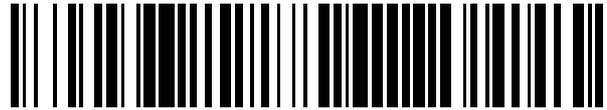


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 710 477**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **01.06.2012 PCT/GB2012/051249**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.12.2012 WO12164305**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.06.2012 E 12726843 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.01.2019 EP 2715118**

54 Título: **Un rotor de turbina eléctrica**

30 Prioridad:

03.06.2011 GB 201109412

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

25.04.2019

73 Titular/es:

**BLADE DYNAMICS LIMITED (100.0%)
Saunders Drive
Cowes, Isle Of Wight PO31 8HU, GB**

72 Inventor/es:

**HAYDEN, PAUL TREVOR y
WHILEY, DAVID ANTHONY**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 710 477 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

Un rotor de turbina eléctrica

5 La presente invención se refiere a un rotor de turbina eólica. En particular, la presente invención se refiere a un rotor de turbina eólica a gran escala moderno. Para los fines de la memoria descriptiva, esto se definirá como una turbina eólica que comprende un cubo desde el que se proyecta una pluralidad de palas en un radio de al menos 50 metros, comprendiendo cada pala un carenado hueco soportado por un larguero central.

10 El tamaño actual de las palas de turbinas eólicas se encuentra en el intervalo comprendido entre 35 y 5 m (radio medido desde el centro del cubo hasta la punta de la pala). Está establecido para aumentarlo aún más en los años próximos, ya que hay previstos planes para construir máquinas mucho más grandes en aplicaciones tanto en tierra como en alta mar que puedan requerir palas de un tamaño comprendido entre 50 y 100 m.

15 Si se incrementa proporcionalmente la tecnología actual de las palas "como tal" o con modificaciones menores, conducirá a una serie de retos de fabricación y además conducirá a una serie de retos de diseño para el diseño de la turbina completa. El reto principal es el de manejar el enorme volumen de las palas que supone partes enormes, y por tanto caras, para la turbina y su base para manejar las cargas y en particular las cargas de fatiga ejercidas sobre la turbina y su base.

La metodología del diseño actual de la pala conduciría a un aumento de la masa de la pala aproximadamente como la longitud para la potencia de 2,95. Se ha demostrado que esto es cierto en el caso de algunas de las tentativas actuales anteriores para construir grandes palas, tal como se muestra en la Fig. 5.

20 Por otra parte, a medida que las palas son mayores, desciende la frecuencia natural de la pala y se aproxima a las frecuencias de excitación que se observan durante el funcionamiento de la turbina.

Se divulgan ejemplos de geometrías de pala menos tradicionales en los siguientes documentos: Jackson K J y col.: "Innovative design approaches for large wind turbine blades", Wind Energy, Wiley, Chichester, GB, vol. 8, no. 2, 1 abril 2005 (2005-04-01), páginas 141-171, XP002440739, ISSN: 1099-1824, DOI: 10, 1002/WE.128.

25 TPI Composites, Sandia National Laboratories: "Innovative design approaches for large wind turbine blades", Albuquerque, Nuevo México, marzo 31 2003 (2003-03-31), URL: <http://prod.sandia.gov/techlib/access-control.cgi/2003/030723.pdf>.

30 Estas referencias contienen divulgaciones similares en las que se aumenta el espesor de la pala en comparación con la pala de una turbina eólica convencional. En la sección interior de la pala, se incorpora un borde de arrastre romo para proporcionar una mejor rigidez estructural. Las palas se diseñan para mantener, cuando no para aumentar, el rendimiento aerodinámico en la región interior.

35 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un rotor de turbina eólica que comprende un cubo desde el que se proyecta una pluralidad de palas en un radio de al menos 50 metros, comprendiendo cada pala un carenado hueco, soportado por un larguero central, teniendo cada pala un espesor t medido en perpendicular a la línea de curvatura en un radio r en el que $r = 0,25R$, $t > 0,7T$; y que se caracteriza porque cuando $r = 0,5R$, $t > 0,5T$, y cuando $r = 0,4R$, $t > 0,7T$ donde R es el radio de la pala medido desde el eje de rotación 4 a la punta distal 5 de la pala y T es el espesor de la pala en extremo de raíz que representa la dimensión externa de la pala en dirección paralela al eje de rotación en el que se encuentra con el cubo.

