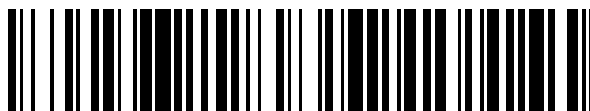


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 773 673**

51 Int. Cl.:

**B29C 33/30** (2006.01)

**B29C 33/38** (2006.01)

**B29L 31/08** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.08.2015 PCT/EP2015/068966**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.02.2016 WO16026867**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.08.2015 E 15750766 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.11.2019 EP 3183102**

54 Título: **Un método de fabricación de un molde para una estructura de pala de aerogenerador**

30 Prioridad:

**19.08.2014 EP 14181425**  
**28.08.2014 GB 201415217**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**14.07.2020**

73 Titular/es:

**LM WP PATENT HOLDING A/S (100.0%)**  
**Jupitervej 6**  
**6000 Kolding , DK**

72 Inventor/es:

**DE WAAL MALEFIJT, BERNARD WILLEM;**  
**WOLF, ULRIK y**  
**KIRKEGAARD, DANIEL SCHLICHTING**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 773 673 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 método de fabricación de un molde para una estructura de pala de aerogenerador

**Campo de la invención**

5 La presente invención se refiere a un sistema y método para la fabricación de un equipo para su uso en la fabricación de palas de aerogenerador, en particular un molde de pala de aerogenerador o un tapón para un molde de pala de aerogenerador.

**Antecedentes de la invención**

10 Los aerogeneradores son el mejor ejemplo de tecnología de generación de energías renovables que se encuentra en un estado de continuo desarrollo a nivel mundial. Debido a dificultades cada vez mayores en el transporte y/o a cada vez más requisitos de contenido local, la fabricación de aerogeneradores continúa experimentando un impulso hacia la fabricación y el montaje en el lugar. Una de esas tendencias se encuentra en el ámbito de las fábricas "surgentes", caracterizadas por una aceleración relativamente rápida y de bajo costo de producción de cero a escala completa. Dichas fábricas dependen del uso de equipos de bajo costo, que pueden desplegarse en un corto período de tiempo para facilitar la puesta en marcha rápida de dicha instalación.

15 Uno de los desafíos del uso de tales fábricas "surgentes" es la provisión de moldes de palas para aerogeneradores de alta calidad y/o tapones de moldes asociados. Tal equipo de fabricación a menudo requiere herramientas de alta precisión que insume mucho tiempo. Además, los sistemas comunes de fabricación de palas requieren que dicho molde de pala sea articulado de modo de permitir el giro y cierre de las estructuras de la pala para formar una pala de aerogenerador. La publicación n.º PCT WO2013113815 describe un sistema de fabricación de palas de aerogenerador que tiene moldes estacionarios, lo que reduce el costo involucrado en la instalación de una planta de fabricación de palas. Sin embargo, la provisión de superficies de moldeo de alta calidad continúa requiriendo el uso de tapones de molde de pala precisos y de moldes posteriores para producir estructuras de palas de normas aceptables. Tales moldes y/o tapones de moldes pueden requerir técnicas y materiales costosos y mucho tiempo de producción. Por ejemplo, la producción de un molde de una sola pala para una pala de aerogenerador puede requerir un tiempo de fabricación de 4-5 meses desde el pedido inicial hasta la instalación en la fábrica misma.

20 El documento DE 20/2014/000999 U1 describe un molde para fabricar estructuras de palas de aerogenerador de diferentes tamaños y formas. El molde comprende un rebajo orientado hacia arriba en el que se pueden disponer secciones de molde intercambiables de manera de formar un molde negativo para fabricar una estructura de pala de aerogenerador.

30 Un objeto de la invención es proporcionar un sistema y un método para la fabricación de equipos de fabricación de palas de aerogeneradores que combinen sistemas de producción de relativo bajo costo con sistemas de producción rápida.

**Compendio de la invención**

35 Por consiguiente, se proporciona un método para fabricar un molde para una estructura de pala de aerogenerador, en donde el método comprende las etapas de:

proporcionar una geometría de molde de pala de aerogenerador;

dividir dicha geometría de molde de pala de aerogenerador en una pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

proporcionar una pluralidad de elementos en bruto de molde, en donde dicha pluralidad de elementos en bruto de molde se corresponda con dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

40 cortar dicha pluralidad de elementos en bruto de molde para formar una pluralidad de elementos de molde cortados que tienen superficies de corte, en donde dicho corte se basa en dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y

ensamblar dicha pluralidad de elementos de molde cortados, en donde las superficies de corte de dichos elementos de molde cortados forman sustancialmente una superficie consolidada de molde de pala de aerogenerador.

45 Al cortar la geometría de un molde a partir de una pluralidad de piezas en bruto, se puede fabricar un molde de pala de aerogenerador de una manera relativamente rápida y eficiente, facilitando la automatización de los procesos de corte y/o montaje. Además, el proceso de fabricación se puede adaptar con relativa facilidad a las diferencias en la escala o en la geometría del molde, con un ajuste relativamente menor en la dinámica de la cadena de suministro. El uso de una técnica de fabricación rápida y de bajo costo puede dar lugar a un tiempo de fabricación del orden de 2-3 semanas para la construcción de un nuevo molde de pala, en comparación con los sistemas de la técnica anterior que requieren de un tiempo de construcción de varios meses.

- 5 Se entenderá que la expresión "dirección longitudinal" se refiere a la dirección que se extiende a lo largo entre el extremo de punta y el extremo de raíz de una pala de aerogenerador o un molde de pala de aerogenerador, o una geometría asociada. Se entenderá que la expresión "dirección de la cuerda" se refiere a la dirección lateral o transversal de dicha pala de aerogenerador o un molde de pala de aerogenerador o una geometría asociada, extendiéndose la dirección de la cuerda entre un borde de ataque y un borde de salida de un molde o pala de aerogenerador.
- De acuerdo con la invención, el método comprende, además, la etapa de aplicar un revestimiento a dicha pluralidad de superficies de corte. Preferiblemente, dicha etapa de aplicación de un revestimiento se realiza después de dicha etapa de montaje.
- 10 En un aspecto, dicha etapa de aplicación de un revestimiento actúa para proporcionar una superficie de molde elástica. En un aspecto adicional o alternativo, dicha etapa de aplicación de un revestimiento actúa para adherir sustancialmente entre sí dicha pluralidad de elementos de molde cortados. Además, la etapa de aplicación de un revestimiento puede actuar para alisar o enmascarar imperfecciones o discontinuidades relativamente menores en la superficie consolidada del molde de pala de aerogenerador.
- 15 Preferiblemente, dicha etapa de corte se lleva a cabo usando un miembro de corte robótico, preferiblemente un aparato de corte CNC y/o un brazo manipulador articulado robótico. En un aspecto, dicha etapa de corte se realiza usando un miembro de corte de alambre caliente.
- Preferiblemente, el método comprende, además, las etapas de alisado de dicha superficie consolidada de molde de pala de aerogenerador. El alisado puede comprender una operación adicional de corte, rectificado o pulido. Se entenderá que dicha etapa de alisado se puede realizar en las superficies de corte de los elementos del molde cortados antes y/o después de una etapa de aplicación de un revestimiento sobre las superficies de corte.
- 20 Si las piezas en bruto están formadas por un material liviano que pueda procesarse fácilmente, puede ser adecuado realizar una operación de alisado directamente sobre las superficies de corte. Adicional o alternativamente, el material de revestimiento puede estar formado por una sustancia que permita un fácil alisado, por ejemplo, durante el proceso de aplicación y/o antes del curado o endurecimiento del revestimiento.
- 25 Preferiblemente, dicha etapa de aplicación de un revestimiento comprende la aplicación de un revestimiento de elastómero, preferiblemente un revestimiento de poliurea.
- Proporcionar un revestimiento de elastómero da lugar a una superficie de molde elástica que es resistente al desgaste operativo.
- 30 De acuerdo con la invención, dicho elemento en bruto de molde es formado a partir de un material liviano, preferiblemente un material de espuma. En un aspecto preferido, dicho elemento en bruto de molde se forma a partir de un material polimérico que puede incluir, pero no se limita a, poliestireno o poliestireno expandido (EPS, por sus siglas en inglés). Ejemplos de materiales adecuados pueden incluir los productos Styrofoam™, de The Dow Chemical Company, o Styropor®, de BASF SE.
- 35 Preferiblemente, dicha etapa de división de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador comprende la división de dicha geometría en una pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda. Se entenderá que dicha pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda pueden comprender segmentos de longitud y/o anchura variables.
- 40 Partir la geometría del molde en varios segmentos diferentes permite una mayor facilidad de procesamiento de las piezas en bruto del molde, ya que la geometría de curva relativamente compleja de la superficie del molde se puede dividir en segmentos separados, relativamente más pequeños, geoméricamente más simples.
- En una realización preferida, dicha etapa de división comprende:
- 45 aproximar un perfil de superficie curva de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador a una pluralidad de secciones de superficie longitudinal, dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinal dispuestas en serie a lo largo de la dirección longitudinal de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador.
- En un aspecto, al menos algunas de dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinal comprenden una forma de perfil sustancialmente en línea recta en la dirección longitudinal de las secciones de superficie longitudinal.
- Adicional o alternativamente, dicha etapa de división comprende:
- 50 aproximar un perfil de superficie curva de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador a una pluralidad de secciones de superficie en el sentido de la cuerda, dicha pluralidad de secciones de superficie en el sentido de la cuerda dispuestas en serie a lo largo de la dirección de la cuerda de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador.
- En un aspecto, al menos algunas de dicha pluralidad de secciones de superficie en el sentido de la cuerda comprenden

una forma de perfil sustancialmente en línea recta en la dirección de la cuerda de las secciones de superficie en el sentido de la cuerda.

5 La división de la geometría de la superficie en segmentos que tienen una forma lineal en una dirección de los segmentos hace posible una aproximación de la geometría de superficie deseada que se puede recrear usando dispositivos de corte en línea recta. Por ejemplo, un cortador de alambre caliente normalmente está dispuesto para realizar un corte en línea recta de un material, que sería adecuado para el procedimiento anterior. Se entenderá que la etapa de división puede comprender una combinación de secciones de superficie longitudinal y en el sentido de la cuerda.

10 Preferiblemente, al menos algunas de dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinal comprenden un perfil curvo en la dirección de la cuerda de las secciones de superficie longitudinal. De manera similar, al menos algunas de dicha pluralidad de secciones de superficie en el sentido de la cuerda pueden comprender un perfil curvo en la dirección longitudinal de las secciones de superficie en el sentido de la cuerda.

15 Mientras que los segmentos pueden ser sustancialmente rectos en una primera dirección longitudinal o en el sentido de la cuerda, la segunda dirección longitudinal o de la cuerda de los segmentos puede ser curvada, en donde la curva se puede recrear controlando la profundidad del corte realizado por un dispositivo de corte en línea recta.

En una realización alternativa, dicha etapa de división comprende:

aproximar un perfil de superficie curva de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador a una pluralidad de superficies planas, y

20 asociar dicha pluralidad de superficies planas a dicha pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda.

En un aspecto, cada uno de dicha pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda puede comprender una sola de dicha pluralidad de superficies planas. En un aspecto alternativo, cada una de dicha pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda puede comprender un número de dicha pluralidad de superficies planas.

25 Si bien se entenderá que las superficies de corte de dichos elementos de molde cortados pueden comprender una única superficie sustancialmente plana, también se entenderá que las superficies de corte de cada uno de dichos elementos de molde cortados pueden comprender varias superficies planas de orientación diferente, para formar una rebanada geométrica aproximada de la geometría del molde de pala de aerogenerador.

30 Además, si bien las superficies de corte pueden proporcionarse en línea recta o planas en una o ambas direcciones de un segmento longitudinal y en el sentido de la cuerda, se entenderá que las superficies de corte pueden comprender un grado de torsión alrededor de un eje geométrico longitudinal o en el sentido de la cuerda del segmento.

Dado que la orientación de un cortador de alambre caliente puede ajustarse durante una operación de corte para proporcionar el corte de una geometría relativamente compleja, no obstante, la superficie de corte puede comprender un grado de torsión para cumplir con mayor precisión con la geometría de molde deseada.

35 Preferiblemente, dicha etapa de aproximación se realiza en donde dicha pluralidad de superficies o secciones de superficie siguen el perfil de superficie curva dentro de un margen de tolerancia. Preferiblemente, dicho margen de tolerancia está dentro de aproximadamente 10 mm, preferiblemente dentro de aproximadamente 5 mm, más preferiblemente dentro de aproximadamente 1 mm.

40 Los elementos en bruto de molde pueden comprender una superficie inferior plana y una superficie superior correspondiente a una parte de la superficie consolidada del molde de pala de aerogenerador. Los elementos en bruto de molde pueden tener, en una vista de arriba, un contorno rectangular.

Se proporciona, además, un molde de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con cualquier aspecto del método anterior.

45 También se proporciona un método para fabricar un tapón de molde para una estructura de pala de aerogenerador, en donde el método comprende las etapas de:

proporcionar una geometría de tapón de molde de pala de aerogenerador;

dividir dicha geometría de tapón de molde de pala de aerogenerador en una pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

50 proporcionar una pluralidad de elementos en bruto de tapón, en donde dicha pluralidad de elementos en bruto de tapón se corresponda con dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

cortar dicha pluralidad de elementos en bruto de tapón para formar una pluralidad de elementos de tapón de corte que

tienen superficies de corte, en donde dicho corte se basa en dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y ensamblar dicha pluralidad de elementos de tapón de corte, en donde las superficies de corte de dichos elementos de tapón de corte forman sustancialmente una superficie consolidada de tapón de molde de pala de aerogenerador.

5 De manera similar a los elementos en bruto de molde, los elementos en bruto de tapón también están hechos de un material liviano, tal como espuma de polímero, y además, son cubiertos con un revestimiento elástico, tal como un revestimiento de elastómero, por ejemplo, un revestimiento de poliurea.

También se proporciona un método para fabricar al menos una porción de un molde de pala de aerogenerador o un tapón de molde de pala de aerogenerador, comprendiendo el método las etapas de:

10 proporcionar una geometría de plantilla de molde de pala o molde de pala para definir al menos una porción de un molde de pala de aerogenerador o un tapón de molde de pala de aerogenerador;

proporcionar al menos un elemento en bruto de molde;

proporcionar un dispositivo de corte flexible; y

15 cortar dicho al menos un elemento en bruto de molde usando dicho dispositivo de corte flexible para formar al menos un elemento de molde cortado que tiene una superficie de corte, formando dicha superficie de corte al menos una porción de un molde de pala de aerogenerador o un tapón de molde de pala de aerogenerador, en donde el método comprende, además:

reformar dicho dispositivo de corte flexible en función de dicha geometría de plantilla, de modo que dicho dispositivo de corte flexible esté dispuesto para cortar dicho al menos un elemento en bruto de molde de acuerdo con dicha geometría de plantilla.

