

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 887 979**

51 Int. Cl.:

B29C 65/48 (2006.01)
B29C 65/78 (2006.01)
B29D 99/00 (2010.01)
F03D 1/06 (2006.01)
B29C 65/18 (2006.01)
B29C 65/30 (2006.01)
B29L 31/08 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **10.01.2018 PCT/DK2018/050004**
 87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2018 WO18130257**
 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **10.01.2018 E 18700393 (4)**
 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.08.2021 EP 3568287**

54 Título: **Método y aparato para ensamblar una pala de aerogenerador que tiene una membrana interna**

30 Prioridad:

12.01.2017 DK PA201770020

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
29.12.2021

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)
Hedeager 42
8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**HEDGES, ANDREW y
HAAHR, ARNE**

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 887 979 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

Método y aparato para ensamblar una pala de aerogenerador que tiene una membrana interna

Campo técnico

5 La presente invención se refiere de manera general a palas de aerogenerador y, más particularmente, a la fabricación y ensamblaje de palas de aerogenerador que incluyen refuerzos estructurales internos tales como membranas internas combinadas con un armazón externo para formar la pala.

Antecedentes

10 Los aerogeneradores se usan para producir energía eléctrica usando un recurso renovable (energía eólica en el medio ambiente) y sin combustión de un combustible fósil. Generalmente, un aerogenerador convierte la energía eólica cinética en energía mecánica y luego convierte posteriormente la energía mecánica en energía eléctrica. Un tipo común de aerogenerador es el aerogenerador de eje horizontal de rotor único, aunque también se usan con frecuencia aerogeneradores de rotor múltiple. Como se entiende bien, un aerogenerador de rotor único ejemplar incluye una torre que define una estructura de soporte, una góndola situada en la punta de la torre y un rotor que tiene un buje de rotor central y una o más palas (por ejemplo, tres palas) montadas en el buje y que se extienden radialmente desde el mismo. El rotor está soportado por la góndola y colocado en la parte delantera de la góndola de modo que el rotor se enfrente hacia el viento aguas arriba de su torre de soporte. El rotor se puede acoplar o bien directa o bien indirectamente a un generador alojado dentro de la góndola y configurado para convertir la energía mecánica del rotor en energía eléctrica.

20 Como las palas de aerogenerador son los elementos que capturan la energía eólica para producir energía mecánica en forma de rotación del rotor, estos elementos se deben fabricar para resistir cargas y tensiones significativas, que también pueden variar mucho con el tiempo durante la operación también. Además, especialmente en aerogeneradores de mayor capacidad o aerogeneradores solamente con un rotor, las palas de aerogenerador a menudo definen longitudes de palas muy alargadas para barrer un área suficiente para capturar la energía eólica necesaria para producir las mayores cantidades de energía eléctrica. Por supuesto, cuanto más larga llega a ser una pala de aerogenerador, más resistencia y rigidez necesita ser proporcionada en la construcción o los materiales de la pala para resistir las cargas asociadas del viento. A este respecto, un método típico de fortalecimiento de una pala de aerogenerador es añadir una o más membranas internas, algunas veces denominadas membranas de cizalla, a ser conectadas entre la primera y segunda partes de armazón externo, que definen el perfil aerodinámico del aerogenerador después de que se conectan entre sí. La membrana o membranas internas proporcionan rigidez adicional a las partes de armazón externo con el propósito de resistir la carga errática y alta que se encuentra durante la operación del aerogenerador.

35 Un ejemplo convencional particular de ensamblaje de un aerogenerador con una o más membranas internas se muestra en la Patente de EE.UU. N° 8.454.791 de Gau. La Patente '791 describe el uso de un dispositivo de ajuste de membrana de cizalla para hacer que la membrana de cizalla se asiente a una distancia coherente y pequeña por encima de una viga interna (opcional) en una primera parte de armazón cuando se adhiere a un primer extremo de la membrana de cizalla a la viga interna. Se alega que tal dispositivo evita una colocación incoherente de la membrana de cizalla en relación con la viga interna a lo largo de la longitud de la membrana de cizalla y la primera parte de armazón. Una vez que este primer extremo de la membrana de cizalla se adhiere en su posición, se cierra una segunda parte de armazón sobre el segundo extremo de la membrana de cizalla y la primera parte de armazón, con estos elementos unidos y curados juntos en las uniones correspondientes para producir la pala de aerogenerador finalizada.

45 Se puede hacer referencia al paso de ensamblaje final del método convencional descrito en la Patente '791 como "paso de curado de la línea de unión" debido a que se proporcionan varias líneas de unión de material adhesivo para conectar elementos entre sí en los bordes delantero y trasero de la primera y segunda partes de armazón y en el extremo segundo o superior de la membrana interna. No obstante, se ha descubierto que durante este paso de curado de la línea de unión, que se realiza usando un molde calentado y/o aire calentado soplado al interior de la pala de aerogenerador, el calor considerable para curar también causa algunas veces distorsiones térmicas de la primera y segunda partes de armazón, especialmente en ubicaciones entre los bordes delantero y trasero (típicamente sujetos entre sí por el molde). También se describe, en el documento US2014119935, una máquina adhesiva para construir palas de rotor segmentadas que tienen al menos tres partes de pala de rotor prefabricadas, y que contiene una primera región de alojamiento para recibir una primera parte de pala de rotor prefabricada, una segunda región de alojamiento para recibir una segunda parte de pala de rotor prefabricada y una tercera región de alojamiento para recibir una tercera parte de pala de rotor prefabricada. La primera región de alojamiento, la segunda región de alojamiento y la tercera región de alojamiento se pueden mover una con relación a otra de modo que, después de la recepción con éxito de las tres partes de pala de rotor prefabricadas en las regiones de alojamiento adecuadas en una posición abierta de la máquina adhesiva, las partes de pala de rotor se pueden poner en contacto directo o indirecto unas con otras a través de regiones de adhesión predeterminadas y, de este modo, transferir a una posición de adhesión. En una realización, el dispositivo adhesivo puede presentar al menos un dispositivo de templado, que está configurado de tal forma que exponga regiones de adhesión predeterminadas de

al menos una de las partes de pala de rotor prefabricadas o el reborde a calentar de una forma local limitada. Tal dispositivo de templado puede presentar un calentador de resistencia con hilos de calentamiento de resistencia metálicos.

5 Tales distorsiones térmicas pueden mover la segunda parte de armazón una cantidad suficiente para comprometer la unión adhesiva formada entre el extremo superior de la membrana interna y la viga interna en la segunda parte de armazón. Por ejemplo puede ocurrir una deslaminación o rotura de las uniones si la segunda parte de armazón se expande demasiado lejos del extremo superior de la membrana interna. Alternativamente, o adicionalmente, pueden ocurrir vacíos de adhesivo si la segunda parte de armazón se mueve demasiado hacia - o hace contacto con - la cara superior de la membrana interna, empujando el adhesivo lejos de la región de contacto. Estas deslaminaciones o vacíos de adhesivo pueden ser una fuente de fallo estructural de la pala cuando las palas de aerogenerador se ponen en uso en un aerogenerador.

15 El fallo en formar una buena unión adhesiva entre estos elementos de la pala de aerogenerador socava todo el propósito de añadir elementos internos estructurales, por lo que se desea proporcionar un método y aparato para ensamblar estas palas de aerogenerador de tal manera que se eviten los problemas asociados con potenciales distorsiones térmicas durante el curado final de una pala de aerogenerador. Con este fin, un método y un aparato más fiables para el ensamblaje de palas de aerogenerador con membrana o membranas internas se desea por los operadores y fabricantes de aerogeneradores para mejorar la fiabilidad estructural de la pala de aerogenerador.

Compendio

20 En la presente memoria se describen un método y un aparato para ensamblar una pala de aerogenerador de tal manera que incluya un curado previo de las uniones adhesivas que se podrían ver afectadas potencialmente por los efectos de la deformación térmica durante el curado completo de la pala, para lograr por ello los objetivos expuestos anteriormente, incluyendo una fiabilidad más alta de los componentes usados en un aerogenerador.

25 De acuerdo con una realización de la invención, un método de ensamblaje de un aerogenerador incluye acoplar un extremo inferior de una membrana interna con un primer miembro del armazón externo de la pala. El método continúa con la aplicación de un material adhesivo a un extremo superior de la membrana interna y a los bordes de la primera parte de armazón externo. Una segunda parte de armazón externo se engancha con los bordes de la primera parte de armazón externo y también con el extremo superior de la membrana interna, para encerrar la membrana interna dentro de la primera y segunda partes de armazón externo. Luego se aplica energía térmica localizada al material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna para curar previamente ese material adhesivo y, por ello, unir el extremo superior de la membrana interna con la segunda parte de armazón externo. Después de curar previamente el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna, el método continúa aplicando energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo para curar el material adhesivo en los bordes de la primera parte de armazón externo y unir por ello la primera y segunda partes de armazón externo entre sí. El curado previo del material adhesivo en la membrana interna permite la unión adhesiva formada entre la membrana interna y el armazón externo para resistir cualquier tensión causada por la deformación térmica o la tensión en el armazón externo durante el curado final de la pala de aerogenerador. En las realizaciones, dicha aplicación de energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo para curar el material adhesivo en los bordes de la primera parte de armazón externo se puede iniciar solamente después de que el adhesivo en dicha unión de membrana interna se haya curado previamente al 8 % o más de su estado final de curado al 100 %. Preferiblemente, dicha aplicación de energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo se puede iniciar solamente después de que el adhesivo en dicha unión de membrana interna se haya curado previamente al 10 % o más de su estado final de curado al 100 %. Preferiblemente, el grado de curación del adhesivo de unión de la membrana interna se puede monitorizar por medio de un termopar situado en o cerca de dicho reborde de membrana.

45 En un aspecto, la membrana interna incluye un reborde que define el extremo superior. En tal aspecto, la aplicación de energía térmica localizada se completa poniendo en contacto una alfombrilla calefactora con un lado inferior del reborde en el extremo superior de la membrana interna y la operación de la alfombrilla calefactora para suministrar la energía térmica localizada en el reborde y calentar por ello el material adhesivo para curar previamente el material adhesivo. La alfombrilla calefactora se pone en contacto con el lado inferior del reborde acoplado de manera extraíble una tira de sujeción rígida con el reborde para asegurar la alfombrilla calefactora entre la tira de sujeción y el lado inferior del reborde en el extremo superior de la membrana interna. La tira de sujeción rígida en tales realizaciones se forma a partir de un material termoaislante, tal como una espuma aislante, de manera que la energía térmica se dirija principalmente a través del reborde hacia el material adhesivo durante la operación de la alfombrilla calefactora.