40 En un diseño de pala convencional, el espesor se ahúsa con mucha más rapidez, de manera que a medio camino de la punta de la pala (medido desde el centro del cubo hasta la punta de la pala), el espesor t de la pala es normalmente en torno a un 20 % del espesor del extremo de la raíz (y es aproximadamente 30 % en un 40 % del radio y 50 % en un 25 % del radio). En la presente invención, retiene más de 50 % de su espesor del extremo de la raíz en este punto y más de un 70 % del espesor del extremo de la raíz en un 40 % de su radio).

45 El enfoque adoptado por la presente invención supone un cambio radical con respecto a las proporciones estructurales y aerodinámicas típicas. Por el contrario, la presente invención contempla una pala que es realmente significativamente peor en lo que se refiere al rendimiento aerodinámico para la parte interior de la pala. Por el contrario, las consideraciones para el diseño de la parte interior de la pala están dominadas prácticamente en su totalidad por la estructura. Por otra parte, en cuanto a la parte exterior de la longitud, las consideraciones de diseño están dominadas prácticamente en su totalidad por la aerodinámica. La "pérdida aerodinámica" causada por la aerodinámica deficiente de la parte inferior está más que compensada al conseguir menos compromisos aerodinámicos en la parte exterior de la pala. Asimismo permite producir palas mucho más largas ya que la parte interior de la pala puede hacerse mucho más ligera al suprimir la restricción aerodinámica. Esto permite un mayor rendimiento aerodinámico sin aumentar de forma espectacular las cargas de fatiga.

50 Preferentemente, cuando $r = 0,25R$, $t > 0,8T$. Es decir, una cuarta parte del camino a lo largo de la pala (desde el centro del cubo), la pala retiene preferentemente al menos un 80 % de su espesor en el extremo de la raíz.

Un beneficio más de la pala que es más espeso a lo largo de una mayor porción de su longitud interna se refiere al uso de materiales. Como la porción interior de la pala es más espesa, se puede mantener la rigidez para una pala más larga sin tener que recurrir a materiales compuestos de fibra de módulo superior para la porción interior. Preferentemente, por tanto, el larguero comprende al menos parcialmente un laminado de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio a lo largo de la porción interior en su longitud y una resina epoxi reforzada con fibra de carbono a lo largo de la porción exterior de su longitud. Por lo tanto, el uso de materiales de rendimiento superior en la región más externa de la pala potencia aún más la capacidad de la pala para mantener su rigidez al mismo tiempo que tiene una resistencia baja ya que puede fabricarse relativamente más fina aumentando aún más el rendimiento. Esto también aumenta aún más la frecuencia natural de la pala ayudando así más a evitar las frecuencias de excitación.

El uso de materiales en las partes interior y exterior del larguero también pueden definirse por lo que respecta al módulo de Young. Se pueden utilizar materiales compuestos de bajo rendimiento en la parte interior de la pala ya que se mantiene el mayor espesor que da rigidez a la pala para una pala grande sin recurrir a materiales compuestos superiores.

Preferentemente, el larguero comprende al menos parcialmente una porción interior que tiene remates de larguero con fibras que se extienden longitudinalmente en la dirección de flexión principal, en la que al menos parte de los remates de larguero en la porción interior comprenden un módulo de Young en la dirección principal de < 50 GPA y una relación de módulo de Young/densidad de $< 0,027 \text{GPa/kgm}^{-3}$, y una porción exterior que tiene remates de larguero con fibras que se extienden longitudinalmente en la dirección de flexión principal, en la que al menos parte de los remates de larguero en la porción exterior comprenden un módulo de Young en la dirección de flexión principal de > 100 GPA y una relación de Young/densidad de $> 0,059 \text{GPa/kgm}^{-3}$.

