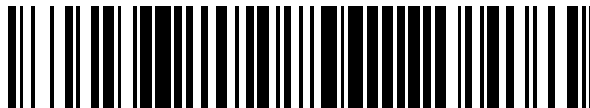


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 625 827**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **16.12.2010 E 10015722 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.02.2017 EP 2339171**

54 Título: **Pala de rotor para una instalación de energía eólica**

30 Prioridad:

22.12.2009 DE 102009060650

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

20.07.2017

73 Titular/es:

MICKELER, SIEGFRIED (50.0%)

Itzweg 18

97422 Schweinfurt, DE y

KELLER, WALTER (50.0%)

72 Inventor/es:

MICKELER, SIEGFRIED y

KELLER, WALTER

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

Observaciones:

Véase nota informativa (Remarks, Remarques o Bemerkungen) en el folleto original publicado por la Oficina Europea de Patentes

ES 2 625 827 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 para una instalación de energía eólica

- 5 La invención se refiere a una pala de rotor para una instalación de energía eólica según el concepto general de la reivindicación 1 y una instalación de energía eólica según el concepto general de la reivindicación 22.

10 En el aprovechamiento de energías renovables, la energía eólica adquiere una importancia creciente como fuente de energía. La razón de ello radica en la limitación de los yacimientos de materias primas primarias lo que produce escasez cuando aumenta la demanda de energía y el consiguiente encarecimiento de la energía obtenida de los yacimientos. A ello se agrega que las materias primas primarias durante la conversión en energía conllevan una considerable emisión de CO₂ que fue una causa determinante del cambio climático que avanzó rápidamente en los últimos años. En la población por lo tanto se produjo un cambio de conciencia para el uso de energías renovables.

15 Las instalaciones de energía eólica conocidas para la generación de energía se componen de una torre, en cuyo extremo se alojó en forma girable un rotor con aspas de rotor orientadas radialmente. El viento que impacta contra las aspas de rotor, produce un movimiento rotativo del rotor que propulsa un generador acoplado con el rotor a los efectos de generar energía. Por medio de un diseño aerodinámico correspondiente de las aspas del rotor, se trata de lograr un grado de acción lo más grande posible, es decir, transformar la energía cinética del viento con la menor merma posible en energía eléctrica. Un ejemplo de una instalación de energía eólica de ese tipo se ha descrito en el documento DE 103 00 284 A1.

25 Pero el aprovechamiento de la energía eólica como fuente de energía tiene límites. Porque su rentabilidad solo está dada con suficiente intensidad y frecuencia de viento. En consecuencia, las superficies adecuadas para la construcción de instalaciones de energía eólica solo están disponibles en forma limitada. Otras limitaciones de la elección del lugar de emplazamiento resultan de la contaminación ambiental producida por las instalaciones de energía eólica. Sobre todo, debido a las emisiones sonoras las instalaciones de energía eólica no deben ser construidas en la proximidad de áreas pobladas, sino que se asegura con una distancia exigida legalmente que no se excedan valores límite dispuestos por ley. Para poder aprovechar lo mejor posible, los lugares que en principio son adecuados, existe un gran interés de parte de los operadores de instalaciones de energía eólica de disponer de instalaciones de energía eólica con reducida emisión sonora, a fin de reducir la distancia respecto de áreas pobladas y con ello poder ampliar la superficie aprovechable para la instalación.

35 La principal causa de generación de ruido en las instalaciones de energía eólica radica en el movimiento de circulación de las palas del rotor de conformación aerodinámica, siendo de importancia decisiva la velocidad de afluencia del viento que depende del diámetro del rotor y el número de revoluciones. Las instalaciones de energía eólica modernas con un diámetro de 40 m a 80 m y un valor de avance rápido 6 y 7 poseen niveles de generación de sonido en una magnitud entre 100 dB(A) y 105 dB(A), que requieren una distancia respecto de áreas pobladas entre 200 m a 300 m, para allí, por ejemplo, cumplir con un valor límite de 45 dB(A).

40 Por lo tanto, se han realizado muchos esfuerzos para reducir la generación de ruido de las instalaciones de energía eólica. A ese fin, el documento DE 103 00 284 A1 ya mencionado precedentemente propone para reducir las emisiones sonoras, conformar el borde posterior de una pala de rotor acodado o curvado en el plano de la pala del rotor. De esa manera, los remolinos de aire se neutralizan desplazados temporalmente en el borde posterior acodado o curvado de la pala del rotor, lo que reduce las emisiones acústicas.

50 Del documento WO 00/34651 se conoce una instalación de energía eólica de este tipo con eje horizontal del rotor. Partiendo de la base que la pala de rotor constituye la principal fuente de ruido, se propone allí para la reducción del sonido, realizar la superficie de la pala de rotor con una cierta aspereza. La aspereza puede lograrse mediante el recubrimiento con láminas o la adhesión de estas sobre la superficie de la pala del rotor.

55 En el documento DE 10 2005 019 905 A se describe que el ruido a causa de las corrientes de aire que se producen durante el funcionamiento de las instalaciones de energía eólica, depende de la velocidad de la circulación rotativa y por lo tanto reviste especial importancia la punta de la pala del rotor debido a la máxima velocidad perimetral que se produce allí. Para influencias la circulación rotativa y con ello la emisión sonora, se propone conformar la superficie de la pala de rotor al menos parcialmente porosa.

60 En el documento WO 95/19500 se mencionan como causas para la emisión sonora en las instalaciones de energía eólica la propulsión y las aspas del rotor por las que circula el aire. Debido a diferencias de presión entre el lado de succión y el lado de presión del perfil de la pala del rotor, se producen arremolinamiento e incluso desprendimientos de corriente en el borde posterior de las palas del rotor, lo que conlleva una correspondiente generación de ruido. A los efectos de reducir las emisiones acústicas así producidas, se propone fabricar el borde posterior de las palas del

rotor de un material flexible, de modo que las diferencias de presión existentes entre el lado de succión y el lado de presión pueden compensarse, aunque sea parcialmente mediante la deformación elástica del borde posterior.

También en el documento EP 0 652 367 A1 se prevé para la reducción de las emisiones acústicas en las instalaciones de energía eólica, una modificación del borde posterior del perfil de la pala. Para ello, el borde posterior posee un transcurso de forma irregular, en particular, una conformación dentada. Otros ejemplos del estado de la técnica se conocen del documento DE102009025857, así como del US2009123289.

Ante este trasfondo la invención se basa en el objetivo de indicar aspas de rotor para instalaciones de energía eólica, que se caracterizan por emisiones acústicas reducidas sin mermas significativas de potencia en la producción de energía.

Este objetivo se cumple mediante una pala de rotor con las características de la reivindicación 1 así como con una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 21.

De las reivindicaciones secundarias resultan realizaciones ventajosas.

