica de las palas desde aproximadamente 3 grados AOA hasta aproximadamente 12 grados AOA. La reducción de la resistencia aerodinámica en este intervalo para las palas de rotor con generadores de vórtice resulta del retardo en la pérdida de sustentación causado por los generadores de vórtice.

15 Basándose en las diferencias en los coeficientes de sustentación c_1 y el coeficiente de resistencia aerodinámica c_d para las diferentes configuraciones de generador de vórtice mostradas en las figuras 3 a 5 se ha calculado una producción de energía anual (AEP). En comparación con la pala de turbina sin generadores de vórtice (pala A) la producción de energía anual puede aumentarse en casi el uno por ciento para la configuración de generador de vórtice mostrada en la figura 3, en casi el 1,5 por ciento para la configuración de generador de vórtice mostrada en la figura 4 y en más del 1,7 por ciento para la configuración de generador de vórtice mostrada en la figura 5.

25 Aunque la ventaja principal de los generadores de vórtice es una producción de energía mejorada, también pueden conseguirse otras ventajas. La caída de sustentación, representada por la caída del coeficiente de sustentación c_1 en la figura 6, tiene importancia para las cargas en la torre. Moviendo la caída a otros ángulos de ataque es posible influenciar la carga dinámica de la torre. Además, por retardo en la pérdida de sustentación, tal como se ha comentado con referencia a la figura 7, puede reducirse el ruido producido por el rotor.

REIVINDICACIONES

1. Pala (1) de rotor de turbina eólica con una superficie (5) aerodinámica que tiene un lado (13) de succión y un lado (15) de presión, comprendiendo la superficie (5) aerodinámica una parte (7) de superficie aerodinámica interior y una parte (6) de superficie aerodinámica exterior, en la que la parte (7) de superficie aerodinámica interior es relativamente más gruesa que la parte (6) de superficie aerodinámica exterior, siendo el grosor de la parte (7) de superficie aerodinámica interior entre el 30% y el 80% de la longitud de cuerda de la parte (7) de superficie aerodinámica interior, y la parte (7) de superficie aerodinámica interior está dotada de generadores (21, 21', 21'') de vórtice,
10 caracterizada
15 porque los generadores (21, 21', 21'') de vórtice están situados en el lado (13) de succión de la parte (7) de superficie aerodinámica interior entre el 8% y el 12% de la longitud de cuerda, medida desde el borde (9) de entrada de la parte (7) de superficie aerodinámica.
2. Pala (1) de rotor de turbina eólica según la reivindicación 1, caracterizada porque el grosor de la parte (7) de superficie aerodinámica interior está entre el 40% y el 65% de la longitud de cuerda.
- 20 3. Pala (1) de rotor de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque todos los generadores de vórtice están situados a la misma longitud de cuerda.
- 25 4. Pala (1) de rotor de turbina eólica según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizada porque los generadores de vórtice están presentes a lo largo de toda la envergadura de la parte (7) de superficie aerodinámica interior.
5. Turbina eólica con al menos una pala (1) de rotor según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.