55 En otro aspecto del método, la tira de sujeción rígida se acopla de manera extraíble con el reborde conectando la tira de sujeción rígida al reborde con una pluralidad de pasadores de cizalla que se extienden hacia el reborde. Los pasadores de cizalla están configurados para romperse cuando se aplica mecánicamente una fuerza de extracción predeterminada a la tira de sujeción rígida o a la alfombrilla calefactora, pero los pasadores de cizalla no se ven afectados por las temperaturas elevadas causadas durante el curado previo o el calentamiento de curado completo. Para desenganchar la alfombrilla calefactora y la tira de sujeción rígida del reborde de la membrana interna, un

usuario tira de una línea conectada con un extremo longitudinal de la alfombrilla calefactora para aplicar la fuerza de extracción predeterminada y, por ello, romper los pasadores de cizalla, lo que permite tirar de la tira de sujeción rígida y la alfombrilla calefactora para desengancharla del reborde después de que se completa el curado previo del material adhesivo. En realizaciones donde el reborde incluye una primera y segunda partes opuestas que se extienden en direcciones opuestas desde una parte de refuerzo central de la membrana interna, la alfombrilla calefactora se coloca envolviendo la alfombrilla calefactora alrededor de un extremo de la raíz de la membrana interna de manera que la alfombrilla calefactora se extienda a lo largo del lado inferior del reborde tanto en la primera como en la segunda partes del reborde. Se entenderá que son posibles disposiciones alternativas para la alfombrilla calefactora, incluyendo conectar directamente la alfombrilla calefactora al reborde con pasadores de cizalla o conectores similares, con o sin miembros de transferencia de calor adicionales incluidos en el ensamblaje.

En otro aspecto más del método, la primera y segunda partes de armazón externo definen una longitud del tramo longitudinal de la pala de aerogenerador, mientras que la membrana interna define una primera longitud longitudinal que se extiende a lo largo de la mayor parte de la longitud del tramo. La aplicación de energía térmica localizada ocurre en tales realizaciones solamente a lo largo de una región de curado previo que incluye un extremo de la raíz de la membrana interna y que se extiende a lo largo de una parte parcial de la primera longitud longitudinal.

En otras realizaciones, el método también incluye monitorizar una temperatura de curado previo del material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna durante la aplicación de energía térmica localizada. La cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna se puede determinar luego en base a la temperatura de curado previo. El paso de aplicar energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo para curar completamente la pala de aerogenerador se puede iniciar cuando la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna alcanza al menos el 12 % de un curado completo. Alternativamente, este paso de aplicación de energía térmica para realizar el curado completo de la pala de aerogenerador se puede iniciar en alguna otra cantidad de curado en el paso de curado previo, hasta e incluyendo el curado del 100 % del material adhesivo en el curado previo de algunas realizaciones. De este modo, el proceso de curado completo se puede retrasar hasta que las uniones de adhesivo de la membrana interna a las partes de armazón externo se curen completamente, o se curen parcialmente hasta el punto de no perder la integridad de la unión durante cualquier pequeño movimiento inducido térmicamente en el armazón externo causado durante el calentamiento de curado completo.

En otra realización de acuerdo con la invención descrita en la presente memoria, se proporciona un aparato para ensamblar una pala de aerogenerador que incluye una primera y segunda partes de armazón externo y una membrana interna. El aparato incluye un molde con una primera y segunda mitades del molde que definen superficies en las que se ensamblan la primera y segunda partes de armazón externo. Las mitades del molde se pueden mover entre las posiciones abierta y cerrada y también están configuradas para aplicar energía térmica para curar el material adhesivo en la pala. El aparato también incluye un dispositivo de calentamiento localizado dimensionado para su colocación adyacente a un extremo superior de la membrana interna, de manera que pueda aplicar energía térmica localizada para curar previamente un material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna. El curado previo une la membrana interna a una de la primera y segunda partes de armazón externo. Un dispositivo de sujeción del aparato extraíble se engancha con el extremo superior de la membrana interna para colocar el dispositivo de calentamiento localizado adyacente al extremo superior. El aparato también incluye un controlador conectado operativamente al molde y al dispositivo de calentamiento localizado. El controlador está programado para operar el dispositivo de calentamiento localizado para curar previamente el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna antes de operar la aplicación de energía térmica con el molde. Por consiguiente, el aparato cura previamente el material adhesivo en la membrana interna para permitir la unión adhesiva formada entre la membrana interna y el armazón externo para resistir cualquier tensión causada por deformación térmica o tensión en el armazón externo durante el curado final de la pala de aerogenerador.

En un aspecto del aparato, el dispositivo de calentamiento localizado es una alfombrilla calefactora flexible. El dispositivo de sujeción incluye además una tira rígida de material termoaislante con una pluralidad de pasadores de cizalla configurados para extenderse en conexión con el extremo superior de la membrana interna para intercalar el dispositivo de calentamiento localizado entre la membrana interna y la tira rígida de material termoaislante. El aparato en algunas realizaciones incluye además un sensor de temperatura conectado al controlador y colocado para monitorizar una temperatura de curado previo del material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna durante la aplicación de energía térmica localizada. Esta temperatura se usa para determinar la cantidad de curado que ha ocurrido durante el curado previo del material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna, que luego se puede usar para controlar cuándo comenzar el proceso de curado completo de la pala de aerogenerador.

Estas características del método y aparato para ensamblar un aerogenerador se pueden combinar en cualquier disposición sin apartarse del alcance de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Diversas características y ventajas adicionales de la invención llegarán a ser más evidentes para los expertos en la técnica tras la revisión de la siguiente descripción detallada de una o más realizaciones ilustrativas tomadas junto con los dibujos que se acompañan. Los dibujos que se acompañan, que se incorporan y constituyen una parte de esta especificación, ilustran una o más realizaciones de la invención y, junto con la descripción general dada anteriormente y la descripción detallada dada a continuación, sirven para explicar una o más realizaciones de la invención.

5 La Fig. 1 es una vista en perspectiva superior de una realización de una pala de aerogenerador con una membrana interna, que se puede producir usando el método y aparato para ensamblar una pala de aerogenerador de acuerdo con la invención;

10 La Fig. 2 es una vista frontal en sección transversal a través de una parte central de la pala de aerogenerador de la Fig. 1, que incluye la membrana interna;

15 La Fig. 3A es una vista lateral en sección transversal de una realización del aparato para ensamblar un aerogenerador de acuerdo con la invención, el aparato que incluye un molde con una primera y segunda mitades del molde, y esta vista que ilustra un primer paso de un método de ensamblaje en el que se han colocado materiales compuestos de fibra en ambas mitades del molde para formar las partes de armazón, y las partes del molde están en una posición abierta;

20 La Fig. 3B es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3A, que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que se coloca material adhesivo en un viga interna situada en una primera de las partes de armazón, para prepararse por ello para el ensamblaje de la primera parte de armazón con una membrana interna construida por separado;

La Fig. 3C es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3B. que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que la membrana interna se baja a su posición para ser adherida a la viga interna de la primera parte de armazón;

25 La Fig. 3D es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3C, que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que la membrana interna se une en su posición en la viga interna de la primera parte de armazón, con el material adhesivo que se cura, y se ha añadido material adhesivo adicional a un extremo libre superior de la membrana interna y al extremo superior de la primera parte de armazón;

30 La Fig. 3E es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3D, que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que la segunda mitad del molde se cierra en la parte superior de la primera mitad del molde para unir entre sí la primera y segunda partes de armazón mientras que también se unen el extremo libre superior de la membrana interna a una viga interna de la segunda parte de armazón;

35 La Fig. 3F es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3E, que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que se conecta una alfombrilla calefactora a la membrana interna adyacente al extremo libre superior con el propósito de curar previamente el material adhesivo que une la membrana interna a la segunda parte de armazón;

La Fig. 3G es una vista lateral en sección transversal del aparato de la Fig. 3F, que muestra un paso adicional del método de ensamblaje en el que el material adhesivo que une la primera y segunda partes de armazón se cura para finalizar el ensamblaje de la pala de aerogenerador con la membrana interna;

40 La Fig. 4A es una vista detallada del extremo libre superior de la membrana interna como se indica en el área rodeada con un círculo 4A en la Fig. 3F, que muestra detalles adicionales de la alfombrilla calefactora conectada a la membrana interna durante este paso del método de ensamblaje;

La Fig. 4B es una vista detallada del extremo libre superior de la membrana interna similar a la Fig. 4A, pero que muestra un paso del método de ensamblaje después de que se completa el curado previo del material adhesivo y después de que se extraiga la alfombrilla calefactora; y

45 La Fig. 5 es una vista en perspectiva superior de la pala de aerogenerador con una membrana interna de las Figs. 1 hasta 4B, que muestra detalles adicionales de la alfombrilla calefactora añadida durante el paso del método en la Fig. 3F en el que el material adhesivo en el extremo libre superior de la membrana interna se cura previamente, así como un ejemplo de un mecanismo de extracción de la alfombrilla calefactora.

Descripción detallada

50 Con referencia a las Figs. 1 hasta 5, una realización ejemplar de una pala de aerogenerador 10 que tiene al menos una membrana interna 12 y su método de ensamblaje correspondiente se muestran en detalle, de acuerdo con los principios de la invención. A este respecto, la pala de aerogenerador incluye un armazón externo 14 que define el perfil aerodinámico más exterior de la pala 10 y formado a partir de una primera parte de armazón externo 16 y una segunda parte de armazón externo 18. Para aumentar la resistencia y rigidez de la pala 10, la membrana interna 12

se une con la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 durante el ensamblaje de la pala 10. Ventajosamente, la unión adhesiva en una unión entre la membrana interna 12 y la segunda parte de armazón externo 18 se curan previamente mediante la aplicación de energía térmica localizada antes de que toda la pala 10 se cure completamente con energía térmica adicional, asegurando por ello que cualquier deformación térmica en la pala 10 que pueda ocurrir durante el curado completo no rompa la integridad de la unión adhesiva formada entre la membrana interna 12 y la segunda parte de armazón externo 18. El ensamblaje de la pala de aerogenerador 10 evita, por lo tanto, el potencial de cualquier deslaminación o vacío de adhesivo que de otro modo podría ocurrir en la membrana interna 12 y que podría conducir a un fallo estructural en la operación de un aerogenerador incluyendo la pala de aerogenerador 10.

La pala 10 ensamblada según esta realización mejora por lo tanto la fiabilidad de los aerogeneradores que usan la pala 10. Se apreciará que aunque solamente se muestra en las Figs. 1 hasta 5 una membrana interna 12 en forma de membrana de cizalla en forma de I, se puede ensamblar más de un refuerzo estructural o membrana con el armazón externo 14 de acuerdo con otras realizaciones dentro del alcance de esta invención. Asimismo, diferentes tipos de miembros de refuerzo estructural internos se pueden colocar y unir al armazón externo 14 usando los métodos descritos en la presente memoria para lograr las ventajas asociadas, sin apartarse del alcance de la invención.

