

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 681 876**

51 Int. Cl.:

<b>B29C 45/02</b>	(2006.01) <b>B29L 31/08</b>	(2006.01)
<b>B29C 45/14</b>	(2006.01) <b>F01D 5/28</b>	(2006.01)
<b>B29C 45/17</b>	(2006.01) <b>F03D 1/06</b>	(2006.01)
<b>B29C 65/02</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/34</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/48</b>	(2006.01)	
<b>B29C 65/00</b>	(2006.01)	
<b>B29K 101/12</b>	(2006.01)	
<b>B29K 105/20</b>	(2006.01)	
<b>B29K 705/00</b>	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.07.2016** **E 16179721 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018** **EP 3121441**

54 Título: **Conjunto de raíz de pala de rotor para una turbina eólica**

30 Prioridad:

**22.07.2015 US 201514805842**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**17.09.2018**

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)  
1 River Road  
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**CARUSO, CHRISTOPHER DANIEL;  
YARBROUGH, AARON A;  
HYNUM, DANIEL ALAN y  
TOBIN, JAMES ROBERT**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 681 876 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**

Conjunto de raíz de pala de rotor para una turbina eólica

La presente materia objeto se refiere en general a turbinas eólicas y, más particularmente, a un conjunto de raíz de pala de rotor para una turbina eólica.

5 La energía eólica se considera una de las más limpias, más medioambientalmente amigables fuentes de energía actualmente disponibles, y las turbinas eólicas han obtenido una creciente atención en este sentido. Una turbina eólica moderna incluye típicamente una torre, un generador, una caja de engranajes, una góndola, y un rotor. El rotor se acopla a la góndola e incluye un buje rotativo que tiene una o más palas de rotor. Las palas de rotor se conectan al buje por una raíz de pala. Las palas de rotor capturan la energía cinética del viento usando conocidos principios aerodinámicos y convierten la energía cinética en energía mecánica a través de la energía de rotación para girar un árbol de acoplamiento de las palas del rotor a una caja de engranajes o, si no se usa la caja de engranajes, directamente al generador. El generador convierte entonces la energía mecánica en energía eléctrica que puede distribuirse a una red de servicio público.

10 El tamaño particular de las palas del rotor es un factor significativo que contribuye a la capacidad global de la turbina eólica. Concretamente, el incremento en la longitud o envergadura de la pala de rotor puede conducir en general a un incremento global en la producción de energía de una turbina eólica. En consecuencia, los esfuerzos para incrementar el tamaño de las palas de rotor ayudan al continuo crecimiento de la tecnología de la turbina eólica y a la adopción de la energía eólica como una fuente de energía alternativa y comercialmente competitiva. Dichos incrementos en el tamaño de la pala del rotor, sin embargo, pueden imponer cargas crecientes sobre diversos componentes de la turbina eólica. Por ejemplo, palas de rotor mayores pueden experimentar tensiones incrementadas en la conexión entre la raíz de la pala y el buje, conduciendo a exigentes restricciones de diseño, caracterizadas tanto por eventos extremos como por requisitos de vida útil de fatiga.

15 Muchas palas de rotor utilizan inserciones de pernos de raíz para reducir las tensiones en la interfaz raíz de pala-buje. Véanse, por ejemplo, los documentos WO 2012/140039 y WO 2012/140048. Dichas inserciones de pernos de raíz pueden producirse usando una variedad de procesos, incluyendo pero sin limitarse a pultrusiones. Un planteamiento común es infundir inserciones de pernos de raíz con tejidos y mechas para proporcionar un sustrato laminado mediante el que pueden usarse infusiones posteriores para unir de modo efectivo la inserción en los laminados de la raíz de la pala. Pueden usarse perfiles redondos, cuadrados, trapezoidales, o similares, aunque el número de insertos de perno de raíz requeridos frecuentemente deja un espacio entre insertos que debe llenarse con una mezcla de vidrio y resina. Este procedimiento implica el corte de muy pequeñas tiras de vidrio y la colocación de las tiras manualmente en la raíz de la pala y usar a continuación un proceso típico de infusión en vacío. Dicho procedimiento puede requerir mucho trabajo y frecuentemente da como resultado una pobre calidad de laminado de los laminados entre las inserciones de pernos de raíz.

20 Por ello, existe una necesidad de un conjunto de raíz de pala de rotor mejorado que acometa los problemas anteriormente mencionados. En consecuencia, sería ventajoso un conjunto de raíz de pala de rotor que reduzca el tiempo del ciclo de trabajo y mejore la calidad del laminado.

Diversos aspectos y ventajas de la invención se expondrán en parte en la siguiente descripción o, pueden aclararse en la descripción o se pueden aprender a través de la práctica de la invención.

La presente invención se define por las reivindicaciones adjuntas.

25 Varias características, aspectos y ventajas de la presente invención se soportarán y describirán mejor con referencia a la descripción siguiente y reivindicaciones adjuntas. Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran realizaciones de la invención y, junto con la descripción, sirven para explicar los principios de la invención. En los dibujos:

30 La FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 2 ilustra una vista en perspectiva de una realización de una pala de rotor de una turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 3 ilustra una vista ampliada de una realización de una cara del extremo de un conjunto de raíz de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención;

35 La FIG. 4 ilustra una vista ampliada de otra realización de una cara del extremo de un conjunto de raíz de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención;

La FIG. 5 ilustra una vista ampliada de otra realización más de una cara del extremo de un conjunto de raíz de una pala de rotor de acuerdo con la presente invención;

La FIG. 6 ilustra una vista detallada de una zona de un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de

acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 7 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un inserto de raíz para un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

5 La FIG. 8 ilustra una vista en perspectiva de una realización de un separador para un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 9 ilustra una vista en sección transversal del separador de la FIG. 6 a lo largo de la línea 7-7;

La FIG. 10 ilustra una vista en perspectiva de una zona de un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

10 La FIG. 11 ilustra una vista ampliada de otra realización de una zona de un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente invención;

La FIG. 12 ilustra una vista detallada de una zona de un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 13 ilustra una vista en perspectiva de otra realización de un inserto de raíz para un conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

15 La FIG. 14 ilustra un diagrama de flujo de un procedimiento para la fabricación de un conjunto de raíz para una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación;

La FIG. 15 ilustra una vista en perspectiva de un molde de concha usado durante el procedimiento de fabricación del conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, ilustrando particularmente la capa exterior colocada sobre el molde de la concha;

20 La FIG. 16 ilustra una vista en perspectiva de un molde de concha usado durante el procedimiento de fabricación del conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, ilustrando particularmente la capa exterior, los insertos de raíz, y los separadores colocados sobre el molde de la concha;

25 La FIG. 17 ilustra una vista en perspectiva de un molde de concha usado durante el procedimiento de fabricación del conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, ilustrando particularmente los insertos de raíz y los separadores sujetos al molde de la concha a través de una brida extraíble; y

30 La FIG. 18 ilustra una vista en perspectiva de un molde de concha usado durante el procedimiento de fabricación del conjunto de raíz de una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con la presente divulgación, ilustrando particularmente los insertos de raíz y los separadores entre las capas interior y exterior de material composite antes de la infusión.

35 Ahora se hará referencia en detalle a las formas de realización de la invención, de las que se ilustran uno o más ejemplos en los dibujos. Cada ejemplo se proporciona a modo de explicación de la invención, no de limitación de la invención. Por ejemplo, las características ilustradas o descritas como parte de una forma de realización se pueden usar con otra forma de realización para dar lugar a otra forma de realización más. Por ello, se pretende que la presente invención cubra tales modificaciones y variaciones que entran dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas.

40 Generalmente, la presente divulgación se dirige a un conjunto de raíz para una pala de rotor de una turbina eólica y a procedimientos de fabricación del mismo. El conjunto de raíz incluye una sección de raíz de pala que tiene una superficie de pared lateral interior y una superficie de pared lateral exterior separadas por un espacio radial, una pluralidad de insertos de raíz circunferencialmente espaciados dentro del espacio radial, y opcionalmente una pluralidad de separadores configurados entre uno o más de los insertos de raíz. Además, la sección de raíz de la pala puede construirse, al menos en parte, a partir de un material termoplástico o un material termoestable. Además, cada uno de los insertos de raíz incluye al menos un orificio taladrado rodeado por un material composite previamente curado o previamente consolidado, por ejemplo un material termoplástico o un material termoestable.

45 Más aún, los separadores pueden construirse también de un material composite previamente curado o previamente consolidado, por ejemplo un material termoplástico o un material termoestable. Más específicamente, los materiales termoplásticos y/o termoestables pueden reforzarse con fibras o mechas de vidrio o carbono.

50 La presente divulgación proporciona muchas ventajas no presentes en la técnica anterior. Por ejemplo, el conjunto de raíz de la presente divulgación proporciona una calidad de laminado mejorada entre los insertos de raíz, por ejemplo debido a la combinación de componentes termoestables y/o termoplásticos. Además, el conjunto de raíz de la presente divulgación permite el uso de insertos de raíz en palas de rotor termoplásticas así como termoestables. Además, puede reducirse el consumo de resina en el procedimiento de infusión principal de la concha de las palas del rotor, reduciendo de ese modo los costes globales de fabricación. Además, puede reducirse el trabajo requerido para colocar los insertos de raíz y/o los separadores dentro del molde de la concha en comparación con el uso de

tejidos secos para llenar el volumen. Más aún, los insertos de raíz fabricados por pultrusión permiten reducciones significativas en el tiempo de ciclo de fabricación en comparación con el uso de configuraciones de perno en T y/o manguitos de tuerca.