A continuación, se describirá un ejemplo de un rotor de acuerdo con la presente invención haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Fig. 1 es una sección transversal en escorzo y esquemática de un plano paralelo al eje de rotación a través de un rotor de acuerdo con la presente invención desde el eje de rotación de la punta de la pala presentándose la sección transversal de una pala convencional con líneas discontinuas con fines comparativos;

La Fig. 1A es una sección transversal de una pala a través de la línea AA de la Fig. 1 con una pala convencional en líneas discontinuas con fines comparativos;

La Fig. 2 es una vista similar a la Fig. 1, pero en la que se muestra una vista plana de la pala;

Las Figuras 3A-3D son vistas similares a la Fig. 1A que presentan una configuración de pala diferente;

La Fig. 4 es un gráfico en el que se muestra la relación de espesor frente a la relación del radio de una pala convencional, una pala de longitud comparable de acuerdo con la presente invención y una pala más larga de acuerdo con la presente invención;

La Fig. 5 es un gráfico de la masa frente a la longitud de la pala que proporciona una comparación entre la presente invención y la técnica anterior;

La Fig. 6 es un gráfico de un par de torsión frente al radio que presenta el rendimiento de la presente invención frente a la técnica anterior; y

Las Figuras 7A y 7B son secciones transversales similares a la Fig. 1A que presentan la técnica anterior y la presente invención respectivamente ilustrando la ventaja que proporciona la presente invención.

Las técnicas utilizadas para construir la pala y ensamblarlo al cubo de rotor podrían ser las técnicas de fabricación de palas convencionales, pero preferentemente son como las que se describen en las solicitudes anteriores de los autores, los documentos WO 2009/034291, WO 2009/034292, WO 2009/130467, WO 2010/041008, WO 2010/04012, PCT/GB2010/002189 y PCT/GB2011/000661.

Estos documentos divulgan técnicas para fabricar palas de turbina eólica que se pueden fabricar con cualquier geometría deseada.

Dado que la presente invención se refiere solamente a un cambio en la geometría externa y un cambio de materiales en consecuencia, tan sólo se describirán a continuación la geometría y los materiales.

El rotor comprende un cubo central 1 al que se fijan una pluralidad de palas 2 (solamente se muestra una pala 2 en las Figuras 1 y 2) en la interfaz 3, tal como se presenta en las solicitudes anteriores. El cubo rota en torno al eje 4. Hay fijados tres de dichas palas 2 a cada cubo 1. El radio R de la pala es la distancia desde el eje de rotación 4 a la punta distal 5 de la pala. Normalmente, los primeros 1 a 3 metros del radio R están ocupados por el cubo 1 y el resto del radio viene dado por la pala en sí. La pala tiene un larguero central que se extienden a lo largo de toda su longitud para proporcionar una rigidez estructural y un carenado aerodinámico para proporcionar la superficie externa de la pala, tal como se conoce perfectamente en la técnica.

El espesor del extremo de raíz T representa la dimensión externa de la pala en una dirección paralela al eje de rotación en el que se encuentra con el cubo. En este punto, la pala puede tener una porción que se proyecta que se inserta dentro del cubo para permitir su unión con el cubo. Esto no se considera cuando se determina el espesor T para los fines de la invención ya que T es una medida del espesor externo. Asimismo, el extremo de raíz de la tapa

puede estar provisto de una pestaña que sale hacia fuera como parte de la estructura para sujetarlo al cubo 1. Se deberá ignorar dicha pestaña para los fines de determinar el espesor T para los fines de la presente invención.

5 Tal como se muestra en la Fig. 1A, la pala tiene una forma aerodinámica con un borde de avance 6 y un borde de arrastre 7 que definen el ancho de la pala. El espesor t se determina en un plano que es perpendicular al radio de la pala, como por ejemplo el plano que se muestra en la Fig. 1A. En este plano, el espesor t es la dimensión que es perpendicular a la línea de curvatura C tal como se muestran en la Fig. 1. La línea de curvatura es una línea que parte del borde de avance 6 al borde de arrastre 7 y que es equidistante entre las superficies superior e inferior de la pala en todos los puntos.

10 En la interfaz 3, la pala tiene una sección transversal generalmente circular y se hace crecientemente plano en la sección transversal a lo largo de la longitud de la pala a medida que se reduce el espesor t .

