



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 360 735**

51 Int. Cl.:
F03D 1/06 (2006.01)
F03D 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07704711 .6**
96 Fecha de presentación : **26.02.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **2004989**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.12.2008**

54 Título: **Pala de rotor de turbina eólica.**

30 Prioridad: **10.04.2006 EP 06007514**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
08.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
08.06.2011

73 Titular/es: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**
Wittelsbacherplatz 2
80333 München, DE

72 Inventor/es: **Enevoldsen, Peder Bay y**
Hjort, Soeren

74 Agente: **Zuazo Araluze, Alexander**

ES 2 360 735 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).

DESCRIPCION

La presente invención se refiere a una pala de rotor de turbina eólica con una parte de base cilíndrica, una parte de perfil de ala y una parte de transición que está ubicada entre la parte de perfil de ala y la parte de base.

5 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 base que tiene una sección transversal conformada de manera cilíndrica, mediante la cual se fija la pala de rotor a un buje del rotor, y una parte de perfil de ala con una sección transversal conformada de manera aerodinámica. La sección transversal conformada de manera cilíndrica de la parte de base se usa para fijar la pala a un cojinete en el buje de rotor.

10 Una parte de transición está ubicada entre la parte de perfil de ala y la parte de base a lo largo de la cual cambia el contorno de la pala desde el perfil de ala aerodinámica hasta el contorno cilíndrico. La transición desde la parte de perfil de ala hasta la parte de base normalmente empieza en un denominado resalte de la pala, que se facilita mediante la ubicación de la cuerda más grande de la pala. 15 La cuerda es una línea imaginaria, medida en la dirección del flujo de aire normal, desde el borde anterior de la pala hasta su borde posterior. El resalte normalmente reside aproximadamente en el 20% de la envergadura de la pala del rotor, que es la longitud de la pala desde la base hasta la parte más externa de la pala, la denominada punta.

20 Un enfoque en las propiedades aerodinámicas de una pala de turbina eólica se centra mayormente en la parte de perfil de ala. A menudo se considera que el área de transición no contribuye de manera significativa a la producción de energía de la turbina eólica.

25 Para mejorar las propiedades aerodinámicas de la parte interna de una pala de rotor de turbina eólica se ha propuesto en el documento WO03/104646 A1 aumentar la anchura de la pala, es decir la dimensión a lo largo de la cuerda, cerca del buje del rotor de manera que la mayor anchura puede encontrarse cerca del buje. Sin embargo, esto conduce a cargas superiores en la torre a la que se fija el rotor, a costes de producción superiores y a dificultades en el transporte de la pala. Por consiguiente, se ha propuesto en el documento W02004/097215 A1 implementar una pala de este tipo en una forma de dos partes.

30 Otra pala de turbina eólica según el estado de la técnica se da a conocer en el documento US2004/0013512 A1.

Con respecto al estado de la técnica mencionado, es un objetivo de la presente invención proporcionar una pala de rotor de turbina eólica mejorada.

Este objetivo se resuelve mediante una pala de rotor de turbina eólica, según la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes definen desarrollos adicionales de la presente invención.

35 Una pala de rotor de turbina eólica de la invención con un lado de succión y un lado de presión comprende una parte de base cilíndrica, una parte de perfil de ala y una parte de transición. La parte de perfil de ala define el lado de succión y el lado de presión de la pala. La parte de transición está ubicada entre la parte de perfil de ala y la parte de base y tiene un contorno de transición que cambia desde el perfil de ala de la parte de perfil de ala hasta la forma cilíndrica de la parte de base, siendo su sección anterior cilíndrica y siendo su sección posterior alargada. En la pala de rotor de turbina eólica de la invención, la longitud de cuerda máxima de la parte de perfil de ala es al menos la longitud de cuerda máxima de la parte de transición, y en particular más grande que ella. Además, el contorno de transición comprende una sección con una curvatura cóncava en el lado de presión de la pala. En una implementación particular, la sección con la curvatura cóncava no empieza antes del 60% de la longitud de cuerda medida desde el borde anterior del contorno de transición. En una implementación ventajosa adicional de la invención, la sección de contorno de transición con la curvatura cóncava se extiende hasta el 100% de la longitud de cuerda.

