(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 629 210**

(51) Int. Cl.:
F03D 1/06 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.02.2005** **E 11186609 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017** **EP 2420671**

(54) Título: **Pala de rotor de una instalación de energía eólica**

(30) Prioridad:

13.02.2004 DE 102004007487

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
07.08.2017

(73) Titular/es:

WOBBEN PROPERTIES GMBH (100.0%)
Dreekamp 5
26605 Aurich, DE

(72) Inventor/es:

WOBBEN, ALOYS

(74) Agente/Representante:

ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María

ES 2 629 210 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 una instalación de energía eólica

La invención se refiere a una pala de rotor de una instalación de energía eólica, así como una instalación de energía con un rotor con palas de rotor semejantes.

El comportamiento de una instalación de energía eólica, en particular su eficiencia, se determina en una parte no insignificante por las palas de rotor o el diseño de las palas de rotor. Las palas de rotor se describen mediante una multiplicidad de parámetros, en este punto se remite en general como estado de la técnica al libro de Erich Hau, “Windkraftanlagen” 3ª edición, 2002, en particular a la página 90 y siguientes de allí. El contenido de este libro también es simultáneamente la base de la presente solicitud y también contenido de esta solicitud en tanto que esto se necesite para la presente solicitud.

Según se menciona, la capacidad productiva, como también el funcionamiento de control de las instalaciones de energía eólica se marca en una medida no insignificante por las propiedades aerodinámicas de los perfiles de pala de rotor usados. Un parámetro importante de un perfil de pala de rotor está caracterizado por la relación del coeficiente de sustentación c_a y el coeficiente de resistencia c_w.

$$\frac{c_a}{c_w} = E$$

en donde E se designa como la fineza (rendimiento aerodinámico).

Además, un parámetro importante de una pala de rotor es el coeficiente de velocidad periférica λ, estando definidoel coeficiente de velocidad periférica por el cociente entre la velocidad periférica (u) de la punta de pala de la pala de rotor y la velocidad del viento v.

En la fig. 1 están representadas las relaciones de soplado conocidas y las fuerzas del aire en la sección transversal de perfil de un elemento de pala.

Si se examinan los perfiles de palas de rotor conocidas, se constata una relación especial entre la fineza y el ángulo de ataque. Se reconoce precisamente que la fineza depende en gran medida del ángulo de ataque correspondiente y típicamente se obtiene una elevada fineza sólo en un rango de ángulo de ataque muy limitado. Así se puede conseguir, por ejemplo, una fineza elevada si el ángulo de ataque (de una pala de rotor) se sitúa en el rango de 6º y simultáneamente disminuye la fineza en cuanto se queda por debajo o se sobrepasa ligeramente el rango de 6º.

Si se abandona el rango de la fineza óptima, es decir, el ángulo de ataque es claramente diferente del ángulo de ataque óptimo, p. ej. 6º, se ve fácilmente que la eficiencia total de la instalación es menor con la consecuencia de que la instalación de energía eólica tenderá a ajustar el ángulo de ataque de nuevo a los valores óptimos, por ejemplo, ajustar el paso y/o poner todo el rotor de forma óptima en el viento mediante la orientación de la góndola.

Los tamaños de los rotores de las instalaciones de energía eólica han aumentado constantemente en los últimos años y las superficies de rotor barridas de 10000 m^2 ya no son entretanto una teoría, sino que se han hecho en la práctica, p. ej. en una instalación de energía eólica del tipo E112 de la empresa Enercon. A este respecto se trata de una instalación de energía eólica cuyo diámetro de rotor es de aproximadamente 112 m.

Ahora es prácticamente imposible conseguir el óptimo de la fineza sobre todas las zonas de la pala de rotor, ya que en el caso de la superficie barrida muy grande ya no se puede asumir que el viento siempre afluye desde la misma dirección y siempre con velocidad uniforme.

La consecuencia de ello es que en algunas zonas la pala de rotor o las palas de rotor trabajan en el funcionamiento relativamente óptimo, no obstante, debido a la diferencia del perfil de soplado en la superficie de rotor en algunas otras zonas trabajan más bien de forma subóptima. Esto se produce directamente por la dependencia muy estrecha de la fineza respecto al ángulo de ataque y la consecuencia de ello es que las cargas sobre la pala de rotor pueden oscilar de forma extrema, ya que también la sustentación (c_a) de la pala de rotor es aproximadamente proporcional a la fineza.