Con referencia particular a las Figs. 1 y 2, se muestra en detalle una pala de aerogenerador 10 completamente ensamblada, la pala 10 que está ensamblada mediante el aparato y método de la invención descritos con más detalle a continuación. Con este fin, el armazón externo 14 de la pala 10 se muestra en la Fig. 1 como una pieza unitaria completamente curada, que se forma típicamente a partir de una unión adhesiva entre la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 visibles por separado en la sección transversal mostrada en la Fig. 2. El armazón externo 14 está formado principalmente por un material compuesto de fibras en esta realización, como se entiende bien en la técnica de la construcción de aerogeneradores. Cuando está completamente ensamblado como se muestra en estas Figuras, el armazón externo 14 define la forma o perfil aerodinámico más exterior de la pala 10, incluyendo una longitud del tramo longitudinal L_S medida entre un extremo de raíz 22 a ser conectado a un buje de rotor (no mostrado) de un aerogenerador y un extremo de punta 24 opuesto al extremo de raíz 22. El armazón externo 14 también define un borde delantero 26 y un borde trasero 28 de la pala 10, cada uno que se extiende entre el extremo de raíz 22 y el extremo de punta 24. Como se expone con más detalle a continuación, la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 se fabrican típicamente para ser unidas entre sí a lo largo de estos bordes delantero y trasero 26, 28, pero son posibles otras configuraciones de ensamblaje en otras realizaciones no ilustradas de la pala de aerogenerador 10.

La membrana interna 12 se conecta a la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 para extenderse a través de un espacio interior definido dentro del armazón externo 14, y definir por ello otro elemento estructural o conexión de estas primera y segunda partes de armazón externo 16, 18. Como se ha expuesto anteriormente, esta realización de la membrana interna 12 tiene generalmente una sección transversal en forma de I con un extremo superior 30 definido por un reborde superior 32, un extremo inferior 34 definido por un reborde inferior 36 y una parte de refuerzo central 38 que se extiende entre y que conecta el reborde superior 32 y el reborde inferior 36. La membrana interna 12, por lo tanto, proporciona la forma y apariencia de una viga en I cuando se coloca entre la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 como se muestra en las Figs. 1 y 2. La membrana interna 12 también se fabrica típicamente como una pieza separada antes del ensamblaje con la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18. La membrana interna 12 está formada por un material compuesto de fibras en esta realización, con o sin inserciones que mejoran la estructura o que definen la forma (no mostradas) que se pueden formar a partir de un compuesto de fibras u otros materiales conocidos.

Con referencia continua a las Figs. 1 y 2, la membrana interna 12 no se extiende a lo largo de una cantidad completa de la longitud del tramo longitudinal L_S definida por la pala de aerogenerador 10. No obstante, se cree que es ventajoso aumentar la rigidez estructural y la firmeza cerca del extremo de raíz 22 de la pala 10 y al menos a lo largo del 50 % o más de la longitud del tramo longitudinal L_S . Por consiguiente, la membrana interna 12 de esta realización define una primera longitud longitudinal L_w que es al menos la mitad, y preferiblemente al menos dos tercios o más de la longitud del tramo longitudinal L_S de la pala 10. Con este fin, la primera longitud longitudinal L_w de la membrana interna 12 se extiende a lo largo de la mayor parte de la longitud del tramo longitudinal L_S en esta realización de la pala de aerogenerador 10, como se muestra más claramente en línea de trazos en la Fig. 1. Se entenderá que la membrana interna 12 puede ser una pieza unitaria a lo largo de toda la longitud de la misma o se puede ensamblar a partir de varios segmentos colocados en una línea para formar toda la longitud de la membrana interna 12 sin apartarse del alcance de la invención. Como se describirá con más detalle a continuación, el curado previo de la unión adhesiva entre la membrana interna 12 y el armazón externo 14 puede ser necesario solamente a lo largo de una parte parcial de la primera longitud longitudinal L_w .

Como se muestra más claramente en la Fig. 2, el armazón externo 14 de la pala de aerogenerador 10 de esta realización también está dotado con vigas internas 40 opcional que se proyectan a lo largo de la longitud del tramo longitudinal L_S en el interior de la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18. Las vigas internas 40 se pueden formar a partir de un material compuesto de fibra o metálico, con las vigas internas 40 colocadas en ubicaciones donde una o más membranas internas 12 se conectarán a la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18. Las vigas internas 40 se usan para reforzar la estructura de la primera y segunda partes de armazón

externo 16, 18, como se entiende bien en la técnica de aerogeneradores. De este modo, en la realización mostrada en estas Figuras, el extremo superior 30 y el extremo inferior 34 de la membrana interna 12 están conectados o unidos directamente a estas vigas internas 40. Sin embargo, se apreciará que las vigas internas 40 se pueden omitir en otras realizaciones coherentes con la invención, en cuyo caso la unión adhesiva se formaría entre el material compuesto de fibras de la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 y la membrana interna 12. El material adhesivo 42 que une estos elementos entre sí también se muestra esquemáticamente en la Fig. 2 por el bien de la claridad.

Ahora volviendo con referencia a las Figs. 3A hasta 3G, se muestra una serie de pasos para un método de ensamblaje de la pala de aerogenerador 10 según una realización de la invención. El método incluye ventajosamente el curado previo del material adhesivo 42 a lo largo del extremo superior 30 de la membrana interna 12 para mantener la integridad de una unión adhesiva entre la membrana interna 12 y la segunda parte de armazón externo 18 durante los pasos restantes de curado, desmoldeo y acabado del ensamblaje de la pala de aerogenerador 10. Estos pasos del método también ilustran un aparato para ensamblar la pala de aerogenerador 10, de acuerdo con otro aspecto de esta descripción.

En la Fig. 3A, se muestra un primer paso del método de ensamblaje de acuerdo con esta realización. Se proporcionan un molde 50 y un mecanismo de elevación 52 en una superficie de suelo 54 de la instalación de producción. El molde 50 y el mecanismo de elevación 52 pueden ser elementos separados en algunas realizaciones, o estos elementos se pueden incorporar en un sistema de ensamblaje de una sola pala. La primera parte de armazón externo 16 está colocada en una primera mitad del molde 56 con el interior de la primera parte de armazón externo 16 que se enfrenta hacia arriba. Asimismo, la segunda parte de armazón externo 18 está colocada en una segunda mitad del molde 58 con el interior de la segunda parte de armazón externo 18 que se enfrenta hacia arriba. La primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 se construyen típicamente a partir de capas de material compuesto de fibras y se curan en estas primera y segunda mitades del molde 56, 58 (las cavidades en las mitades del molde 56, 58 definen por ello la forma o perfil aerodinámico de la pala 10 a ser ensamblada). Como se muestra en la Fig. 3A, las vigas internas 40 en cada una de la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 también se han incorporado en este primer paso del método de ensamblaje. En este estado curado, la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 están listas para ser ensambladas con la membrana interna 12 formada por separado para hacer la pala de aerogenerador 10.

Aunque la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 permanecen en el molde 50 en el que estos elementos se colocan y construyen inicialmente en el ejemplo mostrado en estas Figuras, se entenderá que la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 también se pueden retener durante estos pasos en otros dispositivos de retención, sin apartarse del alcance de esta invención. A este respecto, el mismo equipo para construir inicialmente las partes de armazón externo 16, 18 no necesita ser usado para el método de ensamblaje de esta invención, pero tal equipo se puede usar como se muestra para acelerar el proceso de fabricación de la pala.

Volviendo a la Fig. 3B, el método de ensamblaje continúa con la colocación de una línea de unión de material adhesivo 42 que se proporciona en la viga interna 40 de la primera parte de armazón externo 16. El material adhesivo 42 se puede dispensar automáticamente, aplicar manualmente o añadir a la viga interna 40 en la ubicación apropiada por cualquier otro método conocido. El material adhesivo específico puede variar en base a las preferencias del fabricante de la pala, pero cualquier adhesivo convencional usado para la construcción de palas de aerogenerador se puede usar de acuerdo con esta invención. El material adhesivo 42 permanece en un estado no curado en este paso en la Fig. 3B.

En un paso adicional mostrado en la Fig. 3C, el método de ensamblaje continúa colocando la membrana interna 12 en contacto con la línea de unión del material adhesivo 42 en la primera parte de armazón externo 16. Más particularmente, la membrana interna 12 se coloca con precisión por encima del material adhesivo 42 y luego se baja a su posición de modo que el reborde inferior 36 en el extremo inferior 34 de la membrana interna 12 enganche el material adhesivo 42 en la viga interna 40 de la primera parte de armazón externo 16. Esta colocación y bajada de la membrana interna 12 en la posición correcta se puede realizar automáticamente por un brazo de colocación 60 asociado con el mecanismo de elevación 52 como se muestra esquemáticamente en la Fig. 3C. Por supuesto, también se pueden usar mecanismos alternativos para colocar con precisión la membrana interna 12 como se desee. El mecanismo de elevación 52 puede continuar sujetando la membrana interna 12 en la posición deseada con el extremo inferior 34 en el material adhesivo 42 durante un paso de curado que se lleva a cabo también en este paso. El curado se puede hacer mediante la aplicación de energía térmica por la primera mitad del molde 56, en un ejemplo. Alternativamente, se puede usar un dispositivo calentador separado (no mostrado) para aplicar el calor necesario para curar el material adhesivo 42 y finalizar la unión o acoplamiento entre la membrana interna 12 y la primera parte de armazón externo 16. En realizaciones con múltiples membranas internas 12 en el interior de la pala del aerogenerador 10, todas las membranas internas 12 se colocarían y se curaría una unión adhesiva antes de pasar al siguiente paso.

Continuando con la Fig. 3D, el método de ensamblaje continúa luego aplicando una cantidad adicional del material adhesivo 42 a un extremo superior 30 de la membrana interna 12 y también a un borde delantero 62 y un borde trasero 64 definidos por los límites terminales de la primera parte de armazón externo 16. Una vez más, el material adhesivo 42 se puede dispensar automáticamente, aplicar manualmente o colocar de otro modo de otra manera

convencional en las líneas de unión mostradas. El material adhesivo 42 puede ser el mismo que el usado en los pasos anteriores del método, pero también puede definir diferentes formulaciones de adhesivos convencionales dependiendo de las preferencias del fabricante. El material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 forma una línea de enlace que se ha de conectar a la segunda parte de armazón externo 18, específicamente en la viga interna 40 de ese elemento en esta realización. De manera similar, el material adhesivo 42 en el borde delantero 62 de la primera parte de armazón externo 16 define otra línea de unión que se ha de unir con un borde delantero 66 de la segunda parte de armazón externo 18, para formar por ello el borde delantero 26 compartido de la pala de aerogenerador 10. El material adhesivo 42 en el borde trasero 64 de la primera parte de armazón exterior 16 define una línea de unión para unirse con un borde trasero 68 de la segunda parte de armazón externo 18, para formar por ello el borde trasero 28 compartido de la pala de aerogenerador 10. En resumen, la aplicación del material adhesivo 42 en un estado no curado pone la primera parte de armazón externo 16 y la membrana interna 12 completamente en su estado para el ensamblaje con la segunda parte de armazón externo 18.