40 Introduciendo una curvatura cóncava en el lado de presión del contorno de transición de la pala sin agrandar su anchura de contorno, es decir su longitud de cuerda, a lo largo de la anchura de contorno de la parte de perfil de ala, puede mejorarse la aerodinámica de la parte de transición de la pala sin las dificultades mencionadas con respecto a la técnica anterior, es decir sin aumentar de manera significativa las cargas de torre, sin aumentar de manera significativa los costes de producción y sin conducir a dificultades de transporte. Por tanto, no es necesario implementar la pala de rotor de la invención en dos partes por razones de transporte. Una pala de rotor de dos partes siempre tendría una debilidad en la zona de conexión de ambas partes a menos que se realice un esfuerzo considerable para reducir una debilidad de este tipo.

55 Ya puede lograrse un efecto ventajoso si la sección con la curvatura cóncava se extiende solamente a lo largo del último 20% del contorno de transición, es decir desde el 80% de la longitud de

cuerda hasta el 100% de la longitud de cuerda. En este caso, solamente se necesitan cambios menores al contorno de transición del estado de la técnica.

5 Puede lograrse fácilmente la curvatura cóncava mediante un área pequeña añadida a la sección transversal del contorno de transición del estado de la técnica. Esta área se denomina cubierta a lo largo de la presente solicitud. La curvatura cóncava, y en particular la cubierta, introduce una considerable carga trasera y aumenta la elevación del rotor de la misma manera que una aleta de Gurney en un perfil de ala tradicional.

10 La parte de perfil de ala de la pala de rotor de la invención puede empezar en un punto de la pala de rotor que está ubicado entre el 15% y el 25% de la envergadura, medida desde el buje hasta la punta de la pala. En particular, la parte de perfil de ala puede empezar en aproximadamente el 20% de la envergadura.

Características, propiedades y ventajas adicionales se aclararán a partir de la siguiente descripción de una realización de la invención con referencia a los dibujos adjuntos.

15 La figura 1 muestra una pala de rotor en una vista en planta sobre el plano definido por la envergadura de la pala y la cuerda de la pala.

La figura 2 muestra una sección en el sentido de la cuerda a través de la parte de perfil de ala de la pala mostrada en la figura 1.

La figura 3 muestra la sección transversal de un contorno de la sección de transición de la pala según el estado de la técnica.

20 La figura 4 muestra la sección transversal de un contorno de la sección de transición de la pala según la invención.

La figura 5 muestra los coeficientes de elevación de los contornos de la invención y del estado de la técnica como función del ángulo de ataque.

25 La figura 6 muestra los coeficientes de resistencia aerodinámica de los contornos de la invención y del estado de la técnica como función del ángulo de ataque.

La figura 7 muestra ejemplos de geometrías a escala diferente de la sección transversal del contorno de transición.

30 La figura 1 muestra una pala 1 de turbina eólica como se usa habitualmente en un rotor de tres palas. Sin embargo, la presente invención no debe limitarse a palas para rotores de tres palas. De hecho, también puede implementarse en otros rotores, por ejemplo rotores de una pala o rotores de dos palas.

35 La pala 1 de rotor mostrada en la figura 1 comprende una parte 3 de base con un contorno cilíndrico y una punta 2. La punta forma la parte más externa de la pala. El contorno cilíndrico de la parte 3 de base sirve para fijar la pala a un cojinete de un buje de rotor. La pala 1 de rotor comprende además un denominado resalte 4 que está definido como la ubicación de su profundidad de contorno máxima, es decir la longitud de cuerda máxima de la pala. Entre el resalte 4 y la punta 2 se extiende una parte 5 de perfil de ala que tiene un contorno conformado de manera aerodinámica. Entre el resalte 4 y la parte 3 de base cilíndrica, se extiende una parte 7 de transición en la que tiene lugar una transición desde el contorno aerodinámico de la parte 5 de perfil de ala hasta el contorno cilíndrico de la parte 3 de base.