Como medida para la mejora de los problemas mencionados y para evitar sus desventajas naturalmente es posible

encontrar siempre un ajuste óptimo mediante un ajuste del paso correspondiente de la palas de rotor o giñada de todo el rotor. Pero es fácilmente comprensible para el especialista que con esta concepción se deben ajustar prácticamente constantemente las palas de rotor al viento (así se debe ajustar el paso) y/o los accionamientos acimutales también deben orientar nuevamente el rotor sin que se mejore sustancialmente la situación.

El documento DE 830627 muestra un aspa de turbina eólica con un disco final en el extremo de aspa.

El objetivo de la invención es evitar las desventajas mencionadas anteriormente y proporcionar un rendimiento total mejorado.

La invención resuelve el objetivo mediante una pala de rotor de una instalación de energía eólica con la característica según la reivindicación 1, así como mediante una instalación de energía eólica con las características de la reivindicación 2.

Una de las propiedades esenciales de un diseño de la pala de rotor consiste en que la fineza permanece elevada casi sobre un rango de ángulo de ataque muy grande, no obstante, quedando ahora el valor más elevado de la fineza ahora detrás del óptimo de la fineza hasta ahora por el estado de la técnica. Expresado de otra forma, la fineza de la pala de rotor según la invención es con el ajuste óptimo del ángulo de ataque – en el máximo – menor que en el estado de la técnica, pero simultáneamente un desvío del ajuste óptimo no conduce inmediatamente a una reducción substancial de la fineza y del coeficiente de sustentación y por consiguiente a una pérdida de sustentación, sino que los desvíos, que se sitúan en el rango de p. ej. ±0,5 a 3º del ángulo de ajuste óptimo, no conducen a la reducción sustancial de la fineza y por consiguiente a la reducción de la sustentación, con la consecuencia de que se mejora el rendimiento global de la pala. Por consiguiente también se consigue una distribución de cargas claramente mejorada y una oscilación de cargas claramente insignificante ($\Delta L/dt$). Según se puede reconocer de la fig. 2, el “sillín” de la curva de la fineza de la pala de rotor según la invención en el rango entre 4 y 8º de ángulo de ataque es claramente más ancho que en una pala de rotor conocida.

El diseño de la pala de rotor, que no pertenece a la invención, se realiza en particular en el tercio central de la pala de rotor, es decir, en la así denominada zona de la placa principal (mainboard) de la pala de rotor. Ésta es la zona que se sitúa entre la zona de conexión de la pala de rotor o la zona de raíz de la pala de rotor, por un lado, y la zona de punta, es decir, la zona de pico de la pala de rotor.

La fig. 2 muestra el comportamiento del coeficiente de sustentación o la fineza, por un lado, respecto al ángulo de ataque. En particular los diagramas de curvas respecto al ángulo de ataque muestran que en una pala de rotor estándar la fineza en el rango del ángulo de ataque de aproximadamente 6º alcanza su máximo absoluto, que se sitúa en aproximadamente 170. Ya en el caso de un desvío del ángulo de ataque desde 6º en 1º, es decir, a 7º a 5º disminuye la fineza fuertemente y en particular hacia ángulos de ajuste mayores, la fineza ya es la mitad cuando el ángulo de ajuste adopta un valor de aproximadamente 9º. Hacia ángulos de ataque más pequeños hay igualmente una caída muy intensa que, no obstante, no discurre tan empicado como en el caso de la desviación del ángulo de ataque hacia ángulos de ataque más elevados.

En el diagrama también se puede ver el comportamiento de la fineza en una pala de rotor. En el rango del ángulo de ataque de aproximadamente 6º está marcado de nuevo el máximo y este máximo se sitúa por debajo del máximo de la fineza en el caso de una pala de rotor estándar. Sin embargo, el “sillín” del óptimo es ahora claramente más ancho, según se reconoce en las curvas que se cortan y luego cuando, por ejemplo, el ángulo de ataque se sitúa en el rango de 4 a 8º, es decir, ±2º del ángulo de ataque óptimo 6º, la fineza sólo ha bajado ahora aproximadamente el 10% de su valor óptimo. En el rango de aproximadamente 4,5º a -4º, por un lado, y en el rango de aproximadamente 7º a 16º, la finezasiempre se sitúa por encima de la curva de fineza para una pala de rotor conocida.