La invención se basa en la idea, a diferencia de la práctica habitual para la reducción de ruidos, no reducir la profundidad de la pala t en el área exterior del extremo de la pala de rotor según la invención o solo reducirla en menor grado, mientras que simultáneamente se reduce el valor c_a del perfil de la pala en esta área mediante medidas adecuadas. La invención parte allí del supuesto que con la reducción del valor c_a -en contraposición a la reducción de la profundidad de la pala t - resulta posible una reducción sobre proporcionada del ruido. Las muy reducidas mermas de potencia que esto conlleva son aceptadas a sabiendas. La mayor profundidad de las palas t también implica un incremento del ruido, aunque este afecta en menor grado que la reducción del sonido debido al valor c_a reducido según la invención, de modo que en el sentido de la invención resulta un balance positivo de la emisión sonora. Mientras que mediante las medidas según la invención se reducen notoriamente las emisiones acústicas, la producción de energía de una instalación de energía eólica según la invención prácticamente no sufre modificaciones. Es el mérito de la invención haber reconocido estas relaciones complejas y haber desarrollado sobre esa base un diseño de una pala de rotor con menor emisión sonora.

Según la invención se propone que las modificaciones antes indicadas en la pala de rotor se extiendan como máximo en el 20 % externo de la longitud de la pala, es decir, el plano E_0 se ubica aproximadamente en una longitud relativa x/L de 0,80 o más. De esa manera se logra que las medidas de reducción de ruido se aplican en el lugar de la máxima generación de ruido, pudiendo lograr así un muy importante efecto de reducción de ruido. Al mismo tiempo se asegura así que la capacidad productiva de la pala de rotor en general no sufre mermas significativas, es decir, la generación de energía de una instalación de energía eólica equipada con una pala de rotor según la invención prácticamente no es afectada. Bajo este aspecto, una ubicación del plano E_0 con una longitud relativa x/L de aproximadamente 0,9 es especialmente preferible.

Mientras en un diseño convencional de la pala de rotor, el extremo final de la pala presenta un croquis de planta parcialmente elíptica y, por lo tanto, la profundidad de la pala t disminuye en forma constante hasta alcanzar el valor cero, se prevé en una pala de rotor según la invención que la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_e como mínimo es del 60 % de la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_0 , preferiblemente oscila entre 70 % y 80 %. Incluso es factible incrementar la profundidad de la pala t en dirección hacia el plano de sección transversal E_e , por ejemplo, hasta un valor máximo de 120 %. Cada uno de estos transcurso de la profundidad de la pala t condiciona un transcurso característico del coeficiente de la fuerza ascendente c_a , cuyos valores individuales son tanto menores, cuanto mayor es la correspondiente profundidad de la pala t , para que de esta manera se mantenga en un nivel mínimo la merma de potencia inducida.

Otra ventaja de mayores profundidades de pala t en la sección longitudinal externa L_a radica en que los perfiles de mayor tamaño pueden fabricarse con mayor exactitud por razones técnicas de manufactura, lo que ayuda a una mucho mejor fidelidad geométrica del perfil. Una mejor fidelidad del perfil se refleja, por una parte, en un mejor rendimiento, de modo que pueden compensarse ampliamente las mínimas mermas de potencia antes mencionadas. Por otra parte, se evitan mayormente las burbujas en el laminado o los desprendimientos generados por arremolinamientos, que son la causa de emisiones acústicas inexplicablemente elevadas.

La reducción del coeficiente de la fuerza ascendente c_a puede lograrse por diferentes medidas que ya en forma individual o combinadas entre sí producen el efecto según la invención de la reducción de la emisión sonora. Según la invención se ha previsto influir sobre el coeficiente de la fuerza ascendente c_a mediante una torsión Θ específica de la pala en relación con la longitud relativa x/L en la sección longitudinal externa. Para ello la torsión de la pala Θ se incrementa en la sección longitudinal externa L_a en forma constante en el área previa al plano de sección transversal E_E y supera así el valor de la torsión de la pala Θ en el plano de sección transversal E_0 . Al incremento del

extremo final de la torsión de la pala Θ puede anticiparse un mínimo en el intervalo entre los planos E_0 y E_E .

Mediante la reducción del espesor relativo d/t y/o la reducción del arqueado relativo f/t hacia el extremo final de la pala, se puede fomentar los efectos de reducción de ruido de la ya descrita torsión de la pala Θ , lográndose así una reducción adicional de emisión de sonido. Dado que el espesor relativo d/t tiene influencia directa sobre la emisión sonora de un rotor, se ha prevista en un desarrollo ulterior ventajoso de la invención, reducir la pala de rotor en la sección longitudinal externa L_a de manera continua a aproximadamente el 10 % del espesor relativo en el plano de sección transversal E_E . Mediante la reducción constante del arqueado relativo f/t en la sección longitudinal L_a hasta llegar al valor cero en el plano de sección transversal E_E , se minimiza la suma de ambos espesores de capas límite del lado de succión del perfil y del lado de presión del perfil, con el efecto ventajoso que se reduce el ancho de la continuación del perfil y con ello también las emisiones acústicas debidas a la capa límite.

Otra medida para la reducción sonora que no solo se refiere al área de la sección longitudinal exterior L_a , sino que también puede extenderse a lo largo de la mitad externa de la sección longitudinal interior L_i , radica en conformar la altura del borde posterior del perfil aerodinámico no mayor que 2 ‰ de la profundidad t en la sección respectiva del perfil. El trasfondo es, tal como ya se describió antes, que un borde posterior final a partir de una determinada altura ensancha considerablemente la continuación del perfil, incrementando así las emisiones acústicas. En este contexto, una profundidad de la pala t que según la invención es mayor en la sección longitudinal externa L_a resulta especialmente favorable, dado que profundidades menores t para cumplir con el criterio mencionado precedentemente, muy rápidamente producirían secciones transversales del perfil con alturas de borde posterior tan bajas que estas ya no podrían fabricarse de manera rentable. Con una profundidad de la pala t relativamente grande, la implementación de una altura del borde posterior menor que 2 ‰ de la profundidad t se simplifica notoriamente.

A los efectos de evitar fuentes adicionales de ruidos en forma de desprendimientos de corriente, burbujas de desprendimiento laminar, desprendimientos debido a arremolinamientos y similares en el extremo exterior de la pala de rotor en el plano de sección transversal E_E , se propone según otra realización de la invención, que desde el plano de sección transversal E_E continúe una caperuza de borde. Esta caperuza de borde, que en su conformación simétrica rotativa presupone un arqueado de cero en el plano de sección transversal E_E , se forma mediante un doblez de 180° del perfil de la pala alrededor de la cuerda del perfil. La caperuza de borde por lo tanto es la mitad longitudinal de un cuerpo de rotación con el contorno de un perfil de pala. Alrededor de una caperuza de borde de tal tipo puede circular aire sin que se produzcan desprendimientos a causa de la corriente, incluso con mayores tolerancias de fabricación o con velocidades de afluencia muy cambiantes, impidiendo, por lo tanto, emisiones acústicas adicionales.

Según la invención puede lograrse otra reducción de emisiones sonoras, al prever en la sección longitudinal externa L_a de forma alternativa o adicional al doblado habitual hacia barlovento (flecha positiva) un doblado adicional hacia barlovento (flecha positiva adicional). Esto, incluso bajo la acción del viento, produce un transcurso no lineal del borde posterior de la pala del rotor en el área mencionada, lo que en el aspecto técnico del sonido produce una distorsión de las características de irradiación del sonido, atenuando así los efectos en el lugar de la emisión sonora.