40 En la figura 2 se muestra una sección transversal en el sentido de la cuerda a través de la sección 5 de perfil de ala de la pala de rotor. El contorno aerodinámico mostrado en la figura 2 comprende un lado 13 de succión convexo y un lado 15 de presión menos convexo. La línea mixta que se extiende desde el borde 9 anterior de la pala hasta su borde 11 posterior muestra la cuerda del contorno. Aunque el lado 15 de presión comprende una sección 17 convexa y una sección 19 cóncava en la figura 2, también puede implementarse sin ninguna sección cóncava en absoluto siempre que el lado 13 de succión sea más convexo que el lado 15 de presión.

45 El lado 13 de succión y el lado 15 de presión en la parte 5 de perfil de ala también se denominarán el lado de succión y el lado de presión de la pala 1 de rotor, respectivamente, aunque, hablando estrictamente, la parte 3 cilíndrica de la pala 1 no muestra un lado de presión o succión.

50 En la figura 3 se muestra un contorno del estado de la técnica para la parte 7 de transición de la pala 1 de rotor. La sección transversal del contorno de transición es circular en su parte anterior y alargada en su parte posterior, de modo que se asemeja a una forma de tipo huevo. Puede observarse que es más o menos simétrica respecto a la cuerda y por tanto no genera elevación utilizable para la pala de turbina en un amplio intervalo de ángulos de ataque del viento.

En la figura 4 se muestra el contorno de transición de la parte 7 de transición. En comparación

con el contorno de transición del estado de la técnica, su lado 15 de presión se ha modificado en la parte entre el 80% y el 100% de la longitud de cuerda añadiendo un área 21 a la sección transversal del contorno. El contorno del estado de la técnica en esta parte se indica mediante la línea discontinua.

5 El área 21 o cubierta añadida, está delimitada por una línea 23 recta que se extiende desde el lado 13 de succión en una dirección perpendicular a la cuerda en el 100% de la longitud de cuerda. Por tanto, el área añadida no aumenta la profundidad del contorno, es decir la longitud de cuerda. La sección transversal del área 21 añadida está delimitada además por una línea 25 cóncava que se extiende en el lado 15 de presión del contorno desde aproximadamente el 80% de la longitud de cuerda hasta el 100% de la longitud de cuerda. El área 21 añadida introduce una considerable carga trasera en la parte 7 de transición de la pala 1 de rotor y aumenta la elevación de la misma manera que una aleta de Gurney (también denominada *wickerbill*) sobre un perfil de ala tradicional.

10 El tamaño del área 21 añadida puede adaptarse a diferentes condiciones de diseño mediante un ajuste a escala, en particular ajustando a escala la longitud de la línea 23 recta, tal como se indica en la figura 7. Mediante el ajuste a escala, la línea 23 recta que delimita el área añadida se acortará o se alargará en comparación con el área 21 añadida mostrada en la figura 4.

15 El contorno de transición con la sección transversal mostrada en la figuras 4 y 7 ha demostrado resultar ventajoso con respecto al contorno del estado de la técnica, mostrado en la figura 3, en pruebas de túnel de viento. Además, se han realizado cálculos de la dinámica de fluidos computacional (cálculos CFD) para el contorno del estado de la técnica y el contorno de la invención. Los resultados de estos cálculos se muestran en las figuras 5 y 6. La figura 5 muestra el coeficiente c_l de elevación como función del ángulo de ataque del viento para el contorno del estado de la técnica y el contorno de la invención, y la figura 6 muestra el coeficiente c_d de resistencia aerodinámica para el contorno del estado de la técnica y el contorno de la invención como función del ángulo de ataque del viento mientras que sea positivo para la invención. Con el área añadida a la sección transversal del contorno de transición, su coeficiente c_l de elevación del contorno de transición ha mejorado notablemente. De hecho, para el contorno de transición del estado de la técnica, la elevación es negativa en casi la totalidad del intervalo de ángulos de ataque mientras que es positiva para la invención. Además, en comparación con el contorno de transición del estado de la técnica, el coeficiente c_d de resistencia aerodinámica del contorno de transición de la invención ha aumentado.

20 Basándose en los valores del coeficiente c_l de elevación y del coeficiente c_d de resistencia aerodinámica, se ha realizado un cálculo de la producción de energía anual (AEP). Este cálculo conduce a un aumento de la AEP de aproximadamente el 1,5% para una distribución de viento típica. Un cálculo tridimensional completo del rotor usando la dinámica de fluidos computacional del estado de la técnica muestra incluso una mejora en la AEP de aproximadamente el 3%. Esto indica que la parte 7 de transición también afecta a la parte 5 de perfil de ala de la pala.