5 Haciendo referencia ahora a los dibujos, la FIG. 1 ilustra una vista en perspectiva de una turbina eólica 10 de eje horizontal. Debería apreciarse que la turbina eólica 10 puede ser también una turbina eólica de eje vertical. Como se muestra en la realización ilustrada, la turbina eólica 10 incluye una torre 12, una góndola 14 montada sobre la torre 12 y un buje 18 del rotor que se acopla a la góndola 14. La torre 12 puede fabricarse a partir de acero tubular u otro material adecuado. El buje 18 del rotor incluye una o más palas 16 del rotor acopladas y extendiéndose radialmente al exterior desde el buje 18. Como se muestra, el buje 18 del rotor incluye tres palas 16 del rotor. No obstante, en una realización alternativa, el buje 18 del rotor puede incluir más o menos que tres palas 16 del rotor. Las palas 16 del rotor hacen rotar el buje 18 del rotor para permitir que la energía cinética sea transferida desde el viento a energía mecánica utilizable y, posteriormente, energía eléctrica. Concretamente, el buje 18 puede acoplarse rotativamente a un generador eléctrico (no ilustrado) situado dentro de la góndola 14 para producción de energía eléctrica.

15 Con referencia a la FIG. 2, una de las palas 16 del rotor de la FIG. 1 se ilustra de acuerdo con aspectos de la presente materia objeto. Como se muestra, la pala 16 del rotor incluye en general un conjunto 30 de raíz que tiene una sección 32 de raíz de la pala que se configura para montarse o sujetarse en otra forma al buje 18 (FIG. 1) de la turbina eólica 10. Además, la sección 34 de punta de la pala se dispone en oposición a la sección 32 de raíz de la pala. Una concha 21 del cuerpo de la pala del rotor se extiende en general entre la sección 32 de raíz de la pala y la sección 34 de punta de la pala a lo largo de un eje longitudinal 24. La concha 21 del cuerpo puede servir en general como la carcasa/cubierta exterior de la pala 16 del rotor y puede definir un perfil sustancialmente aerodinámico, como tal mediante la definición de una sección transversal con forma aerodinámica simétrica o en combadura. La concha 21 del cuerpo puede definir también un lado de presión 36 y un lado de succión 38 que se extienden entre extremos 26, 28 de ataque y salida de la pala 16 del rotor. Además, la pala 16 del rotor puede tener también una envergadura 23 que define la longitud total entre la sección 32 de raíz de la pala y la sección 34 de punta de la pala y una cuerda 25 que define la longitud total entre el borde 26 de ataque y el borde 28 de salida. Como se entiende en general, la cuerda 25 puede variar en general en longitud con respecto a la envergadura 23 cuando la pala 16 del rotor se extiende desde la sección 32 de raíz de la pala a la sección 34 de punta de la pala.

20 En varias realizaciones, la concha 21 del cuerpo de la pala 16 del rotor puede formarse como un componente simple, unitario. Como alternativa, la concha 21 del cuerpo puede formarse a partir de una pluralidad de componentes o segmentos de concha. Adicionalmente, la concha 21 del cuerpo puede formarse en general a partir de cualquier material adecuado. Por ejemplo, en una realización, la concha 21 del cuerpo puede formarse totalmente a partir de un material composite laminado, tal como un composite laminado reforzado con fibra de carbono o un composite laminado reforzado con fibra de vidrio. Como alternativa, una o más zonas de la concha 21 del cuerpo pueden configurarse como una construcción en capas y pueden incluir un material de núcleo, formado a partir de un material ligero tal como madera (por ejemplo, de balsa), espuma (por ejemplo, espuma de poliestireno extrudido) o una combinación de dichos materiales, dispuestos entre capas de material composite laminado.

30 La pala 16 del rotor puede incluir también uno o más componentes estructurales extendidos longitudinalmente configurados para proporcionar una rigidez incrementada, resistencia al pandeo y/o resistencia para la pala 16 del rotor. Por ejemplo, la pala 16 del rotor puede incluir un par de cabezas 20, 22 de larguero que se extienden longitudinalmente configuradas para engancharse contra superficies interiores en oposición de los lados 34, 36 de presión y succión de la pala 16 del rotor, respectivamente. Adicionalmente, pueden disponerse en una o más almas de conexión (no mostradas) entre las cabezas 20, 22 de larguero de modo que formen una configuración similar a una viga. Las cabezas 20, 22 de larguero pueden diseñarse en general para controlar las tensiones de tracción y/u otras cargas que actúan sobre la pala 16 del rotor en una dirección generalmente en el sentido de la envergadura (una dirección paralela a la envergadura 23 de la pala 16 del rotor) durante la operación de una turbina eólica 10. De forma similar, las cabezas 20, 22 de larguero pueden diseñarse también para soportar la compresión en el sentido de la envergadura que tiene lugar durante la operación de la turbina eólica 10.

40 Con referencia ahora a las FIGS. 3-13 se ilustran diversas vistas y/o componentes de múltiples realizaciones del conjunto 30 de raíz de acuerdo con la presente divulgación. Más específicamente, como se muestra, el conjunto 30 de raíz incluye una sección 32 de raíz de pala que tiene una cara 33 extrema con una sección transversal sustancialmente anular definida por una superficie 40 de pared lateral inferior y una superficie 42 de pared lateral exterior. Además, como se muestra en general en las figuras, las superficies 40, 42 de pared lateral interior y exterior están separadas por un espacio 44 radial. Además, en ciertas realizaciones, la sección 32 de raíz de la pala puede construirse de un primer material composite. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el primer material composite puede incluir un material termoplástico o un material termoestable. Además, los materiales termoestables o termoplásticos de la sección 32 de raíz de la pala pueden reforzarse con una o más fibras, incluyendo pero sin limitarse a fibras o mechas de vidrio o carbono.

50 Además, como se muestra, el conjunto 30 de raíz incluye también una pluralidad de insertos 46 de raíz circunferencialmente espaciados dentro del espacio 44 radial y opcionalmente una pluralidad de separadores 52 (FIGS. 4-6 y 8-13) configurados entre uno o más de los insertos 46 de raíz. Más aún, cada uno de los insertos 46 de

raíz incluye al menos un orificio taladrado o casquillo 48 rodeado por un segundo material 50 composite. Por ejemplo, como se muestra en las FIGS. 3 y 4, cada uno de los insertos 46 de raíz incluye un casquillo 48 simple rodeado por el segundo material 50 composite. Como alternativa, como se muestra en la FIG. 5, uno o más de los insertos 46 de raíz puede incluir una pluralidad de casquillos 48 rodeados por un segundo material 50 composite.

5 Más específicamente, en ciertas realizaciones, el (los) casquillo(s) 48 puede(n) incluir un casquillo metálico curado dentro y rodeado por el segundo material 50 composite. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el segundo material composite (como el primer material composite) puede incluir un material termoplástico o un material termoestable. Además, como se ha mencionado, los materiales termoestables o termoplásticos pueden reforzarse con una o más fibras, incluyendo pero sin limitarse a fibras o mechas de vidrio o carbono.

10 Más específicamente, en ciertas realizaciones, el segundo material composite puede ser diferente del primer material composite. Por ejemplo, el primer material composite puede ser un material termoestable, mientras que el segundo material composite puede ser un material termoplástico. En realizaciones alternativas, el primer material composite puede ser un material termoplástico, mientras que el segundo material composite puede ser un material termoestable. En aún otras realizaciones, tanto el primer como el segundo materiales composites pueden ser  
15 materiales termoplásticos. Además, los separadores 52 tal como se describen en el presente documento pueden construirse, al menos en parte, de un material 54 composite previamente consolidado o previamente curado, por ejemplo un material termoplástico o un material termoestable.

Los materiales termoplásticos tal como se describen en el presente documento engloban en general un material plástico o polímero que es de naturaleza reversible. Por ejemplo, los materiales termoplásticos típicamente se  
20 convierten en plegables o moldeables cuando se calientan hasta una cierta temperatura y solidifican tras el enfriamiento. Además, los materiales termoplásticos pueden incluir materiales termoplásticos amorfos y materiales termoplásticos semicristalinos. Por ejemplo, algunos materiales termoplásticos amorfos pueden incluir en general, pero no están limitados a estirenos, vinilos, celulosas, poliésteres, acrílicos, polisulfonas, y/o imidas. Más específicamente, los materiales termoplásticos amorfos de ejemplo pueden incluir poliestireno, acrilonitrilo butadieno  
25 estireno (ABS), metacrilato de polimetilo (PMMA), tereftalato de polietileno glicosilado (PET-G), policarbonato, acetato de polivinilo, poliamida amorfa, cloruro de polivinilo (PVC), cloruro de polivinilideno, poliuretano, o similares. Además, ejemplos de materiales termoplásticos semicristalinos pueden incluir en general, pero sin limitarse a poliolefinas, poliamidas, fluoropolímero, acrilato de etilo-metileno, poliésteres, policarbonatos y/o acetales. Más específicamente, ejemplos de materiales termoplásticos semi-cristalinos pueden incluir tereftalato de polibutileno  
30 (PBT), tereftalato de polietileno (PET), polipropileno, sulfuro de polifenilo, polietileno, poliamida (nilón), poli(éter-cetona), o similares. Además, los materiales termoestables como se describen en el presente documento engloban en general un material plástico o polímero que es de naturaleza no reversible. Por ejemplo, los materiales termoestables, una vez curados, no pueden volverse a moldear fácilmente o devolverse a un estado líquido. Como tal, después de la formación inicial, los materiales termoestables son en general resistentes al calor, la corrosión, y/o  
35 fatiga. Los ejemplos de materiales termoestables pueden incluir en general, pero sin limitación, algunos poliésteres, algunos poliuretanos, ésteres, epoxis, formaldehído de melamina, formaldehído de urea, o similares.