El grado de esta reducción en el espesor de una pala convencional se muestra en la línea discontinua 8 de la Fig. 1, mientras que el perfil de espesor de la presente invención se muestra mediante la línea 9.

15 Las Figuras 3A-3B son vistas similares a la Fig. 1A que tienen diferentes configuraciones al remate del larguero. La Fig. 3A es esencialmente la misma que la Fig. 1A con fines comparativos. La Fig. 3B presenta un larguero 10 que tiene una sección transversal de viga I con una red de cizalla 11 unida a cada lado por un par de remates de larguero 12. En la Fig. 3C, el larguero 10 es una caja viga y tiene un par de redes de cizalla 11 unidas por un par de remates de larguero 12. El larguero puede tener todas las maneras de configuración expuestas en los documentos de la técnica anterior a los que se ha hecho referencia.

20 La Fig. 3D presenta una pala que tiene una estructura de doble ala que no entra dentro del ámbito de la reivindicación 1. En este caso, la línea de curvatura se dibuja como una línea a medio camino entre la superficie superior 13 del ala superior 14 y la superficie inferior 15 del ala inferior 16. El espesor T se determina en consecuencia. Las alas superior 14 e inferior 16 están conectadas por aparatos de cizalla 17.

25 Otros detalles de esta reducción del espesor se ofrecen en la Fig. 4. En ella se muestra la relación entre el espesor T y el espesor T en el extremo de la raíz en el eje Y frente a la relación del radio R en el punto en el que se mide T con el radio R del rotor. El valor de T utilizado es el "T" máximo que se puede medir aplicando el procedimiento mencionado para sección transversal. Es decir, esto representa el espesor de la parte más gruesa de la pala. La línea 18 presenta una pala convencional, mientras que la línea 19 presenta una pala de la misma longitud fabricada de acuerdo con la presente invención. La presente invención permite fabricar palas más largas. En este caso, la línea 20 presenta un perfil de espesor para una pala que es un 15 % más largo que las palas representados por las líneas 18 y 19. Los datos para el gráfico se dan en la tabla encima del gráfico.

30 Tal como se puede observar en la Fig. 4, una pala convencional se hace fino con mucha mayor rapidez, hasta el punto de que es la mitad del espesor T del extremo de la raíz solamente en un 25 % del camino a lo largo de la pala, la pala de acuerdo con la presente invención retiene una porción mucho mayor de su espesor durante más tiempo. Por lo tanto, una cuarta parte del camino a lo largo de la pala, sigue reteniendo un 80 % de su espesor del extremo de la raíz. En un 45 % de la línea, una pala convencional tiene menos de un 30 % de su espesor original, mientras que la presente invención tiene más de un 50 %.

Esto tiene dos efectos en el rendimiento de la pala.

35 En primer lugar, tal como se puede deducir al considerar la Fig.1A, la sección transversal más plana tiene como resultado una sección transversal menos aerodinámica, de manera que la eficiencia de la pala de la presente invención se reduce en este punto. Esto se ilustra en la Fig. 6 que presenta una producción eléctrica proporcionada a lo largo de la longitud de la pala. La producción eléctrica proporcionada por la presente invención se indica mediante una línea 21 mientras que la producción de energía proporcionada por una pala convencional se ilustra por la línea 22. Se puede observar que la producción de energía contribuida por los primeros 30 metros de la pala es significativamente inferior en la presente invención que para la técnica anterior.

45 Asimismo, la parte interior de la pala puede hacer mucho más ligera tal como se explicará ahora haciendo referencia las Figs. 7A y 7B.

50 La Fig. 7A es una sección transversal de la técnica anterior, mientras que la Fig. 7B es una sección transversal de la presente invención con fines comparativos. Dado que la presente invención no está optimizada en cuanto a la aerodinámica, es significativamente más espesa, tal como se muestra en la Fig. 7B. En ambos casos, el ancho de la pala y el ancho de los remates del larguero son iguales. Sin embargo, dado que en la presente invención, los remates del larguero van más allá de la línea de curvatura C (y en términos estructurales más alejados del eje neutro), son mucho más capaces de resistir los momentos de flexión en torno a la línea de curvatura C. Como resultado de ello, los remates de larguero 12 de la presente invención pueden estar hechos con un espesor b que es significativamente más delgado que el espesor correspondiente tal como lo requiere los remates de larguero de la técnica anterior.