Como se expone con más detalle a continuación, el material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se curará previamente aplicando energía térmica localizada en el reborde superior 32 de la membrana interna 12 durante este método de ensamblaje de la pala de aerogenerador 10. Antes de moverse al paso de la Fig. 3E, en el que la pala de aerogenerador 10 se ensambla además y la membrana interna 12 se encierra dentro del armazón externo 14, se puede desear acoplar de manera extraíble el dispositivo de calentamiento 72 (un ejemplo del cual se muestra en la Fig. 4A y se describe más adelante) usado para la función de curado previo en su posición en la membrana interna 12. Añadir el dispositivo de calentamiento 72 en esta etapa del método de ensamblaje es más fácil debido a que un operario no necesita trepar al interior de una pala 10 encerrada (o hacer un sistema automatizado que haga lo mismo) para prepararse para el paso de aplicación de energía térmica localizada. No obstante, la realización de esta instalación extraíble del dispositivo de calentamiento 72 se puede realizar después del siguiente paso, si se desea, y esa opción se muestra esquemáticamente en las Figs. 3A hasta 3G.

Volviendo a la Fig. 3E, el molde 50 se mueve a una posición cerrada donde la segunda mitad del molde 58 se hace girar para engancharse con y asentarse sobre la parte superior de la primera mitad del molde 56. Cuando este paso del método se lleva a cabo con las mitades del molde 56, 58 en las que se construyen y curan inicialmente la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18, la primera y segunda mitades del molde 56, 58 típicamente mantendrán de manera fiable estas partes en su posición durante el movimiento debido a que no ha habido ningún proceso de desmoldeo realizado para el armazón externo 14 en esta etapa del ensamblaje de pala. Independientemente de la estructura usada para mover la segunda parte de armazón externo 18, este paso de movimiento da como resultado que la segunda parte de armazón externo 18 se enganche a la primera parte de armazón externo 16 y la membrana interna 12 en cada una de las líneas de unión del material adhesivo 42 descritas anteriormente con respecto a la Fig. 3D. Más específicamente, el borde delantero 66 de la segunda parte de armazón externo 18 se une al borde delantero 62 de la primera parte de armazón externo 16 con material adhesivo 42 no curado; el borde trasero 68 de la segunda parte de armazón externo 18 se une al borde trasero 64 de la primera parte de armazón externo 16 con material adhesivo 42 no curado; y la viga interna 40 de la segunda parte de armazón externo 18 se une al extremo superior 30 de la membrana interna 12 con material adhesivo 42 no curado. Como se ve en la Fig. 3E, este paso encierra la membrana interna 12 dentro del armazón externo 14 de la pala de aerogenerador 10 que se ensambla.

En el siguiente paso del método de ensamblaje de la pala de aerogenerador 10 mostrada en la Fig. 3F, se realiza la aplicación de energía térmica localizada para curar previamente la línea de unión del material adhesivo 42 que conecta la viga interna 40 a la segunda parte de armazón externo 18. Con el fin de proporcionar este calentamiento localizado, el dispositivo de calentamiento 72 se debe acoplar de manera extraíble a la pala 10 en una ubicación próxima al material adhesivo 42 de esta línea de unión. Con el fin de describir mejor este dispositivo de calentamiento 72 y su operación, se hace referencia ahora a la Fig. 4A, que es una vista detallada del extremo superior 30 de la membrana interna 12 en el paso del método de la Fig. 3F.

La Fig. 4A muestra una realización del dispositivo de calentamiento 72 que se puede conectar temporalmente a la membrana interna 12 para realizar un calentamiento localizado de acuerdo con los métodos de la invención descritos en la presente memoria. El dispositivo de calentamiento 72 es una alfombrilla calefactora 72 generalmente flexible que está configurada para engancharse estrechamente con un lado inferior 74 del reborde superior 32 de la membrana interna 12 en ambos lados de la parte de refuerzo central 38. Con este fin, el reborde superior 32 define la primera y segunda partes de reborde 32a, 32b que se extienden en direcciones opuestas desde la parte de refuerzo central 38, con una parte del lado inferior 74 del reborde superior 32 formada por cada una de la primera y segunda partes de reborde 32a, 32b. La alfombrilla calefactora 72 en esta realización se envuelve alrededor de un extremo de raíz 76 (mostrado en la Fig. 5) de la membrana interna 12 de manera que pueda extenderse como una pieza unitaria a lo largo del lado inferior 74 del reborde superior 32 en ambos lados de la parte de refuerzo central 38. Se entenderá que la alfombrilla calefactora 72 se puede proporcionar alternativamente en múltiples partes en otras realizaciones, tales como una parte separada para cada lado de la parte de refuerzo central 38, sin apartarse del alcance de la invención. Aún en realizaciones adicionales, el calentamiento localizado se puede proporcionar adecuadamente por una alfombrilla calefactora 72 situada solamente a lo largo de una de las partes de reborde 32a, 32b sin apartarse del alcance de la invención en conjunto, pero por el bien de la ilustración, la construcción de tipo cinta unitaria de la alfombrilla calefactora 72 que se envuelve alrededor del extremo de raíz 76 de la membrana interna 12 se mostrará como realización ejemplar en las Figuras.

La alfombrilla calefactora 72 usada para el calentamiento localizado puede ser una alfombrilla calefactora laminada disponible para otros procesos y propósitos de fabricación. Tales alfombrillas calefactoras laminadas se accionan típicamente de manera eléctrica para proporcionar energía térmica a una temperatura de punto de ajuste controlada, que puede ser ajustable en base a la potencia de entrada u otros controles internos. En la Fig. 4A, un controlador 78 se muestra esquemáticamente en forma de caja negra y puede servir como el elemento que controla la temperatura que alcanza la alfombrilla calefactora 72 durante la operación de curado previo. Este puede ser el mismo controlador 78 de todo el aparato de ensamblaje, por ejemplo, el controlador 78 que también monitoriza y controla las funciones del molde 50 y/o el mecanismo de elevación 52. Por supuesto, diferentes tipos de dispositivos de calentamiento 72 se pueden usar en otras realizaciones siempre que el calentamiento localizado se proporcione a la funcionalidad de curado previo.

La alfombrilla calefactora 72 típicamente necesitará ser mantenida en su posición en el lado inferior 74 del reborde superior 32 y, con este propósito, se proporciona un dispositivo de sujeción 80 como se muestra en la Fig. 4A. El dispositivo de sujeción 80 en esta realización incluye una tira de sujeción rígida 82 que está configurada para seguir el contorno de la membrana interna 12 en la ubicación donde se ha de colocar la alfombrilla calefactora 72. El dispositivo de sujeción 80 también incluye una pluralidad de pasadores de cizalla 84 para conectar y mantener de manera extraíble el dispositivo de sujeción 80 en su posición con relación al reborde superior 32. Aunque solamente se muestran dos pasadores de cizalla 84 en la sección transversal de la Fig. 4A, se entenderá que se puede conectar una pluralidad de pasadores de cizalla 84 a la primera y segunda partes de reborde 32a, 32b a lo largo de la longitud de la tira de sujeción rígida 82. Los pasadores de cizalla 84 se extienden a través de la tira de sujeción rígida 82 en una ubicación justo más allá de donde se sitúa la alfombrilla calefactora 72 de manera que los pasadores de cizalla 84 se puedan perforar o accionar de otro modo hacia arriba para engancharse con el reborde superior 32 cerca de los extremos opuestos del reborde superior 32. Los pasadores de cizalla 84 se fabrican para mantener de manera fiable el acoplamiento de la tira de sujeción rígida 82 al reborde superior 32 durante cualquier operación de calentamiento o curado, pero los pasadores de cizalla 84 también están diseñados para romperse cuando se aplica una fuerza de extracción (mecánica) predeterminada a estos pasadores de cizalla 84. Eso permite la extracción de la alfombrilla calefactora 72 y el dispositivo de sujeción 80 como se expone a continuación.

La tira de sujeción rígida 82 de esta realización está formada preferiblemente por un material termoaislante. Más específicamente, la tira de sujeción rígida 82 está formada por un material de espuma que no conduce bien la energía térmica, y esto fuerza a que la energía térmica de la alfombrilla calefactora 72 se aplique al material adhesivo 42 como se desee. Cuando se fija en su posición con los pasadores de cizalla 84, la alfombrilla calefactora 72 se intercala entre la tira de sujeción rígida 82 y el lado inferior 74 del reborde superior 32, proporcionando por ello el contacto estrecho de la alfombrilla calefactora 72 con el contorno de la membrana interna 12 en esta ubicación. Con la energía térmica que se fomenta por el material termoaislante de la tira de sujeción rígida 82 que se mueva en la dirección opuesta, por ejemplo, a través del reborde superior 32, la energía térmica localizada se puede aplicar de una manera eficiente para dirigir el curado previo del material adhesivo 42 en esta línea de unión. Por supuesto, se pueden proporcionar otros tipos de materiales y disposiciones del dispositivo de sujeción 80, incluyendo mecanismos y métodos alternativos de acoplamiento de manera extraíble al reborde superior 32, siempre que la alfombrilla calefactora 72 esté todavía colocada con precisión para entregar la energía térmica localizada mientras que todavía se puede extraer de la pala de aerogenerador 10 terminada. Como se ha descrito anteriormente, la instalación extraíble de estos elementos en la membrana interna 12 puede ocurrir antes de cerrar la segunda parte de armazón externo 18 para que se enganche con la membrana interna 12 y la primera parte de armazón externo 16.

En una realización alternativa particular no mostrada en estas Figuras, la disposición del dispositivo de calentamiento 72 localizado se puede modificar de manera que el elemento de calentamiento 72 se acople directamente de una manera extraíble al reborde superior 32, por ejemplo, usando pasadores de cizalla 84 o un conector similar. En tales realizaciones, se pueden colocar elementos de transferencia de calor opcionales adicionales entre el dispositivo de calentamiento y el reborde 32 cuando sea necesario para asegurar un buen contacto de transferencia de calor entre estos elementos para mover el calor al material adhesivo 42 hasta el curado previo. De este modo, la apariencia en conjunto de tales realizaciones puede ser similar a la mostrada en la Fig. 4A, pero con los elementos en diferentes ubicaciones. Se entenderá que independientemente de la disposición estructural particular del dispositivo de calentamiento 72 localizado y los elementos asociados, este dispositivo se debe situar de modo que transfiera calor para curar previamente el material adhesivo 42 de acuerdo con los métodos de ensamblaje descritos en la presente memoria.