Además, en ciertas realizaciones, los insertos 46 de raíz y/o los separadores 52 pueden fabricarse por pultrusión a partir de uno o más materiales composite, respectivamente. Como se usa en el presente documento, los términos  
40 "pultrudido", "pultrusiones", o similares engloban en general materiales reforzados (por ejemplo, fibras o hebras tejidas o trenzadas) que se impregnan con una resina y se depositan a través de un troquel fijo de modo que la resina cure o se someta a polimerización. Como tal, el procedimiento de fabricación de elementos por pultrusión se caracteriza típicamente por un procedimiento continuo de materiales composite- que produce piezas compuestas que tienen una sección transversal constante. Por ello, los materiales composite pueden incluir pultrusiones  
45 construidas de materiales termoestables o termoplásticos reforzados con vidrio o carbono. Además, los insertos 46 de raíz y/o los separadores 52 pueden formarse de los mismos materiales composite o de diferentes materiales composite. Además, los componentes por pultrusión pueden producirse a partir de mechas, que engloban en general agrupaciones largas y estrechas de fibras que no se combinan hasta que se unen mediante una resina curada.

En realizaciones particulares, como se muestra en las FIGS. 8 y 9, los separadores 52 pueden incluir también un material 58 del núcleo. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el material 58 del núcleo puede incluir un material ligero  
50 tal como madera (por ejemplo, de balsa), espuma (por ejemplo, espuma de poliestireno extrudido) o una combinación de dichos materiales. Más específicamente, el material 58 del núcleo puede incluir un material de espuma de baja densidad. Como tal, el material 58 del núcleo se configura para ocupar un espacio que en otro caso se llenaría con material de fibra y/o resina durante el procedimiento de pultrusión. Por ello, en ciertas realizaciones, el material 58 del núcleo puede configurarse para llenar espacio suficiente en el separador de pultrusión para  
55 permitir un curado suficiente a todo lo largo del separador 52.

Con referencia particularmente a las FIGS. 6-10, los insertos 46 de raíz y/o los separadores 52 pueden incluir cada uno bordes 45, 53 laterales, respectivamente, de modo que cuando los insertos 46 de raíz y los separadores 52 se disponen en el conjunto 30 de raíz (FIGS. 6 y 10), los bordes 45, 53 laterales se alinean sustancialmente y están  
60 enrasados para formar primera y segunda superficies 55, 56 continuas. Más específicamente, la pluralidad de insertos 46 de raíz puede incluir cualquier forma 60 de sección transversal adecuada. Por ejemplo, como se muestra en las FIGS. 5-8, la forma 60 de sección transversal del inserto 46 de raíz puede ser un cuadrado, un rectángulo, un círculo, o similar. Más específicamente, como se muestra en las FIGS. 4-10, la forma 60 de sección transversal de

los insertos 46 de raíz es sustancialmente cuadrada. Como alternativa, como se muestra en las FIGS. 11-13, la forma 60 de sección transversal de los insertos 46 de raíz es sustancialmente circular. En realizaciones adicionales, la pluralidad de separadores 52 puede incluir también cualquier forma 62 de sección transversal adecuada. Por ejemplo, como se muestra en las FIGS. 4-10, la forma 62 de sección transversal de los separadores puede corresponder a la forma 60 de sección transversal de la pluralidad de insertos 46 de raíz de modo que los insertos y separadores puedan alinearse conjuntamente en el espacio 44 radial. Además, los insertos 46 de raíz y separadores 52 pueden dimensionarse de modo que sigan la curvatura del espacio 44 radial. Como alternativa, como se muestra en las FIGS. 11-13, la forma 62 de sección transversal de los separadores 52 puede incluir una forma de reloj de arena en general que corresponde a la forma 60 de sección transversal circular de los insertos 46 de raíz. Por ejemplo, como se muestra en la realización ilustrada, los bordes 53 laterales de los separadores 52 pueden ser cóncavos de modo que los bordes reciban los insertos 46 de raíz en ellos.

En realizaciones adicionales, como se muestra en la FIG. 6, el conjunto 30 de raíz puede incluir también un agente 64 adhesivo configurado dentro del espacio 44 radial, por ejemplo, entre las diversas superficies entre los insertos 46 de raíz y/o separadores 52. Por ello, el agente 64 adhesivo se configura para favorecer la adhesión superficial y/o la transferencia de resina a todo lo largo del conjunto 30 de raíz durante el procedimiento de fabricación. Más específicamente, en realizaciones particulares, el agente 64 adhesivo puede incluir una estera de fibra troceada (CFM), una película plástica bi-axialmente estirada, un tejido de vidrio tridimensional, o similares. Por ello, en realizaciones adicionales, el conjunto 30 de raíz puede formarse a través de al menos una infusión en vacío, moldeado por transferencia de resina (RTM), moldeado por transferencia de resina (RTM) ligera, moldeado por transferencia de resina ayudado por vacío (VARTM), o similar, que se explican con más detalle a continuación.

Con referencia ahora a la FIG. 14, se ilustra un diagrama de flujo de una realización de un procedimiento 100 de fabricación de un conjunto 30 de raíz para una pala 16 de rotor de una turbina eólica 10. Como se muestra en 102, el procedimiento 100 incluye la colocación de la capa 42 exterior de material composite dentro del molde 66 de la concha de una sección 32 de la raíz de la pala 16 del rotor para formar una superficie 42 de pared lateral exterior del conjunto 30 de raíz, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 15. Más específicamente, la capa 42 exterior de material composite puede incluir un revestimiento de material termoplástico que puede reforzarse opcionalmente con fibras de vidrio o carbono. Por ello, el procedimiento 100 puede incluir el tendido de uno o más estratos (por ejemplo fibras de vidrio o carbono) en el molde 66 de la concha que se extienden desde la cara 33 del extremo de la sección 32 de raíz de la pala hacia la sección 34 de punta de la pala. Además, los estratos se tienden típicamente en el molde de modo que se extiendan desde el borde 26 de ataque al borde 28 de salida de la pala 16 del rotor. Los estratos pueden entonces difundirse conjuntamente, por ejemplo, a través de un material termoplástico. Además, como se muestra, el molde 66 de la concha puede incluir una primera semiconcha 68 y segunda semiconcha (no mostrada). Como tal, el procedimiento 100 puede incluir la formación de una primera sección de pala a través de la primera semiconcha 68, la formación de una segunda sección de pala a través de la segunda semiconcha, y la unión de la primera y segunda secciones de pala conjuntamente, por ejemplo a través de un adhesivo. Debería entenderse que cada sección de pala puede formarse a través de etapas del procedimiento tal como se ha descrito en el presente documento.

Por ello, como se muestra en 104, el procedimiento 100 puede incluir también la colocación de una pluralidad de insertos 46 en la parte superior de la capa 42 exterior, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 16. En realizaciones particulares, como se muestra en la FIG. 17, cada inserto 46 de raíz puede colocarse en el molde y a continuación atornillarse a una brida 68 extraíble que puede retirarse en un momento posterior. Como se ha mencionado, los insertos 46 de raíz pueden construirse de un material termoplástico o uno termoestable. Además, como se muestra en 106, el procedimiento 100 puede incluir opcionalmente la colocación de una pluralidad de separadores 52 entre uno o más de la pluralidad de insertos 46 de raíz, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 16. Debería entenderse que los separadores 52 pueden colocarse dentro del molde de la concha simultáneamente con los insertos 46 de raíz, por ejemplo mediante la colocación alternativamente del separador 52, a continuación un inserto 46, y así sucesivamente. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el procedimiento 100 puede incluir la colocación de al menos un separador 52 adyacente a un inserto 46 instalado y a continuación la colocación posteriormente de otro inserto 52 sobre el otro lado del inserto 46 instalado y el atornillado de separadores 52 a la brida 68 extraíble. En otras palabras, la etapa de colocación de la pluralidad de insertos 46 de raíz en la parte superior de la capa 42 exterior y colocación de la pluralidad de separadores 52 entre uno o más de la pluralidad de insertos 46 de raíz puede incluir el conjunto de los insertos 46 y/o los separadores 52 en la brida 68 extraíble, que se configura para mantener la posición de los insertos 46 y/o los separadores 52 durante la infusión. Por ejemplo, como se muestra, los insertos 46 y los separadores 52 pueden montarse en la brida extraíble a través de una o más fijaciones 70.