20 Se entenderá que se puede proporcionar una pluralidad de elementos en bruto de molde, en donde se puede cortar cada uno de dichos elementos en bruto de molde de manera de obtener superficies de corte con diferentes perfiles de superficie. Los diferentes perfiles de superficie pueden corresponder a diferentes porciones de la geometría de la plantilla. Se entenderá, además, que la geometría de la plantilla puede comprender una serie de porciones de superficie curva, en donde dicho reformado se realiza de manera que el dispositivo de corte flexible esté conformado para corresponderse sustancialmente con las porciones de superficie curva de la geometría de la plantilla.

25 En un aspecto, dicha etapa de reformado se realiza antes de dicha etapa de corte. Esto se puede realizar doblando el dispositivo de corte para que asuma el perfil deseado. En un aspecto adicional o alternativo, dicha etapa de reformado puede realizarse dinámicamente durante dicha etapa de corte. El dispositivo de corte puede estar provisto de componentes ajustables, por ejemplo, dispositivos actuadores piezoeléctricos, para ajustar el perfil del dispositivo de corte antes o durante una operación de corte.

30 Preferiblemente, dicho dispositivo de corte flexible comprende un dispositivo de corte de alambre caliente. Tal dispositivo generalmente está dispuesto como un alambre de metal tenso, relativamente delgado, formado a partir de un material metálico, por ejemplo nicromo o acero inoxidable. El alambre se calienta mediante una resistencia eléctrica a aproximadamente 200 °C, en donde el calor del alambre actúa para cortar el material al quemarlo o evaporarlo. Tal dispositivo de corte es adecuado para cortar poliestireno y materiales de espuma similares.

35 Preferiblemente, dicha etapa de reformado comprende:

definir un perfil de superficie de corte deseado para dicho al menos un elemento de molde de corte en función de dicha geometría de la plantilla; y

reformar dicho dispositivo de corte flexible para que se corresponda con dicho perfil de superficie de corte deseado.

40 Preferiblemente, la etapa de reformado comprende:

proporcionar al menos una superficie de apoyo flexible;

ajustar la forma de la al menos una superficie de apoyo flexible en función de dicha geometría de la plantilla; y

presionar el dispositivo de corte flexible contra dicha al menos una superficie de apoyo flexible de modo que el dispositivo de corte flexible adopte la forma de al menos una superficie de apoyo flexible.

45 Preferiblemente, el método comprende proporcionar una primera y segunda superficies de apoyo flexibles opuestas, en donde la primera y segunda superficies de apoyo flexibles opuestas forman un aparato de sujeción flexible usado para reformar el dispositivo de corte flexible.

50 Al proporcionar un perfil de corte conformado en lugar de un corte plano, por consiguiente, las diferentes rebanadas o secciones del corte no están tan limitados con respecto a un margen de tolerancia de la aproximación de la superficie plana a la geometría curva real. Como resultado, la geometría completa del molde puede aproximarse usando un

número menor de rebanadas geométricas.

También se proporciona un aparato para conformar un dispositivo de corte flexible que comprende:

al menos una superficie de apoyo flexible, en donde el aparato puede operarse para dar forma a dicha al menos una superficie de apoyo flexible,

5 en donde el lado opuesto de dicha al menos una superficie de apoyo flexible está dispuesto para apoyarse contra un dispositivo de corte flexible, de modo que el dispositivo de corte flexible asuma la forma de la al menos una superficie de apoyo flexible.

10 Preferiblemente, el aparato comprende una serie de actuadores que actúan sobre un primer lado de dicha al menos una superficie de apoyo flexible, en donde dicha serie de actuadores pueden operarse para conformar dicha al menos una superficie de apoyo flexible. Preferiblemente, el aparato comprende una serie de actuadores lineales.

Preferiblemente, el aparato comprende una primera y segunda superficies de apoyo flexibles dispuestas una frente a la otra, de modo que dichas primera y segunda superficies de apoyo puedan operarse para formar superficies de apoyo de forma complementaria, en donde el dispositivo de corte flexible será recibido entre dichas primera y segunda superficies de apoyo.

15 Preferiblemente, la al menos una superficie de apoyo flexible está formada a partir de un material flexible, por ejemplo, un material de caucho.

En un aspecto, puede definirse un canal receptor en dicha al menos una superficie de apoyo flexible, en donde el canal receptor está dispuesto para recibir al menos una porción de un dispositivo de corte flexible.

20 Preferiblemente, el aparato comprende, además, un controlador que puede operarse para ajustar dicha al menos una superficie de apoyo flexible, en donde dicho controlador está dispuesto para recibir una geometría de plantilla, disponiéndose dicho controlador para ajustar dicha al menos una superficie de apoyo flexible de modo de corresponderse con al menos una porción de la geometría de plantilla recibida.

En un aspecto preferido, la geometría de la plantilla comprende al menos una porción de una geometría de plantilla para un molde de pala de aerogenerador o un tapón de molde de pala de aerogenerador.

25 Si bien anteriormente pudieron describirse los aspectos de la invención en términos de características para la fabricación de un molde de pala de aerogenerador, se entenderá que cualquiera de las características anteriores también puede aplicarse a la fabricación de un tapón de molde de aerogenerador.

Se proporciona, además, un tapón de molde para un molde de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con cualquier aspecto del método anterior.

### 30 **Descripción de la invención**

A continuación, se describirán las realizaciones de la invención a modo de ejemplo solamente con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

La Figura 1 muestra una aerogenerador;

La Figura 2 muestra una vista esquemática de una pala de aerogenerador;

35 La Figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico de la pala de la Figura 2;

La Figura 4 muestra una vista esquemática de la pala de aerogenerador de la Figura 2, vista desde arriba y de lado;

La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo para un método de fabricación de un molde de pala de aerogenerador de acuerdo con un aspecto de la invención;

La Figura 6 muestra una geometría de molde de pala de muestra para su uso en el método de la Figura 5;

40 La Figura 7 ilustra una división ejemplo de la geometría del molde de pala de la Figura 6;

La Figura 8 ilustra una vista en sección transversal longitudinal de la división de la geometría del molde de la Figura 7;

La Figura 9 ilustra un aparato de corte de muestra y un elemento en bruto de molde para su uso en el método de la Figura 5;

45 La Figura 10 ilustra un primer elemento de molde cortado producido por el aparato de corte de la Figura 9;

La Figura 11 ilustra un segundo elemento de molde cortado producido por el aparato de corte de la Figura 9;

La Figura 12 ilustra un primer molde de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con una realización del método de la Figura 5;

La Figura 13 ilustra una división ejemplo alternativa de la geometría del molde de pala de la Figura 6;

5 La Figura 14 ilustra una vista en sección transversal de un segmento longitudinal de la geometría del molde de la Figura 13;

La Figura 15 ilustra un segundo molde de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con una realización del método de la Figura 5;

La Figura 16 ilustra otra división ejemplo alternativa de la geometría del molde de pala de la Figura 6;

10 La Figura 17 ilustra un tercer molde de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con una realización del método de la Figura 5;

La Figura 18 ilustra un diagrama de flujo para una parte de un método de fabricación de un molde de pala de aerogenerador de acuerdo con otro aspecto de la invención;

La Figura 19 ilustra un aparato para reformar un dispositivo de corte para su uso con el método de la Figura 18; y

15 La Figura 20 ilustra una vista en sección transversal longitudinal de una división de una geometría de molde usando el método de la Figura 18.

Se entenderá que a los elementos comunes de las diferentes realizaciones de la invención se les otorgaron los mismos números de referencia en los dibujos. Además, se entenderá que los dibujos tienen fines ilustrativos y no están a escala.

20 La Figura 1 ilustra un aerogenerador 2 moderno convencional, a barlovento, de acuerdo con el denominado "concepto danés" con una torre 4, una góndola 6 y un rotor con un eje de rotor sustancialmente horizontal. El rotor incluye un buje 8 y tres palas 10 que se extienden radialmente desde el buje 8, cada una con una raíz 16 de pala más cercana al buje y una punta 14 de pala más alejada del buje 8. El rotor tiene un radio denominado R.

25 La Figura 2 muestra una vista esquemática de una pala 10 de aerogenerador. La pala 10 de aerogenerador tiene la forma de una pala de aerogenerador convencional y comprende una región de raíz 30 más cercana al buje, una región perfilada o aerodinámica 34 más alejada del buje y una región de transición 32 entre la región de raíz 30 y la región aerodinámica 34. La pala 10 comprende un borde de ataque 18 orientado hacia la dirección de rotación de la pala 10, cuando la pala está montada en el buje, y un borde de salida 20 orientado en la dirección opuesta del borde de ataque 18.

30 La región aerodinámica 34 (también llamada región perfilada) tiene una forma de pala ideal o casi ideal con respecto a la generación de elevación, mientras que la región de raíz 30, debido a consideraciones estructurales, tiene una sección transversal sustancialmente circular o elíptica, lo que, por ejemplo, hace que sea más fácil y más seguro montar la pala 10 en el buje. El diámetro (o la cuerda) de la región de raíz 30 es típicamente constante a lo largo de toda el área de raíz 30. La región de transición 32 tiene un perfil de transición 42 que cambia gradualmente de la forma circular o elíptica 40 de la región de raíz 30 al perfil aerodinámico 50 de la región aerodinámica 34. La longitud de la cuerda de la región de transición 32 típicamente aumenta sustancialmente en forma lineal al aumentar la distancia  $r$  desde el buje.

La región aerodinámica 34 tiene un perfil aerodinámico 50 con una cuerda que se extiende entre el borde de ataque 18 y el borde de salida 20 de la pala 10. El ancho de la cuerda disminuye al aumentar la distancia  $r$  desde el buje.

40 Debe tenerse en cuenta que las cuerdas de diferentes secciones de la pala normalmente no se encuentran en un plano común, ya que la pala puede estar torcida y/o curvada (es decir, previamente doblada), lo que le otorga al plano de la cuerda una forma torcida y/o curvada correspondiente, siendo este el caso más frecuente para suplir las diferencias de la velocidad local de la pala que depende del radio desde el buje.

45 La Figura 3 muestra una vista esquemática de un perfil aerodinámico 50 de una pala típica de un aerogenerador representado con los diversos parámetros, que se usan típicamente para definir la forma geométrica de un perfil aerodinámico. El perfil aerodinámico 50 tiene un lado de presión 52 y un lado de succión 54, que durante el uso, es decir, durante el giro del rotor, normalmente se orientan hacia barlovento (o a favor del viento) y hacia sotavento (o en contra del viento), respectivamente. El perfil aerodinámico 50 tiene una cuerda 60 con una longitud de cuerda  $c$  que se extiende entre un borde de ataque 56 y un borde de salida 58 de la pala. El perfil aerodinámico 50 tiene un grosor  $t$ , que se define como la distancia entre el lado de presión 52 y el lado de succión 54. El grosor  $t$  del perfil aerodinámico varía a lo largo de la cuerda 60. La desviación de un perfil simétrico viene dada por una línea de curvatura 62 que es una línea media a través del perfil de superficie aerodinámica 50. La línea media se puede encontrar al trazar círculos inscritos del borde de ataque 56 al borde de salida 58. La línea media sigue los centros de estos círculos inscritos y la desviación o distancia de la cuerda 60 se llama curvatura  $f$ . La asimetría también se puede definir mediante el uso de parámetros denominados curvatura superior (o curvatura del lado de succión) y curvatura inferior (o curvatura del lado

de presión), que se definen como las distancias desde la cuerda 60 y el lado de succión 54 y el lado de presión 52, respectivamente.

Los perfiles aerodinámicos se caracterizan a menudo por los siguientes parámetros: la longitud de cuerda  $c$ , la curvatura máxima  $f$ , la posición  $d_f$  de la curvatura máxima  $f$ , el grosor máximo del perfil aerodinámico  $t$ , que es el diámetro más grande de los círculos inscritos a lo largo de la línea de curvatura media 62, la posición  $d_t$  del grosor máximo  $t$ , y un radio de nariz (no mostrado). Estos parámetros se definen típicamente como relaciones respecto de la longitud de la cuerda  $c$ . Por lo tanto, se da un grosor  $t/c$  de pala relativo local como la relación entre el grosor máximo local  $t$  y la longitud de cuerda local  $c$ . Además, puede usarse la posición  $d_p$  de la curvatura del lado de presión máxima como un parámetro de diseño y, naturalmente, también la curvatura del lado de succión máxima.

La Figura 4 muestra algunos otros parámetros geométricos de la pala. La pala tiene una longitud total  $L$  de pala tal como se muestra en la Figura 2, el extremo de raíz se encuentra en la posición  $r = 0$ , y el extremo de punta se encuentra en  $r = L$ . El resalte 40 de la pala está ubicado en una posición  $r = L_w$ , y tiene un ancho de resalte  $W$  que es igual a la longitud de la cuerda en el resalte 40. El diámetro de la raíz se define como  $D$ . Además, la pala está provista de una curva previa que se define como  $\Delta y$ , que corresponde a la desviación fuera del plano desde un eje de inclinación 22 de la pala.

La pala 10 del aerogenerador generalmente comprende una estructura hecha de polímero reforzado con fibra, y típicamente está hecha como una parte 24 de la estructura del lado de la presión o barlovento y una parte 26 de la estructura del lado de la succión o sotavento que están adheridas a lo largo de las líneas de unión 28 que se extienden a lo largo del borde de salida 20 y del borde de ataque 18 de la pala 10. Las palas del aerogenerador generalmente están formadas de un material plástico reforzado con fibra, por ejemplo fibras de vidrio y/o fibras de carbono que están dispuestas en un molde y se curan con una resina para formar una estructura sólida. Las palas del aerogenerador generalmente se forman como dos medias conchas en moldes separados de la estructura de la pala que posteriormente se unen para formar una pala consolidada del aerogenerador. Se entenderá que las expresiones "molde de pala" y "molde de estructura de pala" se pueden usar indistintamente en la presente memoria.

Las palas modernas de aerogeneradores a menudo pueden tener más de 30 o 40 metros de longitud, con diámetros de raíz de pala de varios metros. Las palas de aerogenerador generalmente están diseñadas para una vida útil relativamente prolongada y para soportar una carga estructural y dinámica considerable.