25 Para investigar la influencia sobre las cargas de la turbina se han realizado cálculos de carga completos usando el código aeroelástico BHawC. Los resultados de los cálculos mostraron muy poca influencia sobre las cargas globales.

30 La pala 1 de rotor de la invención puede realizarse cambiando el proceso de fabricación para una pala de turbina de manera que el contorno de la parte 7 de transición se convierta en un contorno tal como se muestra en la figuras 4 y 7. Sin embargo, también es posible añadir la cubierta a una parte de transición con un contorno del estado de la técnica en forma de una pieza separada fijada a la sección de transición. Esto es útil, en particular, para mejorar las palas de rotor ya existentes.

REIVINDICACIONES

1. Pala (1) de rotor de turbina eólica con un lado (13) de succión y un lado (15) de presión, que comprende
 - una parte (3) de base cilíndrica,
- 5
 - una parte (5) de perfil de ala que define el lado (13) de succión y el lado (15) de presión, y
 - una parte (7) de transición que está ubicada entre la parte (5) de perfil de ala y la parte (3) de base y que tiene un contorno de transición que cambia desde el perfil de ala de la parte (5) de perfil de ala hasta el contorno cilíndrico de la parte (3) de base, en la que la longitud de cuerda máxima de la parte (5) de perfil de ala es al menos la longitud de cuerda máxima de la parte (7) de transición y en la que el contorno de transición comprende una sección con una curvatura (25) cóncava en el lado (15) de presión de la pala (1) de rotor y tiene una curvatura convexa en el lado (13) de succión de la pala (1) de rotor, en la que la sección anterior del contorno de transición es cilíndrica y la sección posterior del contorno de transición es alargada, caracterizada
- 10
 - porque la sección con la curvatura (25) cóncava está formada como un área (21) añadida a la sección transversal del contorno de transición en comparación con un contorno de transición en el que la curvatura del lado (15) de presión es simétrica respecto de la cuerda a la curvatura del lado (13) de succión y
 - porque el área (21) añadida a la sección transversal del contorno de transición está delimitada por una línea (23) recta que se extiende desde el lado (13) de succión en una dirección perpendicular a la cuerda en el 100% de la longitud de cuerda.
- 15
 - 2. Pala (1) de rotor según la reivindicación 1, caracterizada porque la sección con la curvatura (25) cóncava no empieza antes del 60% de la longitud de cuerda.
- 20
 - 3. Pala (1) de rotor según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada porque la sección con la curvatura (25) cóncava se extiende hasta el 100% de la longitud de cuerda.
- 25
 - 4. Pala (1) de rotor según las reivindicaciones 2 y 3, caracterizada porque la sección con la curvatura (25) cóncava se extiende desde el 80% de la longitud de cuerda hasta el 100% de la longitud de cuerda.
- 30
 - 5. Pala (1) de rotor según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizada porque la parte (5) de perfil de ala empieza en un punto de la pala (1) de rotor que está ubicado entre el 15% y el 25% de la longitud total de la pala (1) de rotor.