Debería entenderse que cualquier disposición de insertos de raíz a separadores puede usarse en el conjunto 30 de raíz. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el conjunto 30 de raíz puede incluir insertos 46 de raíz solamente como se muestra en la FIG. 3. Como alternativa, el procedimiento 100 para ensamblar el conjunto 30 de raíz puede incluir variar el número de insertos 46 de raíz y separadores 52 basándose en las concentraciones de carga en el conjunto 30 de raíz. Más específicamente, la disposición de los insertos de raíz a separadores puede personalizarse de modo que el número de insertos 46 de raíz se incremente en áreas de mayores concentraciones de carga (por ejemplo, la parte de la raíz más próxima a las cabezas 20, 22 de larguero). Como tal, en ciertas realizaciones, el número de insertos 46 de raíz puede incrementarse o disminuirse basándose en las concentraciones de carga variables en el conjunto 30 de raíz. En una realización adicional, como se muestra en las FIGS. 4, 11 y 16, el procedimiento 100

5 puede incluir la colocación de al menos un separador 52 entre cada uno de los insertos 46 de raíz de modo que los insertos 46 de raíz estén uniformemente espaciados. Dicha realización proporciona una separación igual de los insertos 46 para adaptar la pala 16 del rotor al mínimo número de pernos requeridos sin tener que sobredimensionar la raíz de la pala debido a la geometría estándar del inserto 46. Como alternativa, como se muestra en la FIG. 5, el procedimiento 100 puede incluir la colocación de los separadores 52 entre los insertos 46 de raíz aleatoriamente.

10 En realizaciones adicionales, el procedimiento 100 puede incluir también la preparación de una o más superficies 45, 53 de los insertos 46 de raíz y/o los separadores 52 (o las superficies 40, 42 de pared lateral interior y exterior) de modo que mejore la adhesión de las superficies durante la infusión y/o favorezca la transferencia de resina durante la infusión. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, la etapa de preparar una o más superficies puede incluir proporcionar un agente 64 adhesivo entre una o más de las superficies, el picado de una o más de las superficies, o similares.

15 Además, como se ha mencionado, el procedimiento 100 puede incluir también la formación de insertos 46 de raíz y/o los separadores 52 usando cualesquiera procesos de fabricación adecuados. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, el procedimiento 100 puede incluir la fabricación por pultrusión de insertos 46 de raíz y/o de los separadores 52, por ejemplo usando materiales termoplásticos o termoestables reforzados con fibras de carbono o vidrio. Más específicamente, en realizaciones particulares, la etapa de fabricar por pultrusión los separadores 52 puede incluir además proporcionar un material 58 del núcleo de baja densidad para llenar un volumen interno de los separadores 52.

20 Con referencia aún a la FIG. 14, como se muestra en 108, en una realización no parte de la invención, el procedimiento 100 puede incluir también la colocación de una capa 40 interior de material composite dentro del molde 66 de la concha en la parte superior de los insertos 46 de raíz y los separadores 52 para formar una superficie 40 de pared lateral interior del conjunto 30 de raíz, por ejemplo, como se muestra en la FIG. 18. Por ello, como se muestra en 110, el procedimiento 100 puede incluir entonces la infusión de los insertos 46 de raíz y los separadores 52 entre las capas 40, 42 interior y exterior, por ejemplo, por medio de una resina. Más específicamente, en ciertas realizaciones, el procedimiento 100 puede incluir la infusión de los insertos 46 de raíz y los separadores 52 entre las capas 40, 42 interior y exterior por medio de infusión por vacío, moldeado por transferencia de resina (RTM), moldeado por transferencia de resina (RTM) ligera, moldeado por transferencia de resina ayudado por vacío (VARTM), o similar.

30 En realizaciones alternativas, en las que las capas 40, 42 interior y exterior y los insertos 46 de raíz se construyen de materiales termoplásticos, el procedimiento 100 puede incluir también la soldadura de los insertos 46 termoplásticos entre las capas 40, 42 interior y exterior (en lugar de incluir o unir los insertos 46 entre las capas 40, 42 interior y exterior). Como tal, los insertos 46 termoplásticos pueden recalentarse, extraerse, y sustituirse en el caso de daños y/o defectos de fabricación. Más específicamente, en ciertas realizaciones, el procedimiento 100 puede incluir el calentamiento del casquillo 48 metálico de los insertos 46 de modo que el material termoplástico circundante se caliente. Por ello, el material termoplástico calentado puede soldarse a las superficies adaptadas termoplásticas circundantes, por ejemplo, las capas 40, 42 interior y exterior. En realizaciones adicionales, puede aplicarse también presión desde el extremo de raíz del casquillo 48 metálico para asegurar una unión de soldadura adecuada. En consecuencia, en realizaciones adicionales, puede usarse un procedimiento similar para extraer un inserto 46 existente, por ejemplo mediante aplicación de calor al casquillo 48 metálico mientras se tira del inserto 46 a ser extraído.

40 El procedimiento para infusión, unión, o soldadura de los insertos 46 entre las capas 40, 42 interior y exterior puede repetirse entonces para cada semipala (si es necesario). Además, se permite que curen las semipalas (si se usan el primer y segundo moldes de concha) durante un período de tiempo predeterminado. Una vez curadas, la brida 68 extraíble puede extraerse y reutilizarse para fabricar conjuntos 30 de raíz adicionales. Además, las semipalas (si es aplicable) pueden unirse juntas, por ejemplo, con adhesivo, para formar el conjunto 30 de raíz. Entonces se permite que el adhesivo cure hasta un estado estable para la expulsión del conjunto 30 de raíz desde los moldes de la concha. El conjunto 30 de raíz puede expulsarse entonces desde el molde 66 de la concha y situarse en un área para acabado.

50 Esta descripción escrita usa ejemplos para desvelar la invención, incluyendo el modo preferente y, también, para permitir a cualquier experto en la materia poner en práctica la invención, incluyendo realizar y usar cualesquiera dispositivos o sistemas y llevar a cabo cualquier procedimiento incorporado. El ámbito patentable de la invención se define por las reivindicaciones y pueden incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la materia. Tales otros ejemplos pretenden estar dentro del ámbito de las reivindicaciones si incluyen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones o, si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insustanciales respecto a los lenguajes literales de las reivindicaciones.

**REIVINDICACIONES**

1. Un conjunto de raíz (30) para una pala (16) de rotor de una turbina eólica (10), que comprende:

una sección (32) de raíz de pala que comprende una superficie (40) de pared lateral interior y una superficie (42) de pared lateral exterior separadas por un espacio (44) radial;

5 una pluralidad de insertos (46) de raíz circunferencialmente espaciados dentro del espacio (44) radial, comprendiendo cada uno de los insertos (46) de raíz al menos un casquillo (48) rodeado por un material (50) composite previamente consolidado, configurado cada uno de los casquillos (48) para recibir un perno de raíz, configurados los pernos de raíz para sujetar el conjunto (30) de raíz a un buje (18) de la turbina eólica (10); y  
 10 una pluralidad de separadores (52) fabricados por pultrusión configurados entre uno o más de los insertos (46) de raíz, siendo construido cada uno de los separadores (52) fabricados por pultrusión con un material (50) compuesto previamente consolidado; y en el que los materiales (50) composite previamente consolidados de los insertos (46) de raíz fabricados por pultrusión y los separadores (52) fabricados por pultrusión comprenden una pluralidad de materiales de fibra curados conjuntamente por medio de una resina, en el que la pluralidad de materiales de fibra comprende al menos uno de entre fibras de carbono, mechas de carbono, fibras de vidrio, o mechas de vidrio; en el que la resina comprende un material termoplástico y en el que los insertos (46) de raíz se  
 15 soldan entre las superficies (40, 42) de las paredes laterales interior y exterior.

2. El conjunto (30) de raíz de cualquier reivindicación precedente, en el que la pluralidad de separadores (52) comprende además un material del núcleo de baja densidad.

3. El conjunto (30) de raíz de cualquier reivindicación precedente, que comprende además un agente adhesivo configurado dentro del espacio (44) radial, estando configurado el agente adhesivo para favorecer la transferencia de resina durante la fabricación del conjunto (30) de raíz, en el que el agente adhesivo comprende una estera de fibra troceada (CFM), una película plástica biaxialmente estirada, o tejido de vidrio tridimensional.

4. El conjunto (30) de raíz de cualquier reivindicación precedente, en el que los insertos (46) de raíz y los separadores (52) comprenden bordes (45) laterales, de modo que cuando se disponen los insertos (46) de raíz y los separadores (52) en el conjunto (30) de raíz, los bordes (45) laterales se alinean y están sustancialmente enrasados para formar primera y segunda superficies (55, 56) continuas.

5. El conjunto (30) de raíz de cualquier reivindicación precedente, en el que la pluralidad de insertos (46) de raíz y la pluralidad de separadores (52) comprenden formas (60, 62) de sección transversal correspondiente, comprendiendo las formas (60, 62) de sección transversal correspondiente una de entre una cuadrada o una rectangular.