La pala de aerogenerador puede fabricarse preferiblemente usando un sistema de fabricación de dos etapas, en donde las estructuras de la pala de aerogenerador pueden formarse en un molde de pala simple antes de ser transferidas a una plataforma de posmoldeo para cerrar y dar acabado. Dicho sistema se describe en la publicación n.º PCT WO2013113815, cuyo contenido se incorpora a la presente memoria como referencia.

En un esfuerzo por proporcionar un método de fabricación rápida y de bajo costo para un molde de pala de aerogenerador, la invención proporciona un sistema en el que se fabrica un molde de pala de aerogenerador a partir de una pluralidad de elementos en bruto que se pueden cortar para formar porciones del molde de la pala. La Figura 5 ilustra un diagrama de flujo para una realización de la invención.

Inicialmente, se proporciona una geometría de molde de pala de aerogenerador deseada en la etapa 100. La geometría puede definir una pluralidad de diferentes particularidades características para el molde de pala de aerogenerador deseado, por ejemplo la longitud a lo largo, la longitud en el sentido de la cuerda, la profundidad, el diámetro del círculo del perno, el perfil aerodinámico deseado, etc. Un ejemplo de geometría de molde deseada se ilustra en la referencia 70 de la Figura 6.

En un aspecto, la geometría del molde puede comprender una pluralidad de secciones transversales de la superficie del molde, que definen la forma del molde para una pluralidad de secciones transversales del molde. La geometría consolidada del molde puede interpolarse mediante una función de alisado aplicada entre dicha pluralidad de secciones transversales de la superficie del molde. Adicional o alternativamente, la geometría del molde puede comprender una nube de puntos de varios puntos definidos en un espacio tridimensional, en donde la nube de puntos define la geometría del perfil de la superficie del molde de la pala.

Se entenderá que la geometría del molde puede proporcionarse como un archivo de software o código de ordenador que puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador. La geometría del molde puede generarse como parte del método de la invención, o el sistema puede estar dispuesto para recibir una geometría del molde, por ejemplo, en forma de un archivo legible por ordenador o un conjunto de instrucciones.

Se entenderá que la geometría del molde se puede producir en función de una geometría de pala de aerogenerador de diseño nuevo, en donde el molde de pala de aerogenerador es un molde de diseño nuevo. Alternativamente, la geometría del molde se puede producir en función de un escaneo apropiado u otro muestreo de un molde de pala de aerogenerador existente, en donde se desea replicar el molde de pala de aerogenerador existente.

Una vez que se recibe la geometría de molde deseada, se realiza un procesamiento adicional de los datos de geometría de molde para proporcionar una pluralidad de plantillas de corte, etapa 102, que puede usarse como datos de entrada para un aparato de corte. En un primer aspecto, la geometría del molde se divide en una pluralidad de



rebanadas geométricas separadas.

Con referencia a la Figura 7, la geometría 70 del molde proporcionada se divide en una pluralidad de segmentos secuenciales en el sentido longitudinal, indicados como segmentos S1-S8 en la Figura 7. Las dimensiones de los segmentos S1-S8 se seleccionan de manera que cada uno de los segmentos tenga una forma de perfil sustancialmente en línea recta en la dirección longitudinal de los segmentos, al tiempo que proporcionen una aproximación relativamente precisa de la geometría de la superficie del molde 70.

Con referencia a la Figura 8, se muestra un perfil en sección transversal de los segmentos de la Figura 7, tomado a lo largo del eje geométrico longitudinal o a lo largo de la geometría 70 del molde. La geometría 70 del molde se ilustra en el gráfico M, los segmentos se indican en el gráfico S que muestra la proyección longitudinal de los segmentos sustancialmente plana o en línea recta, con la geometría del molde y los segmentos superpuestos en el gráfico M + S. Se seleccionan los segmentos S1-S8 para seguir la curvatura de la superficie del molde, de modo que el margen de error entre la dirección longitudinal sustancialmente plana de los segmentos S1-S8 y la superficie de geometría del molde real para esa sección del segmento se mantenga por debajo de un valor umbral, por ejemplo usando un algoritmo de ajuste óptimo.

Preferiblemente, los segmentos se seleccionan de tal manera que la superficie longitudinal plana o recta definida por las secciones siga el perfil de la superficie curva dentro de un margen de tolerancia. Preferiblemente, dicho margen de tolerancia está dentro de aproximadamente 10 mm, preferiblemente dentro de aproximadamente 5 mm, más preferiblemente dentro de aproximadamente 1 mm.

Se entenderá que las dimensiones particulares de los segmentos longitudinales S1-S8 pueden variar en función de la geometría del molde particular usada. Por ejemplo, si la geometría del molde es relativamente recta e inalterable en la dirección longitudinal, la longitud de los segmentos longitudinales individuales puede ser relativamente larga en la dirección longitudinal, mientras que aún satisface las condiciones de ajuste óptimo. Por el contrario, para una pala de aerogenerador previamente doblada, la geometría del molde puede tener un predoblado grande en la dirección longitudinal, lo que puede requerir un número relativamente grande de segmentos longitudinales para seguir con precisión la curvatura previamente doblada de la geometría del molde. En el ejemplo que se muestra en la Figura 8, se puede ver que puede usarse un número relativamente grande de segmentos para aproximarse a una distancia longitudinal relativamente pequeña en regiones de curvatura longitudinal relativamente alta.

De manera similar, una geometría de molde que tenga una curvatura relativamente superficial puede requerir un número menor de segmentos longitudinales, ya que la geometría del molde puede aproximarse dentro de márgenes umbral de ajuste óptimo aceptables usando un número menor de segmentos o secciones que una geometría de molde que tenga una forma de molde o curvatura relativamente más compleja.

Los segmentos longitudinales definen plantillas de corte para un aparato de corte, de modo de poder cortar o mecanizar una aproximación del perfil de geometría de la superficie del molde a partir de un elemento de corte en bruto, etapa 104. Los segmentos longitudinales están formados preferiblemente por un corte realizado en una superficie de un elemento en bruto, realizándose el corte en una dirección correspondiente a una dirección de la cuerda. Con referencia a la Figura 9, se ilustra una realización preferida de un sistema de corte de acuerdo con el método de la invención.

En la Figura 9, se indica un aparato de corte robótico o controlado por ordenador en forma de cortador de alambre caliente con la referencia 74. El cortador de alambre caliente 74 está provisto sobre un brazo articulado 76, para permitir el ajuste del ángulo de corte proporcionado por el cortador 74. Se proporciona un elemento en bruto de molde 78, el elemento en bruto de molde 78 está formado preferiblemente de un material liviano tal como un material de espuma, preferiblemente formado a partir de un material de poliestireno o poliestireno expandido (EPS). El cortador de alambre caliente 74 está dispuesto para pasar a través del elemento en bruto de molde 78 con el fin de cortar una superficie en la pieza en bruto. La orientación del cortador de alambre caliente 74 se controla usando las plantillas de corte proporcionadas a partir de la aproximación del perfil de geometría de la superficie del molde, de modo que las superficies de corte en las piezas en bruto 78 se correspondan con los segmentos y/o secciones de ajuste óptimo de la aproximación del perfil de geometría de superficie del molde.

Se pasa el aparato de corte a través del elemento en bruto de molde 78 para formar elementos 80 de molde cortados que tienen una superficie de corte 82 definida sobre ellos, Figura 10. Si bien el ejemplo de la Figura 10 ilustra una superficie de corte 82 sustancialmente plana, se entenderá que el aparato de corte puede estar dispuesto para proporcionar superficies curvas, tal como en la dirección de la cuerda de los segmentos longitudinales S1-S8.

Con referencia a la Figura 11, se muestra un cortador de alambre caliente 74 que forma una superficie de corte 82a curva a partir de un elemento en bruto de molde 78a. En este ejemplo, el cortador de alambre caliente 74 realiza un corte sustancialmente en línea recta a lo largo del propio cortador, que se corresponde con la dirección longitudinal de la geometría del molde. La profundidad del corte realizado por el cortador de alambre caliente 74 en el elemento en bruto de molde 78a se puede variar durante el corte, lo que da como resultado un perfil de superficie curva en la dirección del corte C, que se corresponde con la dirección de la cuerda de la geometría del molde.

Con referencia a la Figura 12, los elementos 80 de molde de corte separados que se han cortado usando cortes en el sentido de la cuerda en función de diferentes segmentos longitudinales pueden disponerse en secuencia de manera que las superficies de corte 82 de los elementos 80 de molde de corte definan juntos una superficie 84 consolidada de molde de pala de aerogenerador, en donde la superficie consolidada de molde de pala de aerogenerador se corresponde sustancialmente con la geometría 70 del molde deseada.

En un aspecto preferido, cada segmento longitudinal S1-S8 puede definir una plantilla de corte que tiene una pluralidad de orientaciones de corte separadas y/o profundidades de corte dentro de la plantilla de corte en la dirección de la cuerda, en función de una orientación de ajuste óptimo calculada para el área dentro de ese segmento longitudinal. En este sentido, se puede realizar una única operación de corte para cada segmento longitudinal del perfil del molde, haciendo que el aparato de corte pase a través de la pieza en bruto 78 en una dirección correspondiente a la dirección de la cuerda del perfil del molde. Para esta configuración, los elementos en bruto de molde 78 pueden proporcionarse inicialmente para que coincidan con el número y las dimensiones del contorno de los segmentos longitudinales S1-S8 separados.

En un aspecto alternativo, se pueden definir plantillas de corte separadas mediante una pluralidad de secciones transversales o en el sentido de la cuerda, en donde se realizan operaciones de corte separadas para cada una de las secciones en el sentido de la cuerda.

Con referencia a la Figura 13, la geometría 70 del molde provista puede dividirse en una pluralidad de segmentos longitudinales secuenciales, indicados como segmentos S1'-S7' en la Figura 13. Dentro de los segmentos longitudinales S1'-S7', cada uno de los segmentos puede dividirse adicionalmente en una pluralidad de secciones en el sentido de la cuerda, indicadas generalmente en la referencia C. La orientación y las dimensiones de las secciones en el sentido de la cuerda se seleccionan para seguir de cerca el perfil de superficie de la geometría 70 del molde deseada para ese segmento del molde. En un aspecto, las secciones en el sentido de la cuerda pueden estar dispuestas como secciones sustancialmente planas, pero se entenderá que la sección puede definir un grado de curvatura o torsión en las direcciones longitudinales y/o de la cuerda.

Para esta realización, la dirección de corte de los elementos en bruto de molde se puede realizar en una dirección correspondiente a la dirección longitudinal de la geometría 70 del molde, y/o en una dirección correspondiente a la dirección de la cuerda de la geometría 70 del molde.

El uso de una dirección de corte longitudinal puede ser un método de corte más efectivo para áreas de la geometría de la pala que tienen una curvatura relativamente compleja, por ejemplo, alrededor de las áreas de cuerda máxima y/o en el área de la región de la punta, donde el perfil longitudinal de la geometría del molde varía considerablemente a lo largo de la dirección de la cuerda. En tales áreas, un corte en línea recta en el sentido de la cuerda, por ejemplo tal como se ilustra en la Figura 11, puede no ser adecuado para un corte completo en el sentido de la cuerda de los segmentos de la pala, en cuyo caso puede ser necesario un número de segmentos diferentes a lo largo de la dirección de la cuerda del segmento longitudinal, para responder a los cambios en el perfil longitudinal en sección transversal del segmento.

Con referencia a la Figura 14, se muestra el perfil en sección transversal de un segmento de muestra, tomado en la dirección de la cuerda a través de una porción de la geometría del molde. En este caso, se selecciona una pluralidad de secciones D1-D4 en el sentido de la cuerda para seguir la curvatura de la superficie del molde a lo largo de la dirección de la cuerda, de modo que se mantenga el margen de error entre la sección en el sentido de la cuerda sustancialmente plana y la superficie del molde real para esa sección del segmento por debajo de un valor umbral, por ejemplo, usando un algoritmo de ajuste óptimo.

Para esta configuración, la superficie de corte 82 de cada elemento 80 de molde de corte puede definir una única sección en el sentido de la cuerda de la geometría de molde dividida, tal como se indica en el elemento 80 de molde de corte que se muestra en la Figura 10. Por consiguiente, la superficie de molde consolidada puede formarse a partir de un conjunto en mosaico de cada uno de los elementos 80 de molde de corte individuales.

Con referencia a la Figura 15, los elementos 80 de molde de corte separados que se han cortado en función de diferentes segmentos longitudinales y en el sentido de la cuerda pueden disponerse en secuencia de modo que las superficies de corte 82 de los elementos 80 de molde de corte definan juntos una superficie 84' consolidada de molde de pala de aerogenerador, en donde la superficie consolidada del molde de pala de aerogenerador se corresponde sustancialmente con la geometría 70 de molde deseada.

Se entenderá que los cortes se pueden hacer en cualquier dirección adecuada en los elementos en bruto del molde en relación con la geometría de molde deseada, por ejemplo: (a) en una dirección longitudinal o a lo largo, sustancialmente paralela al eje geométrico longitudinal de un molde de pala de aerogenerador entre un extremo de raíz y un extremo de punta de dicho molde; (b) en una dirección de la cuerda o transversal, que se extiende entre el borde de ataque y el borde de salida de un molde de pala de aerogenerador; o (c) una combinación de cortes en ambas direcciones, longitudinal y de la cuerda.

En las Figuras 16 y 17, se ilustra una realización adicional del método de la invención.

En la Figura 16, se muestra un enfoque alternativo para la división de la geometría 70 del molde. En esta realización, la división da lugar a la provisión de una pluralidad de segmentos longitudinales secuenciales S1"-S7". En áreas de la geometría del molde que tienen un perfil de superficie en sección transversal relativamente inalterable o constante en la dirección longitudinal, por ejemplo la sección de raíz S1", las secciones aerodinámicas S4"-S6" de la placa principal, los segmentos se forman preferiblemente a partir de un elemento en bruto de molde usando un corte en el sentido de la cuerda, tal como se muestra en la Figura 11. Dichos segmentos pueden disponerse para usar un único elemento en bruto del molde entre el borde de ataque y el borde de salida del molde, y/o para tener una longitud relativamente grande en la dirección longitudinal.

Para áreas que tienen una curvatura relativamente compleja o cambiante a lo largo de la dirección de la cuerda del segmento, por ejemplo, aquellos segmentos en el área de la cuerda máxima S2"-S3", la región de la punta del molde S7", los segmentos longitudinales pueden dividirse adicionalmente en una pluralidad de segmentos secuenciales en el sentido de la cuerda, indicados generalmente como C2", C3", C7". Para tales segmentos en el sentido de la cuerda, el perfil de la superficie puede formarse cortando elementos en bruto del molde en una dirección de corte longitudinal y/o de la cuerda. Dado que estas áreas de curvatura relativamente compleja se dividen en secciones más pequeñas, la geometría de la superficie del molde se puede aproximar con mayor precisión a secciones separadas para facilitar la fabricación y el montaje.