Un efecto similar se logra mediante la previsión de una flecha negativa girable, en particular una flecha negativa girable previa, en el extremo final exterior de la pala, dado que también en este caso se modifica la característica de irradiación mediante un transcurso no lineal del borde posterior de la pala. En el caso de una flecha negativa girable previa además resulta ventajoso el hecho que la afluencia local se divide en un componente en dirección vertical y un componente paralelo al borde anterior de la pala. El componente paralelo al borde anterior de la pala que está orientado hacia el interior en la flecha negativa girable previa, causa la reducción de los espesores de las capas límite en el extremo final exterior de la pala y ayuda así de manera ventajosa a la reducción de las emisiones acústicas.

La invención se explica a continuación por medio de un ejemplo de realización representado en los dibujos, sin por ello limitar la invención a este ejemplo. Las medidas antes descritas para la reducción de la emisión sonora también pueden aplicarse en otras combinaciones que las aquí expresamente explicadas, sin por ello salir del marco de la invención.

Se muestra

La Figura 1, una vista del lado de barlovento una instalación de energía eólica según la invención,
 la Figura 2, una vista superior sobre el lado de succión de una pala de rotor según la invención de la
 instalación de energía eólica representada en la Figura 1,
 la Figura 3, un corte transversal a través de la pala de rotor en el plano E_0 representada en la Figura 2,
 la Figura 4, un corte transversal a través de la pala de rotor en el plano E_e representada en la Figura 2,

la Figura 5, una representación de las relaciones geométricas y cinéticas en una sección transversal de la pala,

las Figuras 6a-e, el transcurso de la profundidad de la pala t , la torsión Θ , el arqueado relativo de la pala f/t , el espesor relativo de la pala d/t y del coeficiente de la fuerza ascendente c_a , a lo largo de la sección longitudinal L_a de la pala de rotor representada en la Figura 2,

la Figura 7, una multiplicidad de secciones transversales de palas individuales en la sección longitudinal externa L_a de la pala de rotor representada en la Figura 2, visto en dirección radial respecto del eje de rotación,

la Figura 8, una vista sobre el área final de una pala de rotor según la invención con ala en flecha adicional,

la Figura 9, una vista superior del área final de una pala de rotor según la invención con ala en flecha girable previa, y

las Figuras 10 a y b, una vista superior y un corte longitudinal del área final de una pala de rotor según la invención con caperuza de borde.

La Figura 1 muestra una instalación de energía eólica 1 según la invención que se compone de una torre 2, que está anclada fijamente con su área inferior en el suelo 3, y un rotor 4 dispuesto en el área superior de la torre 2, que rota alrededor de un eje de rotación 7 que se prolonga transversalmente al plano de representación, en dirección hacia la flecha 8. El rotor 4 posee un núcleo de rodete 5, que está alojado en forma rotativa en la cabeza de la torre 2 y está acoplado con un generador para la generación de electricidad. En el área del núcleo de rodete 5 las aspas de rotor 6 están conectadas al rotor 4.

En la Figura 2 se representó una pala de rotor 6 del rotor 4 a una escala mayor en una vista superior sobre el lado de succión 9. La extensión longitudinal de la pala de rotor 6 a lo largo de su eje longitudinal 10 se denomina longitud L y está definida por la distancia del empalme de la pala 11 desde el extremo final de la pala 12. La longitud relativa x/L define a partir del empalme de la pala 11 un punto cualquiera entre el empalme de la pala 11 y el extremo final de la pala 12.

Además, la Figura 2 muestra una estructuración longitudinal de la pala de rotor 6 con una sección longitudinal L_i interna que parte desde el empalme de la pala 11 y una sección longitudinal externa L_a que continúa en dirección hacia el extremo final de la pala 12. El pasaje desde la sección longitudinal interna L_i hacia la sección longitudinal externa L_a define el plano E_0 que se ubica perpendicular al eje longitudinal 10, el extremo final de la pala 12 define el plano E_E . La ubicación del plano E_0 posee en el presente ejemplo una longitud relativa x/L de 0,9, pero también puede adoptar todos los valores intermedios entre 0,80 y 0,98.

Las medidas propuestas en la invención para reducir las emisiones acústicas se refieren principalmente a la sección longitudinal externa L_a de la pala de rotor 6, es decir, el área entre los planos E_0 y E_E .

La Figura 3 representa una sección transversal a través de la pala de rotor 6 en el plano E_0 , es decir que muestra el perfil aerodinámico que existe en el plano E_0 . Este posee un borde anterior 13 y un borde posterior 14, cuya distancia mutua perpendicular al eje longitudinal 10 determina la profundidad t . Mientras que el borde anterior 13 está formado por el ápice de la curva de perfil arqueada allí forma constante, el borde posterior 14 por razones técnicas de fabricación finaliza con un resalte de la altura h . La recta que se extiende a través del borde anterior 13 y el borde posterior 14 se denomina cuerda del perfil 15. De los puntos medios entre el lado de succión 9 y el lado de presión 16 resulta la línea estructural 17.

El perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 está caracterizado además por un lado de succión 9 curvado en forma constante y un lado de presión 16 que también está curvado en forma constante, cuya mayor distancia mutua define el espesor d del perfil. El espesor relativo d/t equivale a la relación del espesor d respecto de la profundidad t en el plano de sección transversal respectivo. El arqueado f está definido por la distancia máxima de la línea estructural 17 desde la cuerda del perfil 15. El arqueado relativo f/t es determinado por la relación del arqueado f respecto de la profundidad t en el correspondiente plano de sección transversal.

La Figura 4 muestra el perfil aerodinámico de la pala de rotor 6 en el plano de sección transversal E_e . Respecto del perfil representado en la Figura 3, el perfil que se muestra en la Figura 4 presenta una profundidad t reducida en aproximadamente 15 %, una torsión Θ aproximadamente 4° mayor, un arqueado relativo f/t reducido al valor 0 y un espesor relativo d/t reducido en un valor de aproximadamente 10 %. Estas medidas ayudan a que los perfiles aerodinámicos entre los planos E_0 y E_e posean un valor c_a que en general es menor.

La Figura 5 muestra las relaciones geométricas y cinemáticas en una pala de rotor 6 de una instalación de energía eólica que se encuentran en funcionamiento. La pala de rotor 6 mediante la rotación alrededor del eje de rotación 18 define un plano del rotor 19. El lado de presión 16 de la pala de rotor 6 está orientada hacia el viento 20. Para generar una propulsión, la pala 6 con su borde anterior 13 está inclinada hacia barlovento, mientras que el borde

posterior 14 indica hacia sotavento. La medida de la inclinación equivale al ángulo entre el plano del rotor 19 y la cuerda del perfil 15 de la pala de rotor 6. Este ángulo describe la torsión Θ que se compone de una torsión local característica de la pala desde la distancia radial hasta el eje del rotor 18, y un ángulo de ajuste de la pala que es uniforme en toda la longitud de la pala, que es variable en las instalaciones de energía eólica con control Pitch y está determinada fijamente en instalaciones de energía eólica con control Stall.

Además, la Figura 5 muestra un triángulo de viento con un componente de viento v_w orientado de modo aproximadamente perpendicular al plano del rotor 19. El componente que se prolonga en dirección perpendicular, es decir, paralelo al plano del rotor 19, equivale a la corriente de aire que se genera por la velocidad de rotación $Q \times r$, la que en dirección hacia el extremo final de la pala aumenta en forma lineal debido al incremento del radio. De ambos componentes resulta en conjunto según el valor y la dirección, el valor geométrico del soplado w_{geo} . Para considerar la interferencia del mismo rotor en la afluencia de aire, se requiere una corrección de la afluencia geométrica w_{geo} en el ángulo de corriente descendente θ que tiene en cuenta justamente esa corriente descendente, de lo que resulta la afluencia efectiva w_{eff} . El ángulo entre la afluencia efectiva w_{eff} y la cuerda del perfil 15 de la pala de rotor 6 equivale al ángulo de ajuste efectivo α . La torsión Θ y el ángulo de ajuste α conforman en conjunto el ángulo de incremento efectivo y_{eff} .