FIG 1

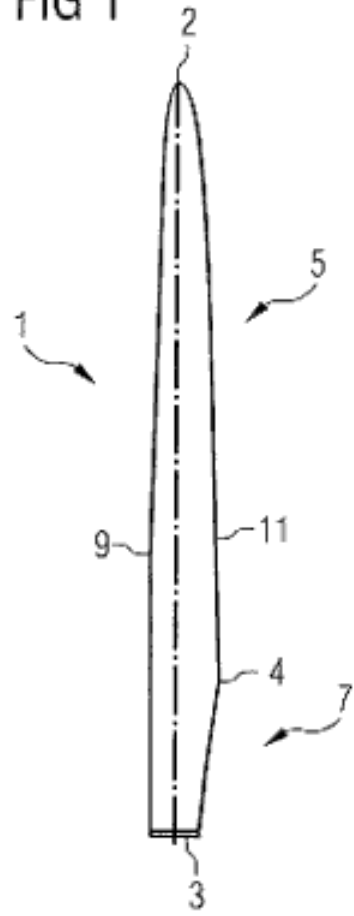


FIG 2

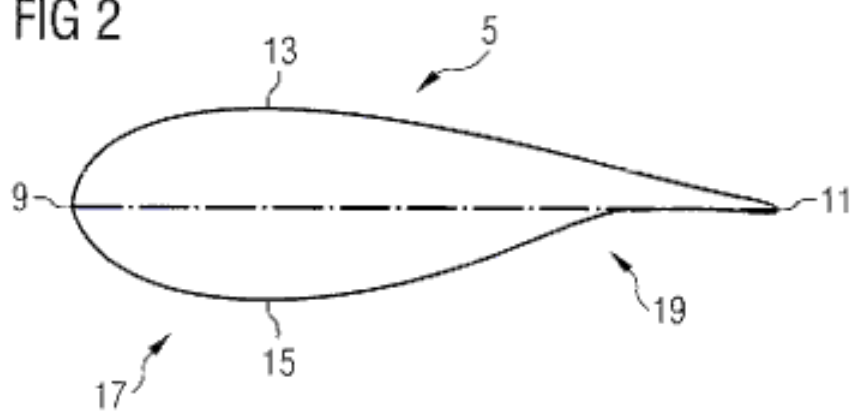


FIG 3

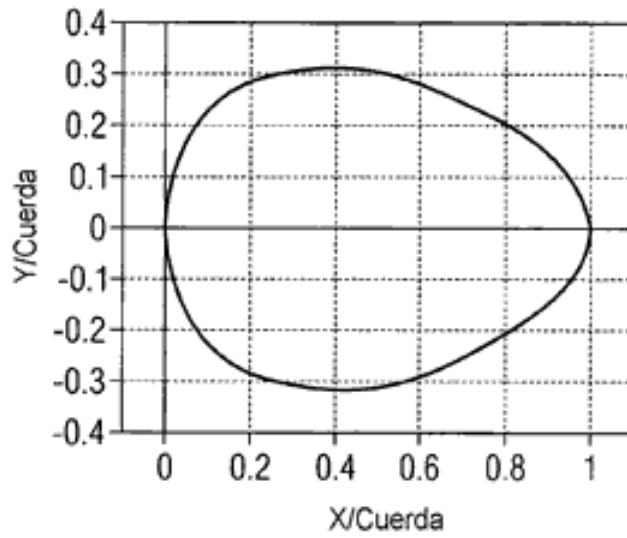