55

Asimismo, la integridad estructural mejorada que proporciona una porción interior menos aerodinámica significa que la porción interior puede soportar eficazmente una porción exterior más larga de manera que, además de mejorarse la eficiencia de la pala, también se aumenta la longitud máxima de la pala que puede producirse.

5 La Fig. 5 presenta la relación entre la masa y la longitud de la pala. A partir de esto, queda claro que la presente invención ha roto la relación de las palas de la técnica anterior de que la masa de la pala aumenta aproximadamente a medida que lo hace la longitud de la pala para la potencia de 2,95. Tal como se muestra en la Fig. 5, la relación está más próxima a la de la masa de la pala que aumenta aproximadamente como la longitud de la pala a una potencia de 2,75.

REIVINDICACIONES

1. Un rotor de turbina eólica que comprende un cubo (1) del que se proyecta una pluralidad de palas (2) hasta un radio de al menos 50 metros, comprendiendo cada pala (2) un carenado hueco soportado por larguero central (10), teniendo cada pala (2) un espesor t medido perpendicular a una línea de curvatura en un radio r en el que, cuando $r = 0,25R$, $t > 0,7T$, cuando $r = 0,5R$, $t > 0,5T$ y cuando $r = 0,4R$, $t > 0,7T$; en las que R es el radio de la pala (2) medido desde el eje de rotación (4) a la punta distal (5) de la pala (2) y T es el espesor de la pala (2) en el extremo de la raíz que representa la dimensión externa de la pala en una dirección paralela al eje de rotación donde se encuentra con el cubo, teniendo dicha pala (2) una sección transversal generalmente circular en una interfaz (3) con el cubo (1).
2. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 1, en el que cuando $r = 0,25R$, $t > 0,8 T$.
3. Un rotor de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el que el larguero (10) comprende al menos parcialmente un laminado de resina epoxi reforzada con fibra de vidrio a lo largo de la porción interior de su longitud y un laminado de resina epoxi reforzada con fibra de carbono a lo largo de una porción exterior de su longitud.
4. Un rotor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el larguero (10) comprende una porción interior que tiene remates de larguero (12) con fibras que se extienden longitudinalmente en una dirección de flexión principal, en la que al menos parte de los remates de larguero (12) en la porción interior comprenden un módulo de Young en la dirección principal de $< 50 \text{ GPa}$ y una relación del módulo de Young/densidad de $< 0,027 \text{ GPa/kgm}^{-3}$, y una porción exterior que tiene remates de larguero (12) con fibras que se extienden longitudinalmente en la dirección de flexión principal, en el que al menos parte de los remates de larguero (12) en la porción exterior comprende un módulo de Young en la dirección de flexión principal de $> 100 \text{ GPa}$ y una relación del módulo de Young/densidad de $> 0,059 \text{ GPa/kgm}^{-3}$.
5. Un rotor de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el larguero (10) comprende al menos una red de cizalla (11) que atraviesa el espesor de la pala (2) y al menos un remate de larguero (12) en cada extremo de la red de cizalla (11).