La Figura 17 ilustra un molde 84" de pala de aerogenerador formado a partir de una división de la geometría del molde similar a la Figura 16. En el molde 84", tal como se describió anteriormente, aquellas áreas del molde que tienen una curvatura constante o relativamente constante, como en el extremo de raíz del molde y las secciones de la placa principal del molde, pueden formarse a partir de elementos de molde de corte único formados usando cortes en el sentido de la cuerda de elementos en bruto del molde.

También como se describió anteriormente, las áreas del molde que tienen una curvatura relativamente compleja o cambiante, tal como en la región de transición, en el área de la cuerda máxima y en el extremo de punta del molde, pueden formarse a partir de una pluralidad de diferentes elementos de molde cortados en el sentido de la cuerda formados usando cortes transversales y/o en el sentido de la cuerda de elementos en bruto del molde.

Si bien las direcciones de corte se describen en las realizaciones anteriores como hechas en una dirección de la cuerda y/o longitudinal, se entenderá que la dirección de corte puede hacerse en una dirección generalmente en línea con una dirección de la cuerda y/o longitudinal, por ejemplo, dentro de +/- 20 grados de un eje geométrico longitudinal o en el sentido de la cuerda en el lugar del corte.

Se entenderá, además, que para algunas áreas de la geometría del molde, el corte puede realizarse a lo largo de una dirección de barrido o curvada, por ejemplo, desde una dirección sustancialmente de la cuerda hasta una dirección sustancialmente longitudinal, o viceversa. Tales cortes pueden ser apropiados en áreas de curvatura relativamente alta, por ejemplo, en la región del extremo de punta de la geometría del molde.

Además, se entenderá que el lugar inicial y/o final de los cortes pueden estar dispuestos para definir el perfil de los bordes de ataque y/o de salida de ese segmento de la geometría del molde. Tal ajuste del lugar inicial y/o final se puede lograr mediante barrido o variación apropiados de la dirección de corte para ese segmento de la geometría del molde.

El montaje de los elementos 80 de molde de corte individuales se puede asegurar entre sí usando cualquier medio de fijación adecuado, por ejemplo atornillado, con adhesivo, con conexiones a presión, etc.

En un aspecto, el perfil consolidado presentado por las superficies 82 de corte ensambladas puede estar dentro de los límites de tolerancia y ser lo suficientemente preciso como para presentar una superficie de molde acabada. Sin embargo, preferiblemente, se aplica una capa de revestimiento al perfil consolidado, etapa 108, para presentar una superficie de molde acabada adecuada como para recibir el material para el moldeo de una estructura de pala de aerogenerador. La capa de revestimiento también puede actuar como un adhesivo, para unir entre sí los elementos 80 de molde de corte separados con el fin de formar un molde consolidado de pala de aerogenerador. Preferiblemente, la capa de revestimiento comprende un material de revestimiento de elastómero, preferiblemente un revestimiento de poliurea, que puede proporcionar un revestimiento elástico resistente al desgaste operativo.

Se puede realizar una operación de acabado en las superficies de corte ensambladas de los elementos de molde cortados, y/o en la capa de revestimiento aplicada a la superficie de molde consolidada. La operación de acabado puede comprender una operación adicional de corte, rectificado y/o pulido, para proporcionar una superficie lisa del molde terminado y para resolver cualquier discontinuidad de superficie entre los bordes de las superficies cortadas ensambladas.

Otro aspecto de la invención se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 18. Como alternativa al uso de un cortador plano de alambre caliente para formar un corte recto o plano, tal como se muestra en las Figuras 9 y 10, el método puede comprender un procedimiento en el que se reforma un dispositivo de corte flexible para proporcionar un perfil de corte no plano. El reformado se puede realizar en función de la geometría de corte deseada, para garantizar que el producto final se corresponda exactamente con el perfil del equipo deseado.

En la etapa 200, se proporciona una geometría de elemento deseada, que puede definir la forma de perfil de, por ejemplo, una superficie de molde de pala de aerogenerador o una geometría de tapón de molde de pala de aerogenerador. Dicha geometría puede ser recibida por un controlador adecuado para el proceso de fabricación del equipo, y puede proporcionarse desde cualquier sistema adecuado, por ejemplo, como resultado del proceso de diseño del equipo, y/o mediante el escaneo y mapeo apropiados de un perfil de equipo existente.

Con referencia a la Figura 19, se indica un aparato de reformado en la referencia 86. El aparato de reformado 86 comprende una serie superior e inferior 88a, 88b de actuadores lineales. Las series de actuadores 88a, 88b están dispuestas en series paralelas y se pueden desplazar a lo largo de ejes geométricos paralelos, por ejemplo, a lo largo del eje geométrico horizontal indicado en la referencia X de la Figura 19. Se proporciona una primera membrana flexible 90a adyacente al lado inferior de la serie superior 88a de actuadores y se proporciona una segunda membrana flexible 90b adyacente al lado superior de la serie inferior 88b de actuadores. Las membranas flexibles 90a, 90b pueden estar conectadas a los actuadores de forma laxa, o simplemente mantenerse en posición adyacente a los lados respectivos de las series 88a, 88b.

Mediante el ajuste apropiado de la posición de los actuadores en las series 88a, 88b, las membranas flexibles 90a, 90b respectivas pueden deformarse para asumir una forma de perfil. Tal ajuste se realiza en función de la geometría del elemento deseado del molde de pala de aerogenerador o del tapón de molde, en la etapa 202. Como resultado, las membranas flexibles 90a, 90b conformadas forman un par de superficies opuestas de apoyo o sujeción para conformar allí un dispositivo de corte flexible. Se entenderá que las series de actuadores 88a, 88b se ajustan preferiblemente para formar superficies de soporte con forma complementaria del aparato de reformado 86. Mientras que el aparato 86 mostrado usa un par de superficies de apoyo opuestas, en una configuración alternativa, el aparato puede estar provisto de una única superficie de apoyo ajustable, en donde puede aplicarse un dispositivo de corte flexible contra la superficie única y/o puede presionarse la superficie única contra el dispositivo de corte.

Las series de actuadores 88a, 88b y las membranas flexibles 90a, 90b respectivas se proporcionan como subconjuntos separados del aparato de reformado 86, de modo que la serie superior 88a y la membrana 90a puedan moverse con respecto a la serie inferior 88b y la membrana 90b, preferiblemente en una acción de sujeción, siguiendo las flechas indicadas en la referencia Y de la Figura 19.

En la etapa 204, se coloca un dispositivo de corte flexible en forma de un cortador de alambre caliente 74a entre las membranas flexibles 90a, 90b de forma opuesta. Se entenderá que se puede proporcionar un canal receptor en la superficie de al menos una de las membranas flexibles 90a, 90b, para proporcionar un posicionamiento preciso del alambre entre las superficies opuestas. Si bien la Figura 19 ilustra el reformado de un dispositivo cortador de alambre, se entenderá que se pueden conformar tipos alternativos de dispositivos de corte en el aparato.

En la etapa 206, las superficies de sujeción opuestas se juntan en una acción de sujeción, tal como se indica mediante las flechas Y en la Figura 19. La acción de sujetar las superficies definidas por las membranas flexibles 90a, 90b contra el cortador de alambre 74a actúa para reformar y deformar el cortador de alambre 74a de forma que asuma el perfil definido por las membranas flexibles 90a, 90b y los actuadores 88a, 88b ajustados. Las superficies de sujeción se aplican contra el cortador de alambre 74a durante un período de tiempo y una presión de sujeción adecuada para asegurar que el cortador de alambre 74a retenga el perfil de las superficies de sujeción. Luego, se abren las superficies de sujeción, etapa 208, y se retira el cortador de alambre reformado del aparato 86.

El cortador de alambre reformado puede usarse luego en el método de fabricación tal como se muestra en las Figuras 9 y 10 para proporcionar elementos de molde cortados que tengan una geometría de perfil de corte curva o relativamente compleja. La capacidad de reformar el cortador de alambre para formar elementos de molde con superficies curvas significa que la provisión de la geometría del molde en rebanadas geométricas separadas no es tan limitada en comparación con el método que usa superficies de corte sustancialmente planas con intervalos de tolerancia limitados. Por consiguiente, se puede recrear la geometría del molde usando un número menor de rebanadas relativamente más grandes, reduciendo así el número de diferentes elementos en bruto del molde que se requieren y el número de uniones entre los elementos del molde adyacentes que pueden requerir alisado, etc.

Un ejemplo de las ventajas presentadas por el uso del cortador de alambre reformado se ilustra en la Figura 20, en la que se muestra un perfil en sección transversal tomado a lo largo del eje geométrico longitudinal o a lo largo de una geometría 70 del molde. La geometría 70 del molde se ilustra en el gráfico M, los segmentos se indican en el gráfico S que muestra la proyección longitudinal de los segmentos sustancialmente planos o en línea recta, con la geometría del molde y los segmentos superpuestos en el gráfico M + S.

A diferencia del perfil en sección transversal de la Figura 8, el uso de un cortador de alambre reformado para que tenga un perfil de corte curvo en la dirección de la cuerda contempla que la curvatura relativamente compleja de la geometría del molde se acomode mediante segmentos longitudinales S1'-S4', lo que da lugar a un número reducido de segmentos longitudinales separados y elementos en bruto del molde asociados necesarios para la construcción y el montaje.

Se entenderá que si bien las características de las realizaciones anteriores se describieron en el contexto de la fabricación de un molde de pala de aerogenerador, las características de las realizaciones pueden aplicarse

igualmente a la fabricación de un tapón de molde de pala de aerogenerador, que puede entenderse como el negativo de un molde de pala, usado para la fabricación de moldes de pala de aerogenerador. El tapón puede ser una representación exacta de la forma de una estructura de pala de aerogenerador que se fabrique en un molde de pala como este.

- 5 El uso de un método de fabricación de acuerdo con la invención para dicho equipo de producción de pala de aerogenerador contempla un método de fabricación rápida y de bajo costo, que permite un proceso de puesta en marcha flexible y eficiente para una nueva línea de producción de plantas de fabricación.

La invención no se limita a las realizaciones descritas en la presente memoria, y puede modificarse o adaptarse sin apartarse del alcance de la presente invención.

**REIVINDICACIONES**

1. Un método para fabricar un molde para una estructura de pala de aerogenerador, en donde el método comprende las etapas de:
- proporcionar una geometría de molde de pala de aerogenerador;
- 5 dividir dicha geometría de molde de pala de aerogenerador en una pluralidad de rebanadas geométricas separadas;
- proporcionar una pluralidad de elementos en bruto de molde, cuya pluralidad de elementos en bruto de molde se corresponde con dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas;
- cortar dicha pluralidad de elementos en bruto de molde para formar una pluralidad de elementos de molde cortados que tienen superficies de corte, basándose dicho corte en dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y
- 10 ensamblar dicha pluralidad de elementos de molde cortados, formando las superficies de corte de dichos elementos de molde cortados sustancialmente una superficie consolidada de molde de pala de aerogenerador, caracterizado por que:
- dichos elementos en bruto de molde se forman a partir de un material liviano, preferiblemente un material de espuma, y cuyo método comprende, además, la etapa de aplicar un revestimiento a dicha pluralidad de superficies de corte.
- 15 2. El método de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el material de espuma es poliestireno o poliestireno expandido (EPS).
3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que dicha etapa de aplicación de un revestimiento comprende la aplicación de un revestimiento de elastómero, preferiblemente un revestimiento de poliurea.
4. El método de acuerdo con una de las reivindicaciones 1-3, en donde dicha etapa de corte se lleva a cabo usando un miembro de corte, preferiblemente un miembro de corte de alambre caliente.
- 20 5. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4, en donde el método comprende, además, las etapas de alisar dicha superficie consolidada del molde de pala de aerogenerador.
6. El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en donde los elementos en bruto de molde comprenden una superficie inferior plana, y una superficie superior correspondiente a una parte de la superficie consolidada del molde de pala de aerogenerador.
- 25 7. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha etapa de división de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador comprende la división de dicha geometría en una pluralidad de segmentos longitudinales y/o en el sentido de la cuerda.
8. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicha etapa de división comprende:
- 30 aproximar un perfil de superficie curva de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador a una pluralidad de secciones de superficie longitudinales, estando dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinales dispuestas en serie a lo largo de la dirección longitudinal de dicha geometría de molde de pala de aerogenerador.
9. El método de acuerdo con la reivindicación 8, en donde al menos algunas de dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinales comprenden una forma de perfil sustancialmente en línea recta en la dirección longitudinal de las secciones de superficie longitudinales.
- 35 10. El método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en donde al menos una de dicha pluralidad de secciones de superficie longitudinales comprende un grado de torsión alrededor del eje geométrico longitudinal o en el sentido de la cuerda.
- 40 11. El método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde el método comprende, además, las etapas de:
- proporcionar un dispositivo de corte flexible, realizándose dicha etapa de corte usando dicho dispositivo de corte flexible en función de dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y
- 45 reformar dicho dispositivo de corte flexible en función de dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas, de modo que dicho dispositivo de corte flexible esté dispuesto para cortar dicha pluralidad de elementos en bruto de molde de acuerdo con la forma de dichas rebanadas geométricas separadas.

12. Un molde para fabricar una estructura de pala de aerogenerador, en donde:

la geometría de molde de pala de aerogenerador de molde, que está dividida en una pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y en donde

5 el molde es ensamblado a partir de una pluralidad de elementos en bruto de molde, en donde dicha pluralidad de elementos en bruto de molde tienen una superficie de corte que se corresponde con dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y en donde

dicha pluralidad de elementos de molde cortados es ensamblada para formar sustancialmente una superficie consolidada de molde de pala de aerogenerador, caracterizado por que:

10 dichos elementos en bruto de molde se forman a partir de un material liviano, preferiblemente un material de espuma, y en donde

se aplica un revestimiento sobre dicha pluralidad de superficies de corte.

13. El uso de un molde para una estructura de pala de aerogenerador de acuerdo con la reivindicación 12, para la fabricación de una estructura de pala de aerogenerador.