FIG 1

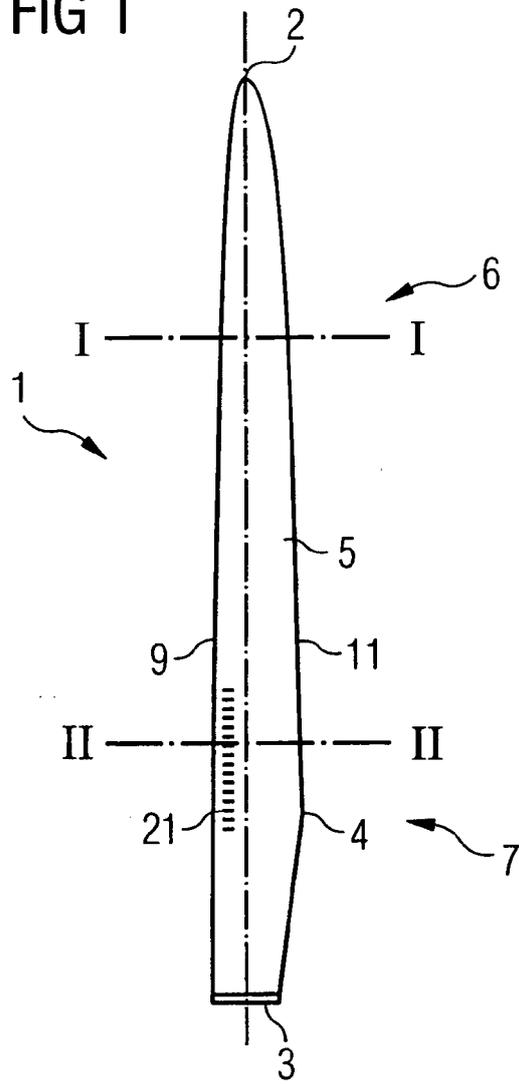


FIG 2

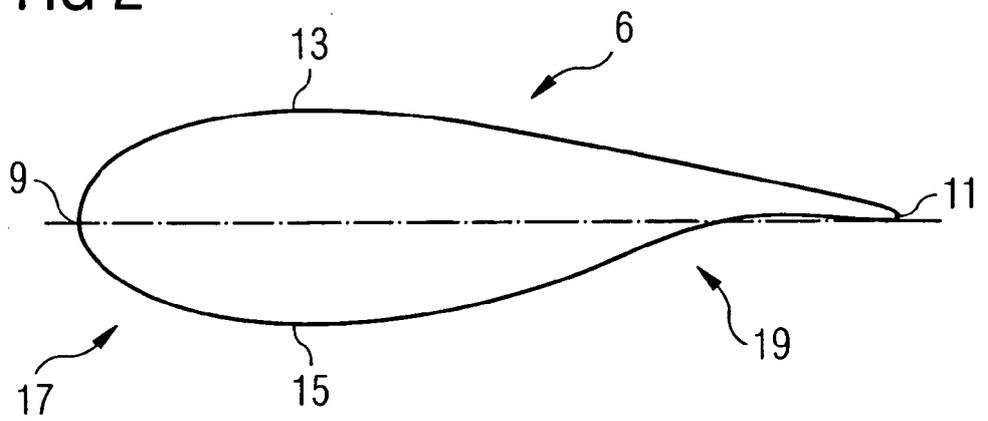


FIG 3

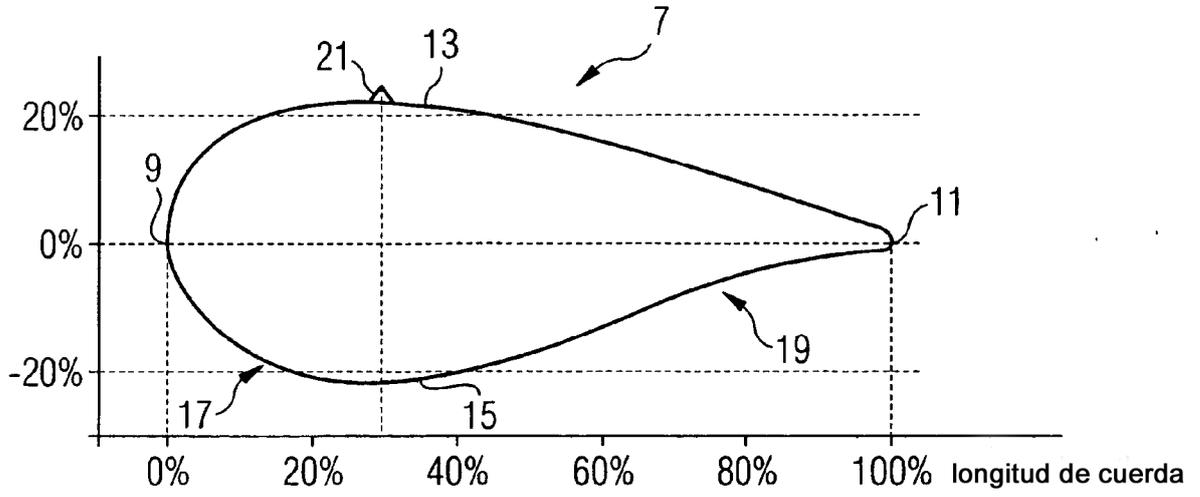