30 6. Un procedimiento de fabricación de un conjunto (30) de raíz para una pala (16) de rotor de una turbina eólica (10), comprendiendo el procedimiento:

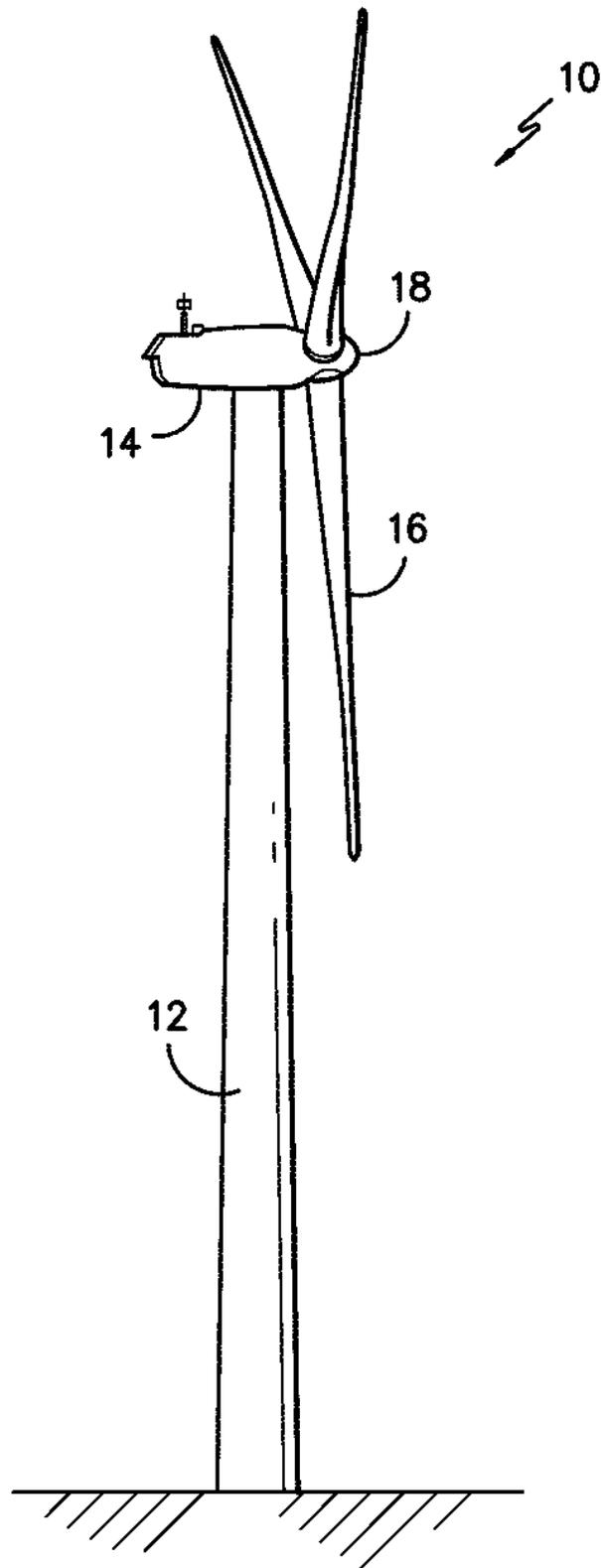
colocar una capa (42) exterior de material termoplástico dentro del molde (66) de la concha de una sección (32) de la raíz de pala de la pala (16) del rotor para formar una superficie (42) de pared lateral exterior del conjunto (30) de raíz;

35 colocar una pluralidad de insertos (46) en la parte superior de la capa (42) exterior, en el que cada uno de los insertos (46) de raíz incluye al menos un casquillo (48) metálico rodeado por un material termoplástico;

colocar una capa (40) interior de material termoplástico dentro del molde (66) de la concha de la parte superior de los insertos (46) de raíz para formar una superficie (40) de pared lateral interior del conjunto (30) de raíz; y unir los insertos (46) de raíz entre las capas (40, 42) interior y exterior;

40 en el que la etapa de unir los insertos (46) de raíz entre las capas (40, 42) interior y exterior comprende además la soldadura de los insertos (46) de raíz entre las capas (40, 42) interior y exterior.

7. El procedimiento según la reivindicación 7, en el que la soldadura de los insertos (46) de raíz entre las capas (40, 42) interior y exterior comprende además el calentamiento de los casquillos (48) metálicos de los insertos (46) de raíz de modo que el material termoplástico circundante se caliente y soldar el material termoplástico calentado de los insertos (46) de raíz a las capas (40, 42) interior y exterior.