Según se puede reconocer también, mediante una configuración de la pala de rotor que no pertenece a la invención, se mejora en conjunto el coeficiente de sustentación de toda la pala de rotor, lo que va acompañado con un aumento de eficiencia de aproximadamente el 15% de la pala de rotor.

Ante todo las oscilaciones de las cargas ahora tampoco serán tan grandes como hasta ahora y en el caso de cualquier modificación mínima del ángulo de ataque no existe la necesidad de efectuar medidas correspondientes igualmente, ajustar el ángulo de ataque de nuevo al valor óptimo deseado, en el presente ejemplo 6º.

La fig. 3 muestra distintas vistas de una punta de pala de rotor, es decir, de una pieza final de la pala de rotor. La fig. 3a muestra una punta de pala de rotor en la representación en perspectiva, la fig. 3b de la vista lateral y fig. 3c en la

vista en planta.

Esta punta de pala de rotor también se designa en general como arco de borde. En la fig. 3a se puede reconocer que el arco de borde está representado con tres secciones de perfil y el eje de ensartado.

Mediante las tres representaciones diferentes es posible clarificar el giro del perfil del arco de borde alrededor del eje de ensartado. A este respecto, el giro representado es en cuanto al valor mayor que el número de grados indicado en la descripción, por motivos de representación, a fin de hacer perceptible hasta cierto punto la representación en la representación gráfica.

En este punto se subraya especialmente de nuevo que la configuración no reivindicada de la pala de rotor se refiere en particular a la parte central, es decir, a la así denominada placa principal, es decir, en la zona que se sitúa entre la zona de raíz de la pala de rotor, por un lado, y la zona de punta. La placa principal también se puede describir en general como el “tercio central” de una pala de rotor, pudiéndose desviar de ello las medidas concretas a lo largo de la placa principal y la placa principal también puede ocupar p. ej. también aproximadamente hasta el 60% de la longitud de la pala de rotor.

Adicionalmente o independientemente de la configuración mencionada anteriormente de la pala de rotor, también se puede obtener otra mejora – véase la fig. 3a a 3c -, cuando el pico de la pala de rotor, es decir, la así denominada punta en una zona determinada se gira alrededor del eje de ensartado, p. ej. está girado en aproximadamente 4 a 8º, preferentemente aproximadamente 5º, alrededor del eje de ensartado (retorcido, *twist*). Luego el retorcido se sitúa en un así denominado ángulo de soplado nulo, es decir, que la punta misma no ofrece una contribución a la sustentación. Una configuración típica de una punta o de un disco final de punta correspondiente se conoce por el libre ya mencionado de Erich Hau, página 126 (imagen 535).

Según la doctrina general se calculan las cargas dimensionantes de una pala de rotor como producto del cuadrado de la velocidad del viento, la superficie de pala de rotor y el coeficiente de sustentación. Expresado como fórmula sería la

Carga dimensionantes = $v^2 \times A \times c_A$,

en el que con la superficie de rotor A se considera la superficie que cubre (barre) el rotor.

Esto contemplando los libros de texto es muy somero y no siempre se corresponde con la realidad. La mayor carga de una pala de rotor no actúa sobre ella durante el funcionamiento normal, sino que luego cuando una así denominada ráfaga de 50 años “pilla” la pala de rotor desde el lado. En este caso la ráfaga solicita asimismo toda la superficie de la pala de rotor. En este caso se puede reconocer igualmente que el coeficiente de sustentación c_A no desempeña un papel, en consideración aquí vendría más bien el coeficiente de resistencia c_w. Pero éste es siempre constante para esta superficie de pala de rotor más o menos plana, ya que cuando el viento incide sobre una pala luego incide justamente sobre una tabla. Esta situación, a saber la afluencia completamente lateral, es la situación más desfavorable en la que se origina la mayor carga para la que debe estar dimensionada la pala de rotor, justamente una carga dimensionante.

De lo anterior se puede reconocer que en el caso de un coeficiente de resistencia constante sólo y únicamente es decisiva la superficie de la pala de rotor. Esto también es el motivo para la realización más esbelta posible de las palas de rotor.