El transcurso de los parámetros de perfil antes enunciados desde el plano E_0 hacia el plano E_e se representó en las Figura 6a hasta 6e. En los diagramas allí representados, la ordenada representa la longitud relativa x/L de la pala de rotor 6 en el intervalo de la sección longitudinal exterior L_a y de la parte de la sección longitudinal L_i que continúa inmediatamente desde allí.

En la Figura 6a se indicaron en la abscisa las coordenadas Y del borde anterior 13 y del borde posterior 14, de cuya diferencia resulta el transcurso de la profundidad t . La Figura 6a muestra allí con los transcurso de las profundidades de la pala **a** hasta **d** diferentes realizaciones de la invención. El transcurso de la pala **e** equivale a aquel de la pala de rotor convencional. Es característico para el transcurso **a** que la profundidad de la pala t en la sección longitudinal externa L_a corresponde de manera constante a la profundidad de la pala t en el plano de la sección transversal E_0 . En cambio, los transcurso **b**, **c** y **d** se caracterizan por un transcurso lineal, levemente convergente del borde anterior 13 y del borde posterior 14 entre los planos E_0 y E_e , es decir, la profundidad t disminuye hacia el plano de sección transversal E_e , preferiblemente lineal. El pasaje desde la sección longitudinal interna L_i hacia la sección longitudinal externa L_a en ese caso se realiza de manera constante. A partir del 100 % de profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_0 , la profundidad de la pala t en el transcurso **b** disminuye a una profundidad de la pala t de aproximadamente 85 % en el plano E_e , en el transcurso **c** se reduce al 72 % y en el transcurso **d** al 60 %. Los valores intermedios cualesquiera están dentro del marco de la invención.

En la Figura 6b puede verse en cada caso el transcurso de la torsión Θ en la sección longitudinal L_a en relación con los antes descritos transcurso de las profundidades de la pala **a** hasta **d**, portando los transcurso asignados mutuamente las mismas referencias **a** hasta **d**. El transcurso de la torsión **a** se incrementa en forma constante a partir del plano de sección transversal E_0 , en primera instancia de modo aproximadamente lineal o levemente decreciente hasta alcanzar una longitud relativa de alrededor de 0,97, luego con un incremento progresivo hacia el plano de sección transversal E_e . Un transcurso similar pero menos marcado muestra la curva **b**. De ello se diferencian los transcurso de torsión **c** y **d**, dado que estos presentan entre el plano de sección transversal E_0 y E_e en dirección hacia la punta de la pala, un moderado incremento negativo, que después de llegar a un mínimo en la mitad exterior de la sección longitudinal externa L_a se convierte en un incremento positivo que aumenta progresivamente. En todos los transcurso se produce un incremento fuerte de la torsión Θ en el tercio externo de la sección longitudinal exterior L_a , preferiblemente en un valor de aproximadamente 4° superior a la torsión en el plano de sección transversal E_0 . El pasaje de la torsión Θ desde la sección longitudinal interna L_i hacia la sección longitudinal externa L_a preferiblemente también transcurre en forma constante.

La figura representada en la Figura 6c refleja el transcurso según la invención del arqueado relativo f/t entre los planos de sección transversal E_0 y E_e . El transcurso continúa de manera constante desde la sección longitudinal L_i y disminuye progresivamente en dirección hacia el plano de sección transversal E_e , hasta que en el extremo final de la pala 12 alcanzó el valor 0 %.

Un transcurso similar representado en la Figura 6d a lo largo de la sección longitudinal L_a muestra el espesor relativo d/t , que continúa en el plano E_0 también de manera constante el transcurso de la sección longitudinal interna L_i y se reduce en dirección hacia el plano de sección transversal E_e en forma progresiva o lineal hasta un valor de aproximadamente 10 %.

La Figura 6e muestra el desarrollo del coeficiente de la fuerza ascendente c_a , que es el resultado de las medidas que se han descrito en las figuras 6a hasta 6d. Las curvas **a** hasta **d** a su vez se corresponden con los transcurso **a** hasta **d** de la profundidad de la pala t y la torsión Θ . Las curvas surgen en forma constante del transcurso en la

sección longitudinal L_i y decaen en dirección hacia el plano de sección transversal E_e de manera sobre proporcional, es decir, progresiva, para adoptar en el extremo final de la pala 12 el valor cero. Los diferentes transcurros muestran allí que cuanto mayor es la profundidad t de la pala de rotor 6 y la mayor torsión Θ correlativa a esta, puede lograrse una reducción tanto mayor del valor c_a , lo que finalmente produce la deseada reducción de la emisión sonora.

5 El transcurso de la torsión Θ indicado en la Figura 6b, se explica gráficamente en la Figura 7. En la Figura 7 se muestra una multiplicidad de secciones transversales del perfil en el intervalo de la sección longitudinal exterior L_a en una dirección radial respecto del eje de rotación 18, donde el perfil que se ubica en el plano de sección transversal E_0 se identificó con P_0 y el perfil en el plano de sección transversal E_e se referenció con P_E . Para estas dos secciones transversales de perfil se representó en cada caso la correspondiente cuerda del perfil 15. Su transcurso convergente muestra que la torsión Θ del perfil de sección transversal P_E en el plano de sección transversal E_E es mayor que la torsión Θ de la sección transversal del perfil P_0 en el plano de sección transversal E_0 y ello en el presente caso en aproximadamente 4° . Además, puede observarse la disminución del arqueado relativo f/t del perfil P_0 con un arqueado predeterminado hacia el perfil totalmente simétrico P_E con el arqueado cero en el plano de sección transversal E_e . El perfil P_0 relativamente delgado en el extremo final de la pala respecto del perfil P_E , es el resultado de un cavado del espesor a aproximadamente el 10 %. La flecha positiva adicional Δz hacia barlovento se vuelve obvio, porque los cortes del perfil en dirección hacia el plano de sección transversal E_E están desplazados hacia el lado de presión 16. De manera correspondiente, se tornó visible la flecha negativa girable que resulta del desplazamiento de las últimas seis secciones transversales del perfil antes del plano de sección transversal E_E en dirección hacia su borde anterior 13.

La Figura 8 se refiere a una realización de la invención, en la que la pala de rotor 6 presenta una flecha positiva convencional hacia barlovento, la que en la sección longitudinal externa L_a está superpuesta por una flecha positiva Δz adicional hacia barlovento. En la punta de la pala resulta de esta manera un ángulo de flecha positiva β , el que según la invención puede adoptar un valor de hasta 30° , preferiblemente de 20° .