**FIG. -1-**

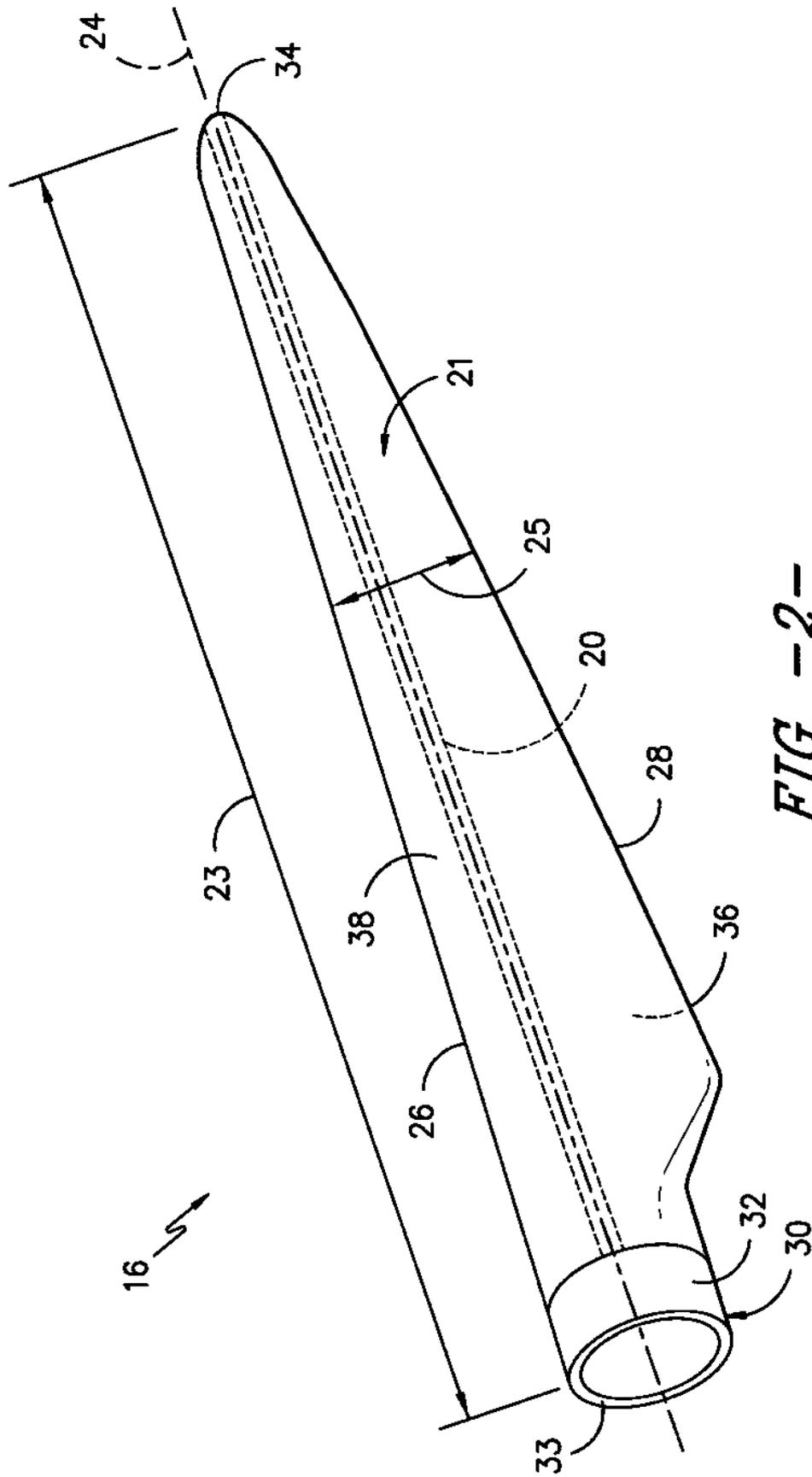
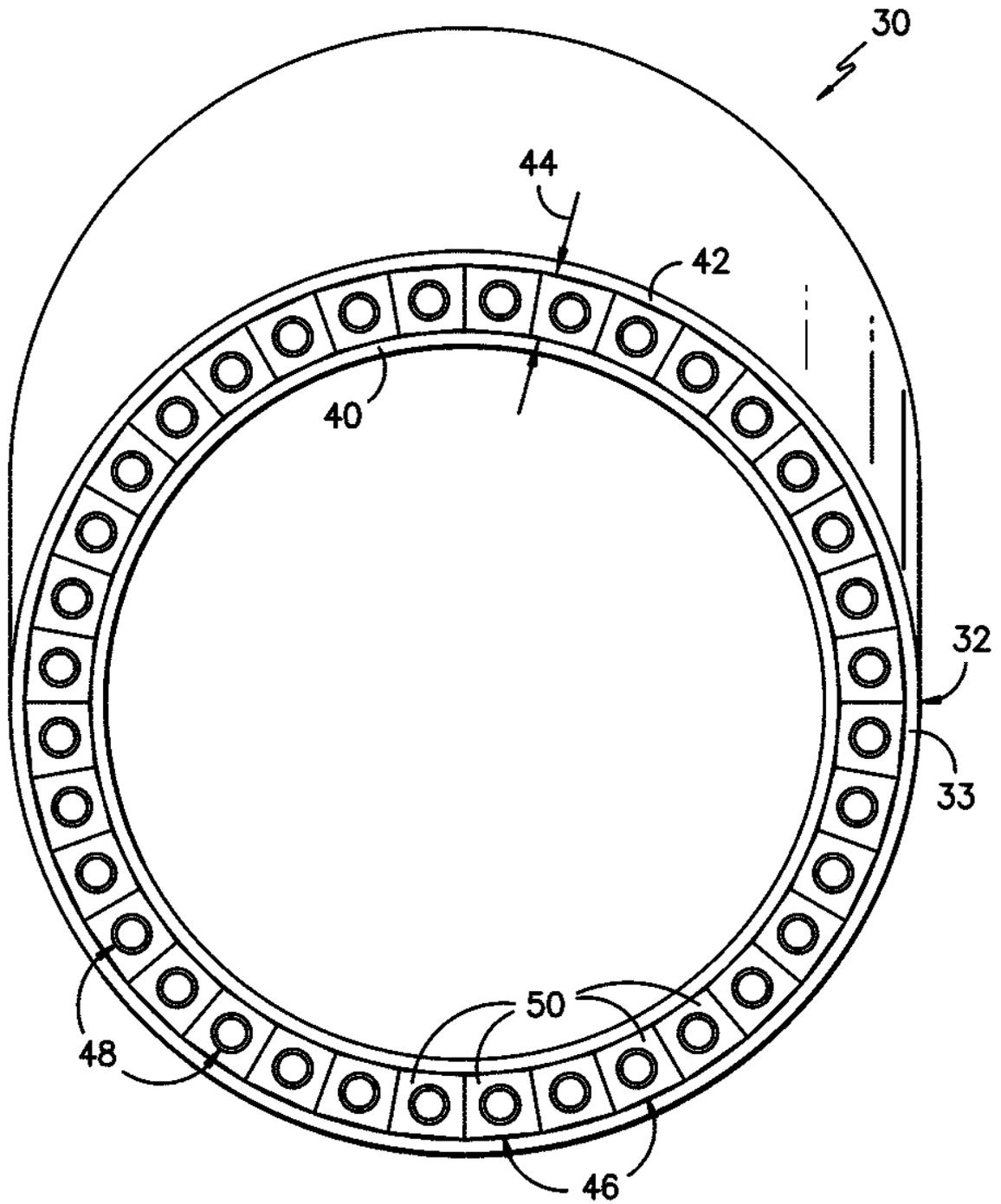
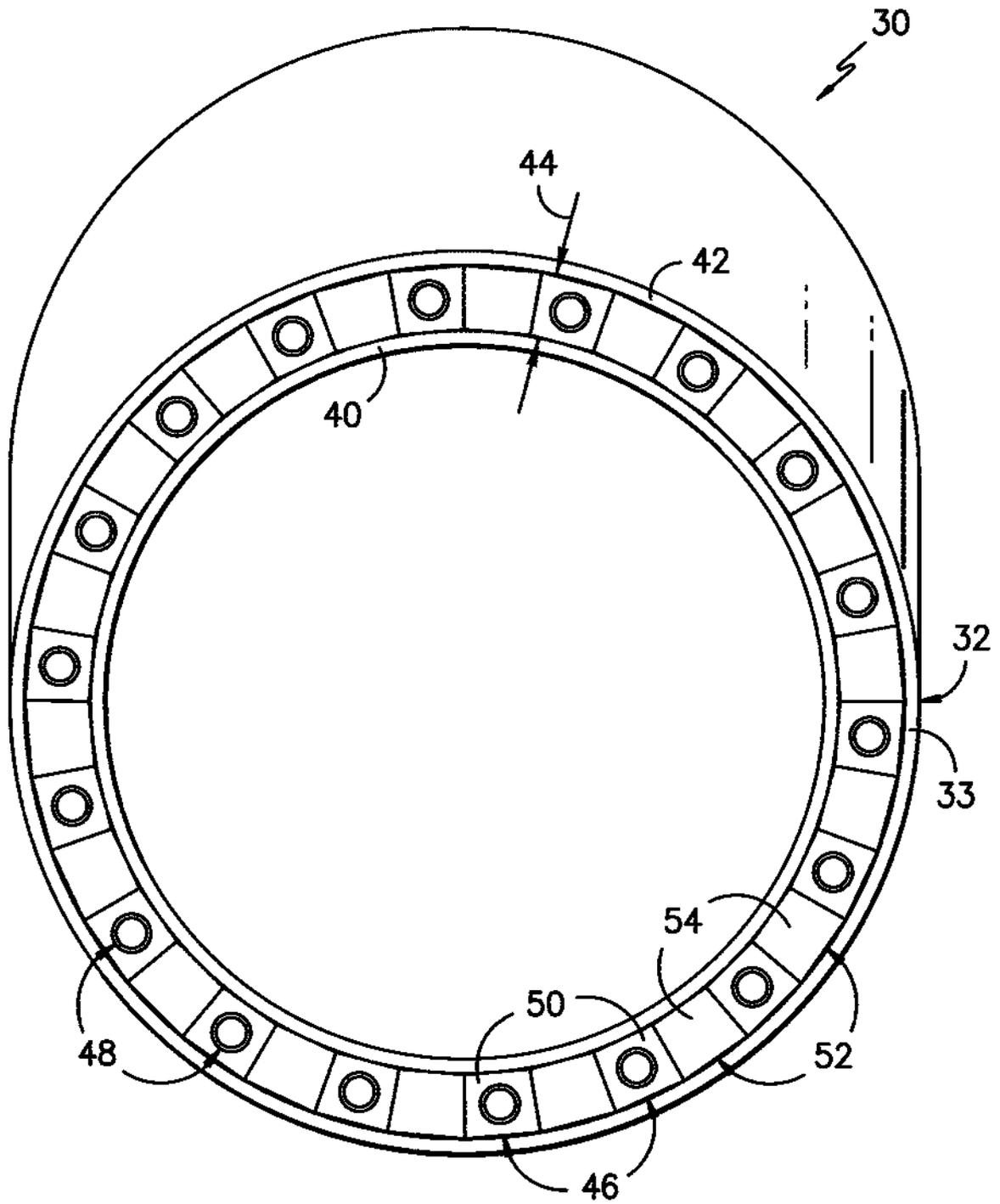