15 14. Un método para fabricar un tapón de molde para la fabricación de un molde para una estructura de pala de aerogenerador, en donde el método comprende las etapas de:

proporcionar una geometría de tapón de molde de pala de aerogenerador;

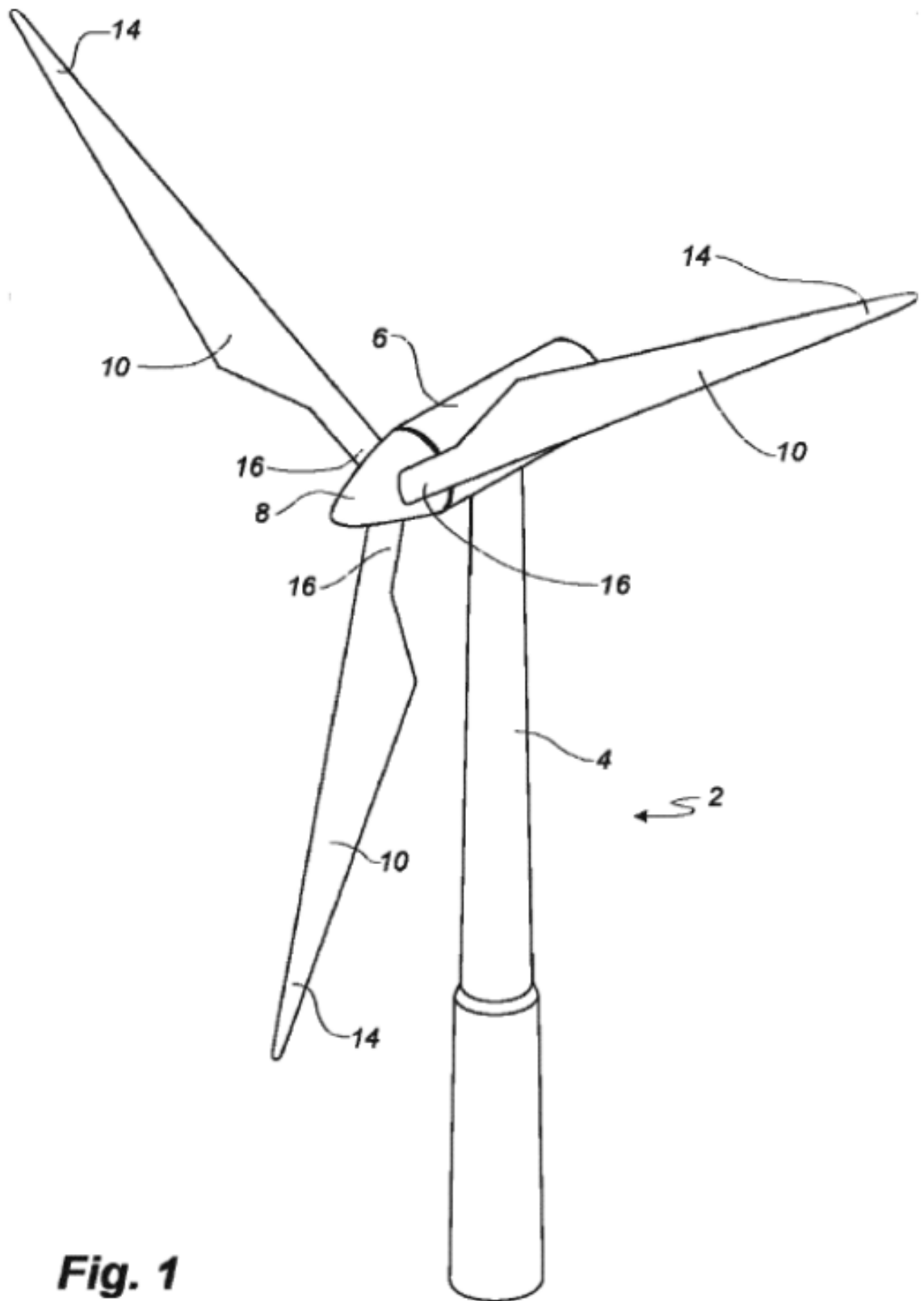
dividir dicha geometría de tapón de molde de pala de aerogenerador en una pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

20 proporcionar una pluralidad de elementos en bruto de tapón, correspondiéndose dicha pluralidad de elementos en bruto de tapón con dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas;

cortar dicha pluralidad de elementos en bruto de tapón para formar una pluralidad de elementos de tapón cortados que tienen superficies de corte, en donde dicho corte se basa en dicha pluralidad de rebanadas geométricas separadas; y

25 ensamblar dicha pluralidad de elementos de tapón cortados, formando las superficies de corte de dichos elementos de tapón cortados sustancialmente una superficie consolidada de tapón de molde de pala de aerogenerador, siendo dichos elementos en bruto de tapón formados a partir de un material liviano, preferiblemente un material de espuma, y el método comprende, además, la etapa de aplicar un revestimiento a dicha pluralidad de superficies cortadas.

15. Un tapón de molde para la fabricación de un molde para una estructura de pala de aerogenerador fabricado de acuerdo con la reivindicación 14.





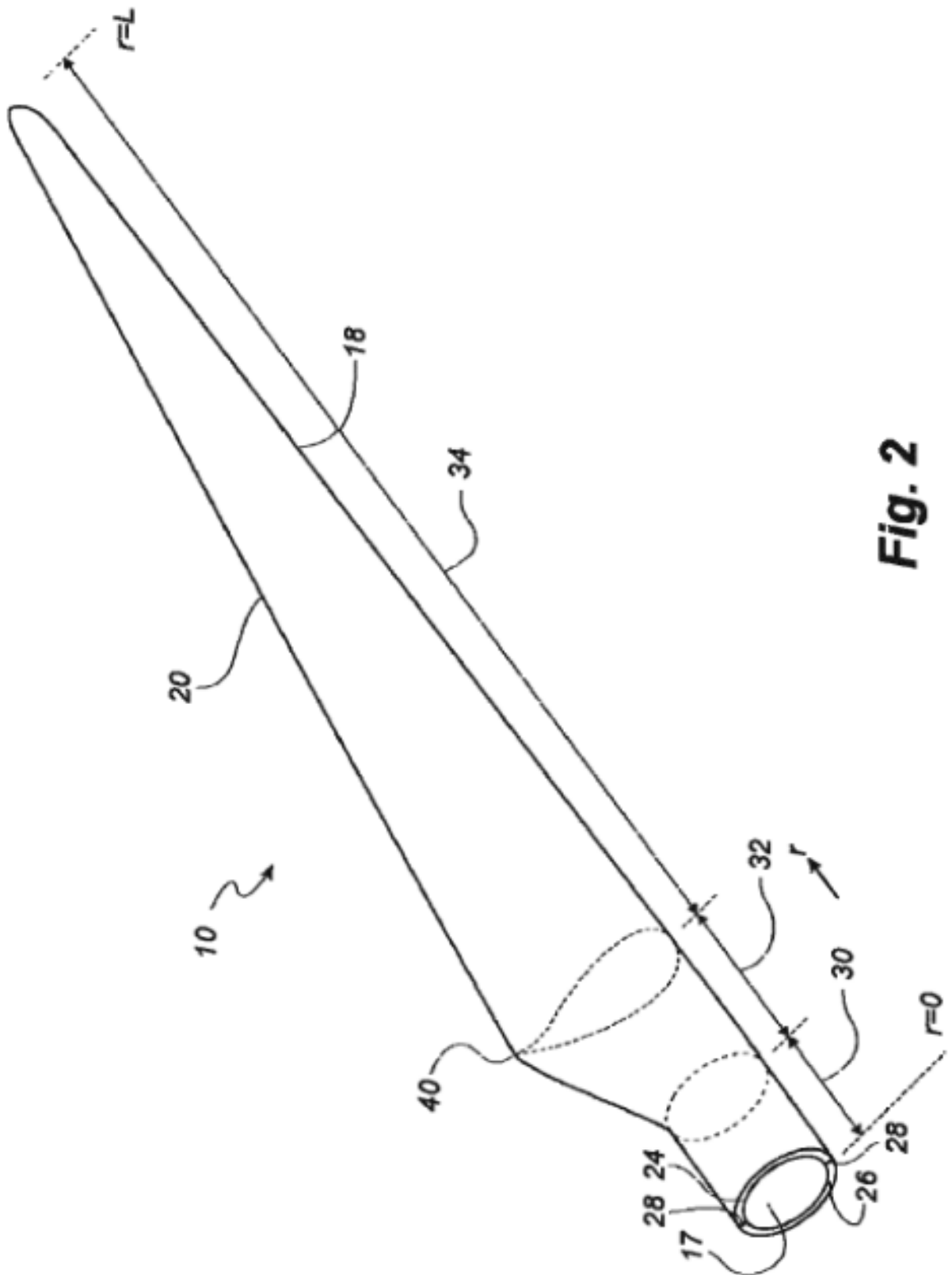
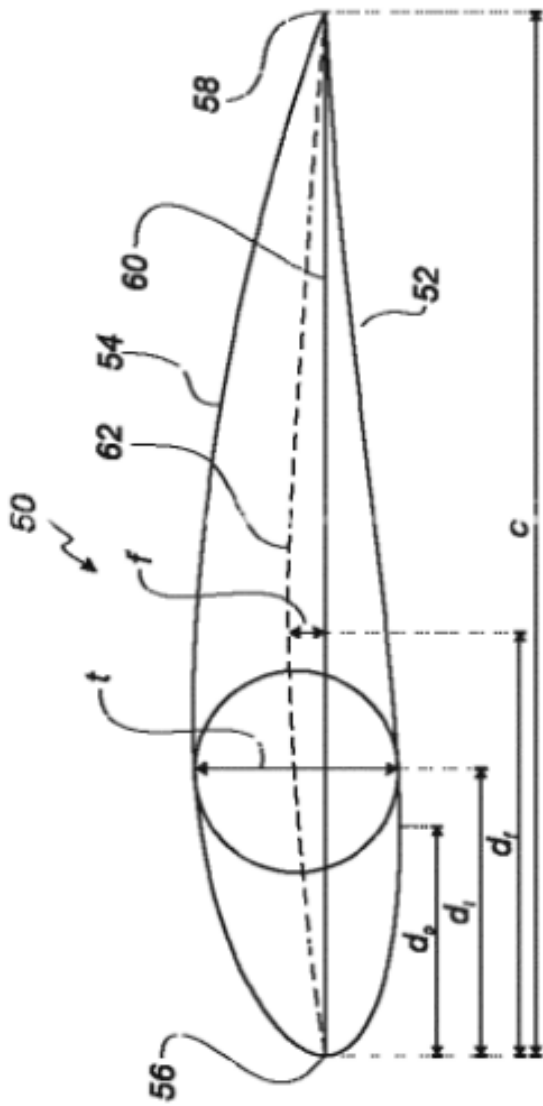
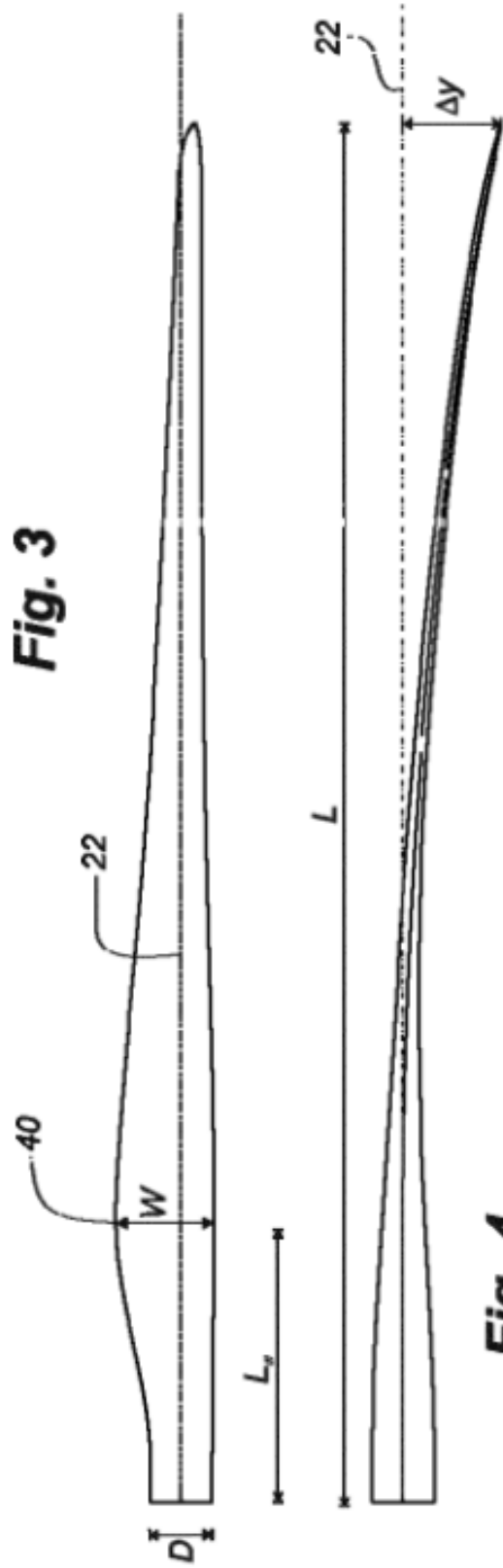