Tal como muestra la Figura 9, el área final de la pala de manera alternativa o acumulativa a la flecha positiva adicional puede haberse provisto de una flecha negativa en la dirección de rotación 8 (flecha negativa girable). A este fin, la sección longitudinal más externa L_a de la pala de rotor 6 está curvada hacia adelante en la dirección de rotación, ajustándose un ángulo de flecha negativa girable Φ entre la punta de la pala y el eje longitudinal 10 o bien el eje pitch de la pala de rotor 6 el que según la invención es $< 60^\circ$, preferiblemente se ubica entre 30° y 60° , de máxima preferencia es de 45° . La flecha negativa girable de la pala de rotor 6 ya puede comenzar en el plano E_0 o recién más tarde, tal como se representó en la Figura 9. Tanto la flecha positiva adicional como también la flecha negativa en la sección longitudinal L_a pueden observarse muy claramente en la Figura 7.

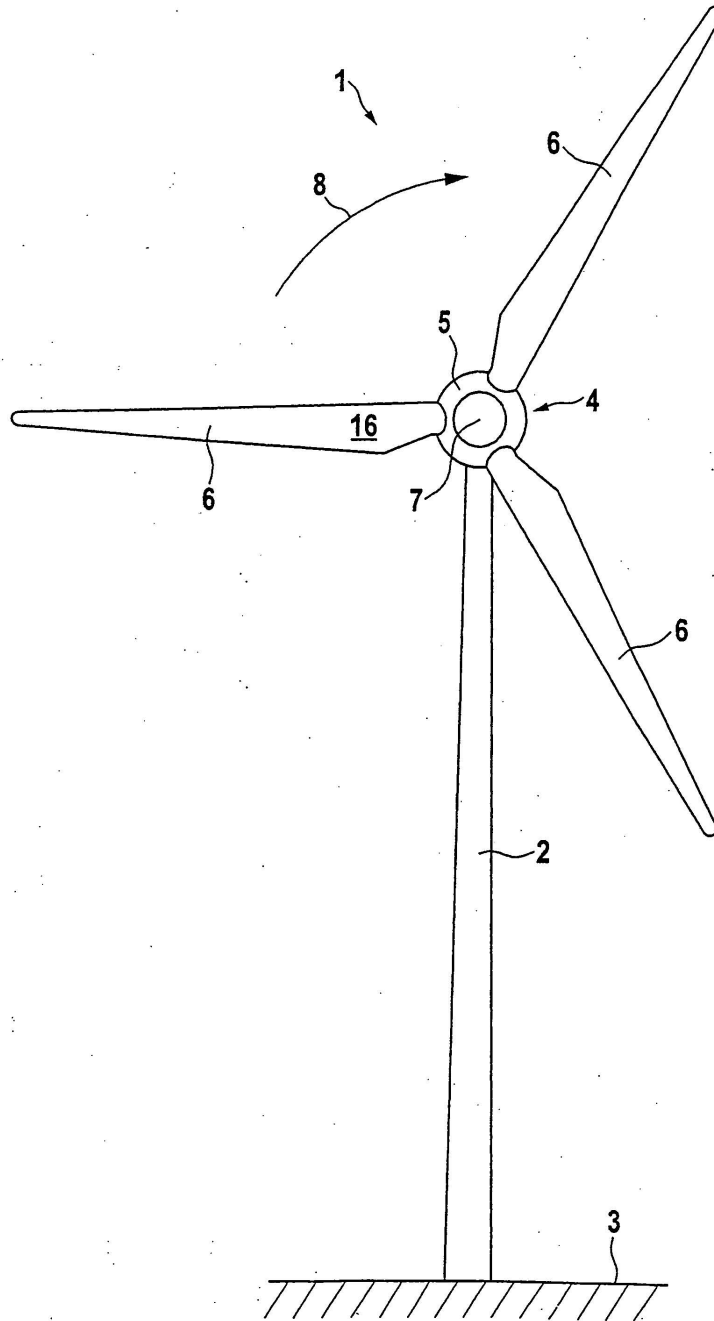
En las realizaciones representadas en las Figuras 10a y b de una pala de rotor según la invención 6, el plano de sección transversal E_e continúa en una caperuza de borde 21. La caperuza de borde 21, en el intervalo del plano de sección transversal E_e , surge de un perfil de sección transversal totalmente simétrico, es decir, el arqueado relativo f/t del perfil es cero. De esta manera, la caperuza de borde 21 puede conformarse de manera sencilla al doblar en 180° la línea perimetral que conforma el perfil del lado de succión 9 o del lado de presión 16. La caperuza de borde 21 por lo tanto representa un medio cuerpo de rotación.

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor para una instalación de energía eólica (1) con una longitud absoluta L que se extiende desde el empalme de la pala (11) hasta el extremo final de la pala (12) y una longitud relativa de aspa x/L que parte desde el empalme de la pala (11), estando la pala de rotor (6) subdividido en una sección longitudinal interna L_i correspondiente al empalme de la pala (11) y una sección longitudinal externa L_a correspondiente al extremo final de la pala (12) y el pasaje de la sección longitudinal interna L_i hacia la sección longitudinal externa L_a define el plano de sección transversal E_0 y el extremo final de la pala (12) define el plano de sección transversal E_e y donde la pala de rotor (6) en relación con la longitud relativa de aspa x/L presenta en cada caso un perfil aerodinámico específico con una profundidad t , una torsión Θ , un espesor relativo d/t , un arqueado relativo f/t y un espesor relativo del borde posterior h/t , **caracterizada por que** el plano de sección transversal E_0 con una longitud relativa de aspa x/L se sitúa en el intervalo entre 0,80 y 0,96, la profundidad de la pala t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e es como mínimo 60 % de la profundidad de la pala t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 y la torsión de la pala Θ del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e es mayor que la torsión de la pala Θ del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 , siendo la torsión de la pala Θ del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e de 3° a 5° más grande que la torsión de la pala Θ del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 .
2. Pala de rotor según la reivindicación 1, **caracterizada por que** el plano de sección transversal E_0 con una longitud relativa de aspa x/L se incluye en el intervalo entre 0,88 y 0,92, preferiblemente se sitúa en 0,9.
3. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 ó 2, **caracterizada por que** la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_e es menor o igual a 1,2 veces la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_0 , preferiblemente es menor o igual a la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_0 , de mayor preferencia es entre 0,7 veces y 0,8 veces la profundidad de la pala t en el plano de sección transversal E_0 .
4. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizada por que** el transcurso de la profundidad de la pala t desde el plano de sección transversal E_0 hacia el plano de sección transversal E_e es constante.
5. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** el transcurso de la torsión de la pala Θ a partir del plano de sección transversal E_0 en dirección hacia el plano de sección transversal E_e aumenta en forma constante.
6. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 4, **caracterizada por que** el transcurso de la torsión de la pala Θ a partir del plano de sección transversal E_0 en dirección hacia el plano de sección transversal E_e primero adopta un mínimo y a partir del mínimo aumenta en forma constante en dirección hacia el plano de sección transversal E_0 .
7. Pala de rotor según la reivindicación 5 ó 6, **caracterizada por que** el transcurso de la torsión de la pala Θ en el área que se extiende en forma constante se incrementa progresivamente hacia el plano de sección transversal E_e .
8. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 7, **caracterizada por que** el arqueado relativo f/t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e es menor que el arqueado relativo f/t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 , preferiblemente en el plano de sección transversal E_e es cero.
9. Pala de rotor según la reivindicación 8, **caracterizada por que** el transcurso del arqueado relativo f/t desde el plano de sección transversal E_0 hacia el plano de sección transversal E_e es constante, preferiblemente se reduce en forma progresiva.
10. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 9, **caracterizada por que** el espesor relativo d/t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e es menor que el espesor relativo d/t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_0 .
11. Pala de rotor según la reivindicación 10, **caracterizada por que** el transcurso del espesor relativo d/t desde el plano de sección transversal E_0 hacia el plano de sección transversal E_e es constante, preferiblemente se reduce en forma progresiva.
12. Pala de rotor según la reivindicación 10 ó 11, **caracterizada por que** el espesor relativo d/t del perfil aerodinámico en el plano de sección transversal E_e es de 9 % a 12 %.
13. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 12, **caracterizada por que** el transcurso de la profundidad t y/o el transcurso de la torsión Θ y/o el transcurso del arqueado relativo f/t y/o el transcurso del espesor relativo d/t en el plano de sección transversal E_0 continúa en forma constante desde el transcurso de la sección longitudinal L_i de la pala de rotor (6).

14. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 13, **caracterizada por que** a continuación del plano de sección transversal E_E se dispuso una caperuza de borde (21).
- 5 15. Pala de rotor según la reivindicación 14, **caracterizada por que** la pala de rotor (6) en el plano de sección transversal E_E no es arqueada y la forma de la caperuza de borde (21) se obtuvo mediante rotación del contorno del lado de presión o lado de succión alrededor de la cuerda del perfil.
- 10 16. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 15, **caracterizada por que** la altura relativa h/t del borde posterior (14) de la pala de rotor (6) al menos en el intervalo E_0 hasta E_E es menor o igual a 2 ‰, preferiblemente a partir de una longitud relativa x/L , que es mayor que 0,5.
- 15 17. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 16, **caracterizada por que** presenta una flecha positiva adicional Δz hacia barlovento en la sección longitudinal externa L_a de la pala del rotor (6).
- 20 18. Pala de rotor según la reivindicación 17, **caracterizada por que** la flecha positiva adicional Δz se prolonga de E_0 hacia E_E en forma constante y progresiva, así como también continúa en forma constante desde la sección longitudinal interna L_i de la pala de rotor (6), donde el ángulo de la flecha positiva β en el plano de sección transversal E_E es de 10° a 30°, preferiblemente es de 20°.
- 25 19. Pala de rotor según una de las reivindicaciones 1 a 18, **caracterizada por que** presenta una flecha negativa girable en la sección longitudinal externa L_a de la pala de rotor (6) en la dirección de rotación (8).
- 30 20. Pala de rotor según la reivindicación 19, **caracterizada por que** la flecha negativa girable transcurre desde E_0 hacia E_E en forma constante y progresiva, así como también continúa en forma constante desde la sección longitudinal interna L_i de la pala de rotor (6), donde el ángulo de la flecha negativa girable Φ en el plano de sección transversal E_E es menor que 60°, preferiblemente es de 45°.
- 35 21. Instalación de energía eólica, **caracterizada por que** dispone de una pala de rotor (6) según una de las reivindicaciones 1 a 20.
- 40
- 45
- 50
- 55
- 60

Figura 1



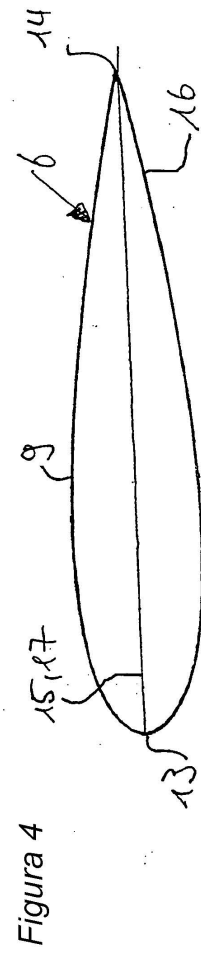
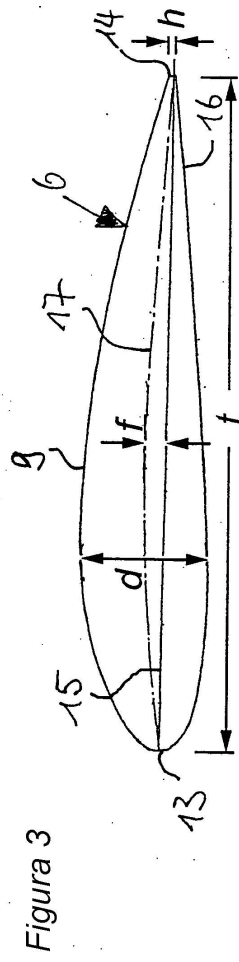
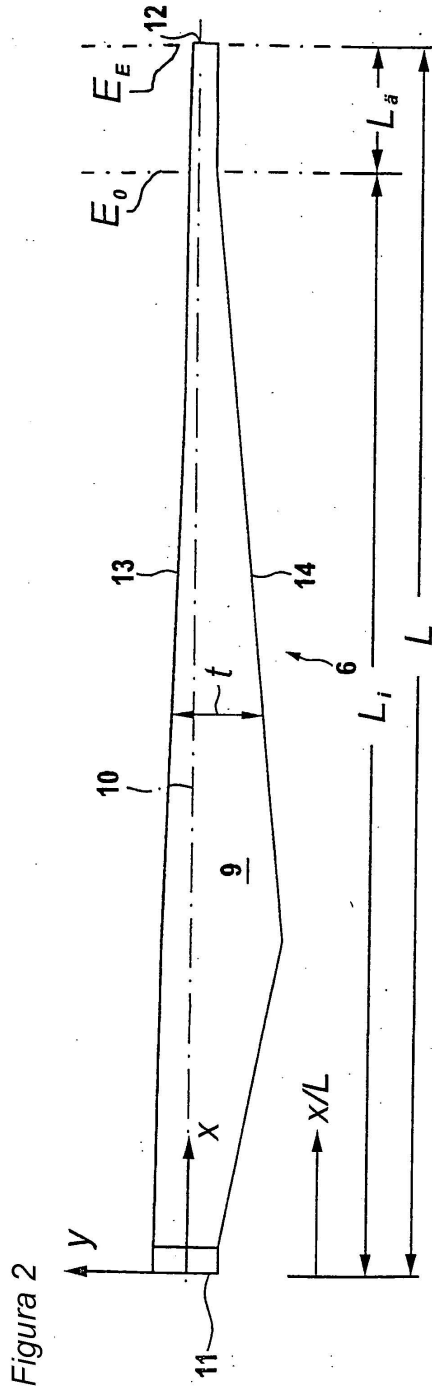