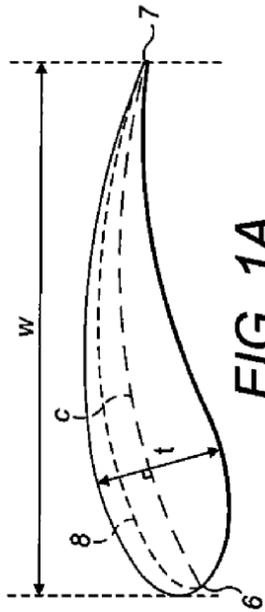


FIG. 1A

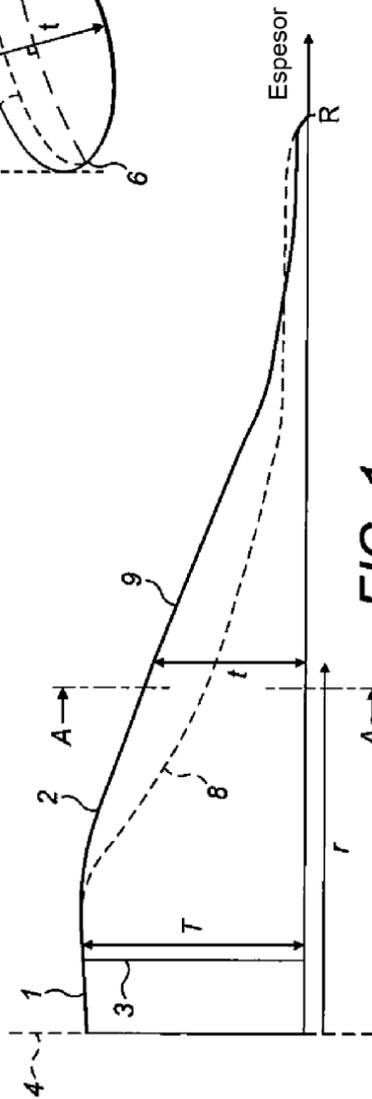


FIG. 1

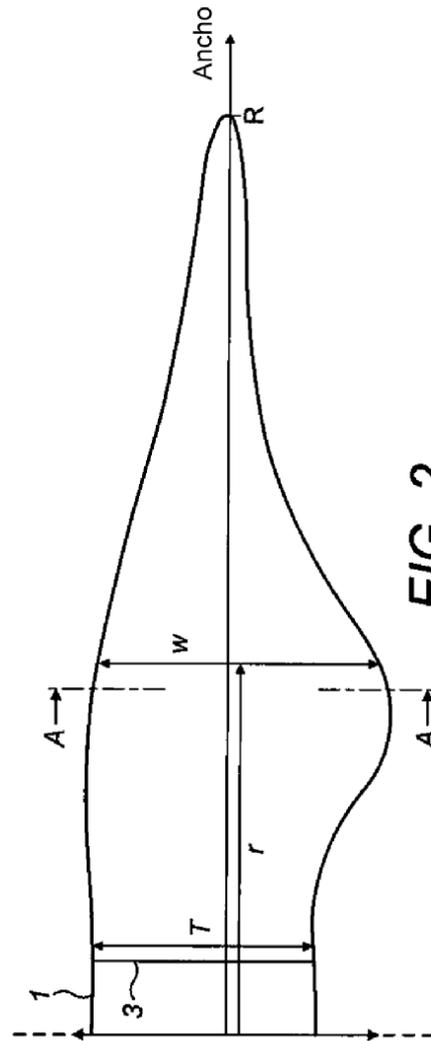


FIG. 2

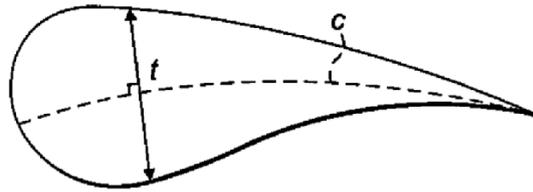


FIG. 3A

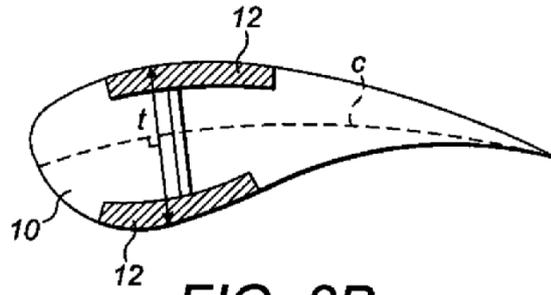


FIG. 3B

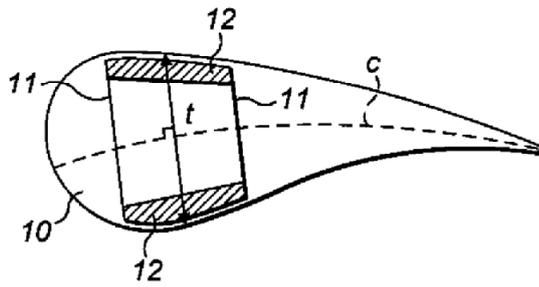


FIG. 3C

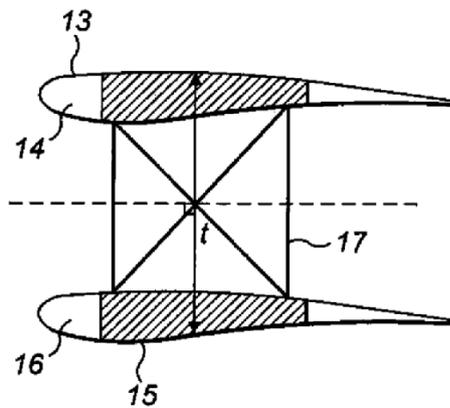


FIG. 3D

r/R (%)	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115
t/T (%) Pala normal	100	80	50	38	25	18	13	10	7	5		
t/T (%) Pala nueva (igual longitud)	100	92	82	70	56	26	12	8	6	3		
t/T (%) Pala nueva (mayor longitud)	100	95	85	75	65	45	20	12	9	7	5	3