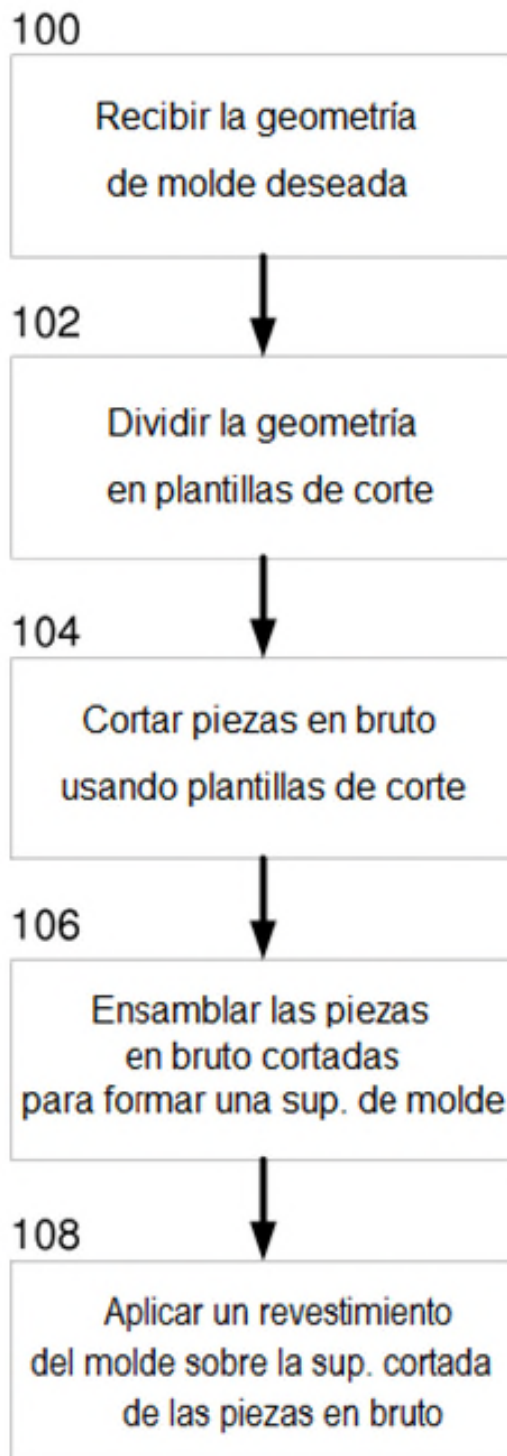
Fig. 2



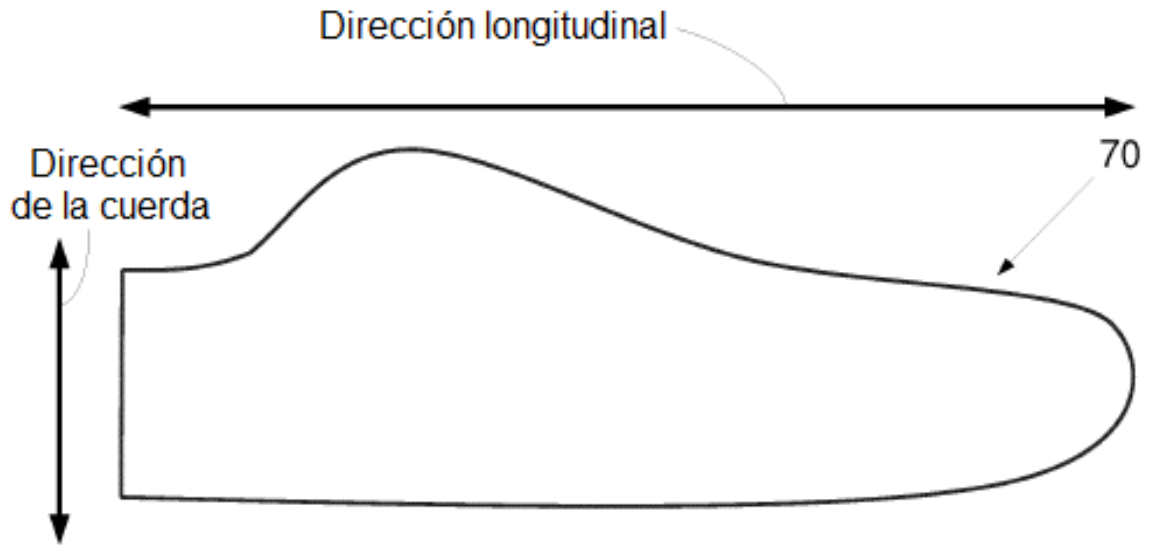
**Fig. 3**



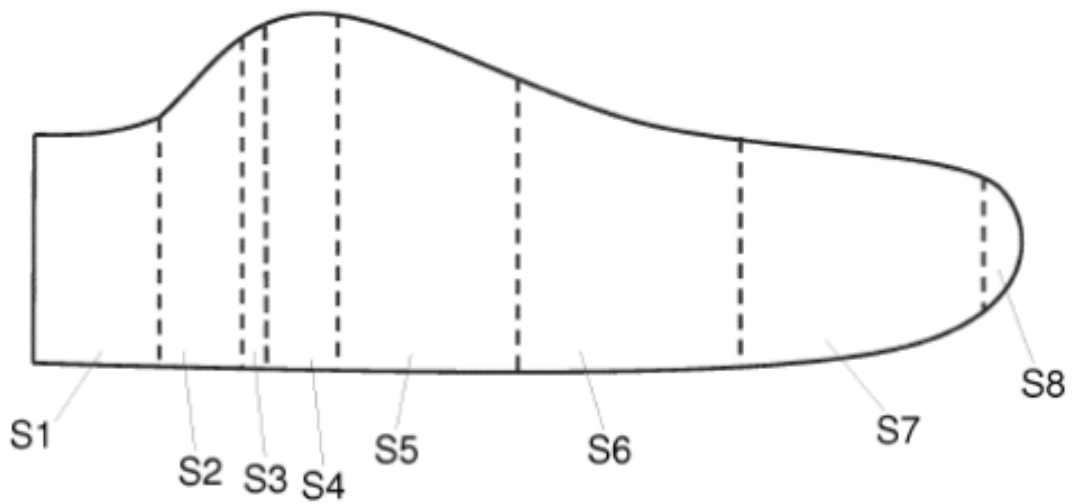
**Fig. 4**



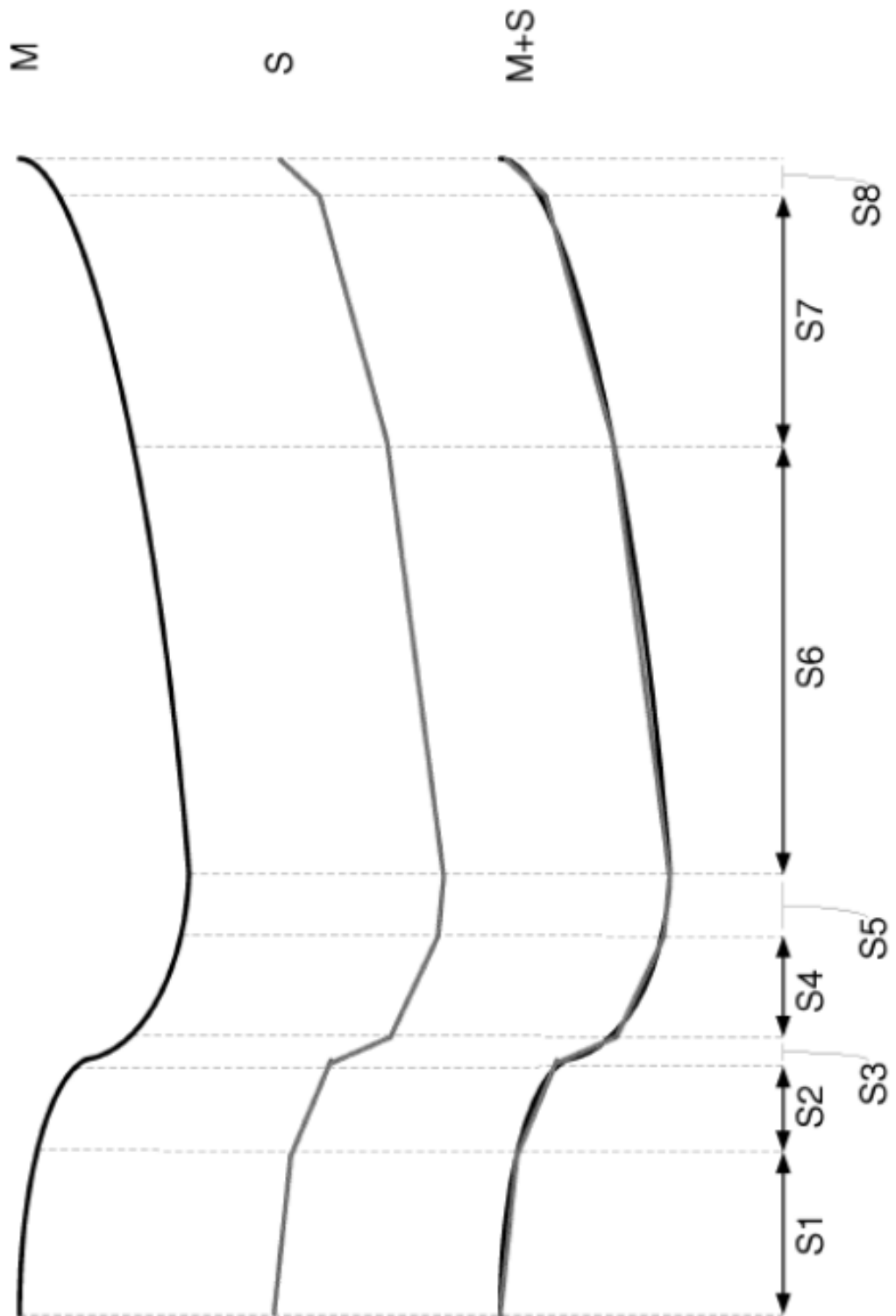
**Fig. 5**



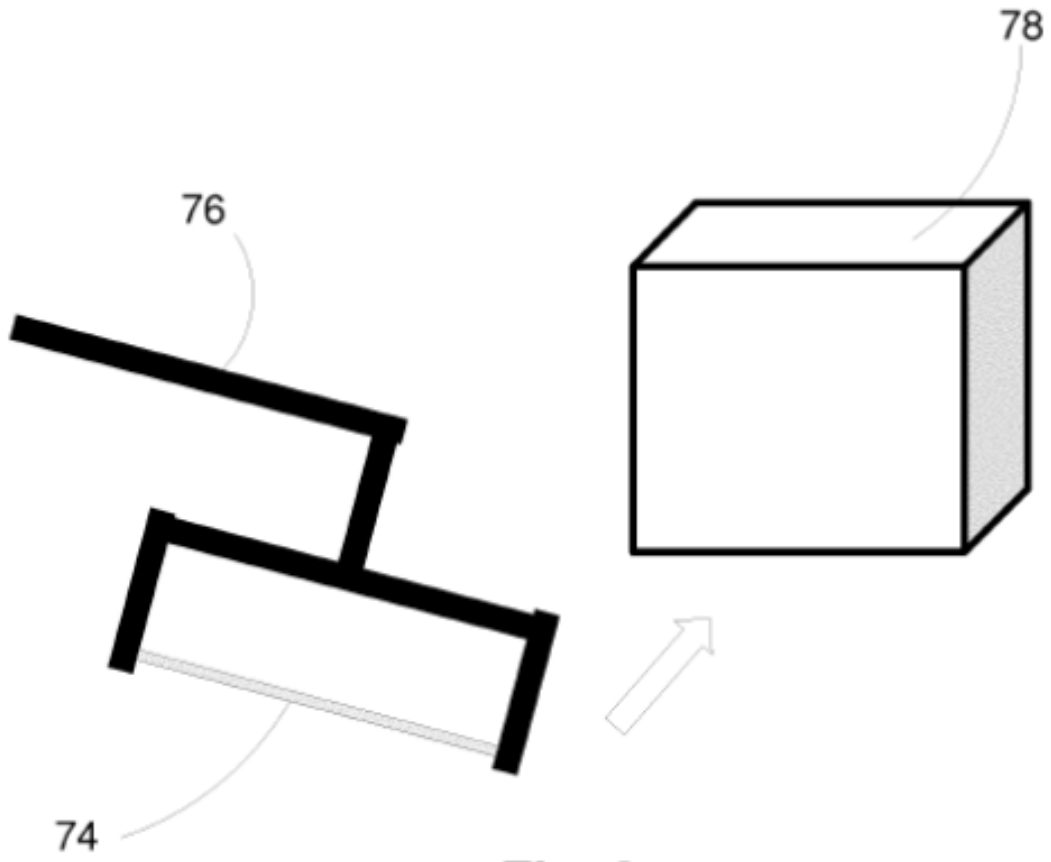
**Fig. 6**



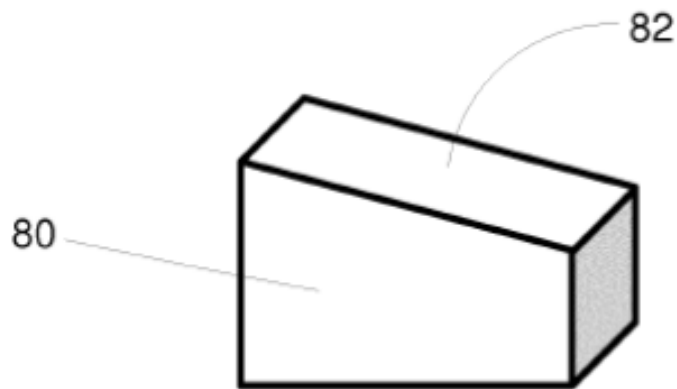