Habiendo descrito los elementos que realizan la función de curado previo en detalle, se hace referencia de nuevo a la Fig. 3F donde se muestra el siguiente paso del método de ensamblaje de la pala de aerogenerador 10. Con la alfombrilla calefactora 72 y el dispositivo de sujeción 80 en su posición sobre el reborde superior 32 como se muestra, el curado previo del material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se inicia accionando la alfombrilla calefactora 72. En un ejemplo, el controlador 78 está acoplado operativamente a la alfombrilla calefactora 72 como se muestra y controla el accionamiento y el calentamiento emitidos de la alfombrilla calefactora 72. La generación de calor se puede monitorizar por uno o más sensores de temperatura, tales como el termopar 86 acoplado operativamente al controlador 78 y mostrado esquemáticamente en la Fig. 4A. Se entenderán fácilmente otros sensores de temperatura y elementos de control que son aceptables en realizaciones alternativas de la invención.

Continuando con este ejemplo, se ha determinado por los inventores que establecer la alfombrilla calefactora 72 a una temperatura de salida de alrededor de 80 grados Celsius es suficiente para comenzar a curar el material adhesivo 42 en el reborde superior 32. Se usa el termopar 86 para controlar la temperatura en el material adhesivo 42, que se puede correlacionar mediante el controlador 78 usando métodos conocidos para identificar una cantidad o porcentaje de curado realizado en el material adhesivo 42. De este modo, en un ejemplo, el curado previo aplicado por la energía térmica localizada en la Fig. 3F se conduce hasta que el material adhesivo 42 alcanza un porcentaje establecido de curado completo, y este porcentaje establecido puede ser un curado parcial o un curado completo al 100 %. Se cree que un curado previo del material adhesivo 42 de al menos el 8 % o al menos el 10 % o al menos el 12 % (del curado completo) es suficiente para mantener la integridad de las uniones adhesivas cuando se aplica el curado completo con energía térmica en toda la pala de aerogenerador 10. A este respecto, el siguiente paso del método de ensamblaje descrito a continuación se inicia en una realización cuando la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se ha determinado por el controlador 78 que es un 8 %, o un 10 %, o un 12 % o más de un curado completo. Se entenderá que este siguiente paso se puede retrasar hasta que se alcance un porcentaje más alto de curado, incluyendo el 100 % en algunas realizaciones alternativas. En las realizaciones, el grado de curado del adhesivo de la línea de unión se puede monitorizar usando un termopar en o cerca del reborde de la membrana. Se puede monitorizar una lectura del termopar a lo largo del tiempo para generar un valor para un grado de curado.

Después de que el curado previo del material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se haya completado en un grado suficiente, como se monitoriza por el termopar 86 y el controlador 78, el método de ensamblaje de la pala de aerogenerador 10 continúa hasta el paso mostrado en la Fig. 3G. En esta parte del método, se aplica energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18, por ejemplo, la totalidad de la pala de aerogenerador 10, para curar completamente todo el material adhesivo 42 no curado restante, incluyendo las líneas de unión a lo largo del borde delantero 26 y el borde trasero 28 de la pala de aerogenerador 10. Si el curado previo del material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se detiene al 12 % o en algún otro valor menor que un curado completo, la energía térmica aplicada (mostrada esquemáticamente en la Fig. 3G por las ondas de calor 90) también cura completamente ese material adhesivo 42. Como se entiende en la técnica de la construcción de palas de aerogenerador, la energía térmica para el curado completo se puede proporcionar por la primera y segunda mitades del molde 56, 58, que están acopladas operativamente al controlador 78 para accionar este calentamiento, y/o mediante la entrega aire de cavidad calentado dentro del interior de la pala de aerogenerador 10 definido por el armazón externo 14. Este calentamiento de toda la pala de aerogenerador 10 cura todas las uniones adhesivas y conexiones de manera que la pala de aerogenerador 10 sea una construcción unitaria y sólida lista para el desmoldeo del molde 50, así como otros pasos de acabado e instalación.

Como se ha descrito brevemente anteriormente, durante este paso de proceso de curado completo de calentamiento de toda la pala de aerogenerador 10, la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 pueden deformarse térmicamente una pequeña cantidad como resultado de las temperaturas aplicadas. No obstante, como resultado de la conexión adhesiva que se cura previamente en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 (y se cura completamente en el extremo inferior 34 de la membrana interna 12), estas pequeñas deformaciones no causan una pérdida de integridad de las uniones formadas entre la membrana interna 12 y el armazón externo 14. A este respecto, los problemas de formación de vacíos de adhesivo y/o deslaminación en esta unión se evitan gracias al método de ensamblaje expuesto en las Figs. 3A hasta 3G. En consecuencia, la pala de aerogenerador 10 ensamblada con este método y aparato puede ser más fiable en la operación en campo que los diseños convencionales, disminuyendo cualquier carga de mantenimiento o sustitución para los operadores finales de aerogeneradores.

En la Fig. 3G, el reborde superior 32 se muestra con la alfombrilla calefactora 72 y el dispositivo de sujeción 80 ya extraídos antes de que comience el calentamiento de curado completo. No obstante, a menudo es la causa de que estos elementos no se extraigan hasta después de que se complete el curado completo, y tal vez incluso después del desmoldeo de la pala 10 del molde 50. Independientemente de cuándo ocurra esta extracción, el desensamblaje de estos elementos usados para el paso de curado previo del método de ensamblaje se puede realizar de la siguiente manera.

Con referencia a las Figs. 4B y 5, la alfombrilla calefactora 72 y/o el dispositivo de sujeción 80 incluyen además un mecanismo de extracción para hacer la extracción de estos componentes temporales fácil para el personal de ensamblaje. En el ejemplo mostrado en la Fig.5, este mecanismo de extracción está definido por una línea 92 conectada con un extremo longitudinal (no mostrado) de la alfombrilla calefactora 72, que está situada en la longitud del tramo de la pala de aerogenerador 10 lejos del extremo de raíz 22. La línea 92 se puede definir por un cable, un cordón o cualquier otro dispositivo que sea capaz de resistir el calor aplicado durante los pasos de curado previo y curado del método de ensamblaje. Cuando se desea extraer la alfombrilla calefactora 72 y la tira de sujeción rígida 82 del reborde superior 32, se tira de la línea 92 con una fuerza de extracción mecánica que sea suficiente para romper o cizallar la pluralidad de pasadores de cizalla 84 que acoplan de manera extraíble la tira de sujeción rígida 82 al reborde superior 32 de la membrana interna 12. La alfombrilla calefactora 72 y el dispositivo de sujeción 80 están diseñados para no romperse cuando se aplican tales fuerzas mecánicas, lo que permite que toda la fuerza sea transferida para romper la conexión extraíble en los pasadores de cizalla 84 previamente descritos. Continuar tirando de la línea 92 hará que la alfombrilla calefactora 72 y el dispositivo de sujeción 80 se extraigan secuencialmente a lo largo de sus longitudes longitudinales desde el interior de la pala de aerogenerador 10. Estos elementos se pueden

reconfigurar luego con nuevos pasadores de cizalla 84 para su uso durante la construcción de la siguiente pala de aerogenerador 10. Los extremos rotos 94 de los pasadores de cizalla 84 permanecen alojados en las partes más exteriores del reborde superior 32 de la membrana interna 12 siguiendo el proceso de extracción, como se muestra más claramente en la Fig. 4B, pero esto no afecta de ninguna manera significativa la integridad estructural de los componentes de la pala de aerogenerador.

También como se muestra en la Fig. 5, incluso aunque la línea de unión definida por el material adhesivo 42 en el extremo superior 30 de la membrana interna 12 se extiende a lo largo de la totalidad de la primera longitud longitudinal L_w de la membrana interna 12, el curado previo se realiza típicamente solamente a lo largo de una región de curado previo 98 que se extiende a lo largo de una parte parcial de la primera longitud longitudinal L_w . Por ejemplo, la región de curado previo 98 se muestra en línea discontinua en la Fig. 5 y define una longitud de curado previo L_{PC} de alrededor de la mitad de la primera longitud longitudinal L_w . La región de curado previo 98 se limita en longitud y se mantiene en y cerca del extremo de raíz 76 de la membrana interna 12 debido a que esta es la región de sección transversal más grande del armazón externo 14 y la ubicación donde las deformaciones inducidas térmicamente durante el curado tienden a ser más frecuentes en la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18. Con este fin, las partes más gruesas de la primera y segunda partes de armazón externo 16, 18 son más propensas a la deformación térmica y la tensión, por lo que esta es la región donde el curado previo puede ayudar a evitar cualquiera de los problemas potenciales que, de otro modo, se pueden causar con las uniones adhesivas durante el proceso de curado completo. Por lo tanto, con el fin de limitar la longitud de la alfombrilla calefactora 72 y el proceso de curado previo a las áreas donde el curado previo es más importante o beneficioso, la realización del método y aparato mostrados en estas Figuras aplica la alfombrilla calefactora 72 y la energía térmica localizada de curado previo solamente a lo largo de la región de curado previo 98 como se muestra.

Por supuesto, se entenderá que en realizaciones adicionales dentro del alcance de esta invención, la longitud de la región de curado previo 98 se puede modificar, incluso en la extensión completa de la primera longitud longitudinal L_w , a condición de que se desee por un fabricante de palas de aerogenerador. Las diversas modificaciones descritas a lo largo de esta especificación a la realización ejemplar mostrada en las Figuras se pueden usar en cualquier combinación para lograr diferentes realizaciones del aparato y método, incluyendo el curado previo ventajoso de la unión adhesiva entre la membrana interna 12 y la segunda parte de armazón externo 18.

Aunque la presente invención se ha ilustrado mediante la descripción de diversas realizaciones de la misma, y aunque las realizaciones se han descrito con considerable detalle, no se pretende restringir o limitar de ninguna forma el alcance de las reivindicaciones adjuntas a tal detalle. De este modo, las diversas características tratadas en la presente memoria se pueden usar solas o en cualquier combinación, incluyendo con cualquier tipo de pala de aerogenerador con estructuras de refuerzo internas. A los expertos en la técnica les parecerán evidentes ventajas y modificaciones adicionales. La invención en sus aspectos más amplios no se limita, por lo tanto, a los detalles específicos y los ejemplos ilustrativos mostrados y descritos. Por consiguiente, se pueden hacer desviaciones de tales detalles sin apartarse del alcance del concepto inventivo general.