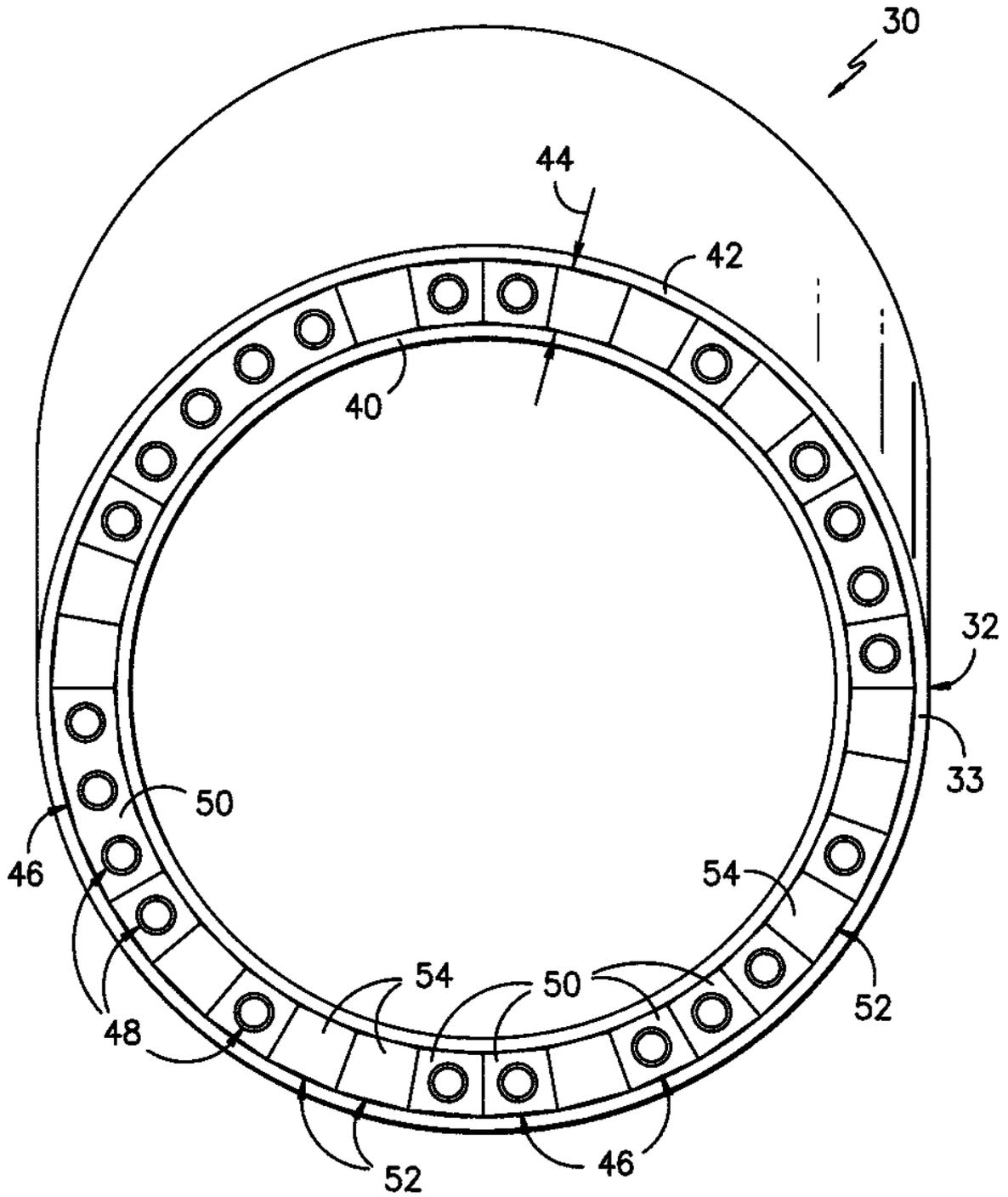
FIG. -2-



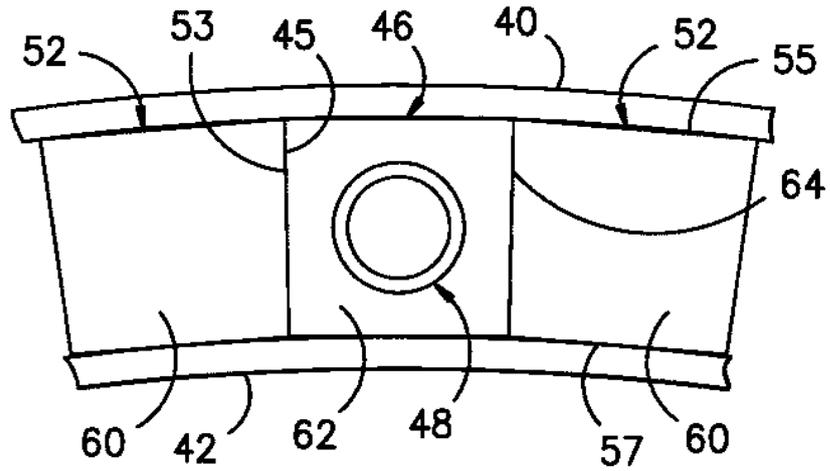
*FIG. -3-*



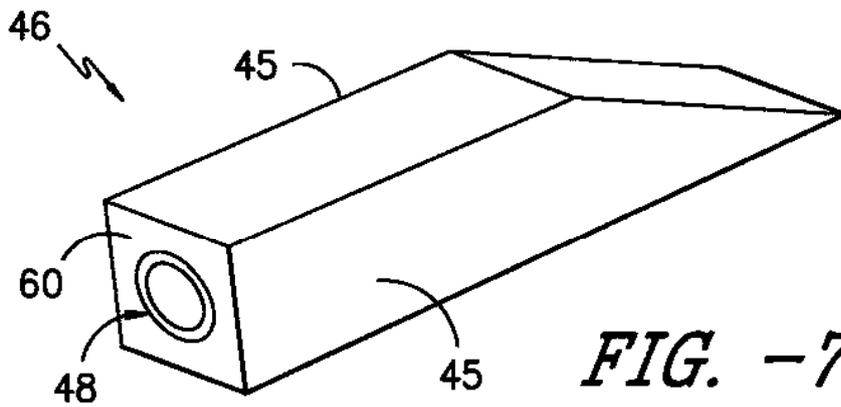
*FIG. -4-*



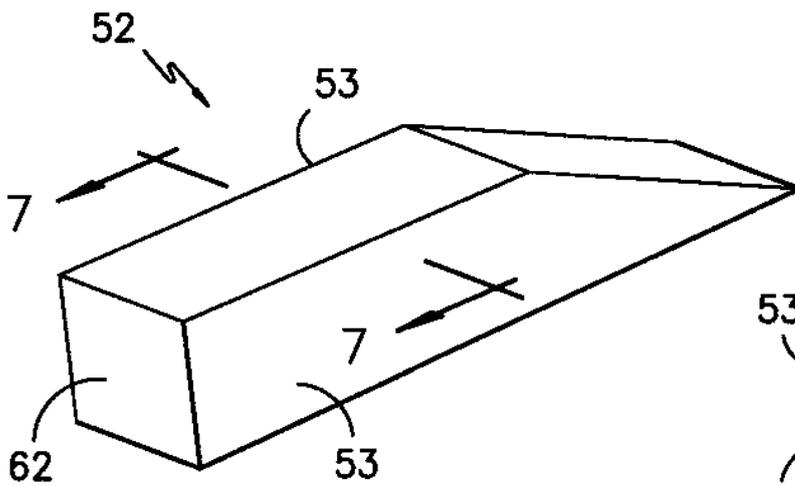
*FIG. -5-*



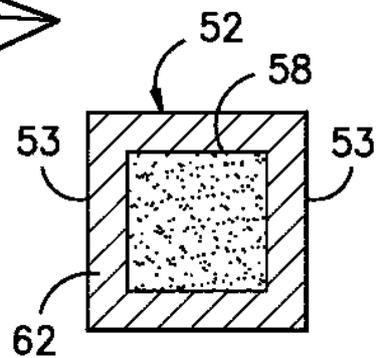
*FIG. -6-*