**Fig. 7**



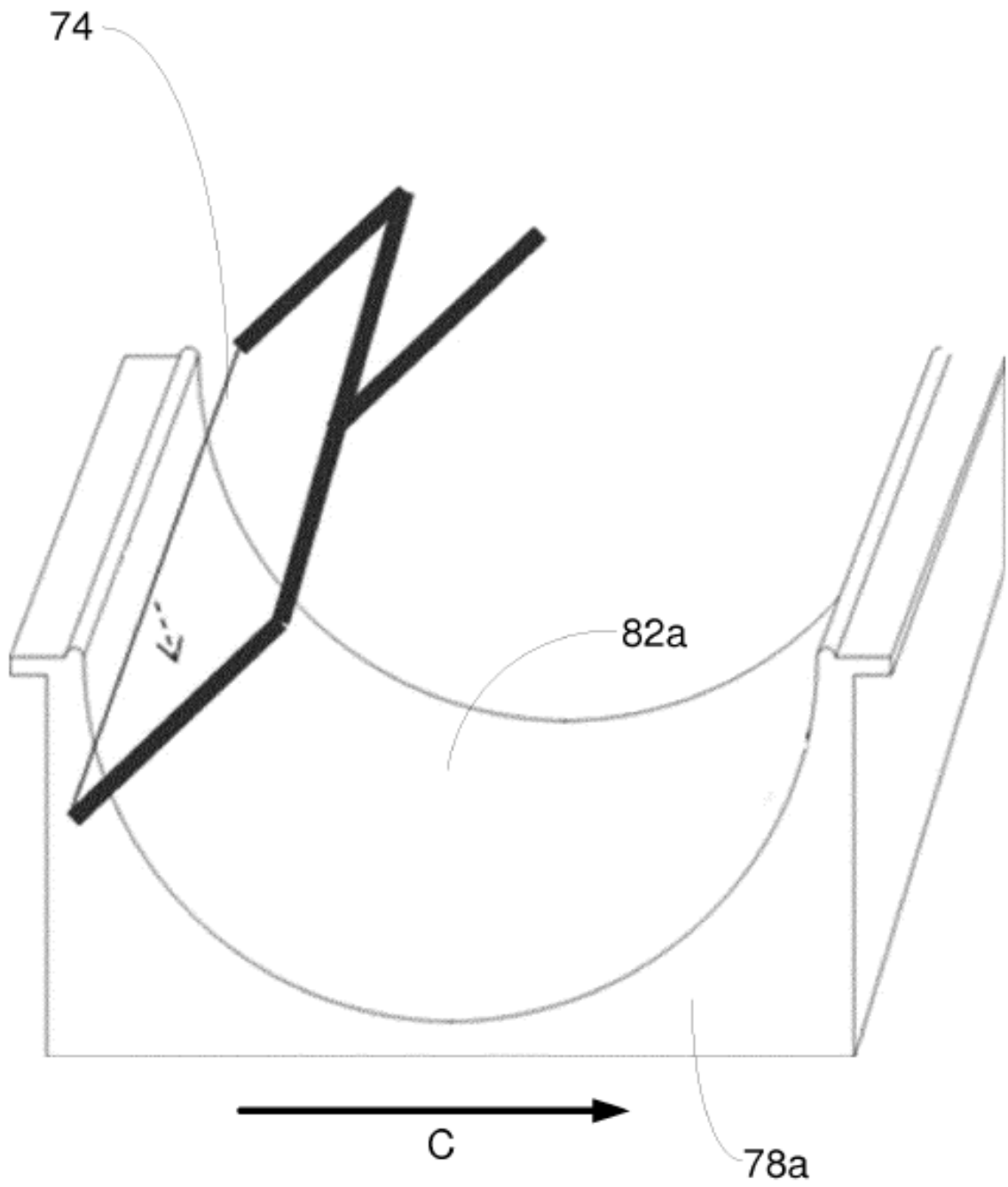
**Fig. 8**



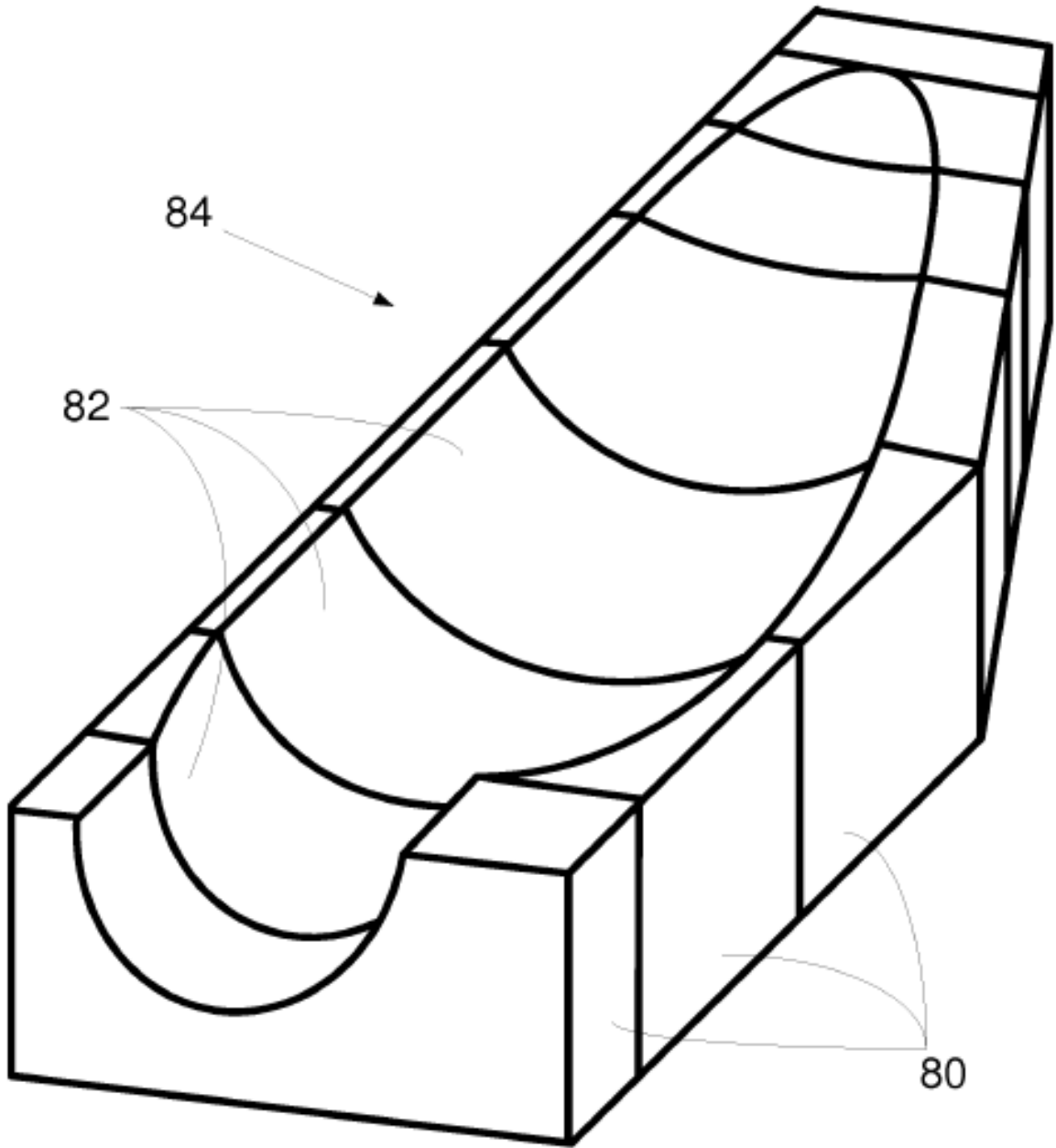
**Fig. 9**



**Fig. 10**

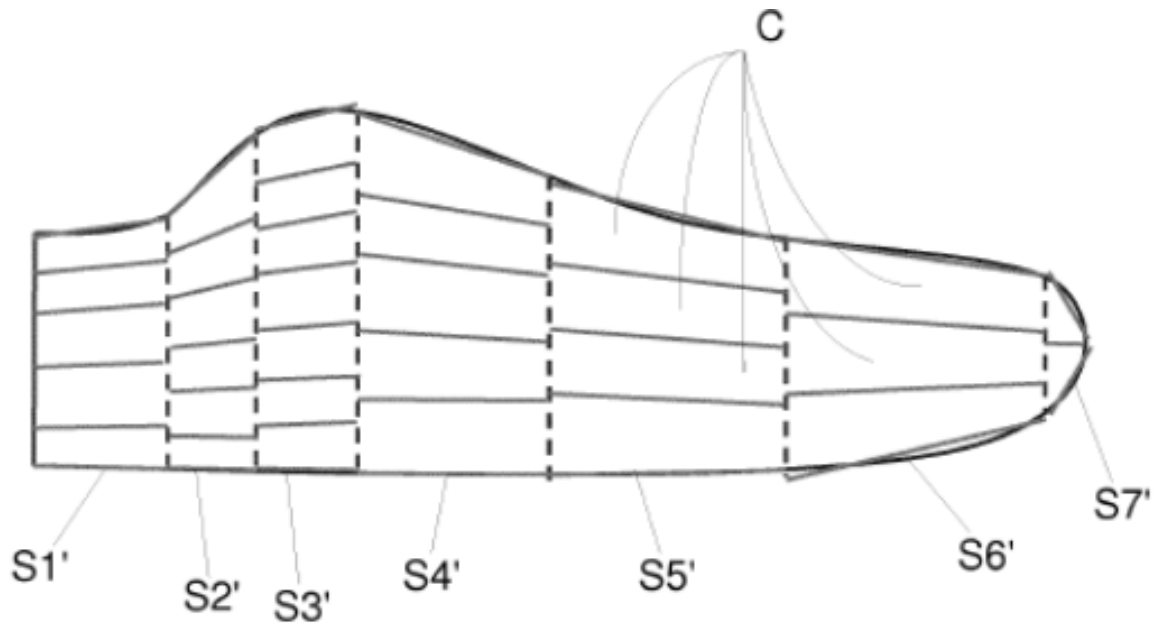


**Fig. 11**

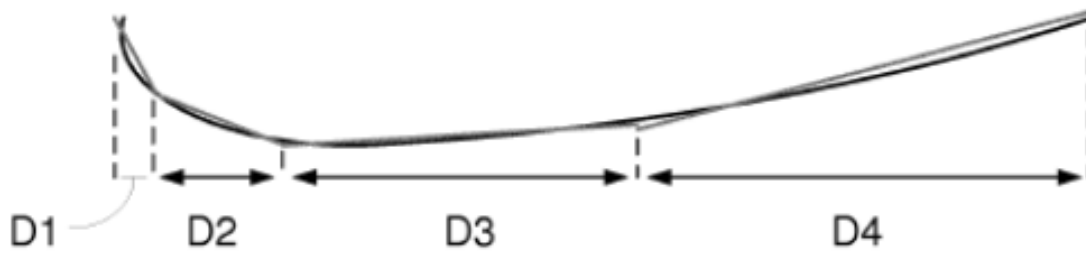


**Fig. 12**

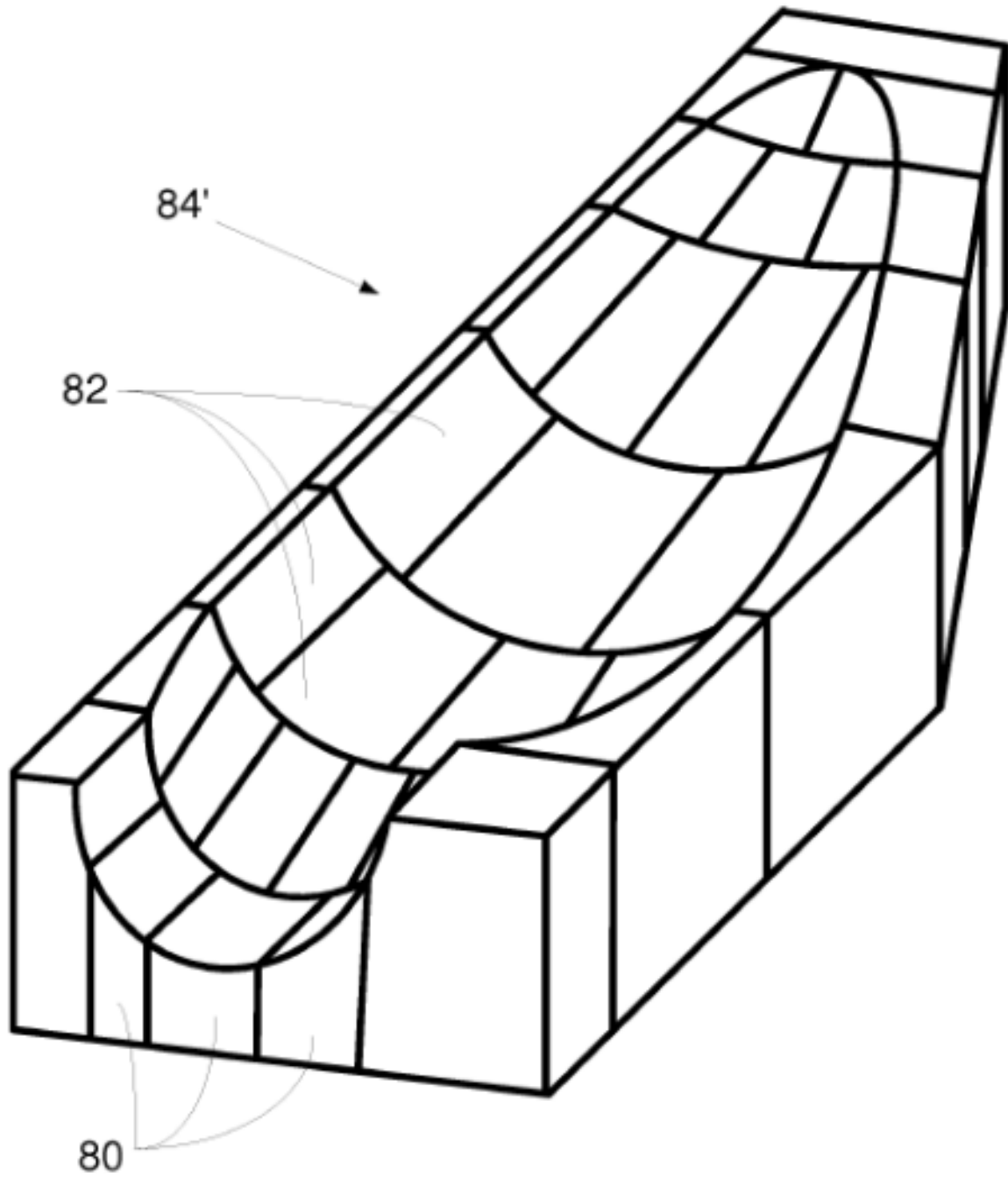