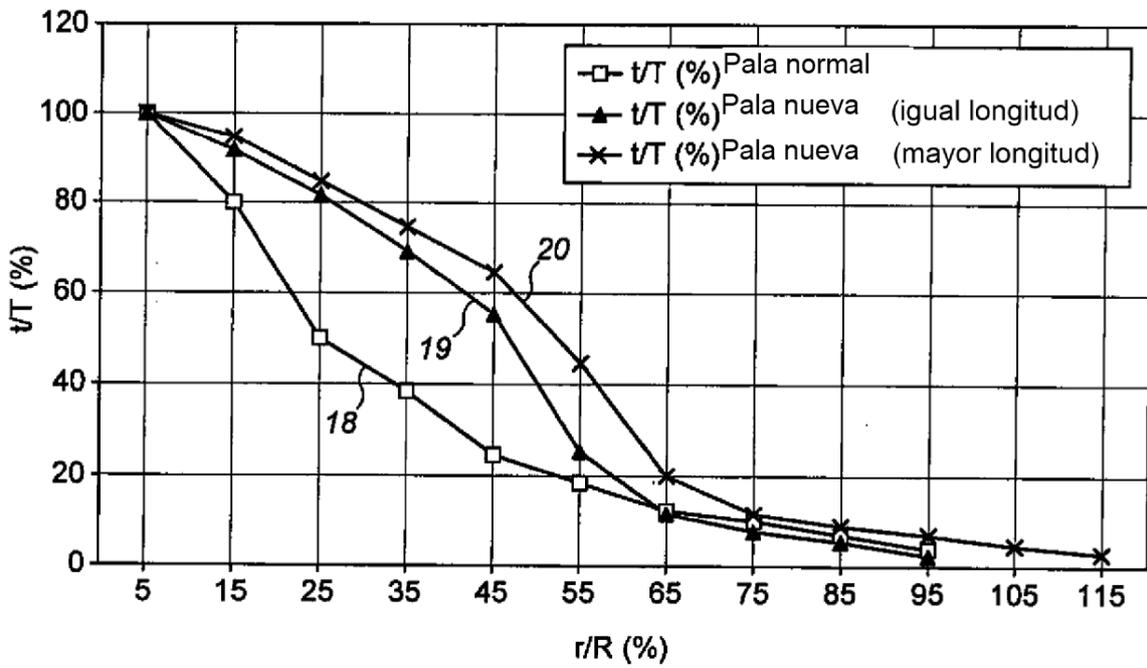


FIG. 4

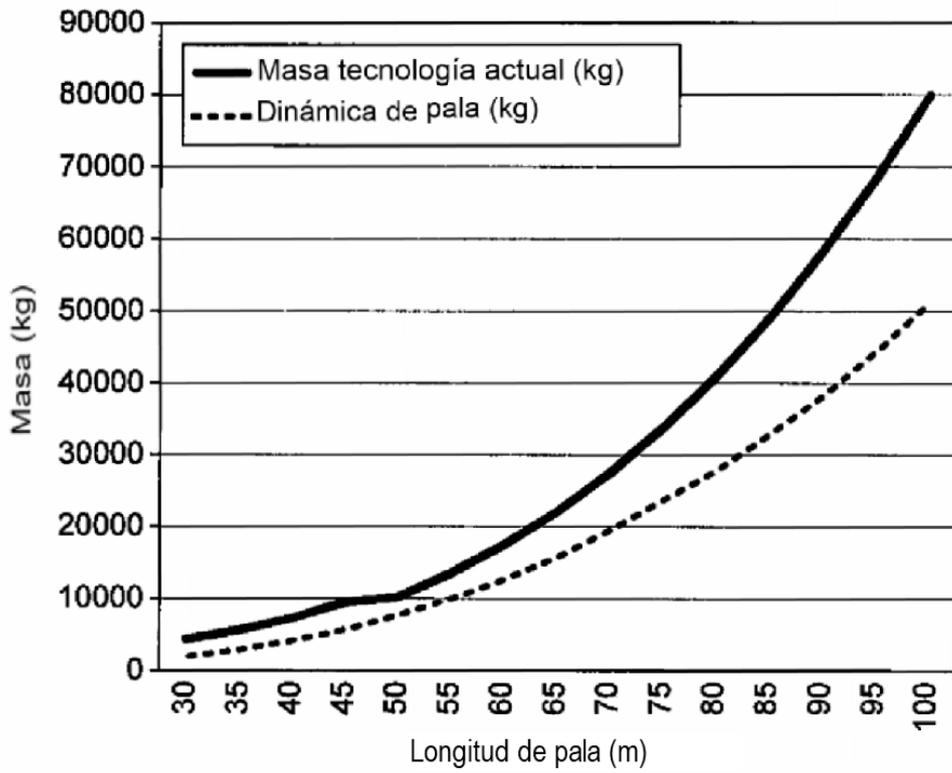