REIVINDICACIONES

1. Un método de ensamblaje de una pala de aerogenerador (10) que incluye una primera y segunda partes de armazón externo (16, 18) y una membrana interna (12), el método que comprende:
- 5 acoplar un extremo inferior (34) de la membrana interna (12) con la primera parte de armazón externo (16);
- aplicar un material adhesivo (42) a un extremo superior (30) de la membrana interna (12) y a los bordes (62, 64) de la primera parte de armazón externo (16);
- enganchar la segunda parte de armazón externo (18) con los bordes (62, 64) de la primera parte de armazón externo (16) y con el extremo superior (30) de la membrana interna (12) para encerrar la membrana interna (12) dentro de la primera y segunda partes de armazón externo (16, 18);
- 10 caracterizado por:
- aplicar energía térmica localizada al material adhesivo (42) en el extremo superior (30) de la membrana interna (12) para curar previamente el material adhesivo (42) y unir por ello el extremo superior (30) de la membrana interna (12) con la segunda parte de armazón externo (18); y
- 15 después de curar previamente el material adhesivo (42) en el extremo superior (30) de la membrana interna (12), aplicar energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo (16, 18) para curar el material adhesivo (42) en los bordes (62, 64) de la primera parte de armazón externo (16) y unir entre sí por ello la primera y segunda partes de armazón externo (16, 18).
2. El método de la reivindicación 1, en donde la membrana interna incluye un reborde que define el extremo superior y aplicar energía térmica localizada al material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna comprende además:
- 20 poner en contacto una alfombrilla calefactora con un lado inferior del reborde en el extremo superior de la membrana interna; y
- operar la alfombrilla calefactora para suministrar la energía térmica localizada al reborde y calentar por ello el material adhesivo para curar previamente el material adhesivo.
- 25 3. El método de la reivindicación 2, en donde poner en contacto una alfombrilla calefactora con el lado inferior del reborde comprende además:
- acoplar de manera extraíble una tira de sujeción rígida con el reborde para asegurar la alfombrilla calefactora entre la tira de sujeción y el lado inferior del reborde en el extremo superior de la membrana interna, preferiblemente en donde dicha tira de sujeción rígida está formada por un material termoaislante de manera que la energía térmica se dirija principalmente a través del reborde al material adhesivo durante la operación de la alfombrilla calefactora.
- 30 4. El método de la reivindicación 3, en donde acoplar de manera extraíble la tira de sujeción rígida con el reborde comprende además:
- conectar la tira de sujeción rígida al reborde con una pluralidad de pasadores de cizalla que se extienden dentro del reborde, los pasadores de cizalla que están configurados para romperse cuando se aplica una fuerza de extracción predeterminada a la tira de sujeción rígida.
- 35 5. El método de la reivindicación 4, que comprende además:
- tirar de una línea conectada con un extremo longitudinal de la alfombrilla calefactora para aplicar la fuerza de extracción predeterminada y romper por ello los pasadores de cizalla para tirar de la tira de sujeción rígida y la alfombrilla calefactora para desengancharla del reborde después de curar previamente el material adhesivo.
- 40 6. El método de cualquiera de las reivindicaciones 2 hasta 5, en donde el reborde incluye una primera y una segunda partes opuestas que se extienden en direcciones opuestas desde una parte de refuerzo central de la membrana interna y poner en contacto la alfombrilla calefactora con el lado inferior del reborde comprende además:
- 45 envolver la alfombrilla calefactora alrededor de un extremo de raíz de la membrana interna de manera que la alfombrilla calefactora se extienda a lo largo del lado inferior del reborde tanto en la primera como en la segunda partes del reborde.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la primera y segunda partes de armazón externo definen una longitud del tramo longitudinal de la pala de aerogenerador, la membrana interna define una primera longitud longitudinal que se extiende a lo largo de la mayor parte de la longitud del tramo, y la aplicación de

energía térmica localizada ocurre solamente a lo largo de una región de curado previo que incluye un extremo de raíz de la membrana interna y que se extiende a lo largo de una parte parcial de la primera longitud longitudinal.

8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además:

- 5 monitorizar una temperatura de curado previo del material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna durante la aplicación de energía térmica localizada; y
- determinar la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna en base a la temperatura de curado previo.

9. El método de la reivindicación 8, que comprende además:

- 10 iniciar el paso de aplicación de energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo cuando la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna se ha determinado que alcanza al menos el 12 % de un curado completo.

10. El método de la reivindicación 8, que comprende además:

- 15 iniciar el paso de aplicación de energía térmica a la primera y segunda partes de armazón externo cuando la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna se ha determinado que alcanza alrededor del 100 % de un curado completo.

11. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde el acoplamiento de un extremo inferior de la membrana interna con la primera parte de armazón externo comprende además:

- aplicar un material adhesivo a la primera parte de armazón y colocar el extremo inferior de la membrana interna en contacto con el material adhesivo en la primera parte de armazón; y
- 20 curar el material adhesivo entre la primera parte de armazón y el extremo inferior de la membrana interna antes de aplicar un material adhesivo al extremo superior de la membrana interna y a los bordes de la primera parte de armazón externo.

12. Un aparato para ensamblar una pala de aerogenerador (10) que incluye una primera y segunda partes de armazón externo (16, 18) y una membrana interna (12), el aparato que comprende:

- 25 un molde (50) que incluye una primera y segunda mitades de molde (56, 58) que definen superficies en las que se ensamblan la primera y segunda partes de armazón externo (16, 18), la primera y segunda mitades de molde (56, 58) que se pueden mover entre posiciones abiertas y cerradas y que están configuradas para aplicar energía térmica para curar un material adhesivo (42) en la pala de aerogenerador (10);
- 30 un dispositivo de calentamiento (72) localizado dimensionado para su colocación adyacente a un extremo superior (30) de la membrana interna (12) y configurado para aplicar energía térmica localizada para curar previamente un material adhesivo (42) en el extremo superior (30) de la membrana interna (12) para unir la membrana interna (12) a una de la primera y segunda partes de armazón externo (16, 18);
- un dispositivo de sujeción (80) que se puede enganchar de manera extraíble con el extremo superior (30) de la membrana interna (12) para colocar el dispositivo de calentamiento (72) localizado adyacente al extremo superior (30); y
- 35 un controlador (78) conectado operativamente al molde (50) y al dispositivo de calentamiento (72) localizado, el controlador (78) que está programado para operar el dispositivo de calentamiento (72) localizado para curar previamente el material adhesivo en el extremo superior (30) de la membrana interna (12) antes de operar una aplicación de energía térmica con el molde (50).

40 13. El aparato de la reivindicación 12, en donde el dispositivo de calentamiento localizado comprende además:

 una alfombrilla calefactora flexible configurada para seguir el contorno del extremo superior de la membrana interna cuando se coloca adyacente al extremo superior de la membrana interna.

14. El aparato de la reivindicación 12 o 13, en donde el dispositivo de sujeción comprende además:

- 45 una tira rígida de material termoaislante que incluye una pluralidad de pasadores de cizalla configurados para extenderse en conexión con el extremo superior de la membrana interna para intercalar el dispositivo de calentamiento localizado entre la membrana interna y la tira rígida de material termoaislante.

15. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 12 hasta 14, que comprende además:

 un sensor de temperatura conectado al controlador y colocado para monitorizar la temperatura de curado previo del material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna durante la aplicación de energía térmica

localizada, de manera que el controlador pueda determinar la cantidad de curado que ha ocurrido en el material adhesivo en el extremo superior de la membrana interna en base a la temperatura de curado previo.