FIG 4

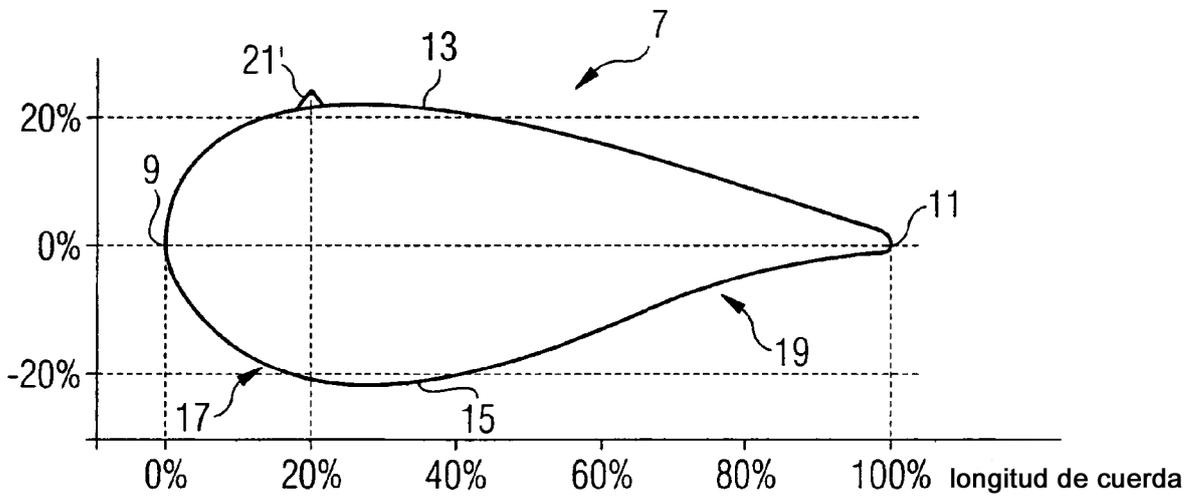


FIG 5

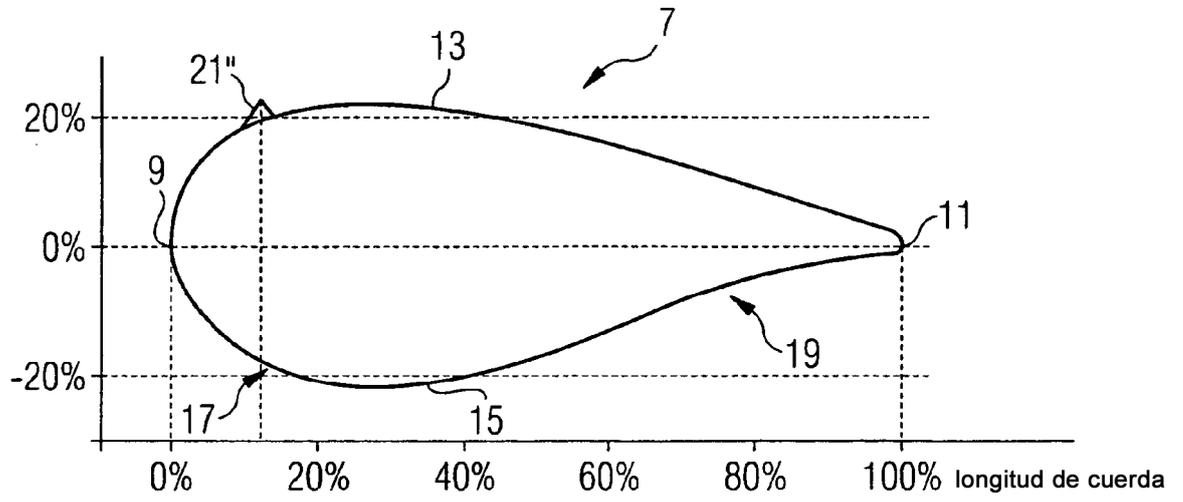


FIG 6

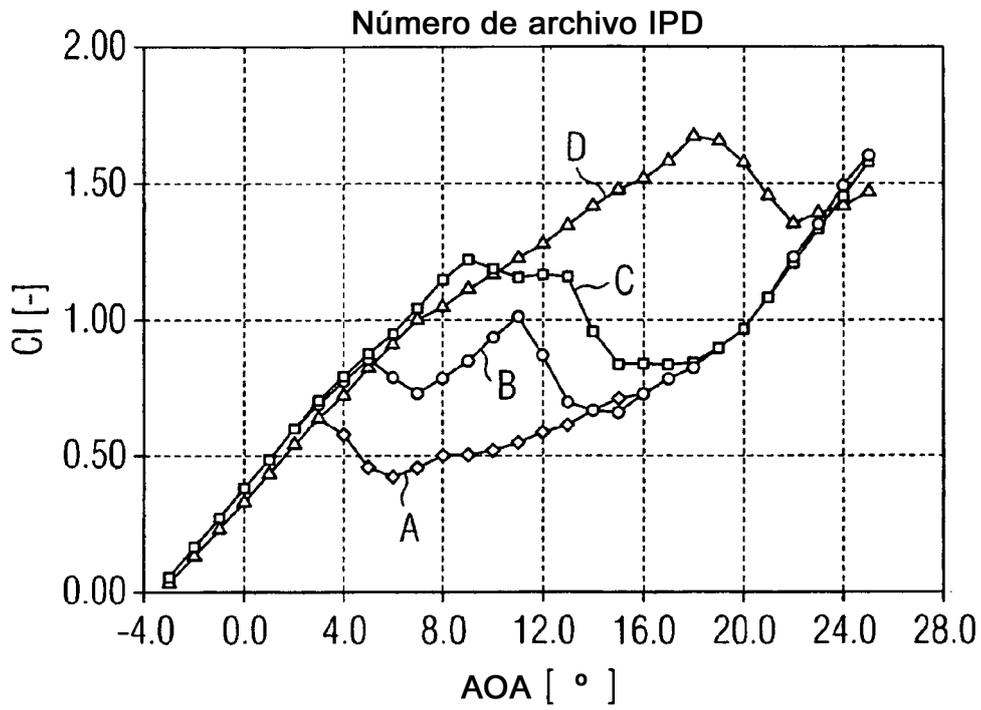


FIG 7