Figura 5

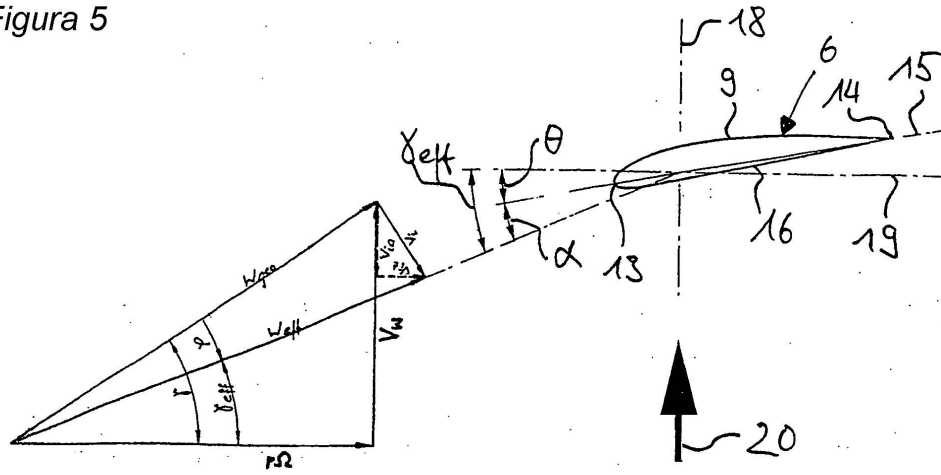


Figura 7

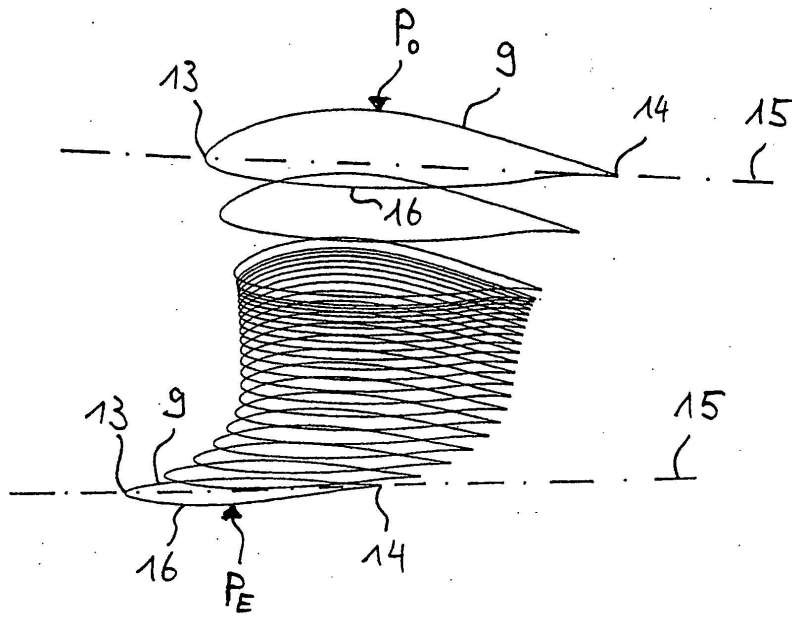


Figura 6a

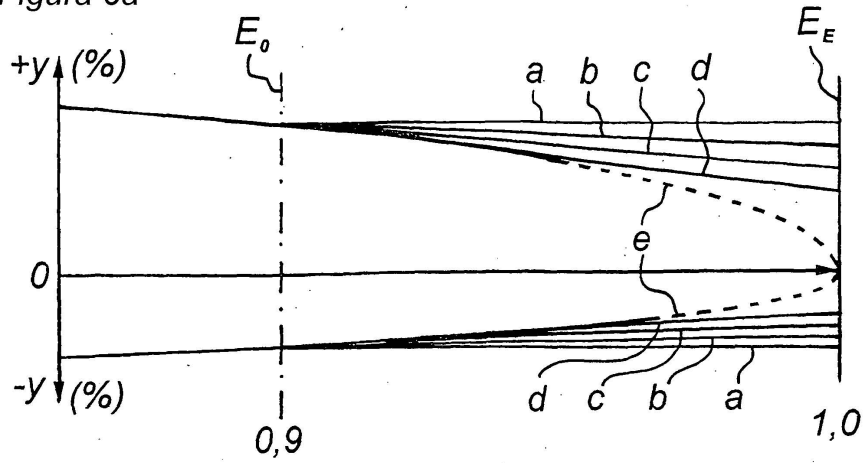


Figura 6b

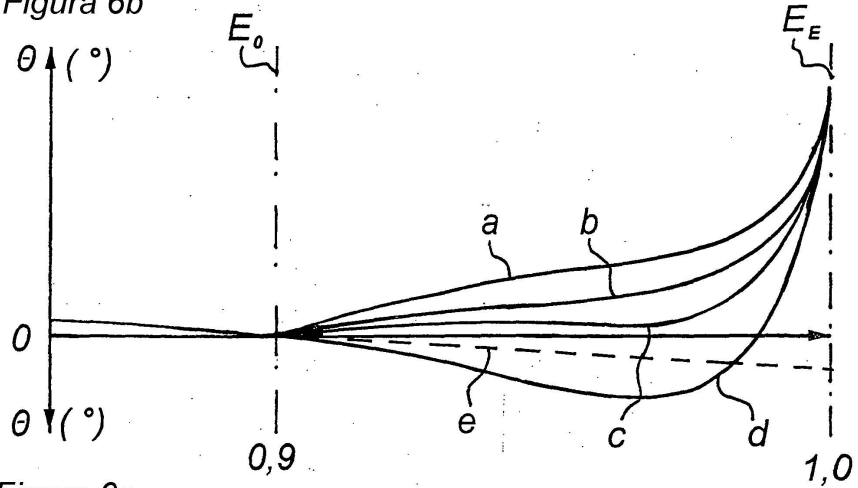


Figura 6c

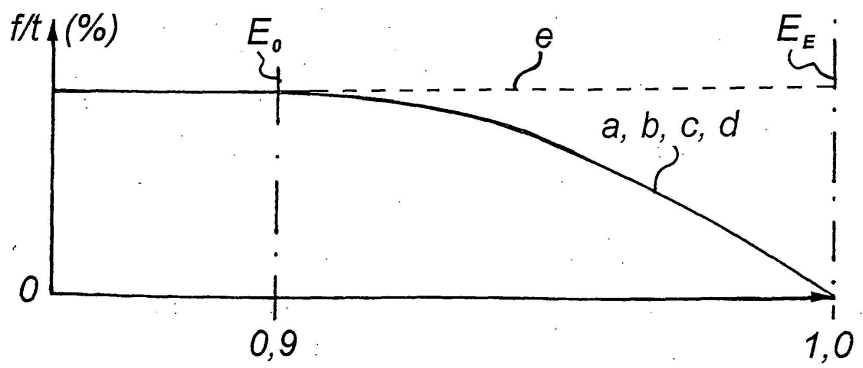


Figura 6d