FIG 4

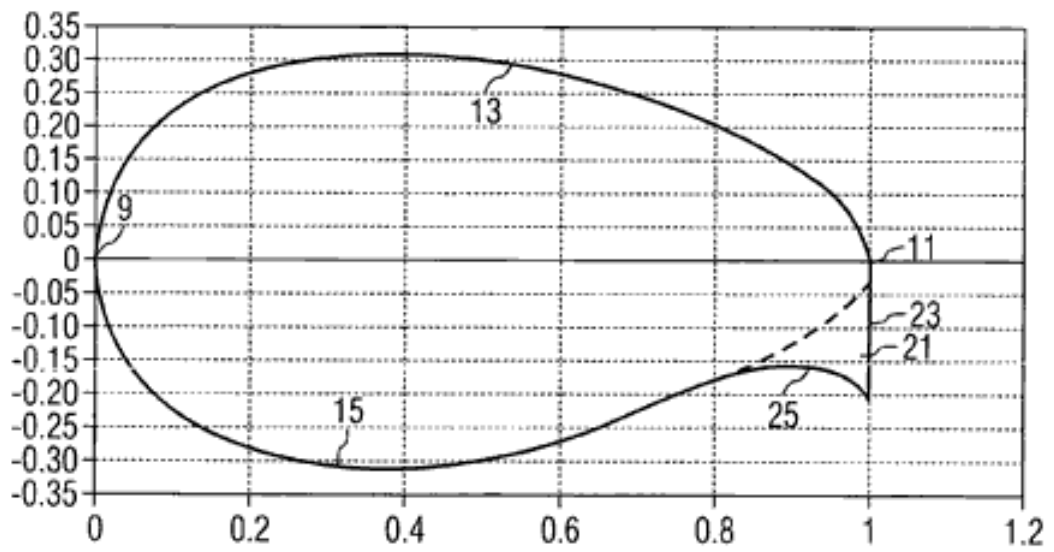


FIG 5

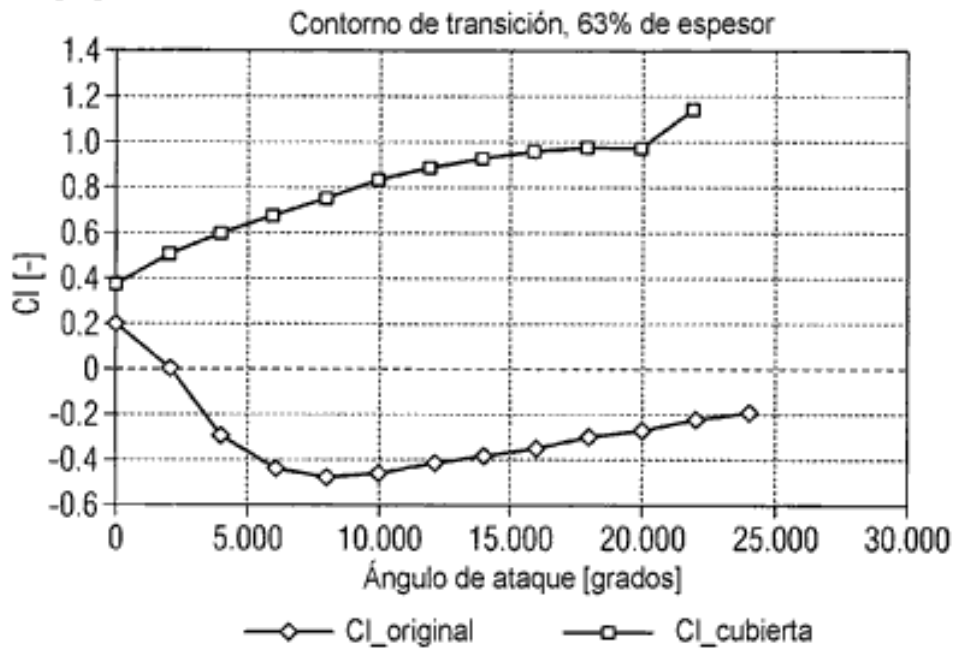


FIG 6

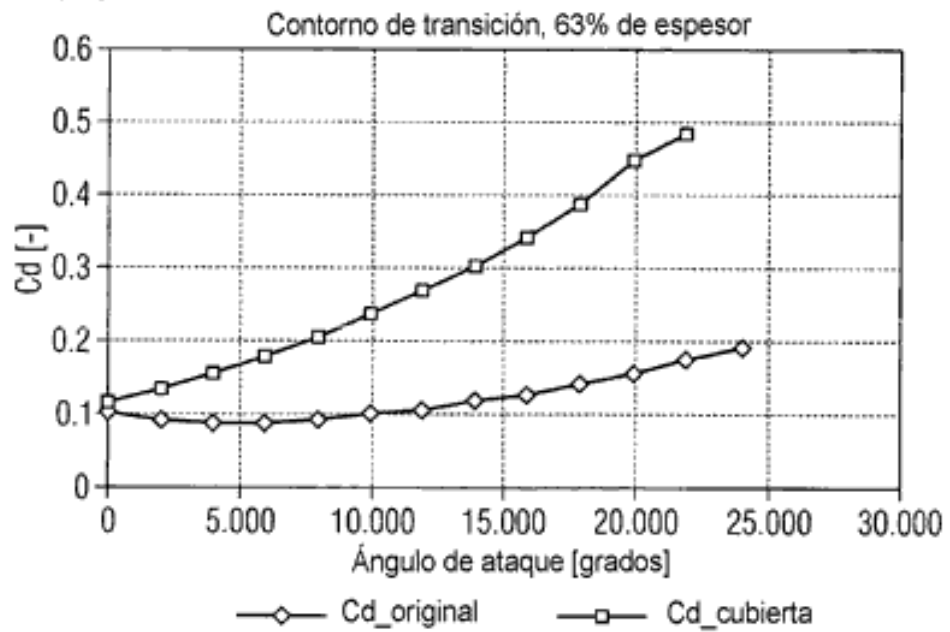


FIG 7