Pero también se conoce que la potencia de una instalación de energía eólica depende de forma decisiva de la longitud de las palas de rotor. Por ello se deben preferir palas largas esbeltas a palas anchas cortas hasta ahora. Sin embargo, no se debe pasar por alto que esta consideración no es válida para la zona interior de pala (mainboard), dado que aquí la situación es básicamente otra.

Finalmente la velocidad relativa de la pala de rotor respecto al flujo que fluye alrededor en la zona de la raíz de pala es el menor y aumenta continuamente hacia la punta de pala. Por ello la forma de pala de rotor aquí descrita con la zona exterior esbelta y la finezaoptimizada es una solución especialmente ventajosa.

REIVINDICACIONES

1. Pala de rotor de una instalación de energía eólica con una punta o un disco final de punta que se destaca como a la manera de un dispositivo de punta alar (winglet) del plano de pala de rotor, **caracterizada porque** este disco final está girado en su plano central en aproximadamente 4º a 8º, preferiblemente 4º a 6º, en particular en aproximadamente 5º alrededor del eje de ensartado.

2. Instalación de energía con un rotor con palas de rotor según la reivindicación 1.

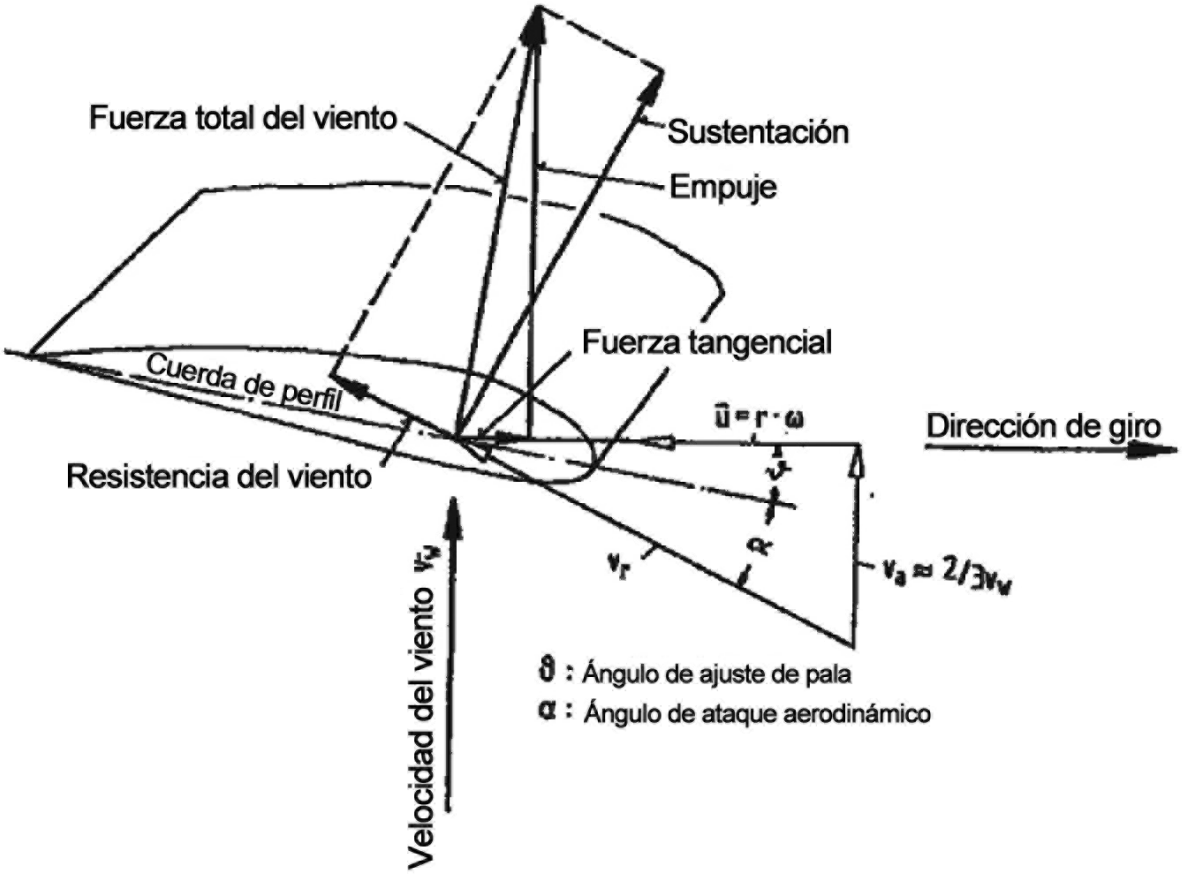
Fuerza total del viento
Sustentación
Empuje
Fuerza tangencial
Cuerda de perfil
Resistencia del viento
Dirección de giro
Velocidad del viento v_w
ϑ : Ángulo de ajuste de pala
α : Ángulo de ataque aerodinámico