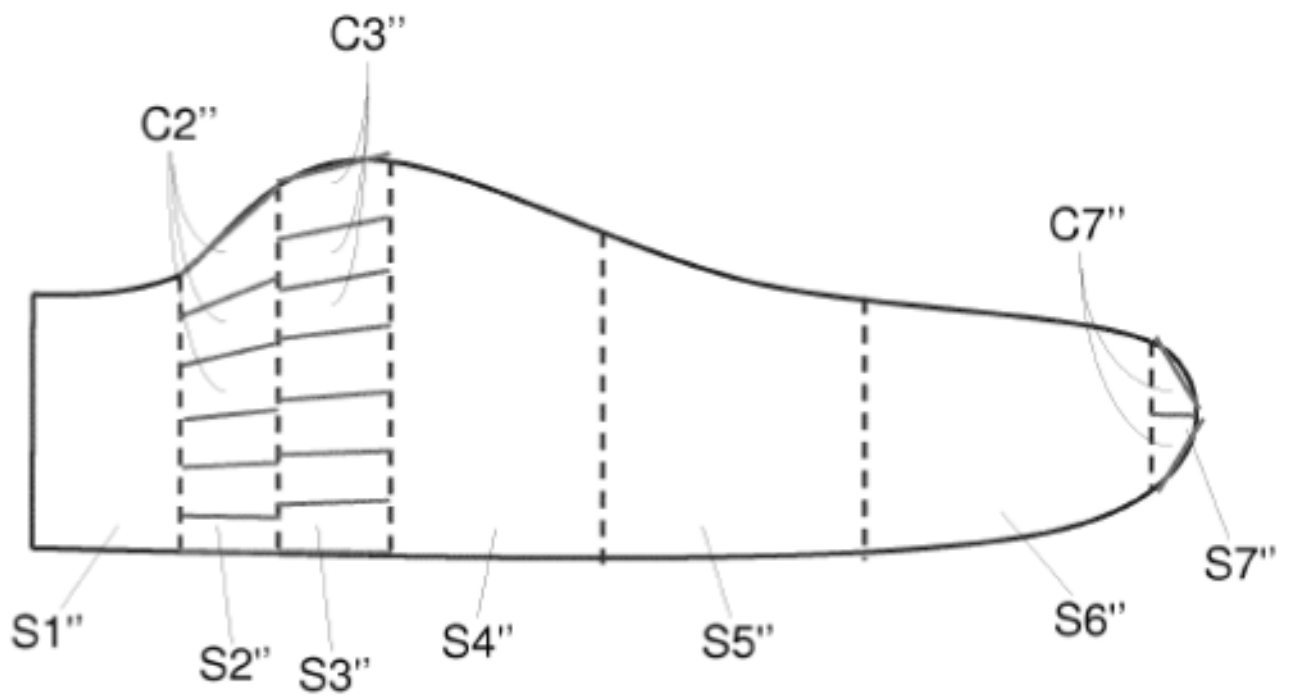
**Fig. 13**



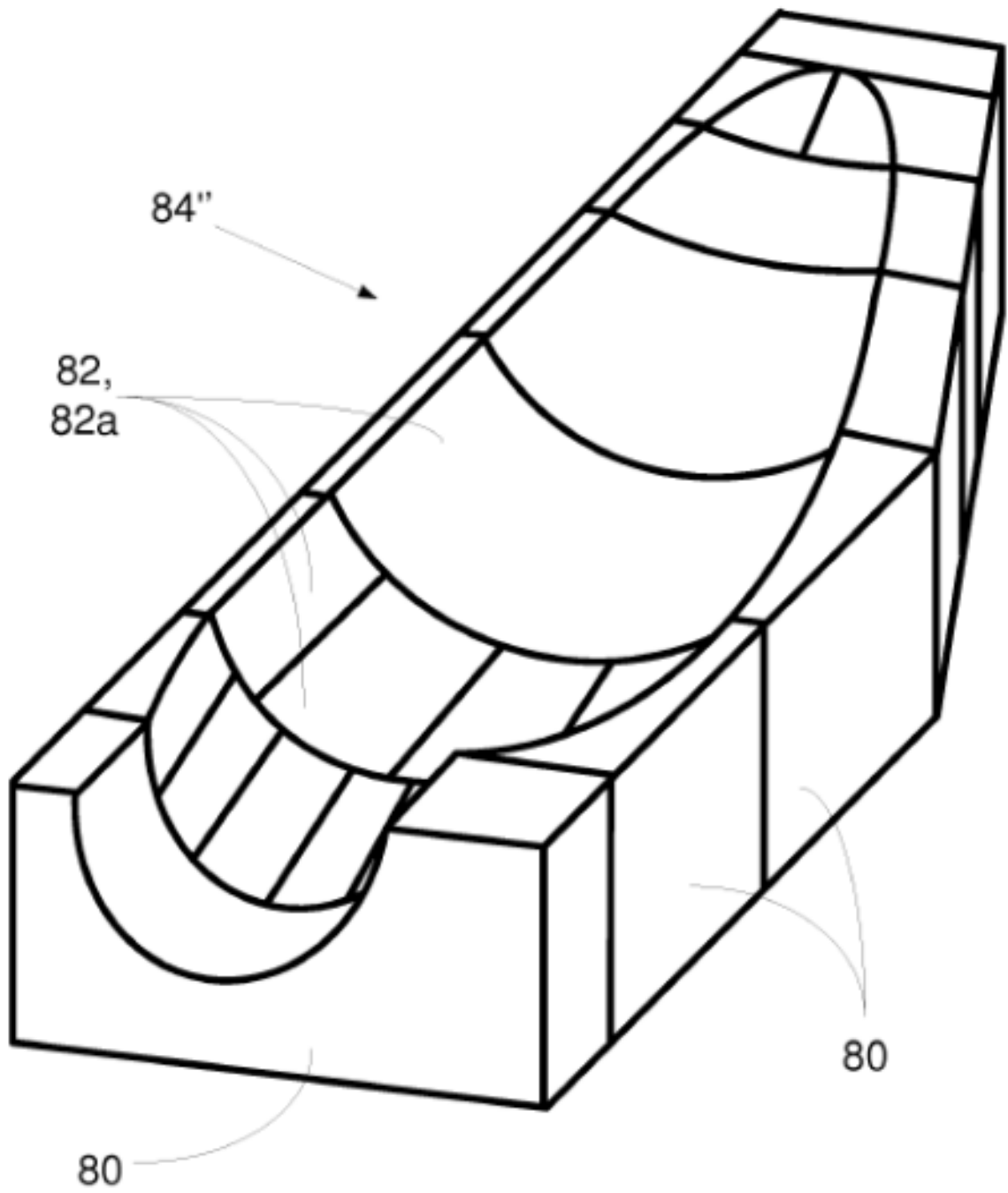
**Fig. 14**



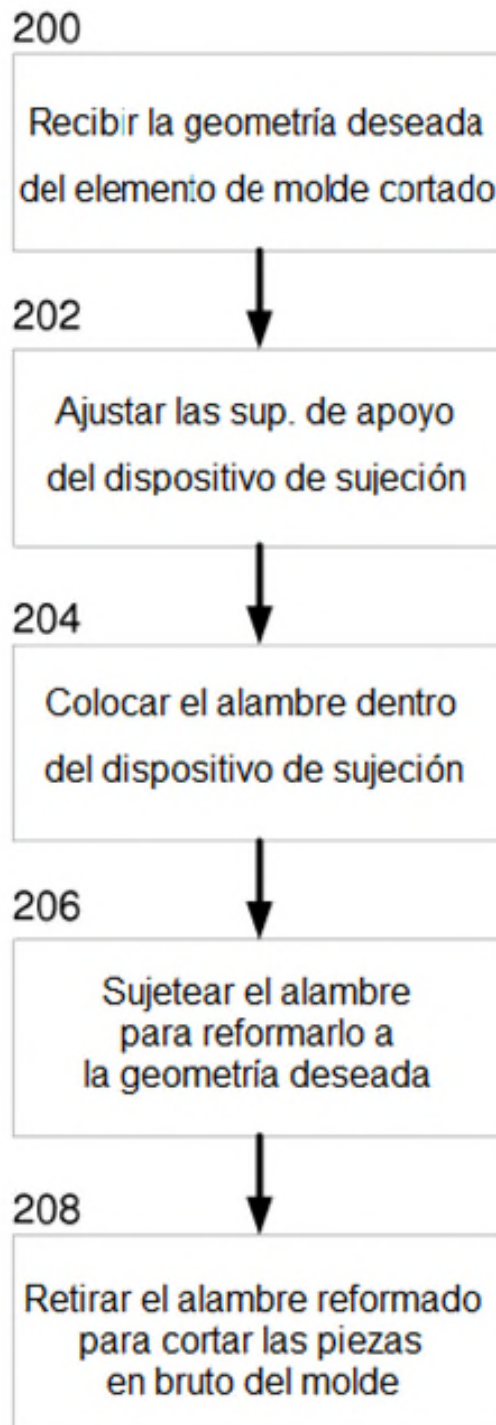
**Fig. 15**



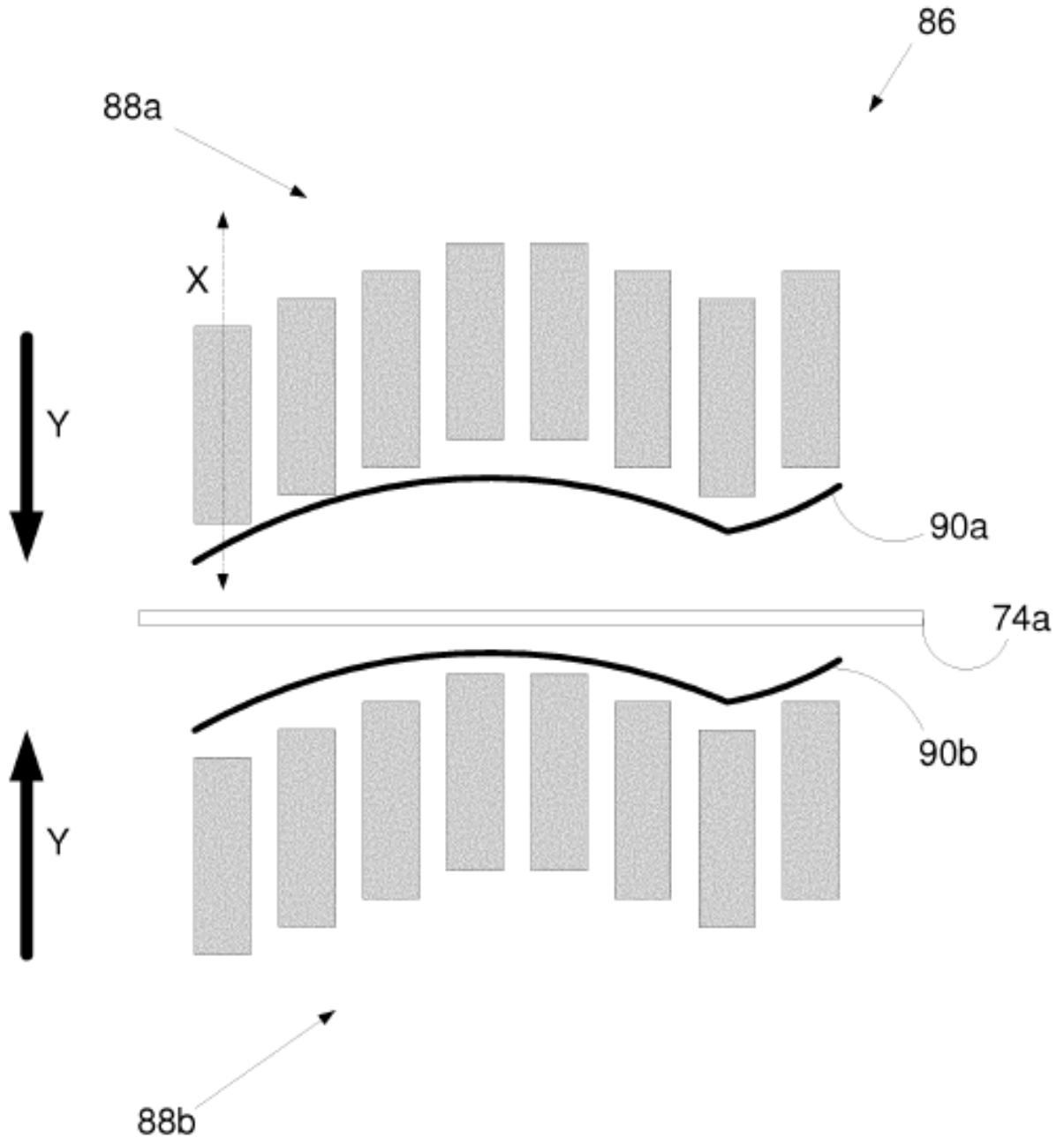
**Fig. 16**



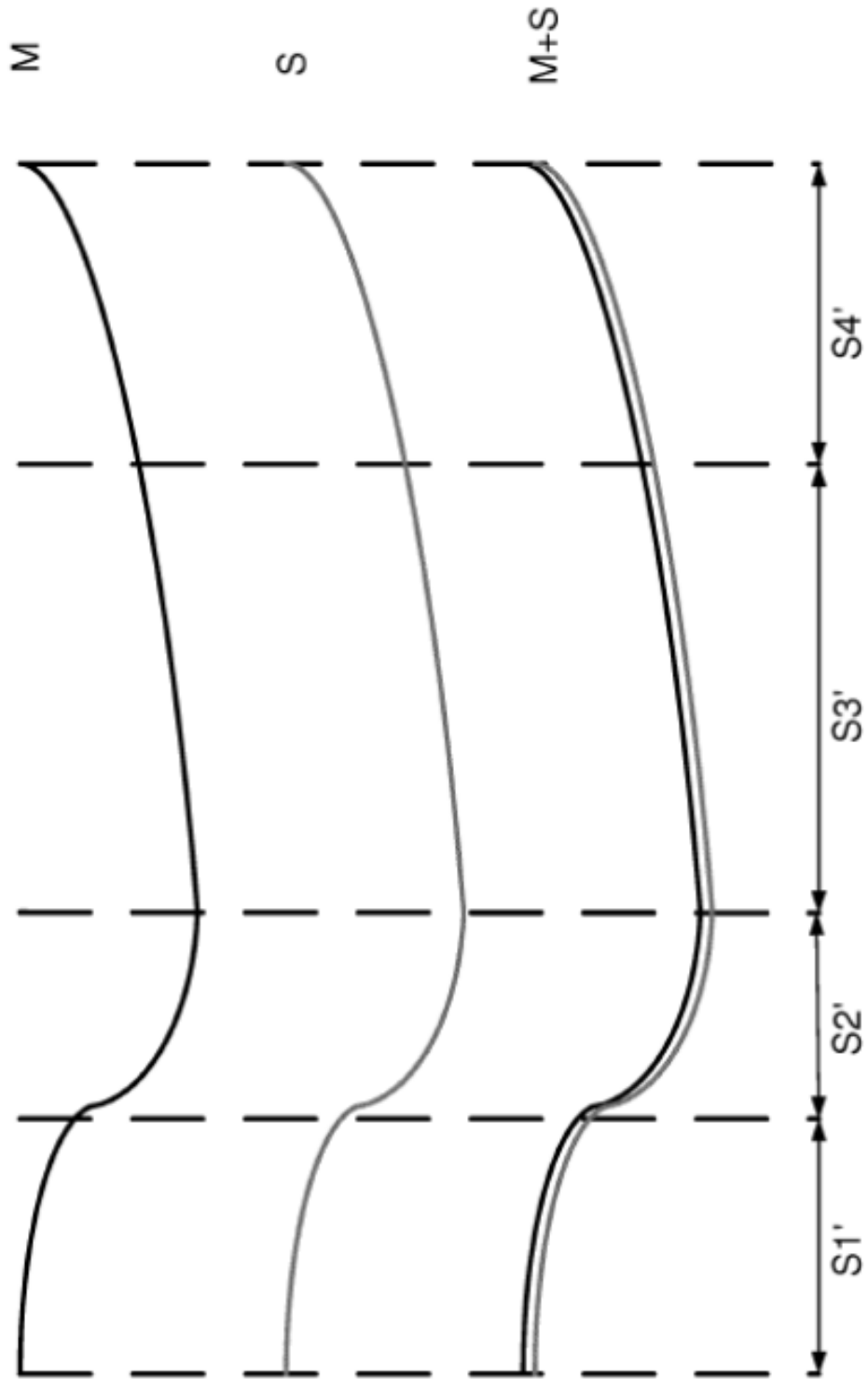
**Fig. 17**



**Fig. 18**



**Fig. 19**



**Fig. 20**