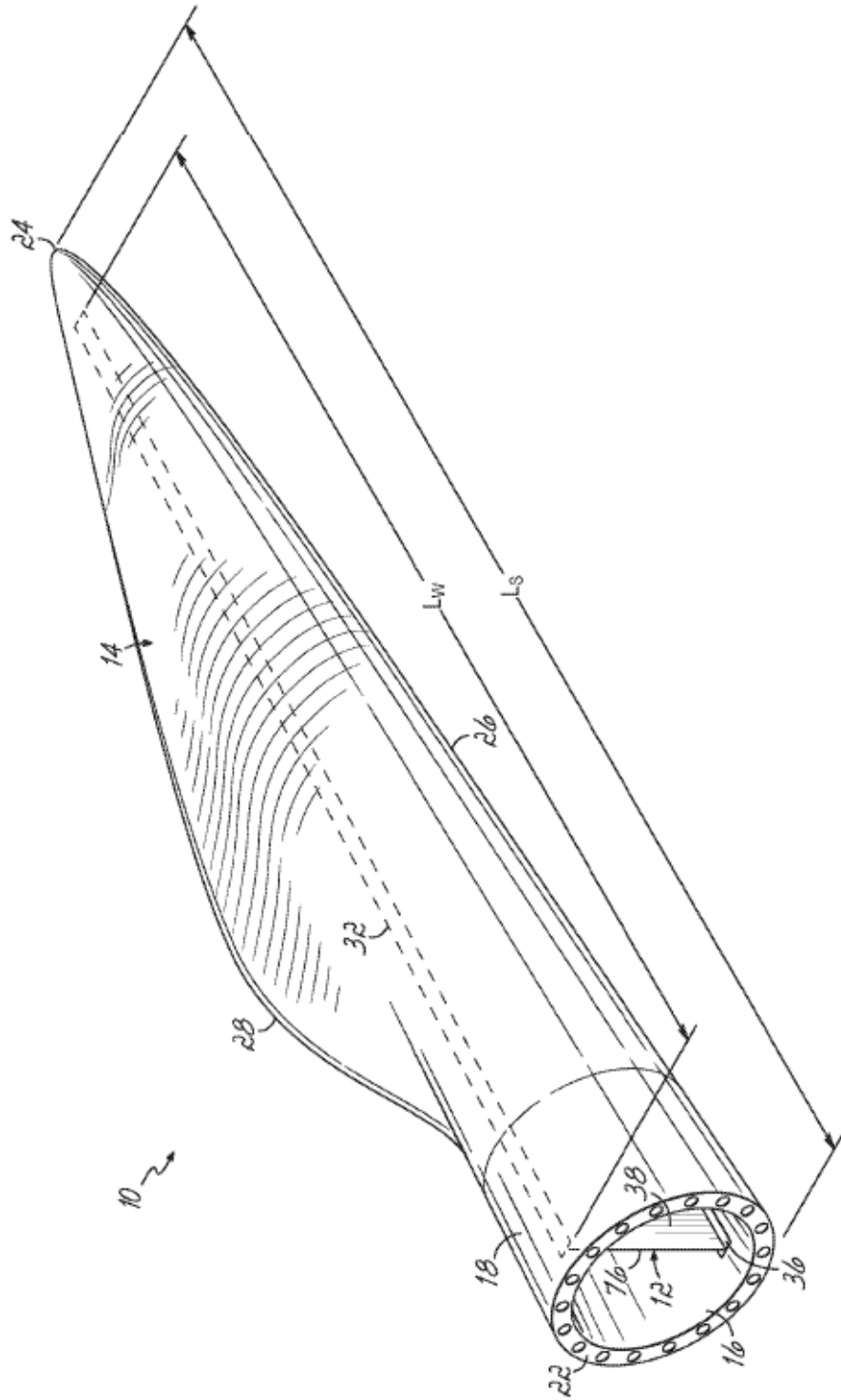


FIG. 1

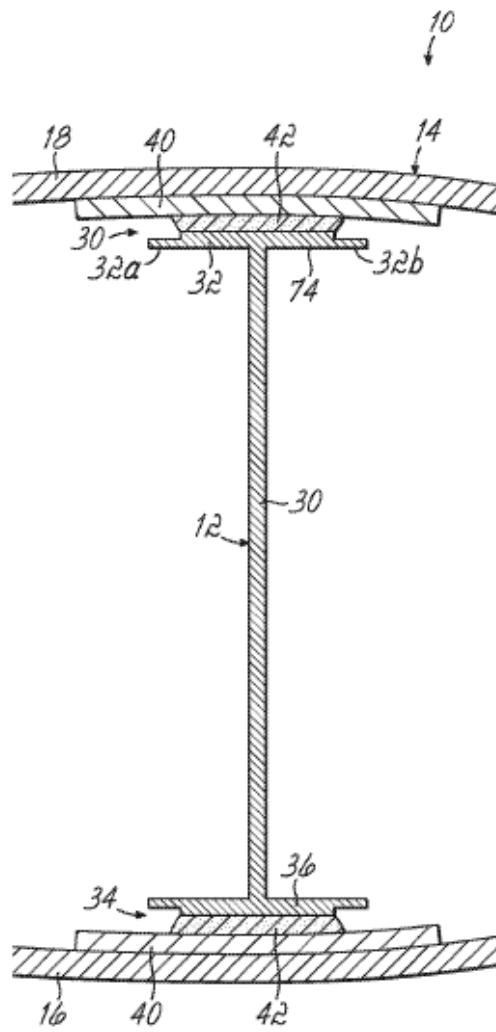


FIG. 2

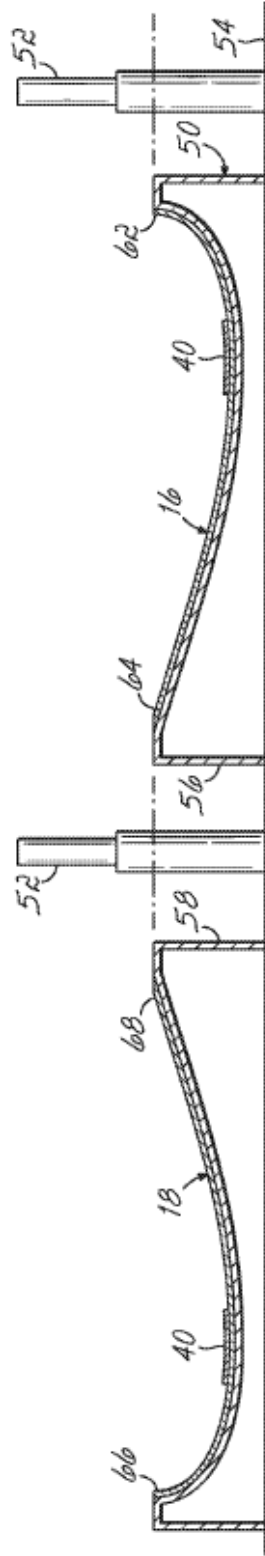


FIG. 3A

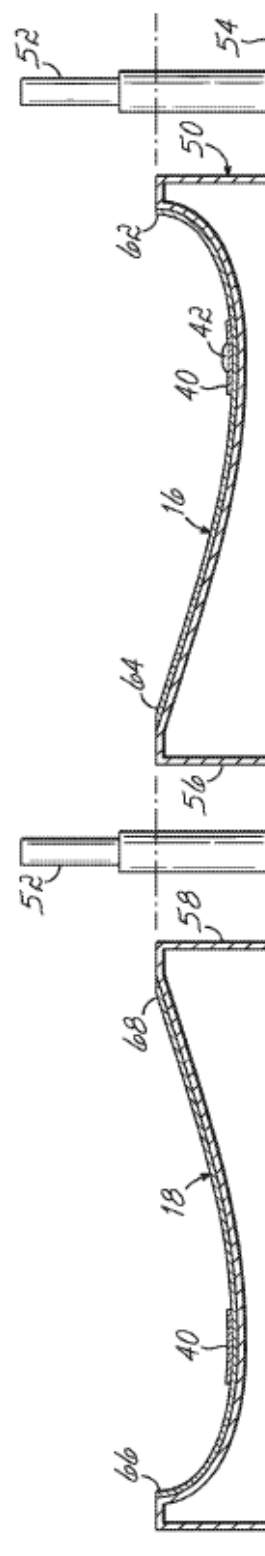


FIG. 3B

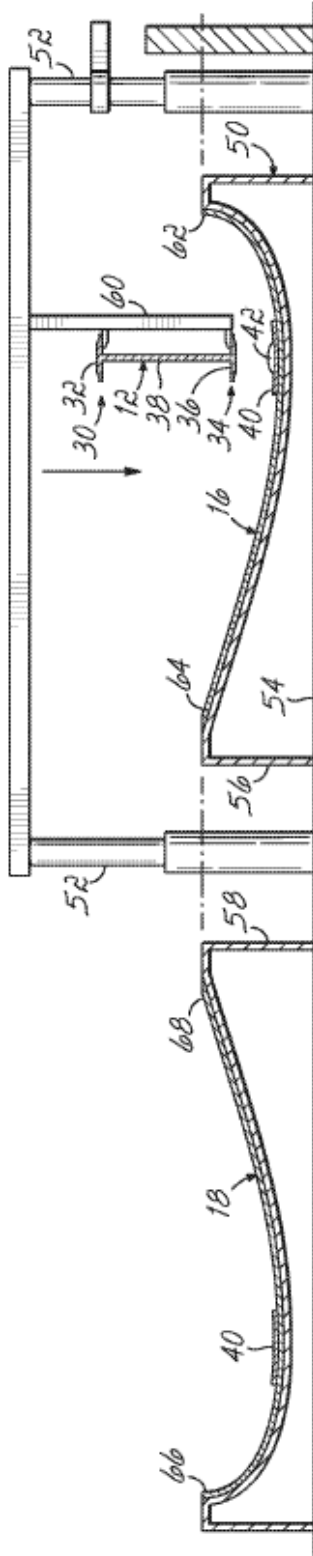


FIG. 3C

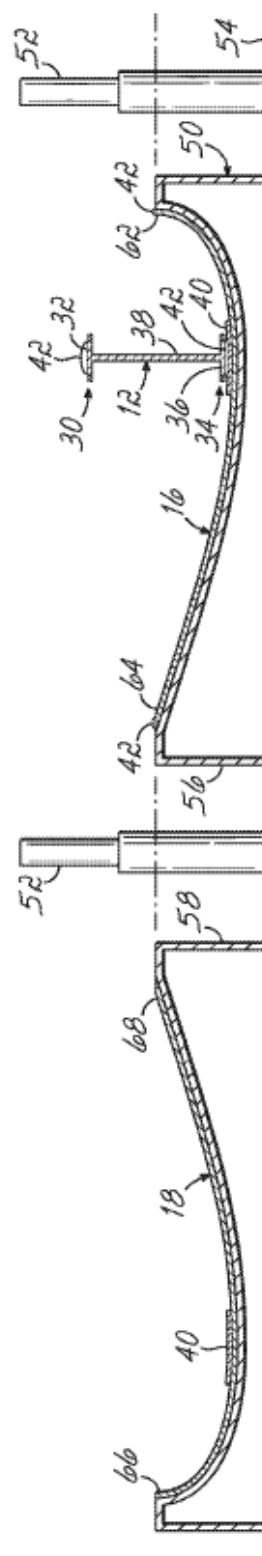