Fig. 1

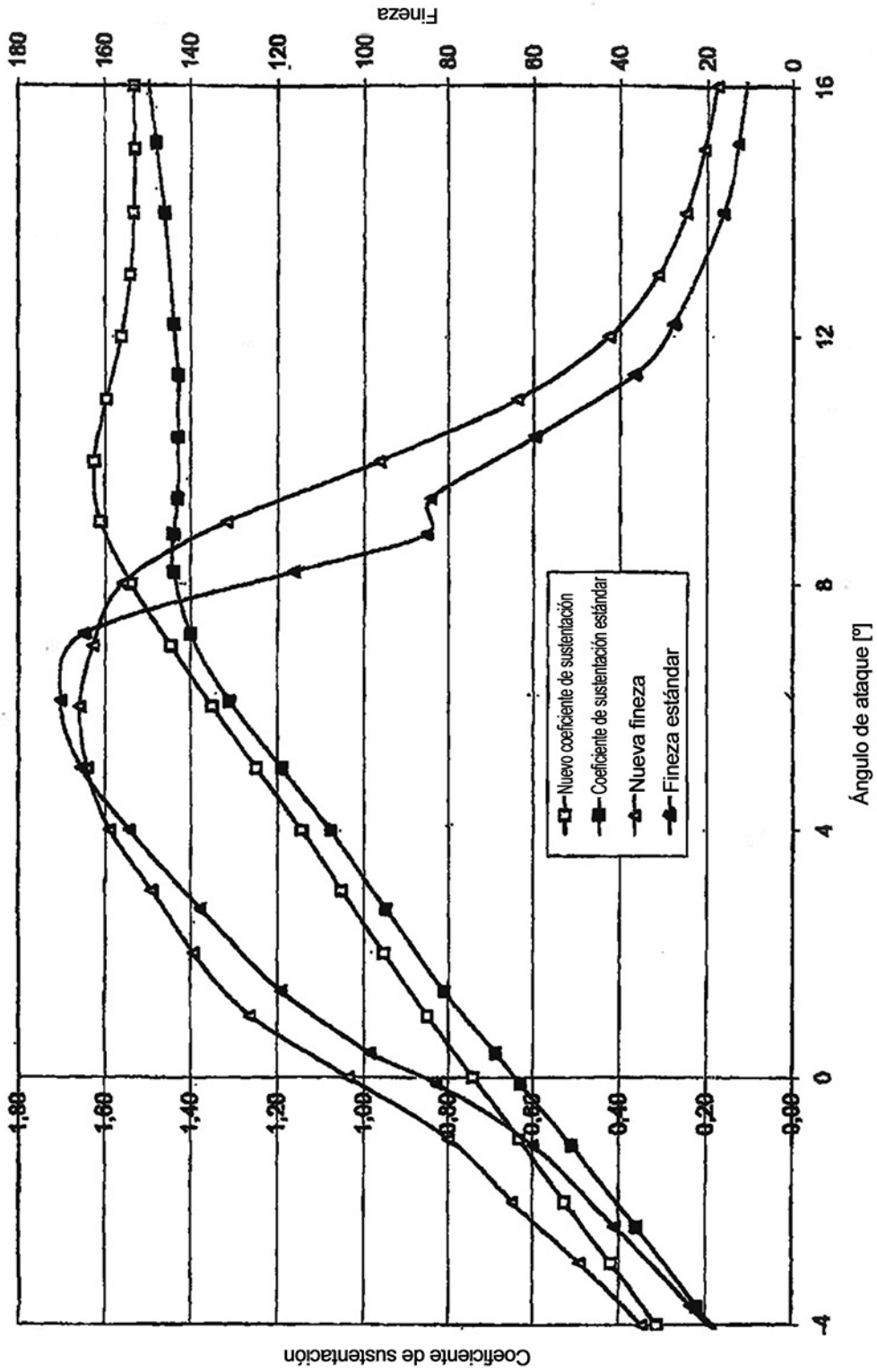
Coeficiente de sustentación
Fineza
Ángulo de ataque [º]
Nuevo coeficiente de sustentación
Coeficiente de sustentación estándar
Nueva fineza
Fineza estándar
1,80
1,60
1,40
1,20
1,00
0,80
0,60
0,40
0,20
0,00
180
160
140
120
100
80
60
40
20
0
-4
0
4
8
12
16