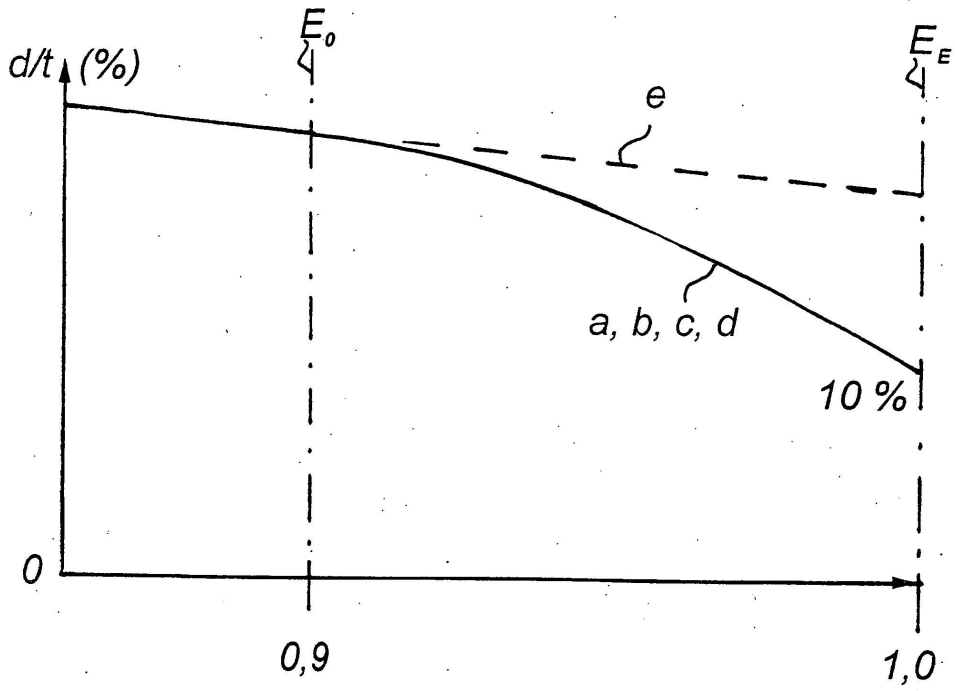


Figura 6e

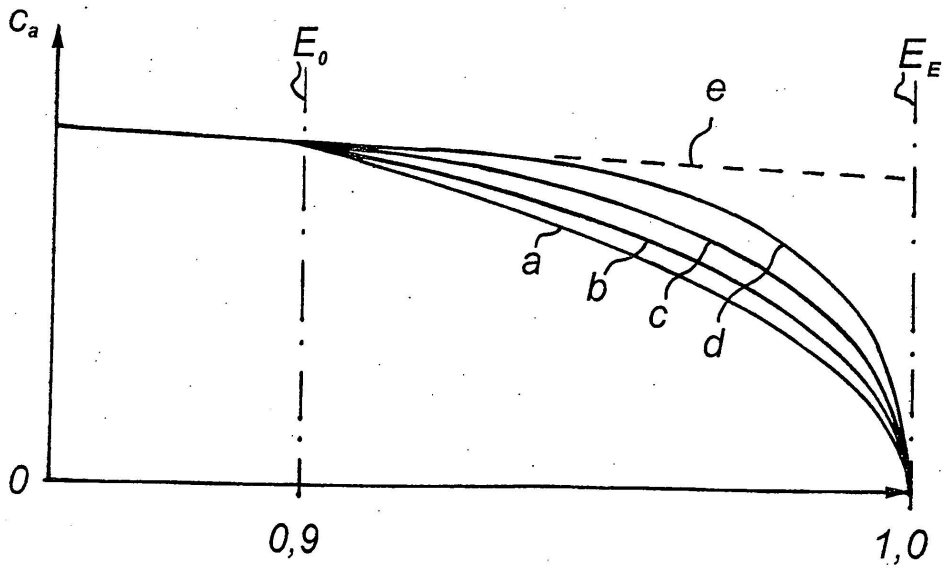


Figura 8

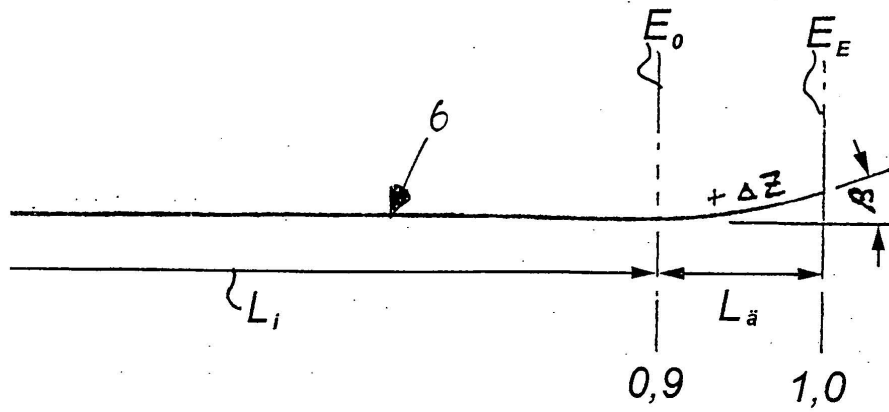


Figura 9

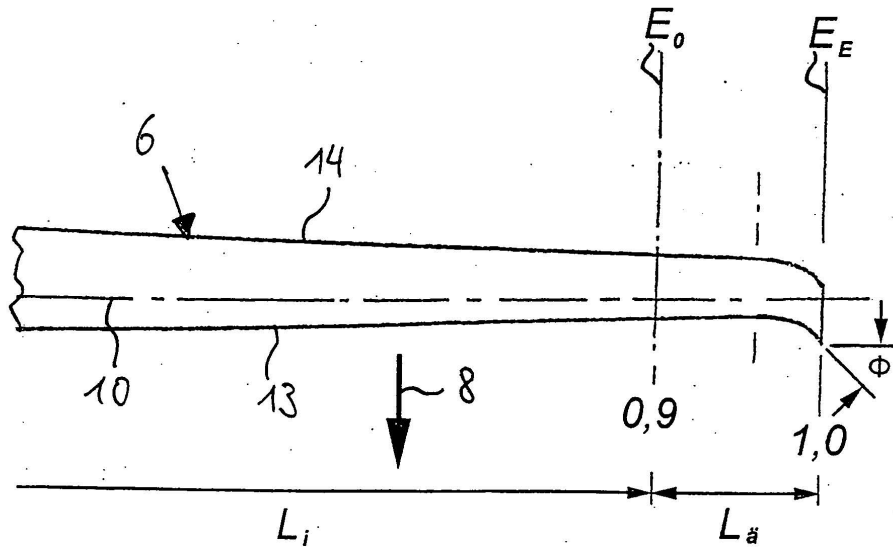


Figura 10a

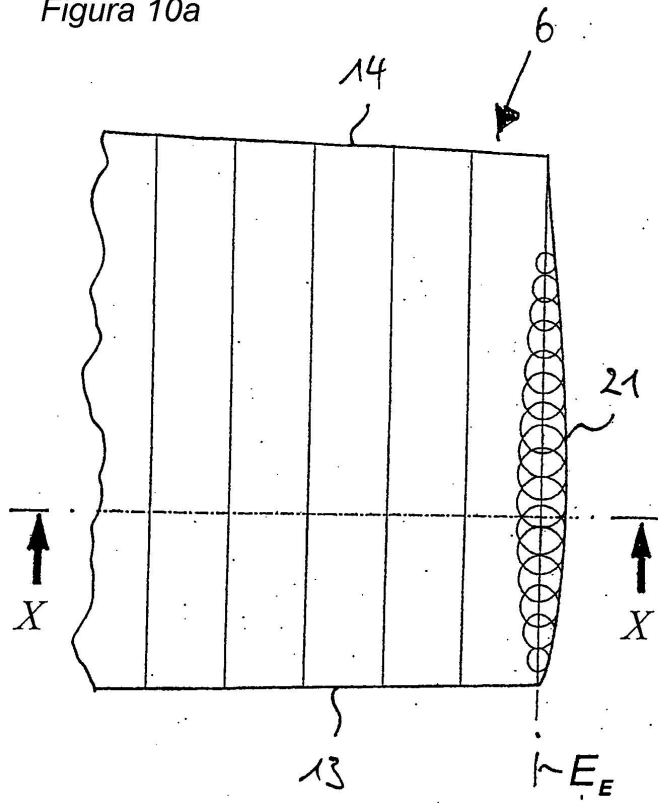


Figura 10b