FIG. 5

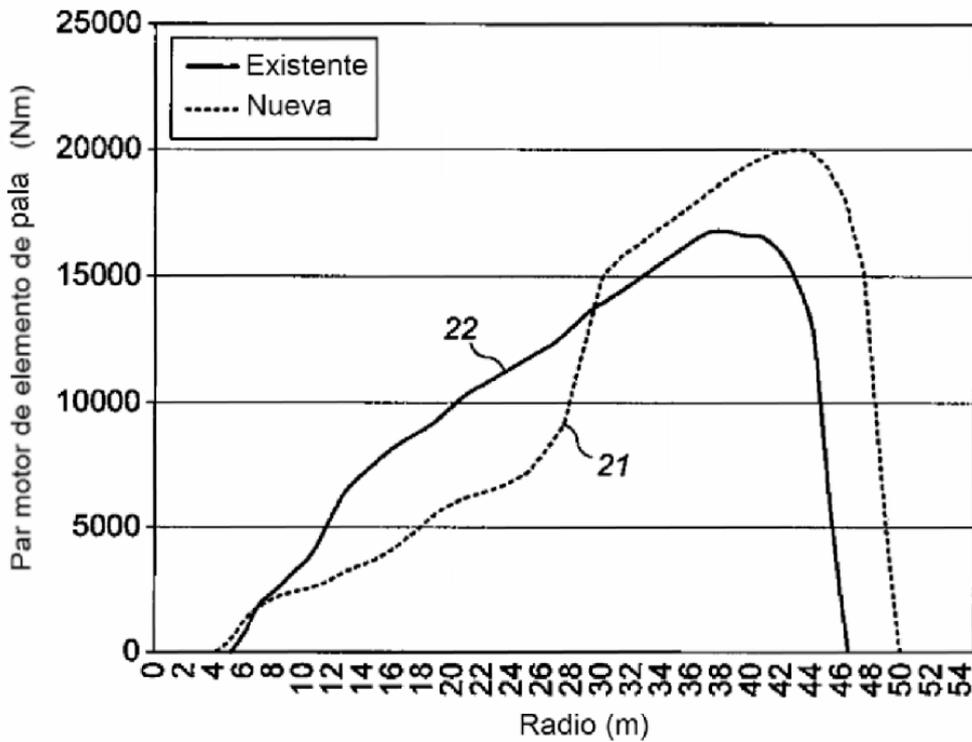


FIG. 6