Fig. 2

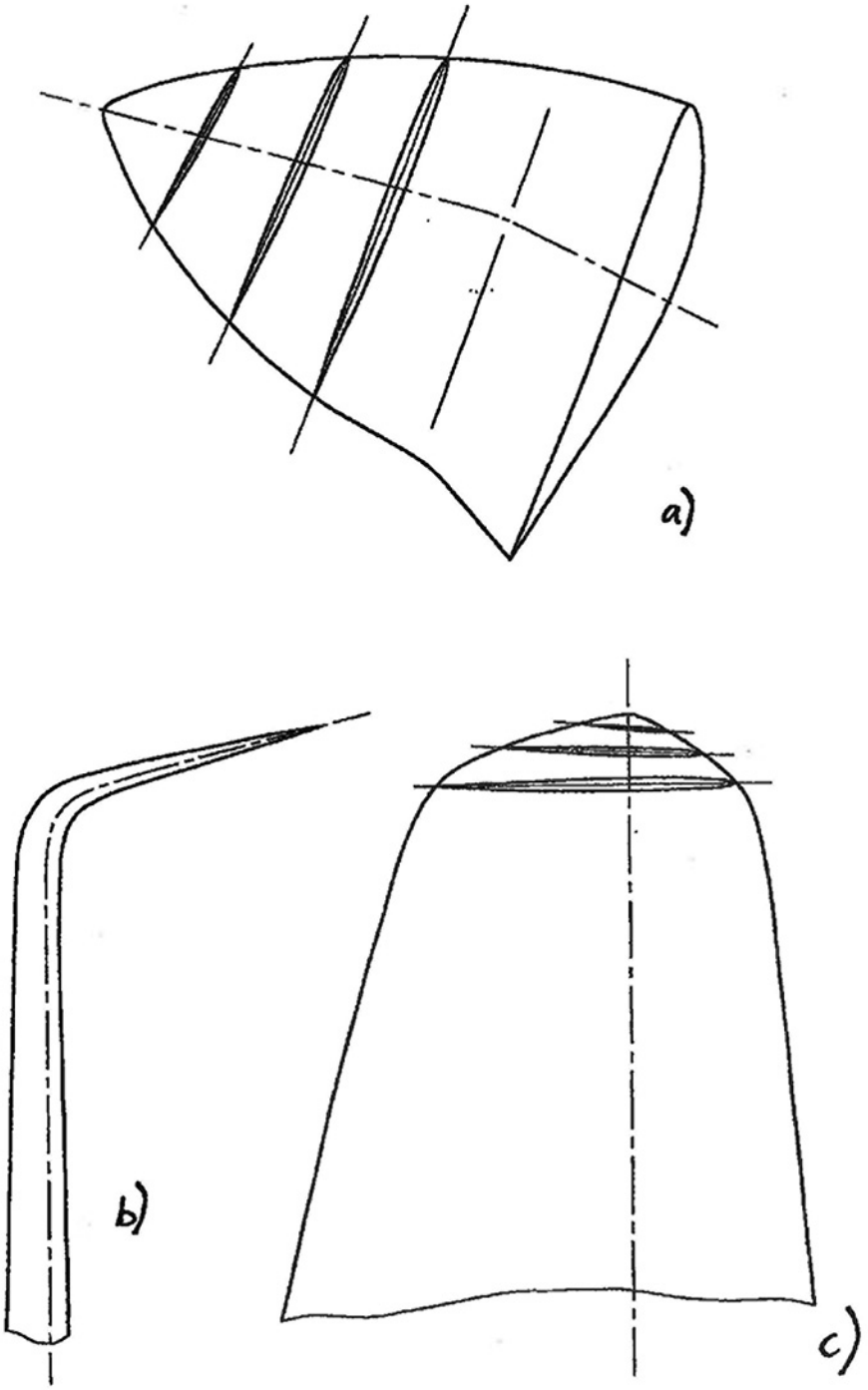

Fig. 3