FIG. 3D

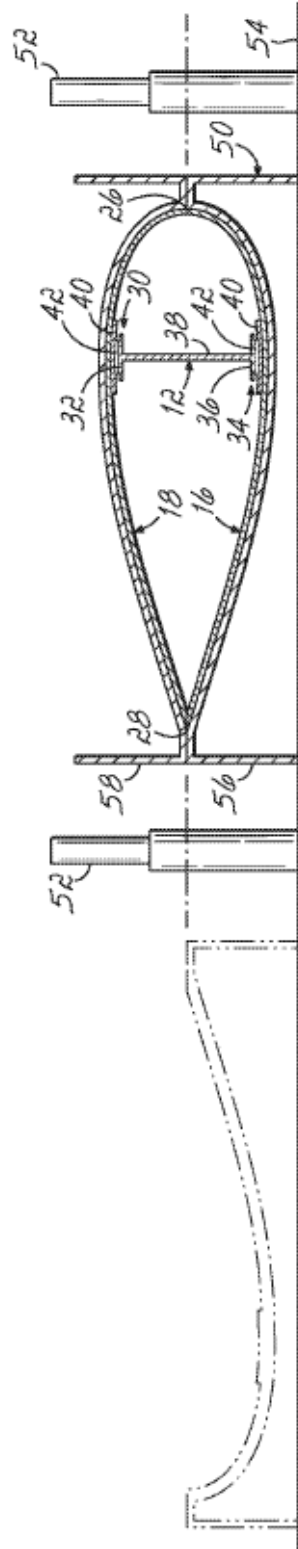


FIG. 3E

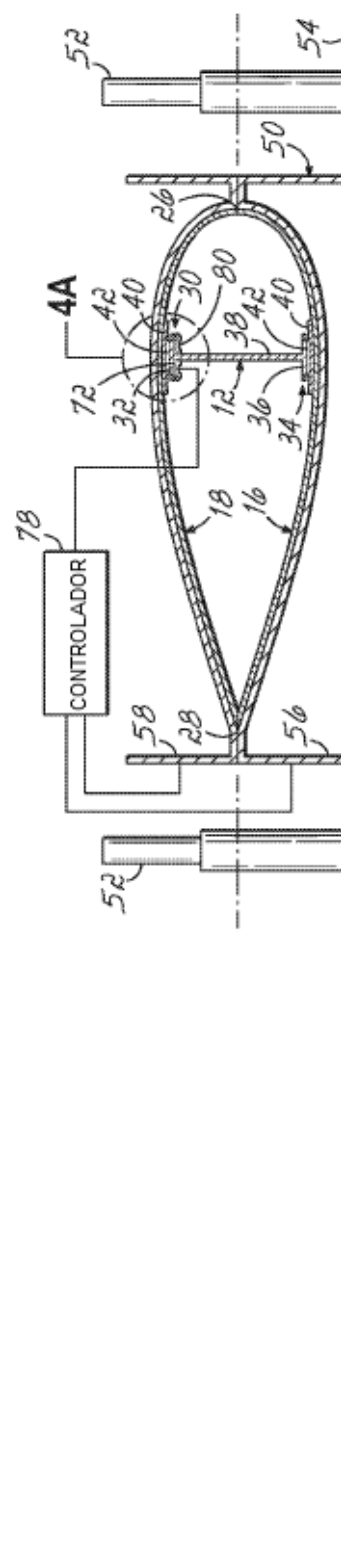


FIG. 3F

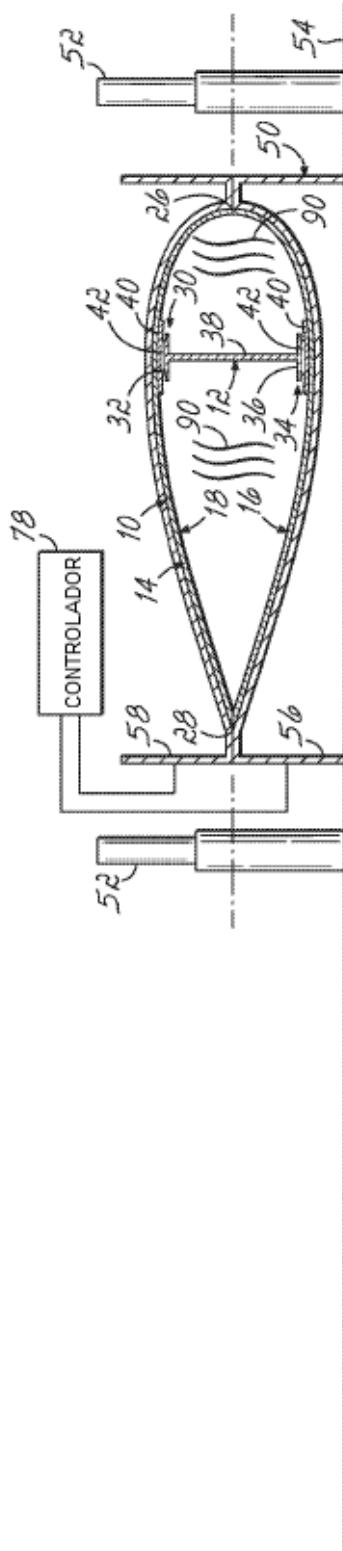
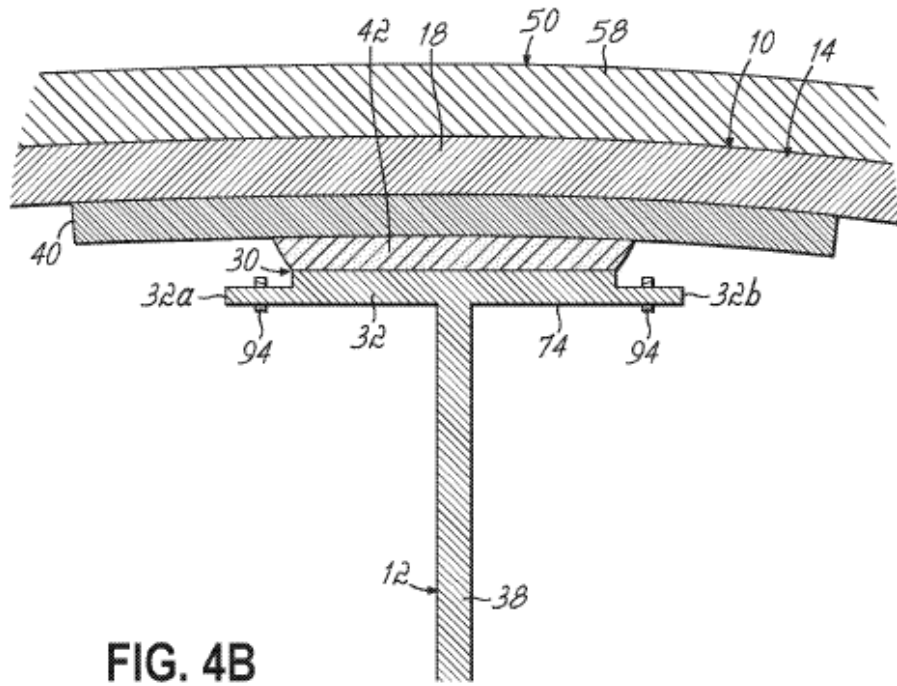
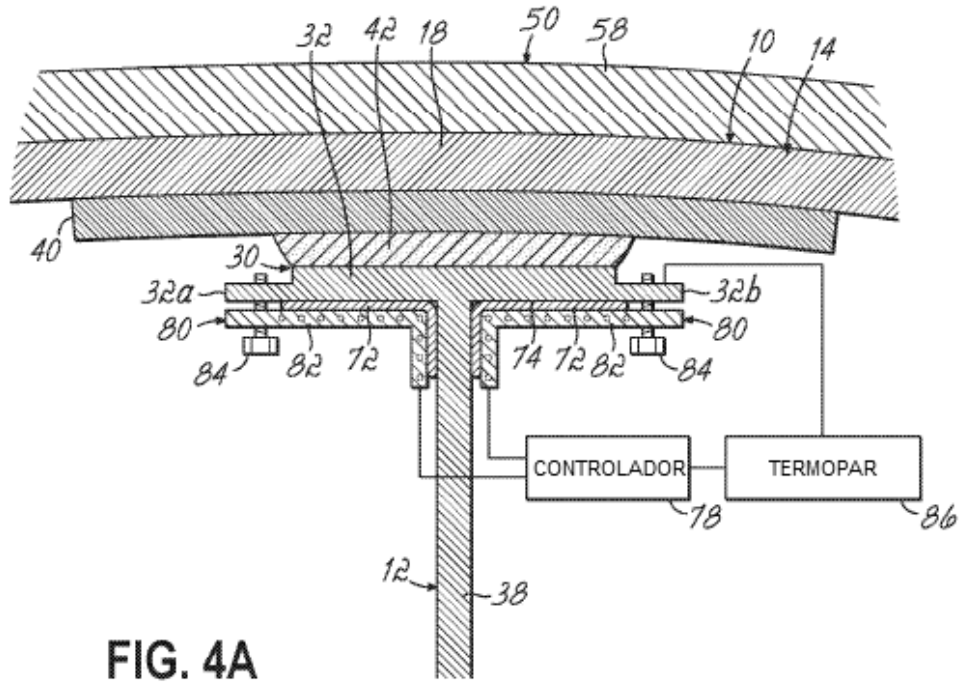


FIG. 3G



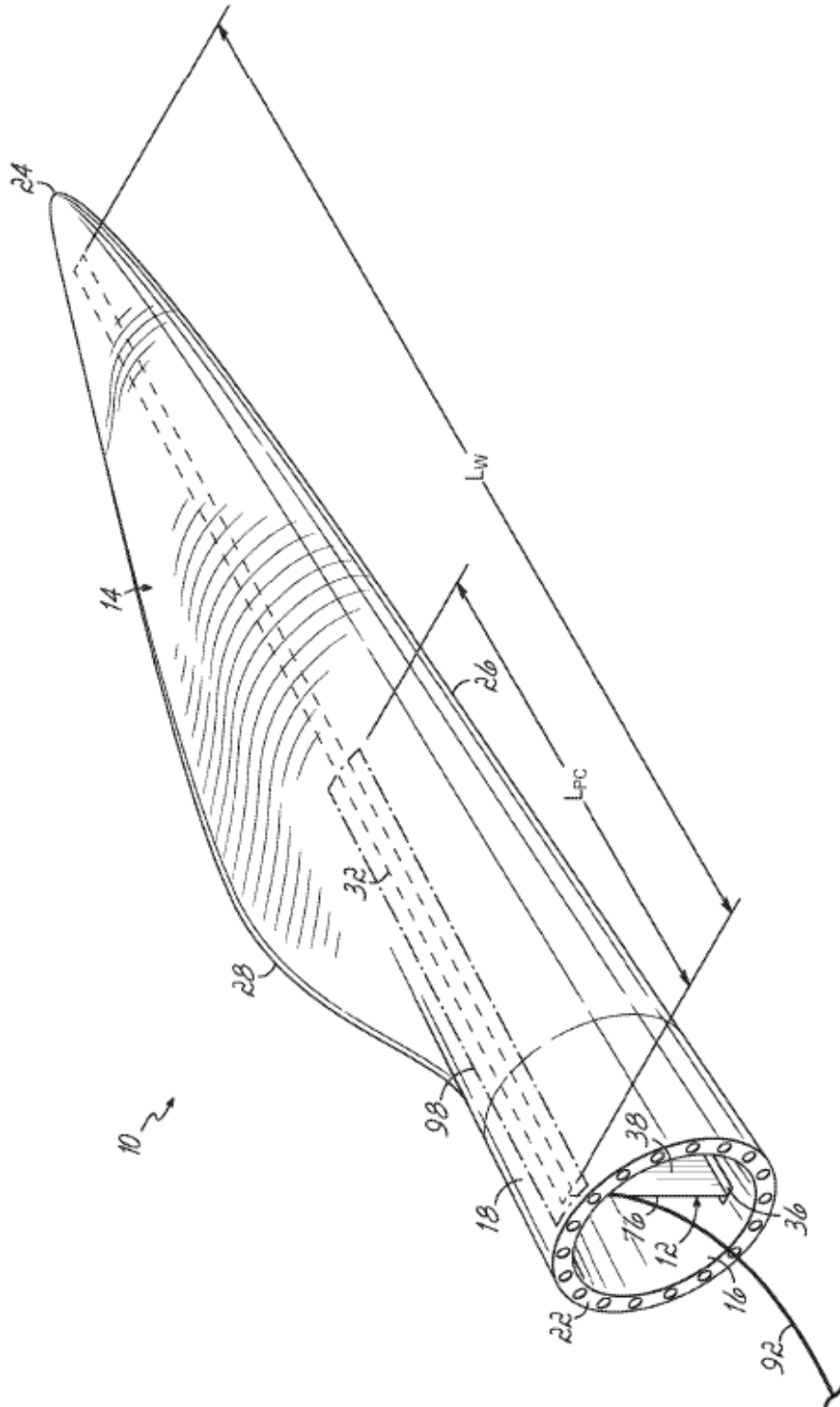


FIG. 5