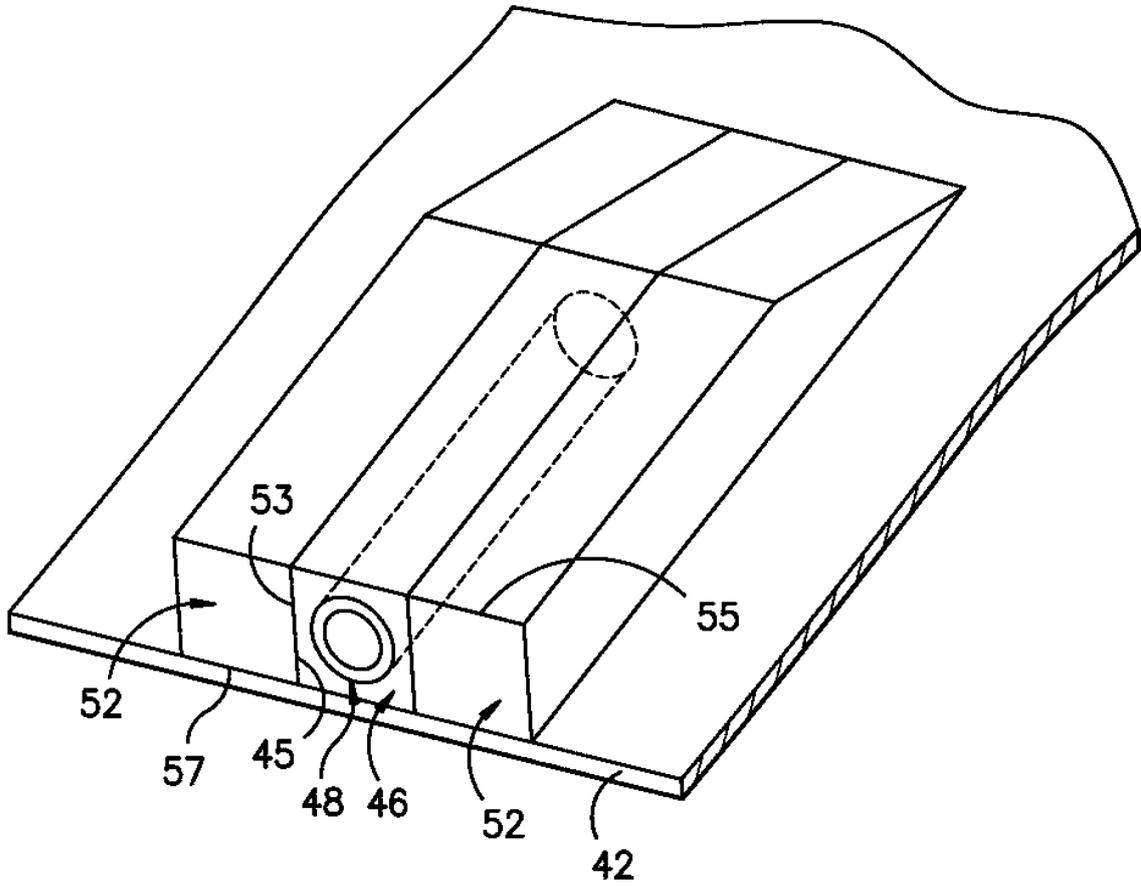
*FIG. -7-*



*FIG. -8-*

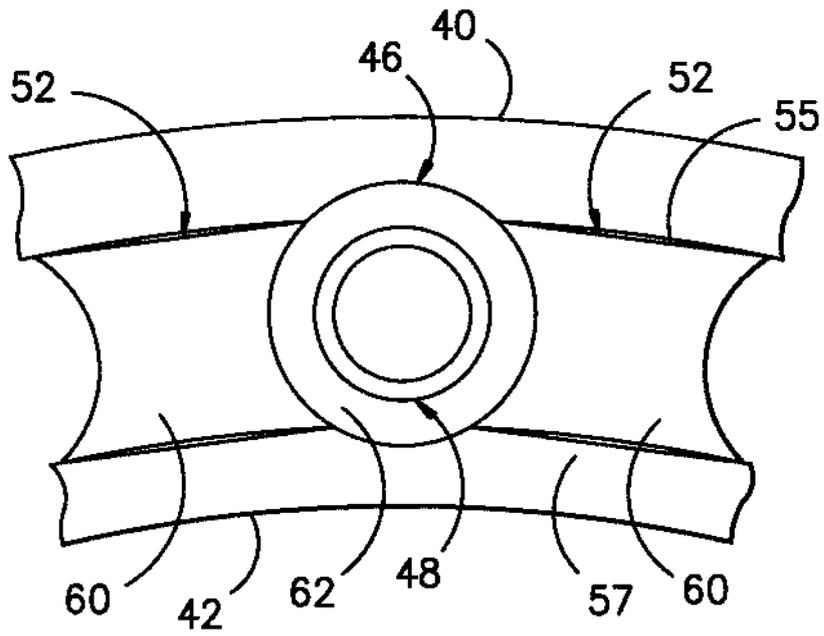


*FIG. -9-*

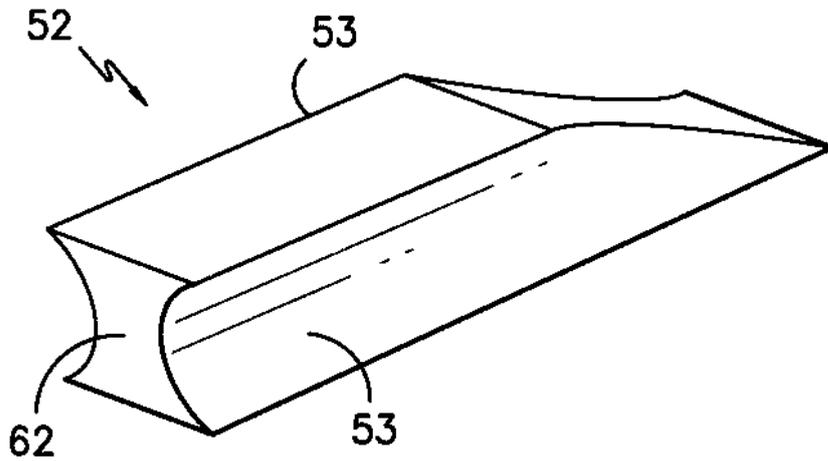


*FIG. -10-*

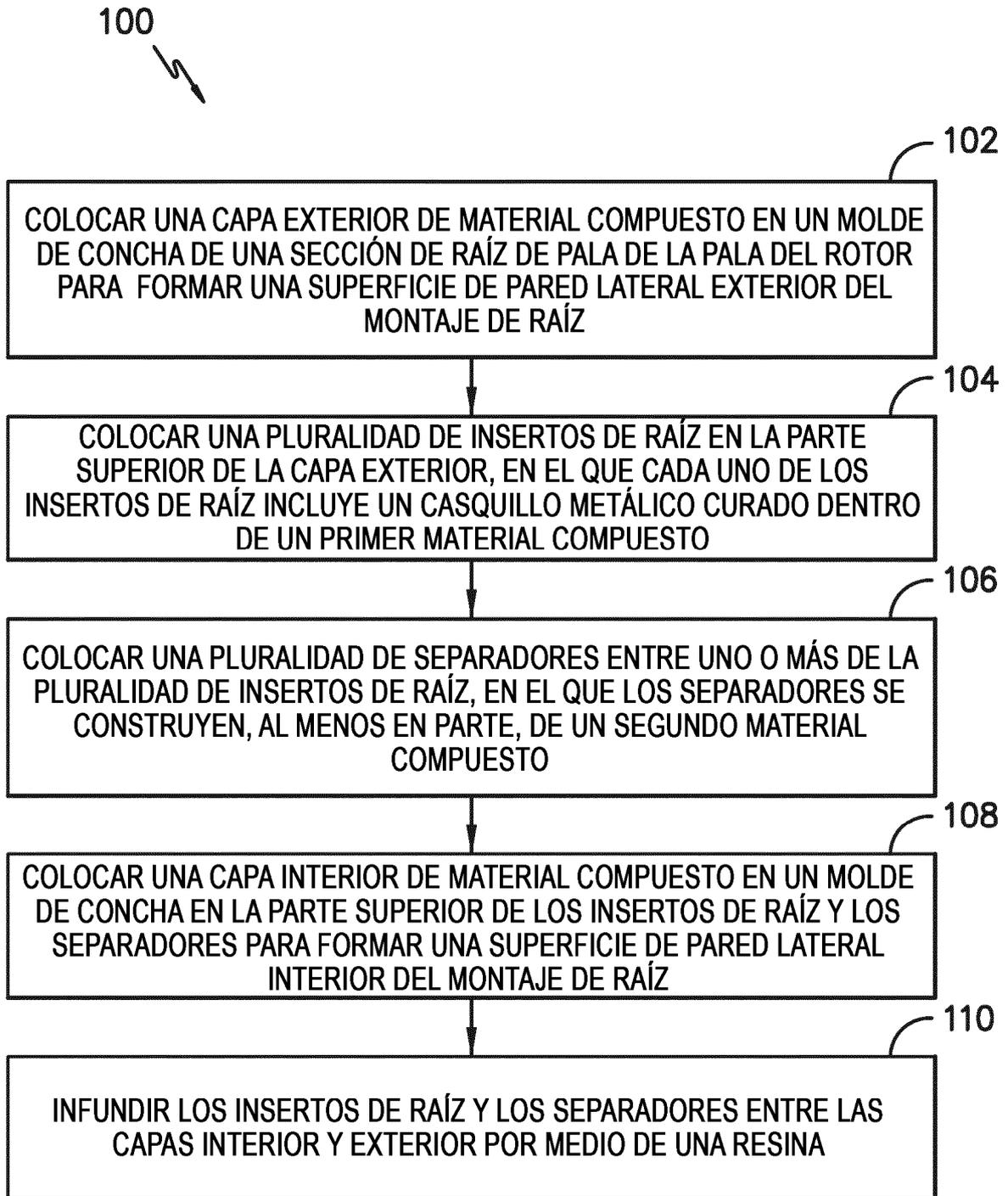




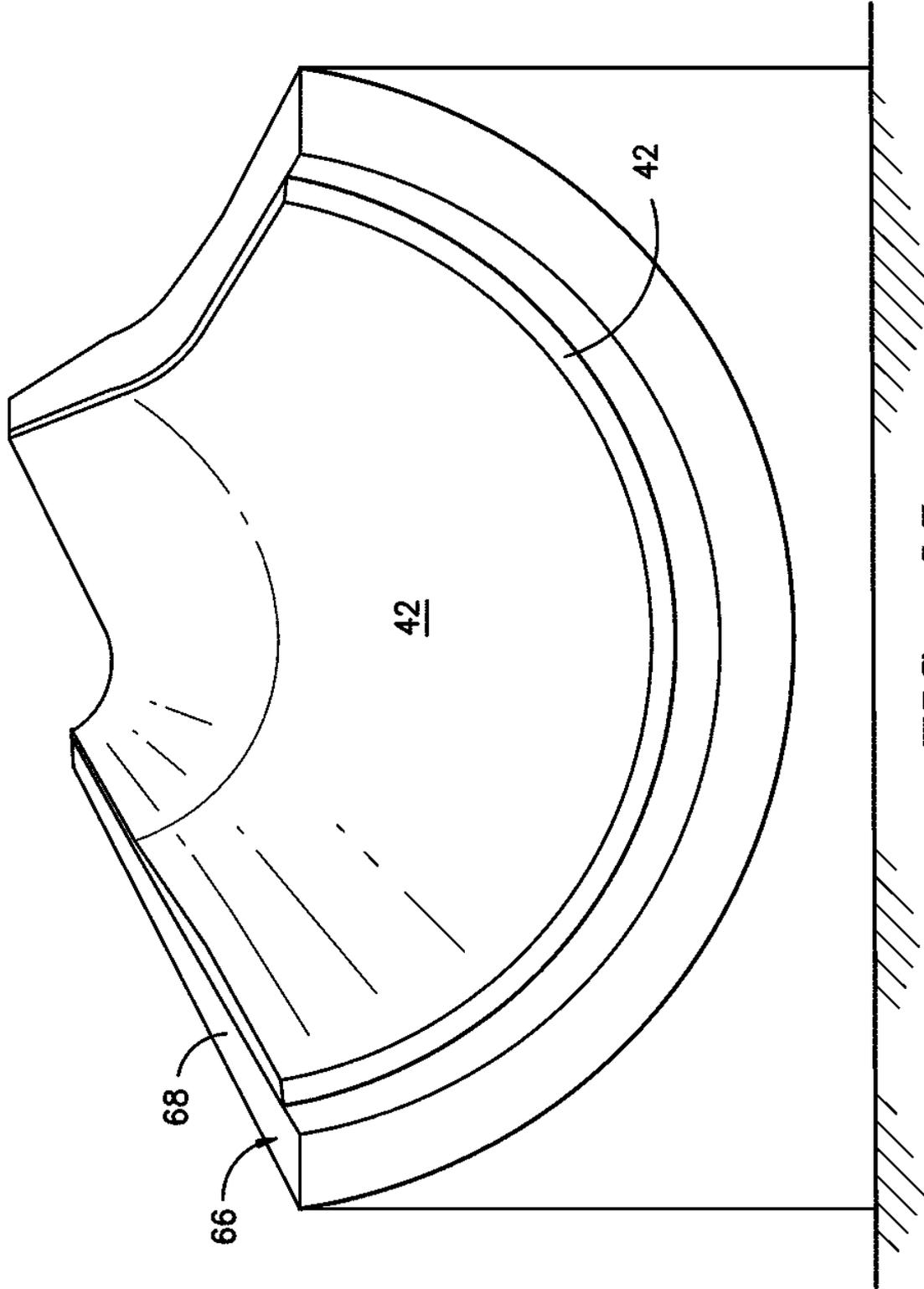
*FIG. -12-*



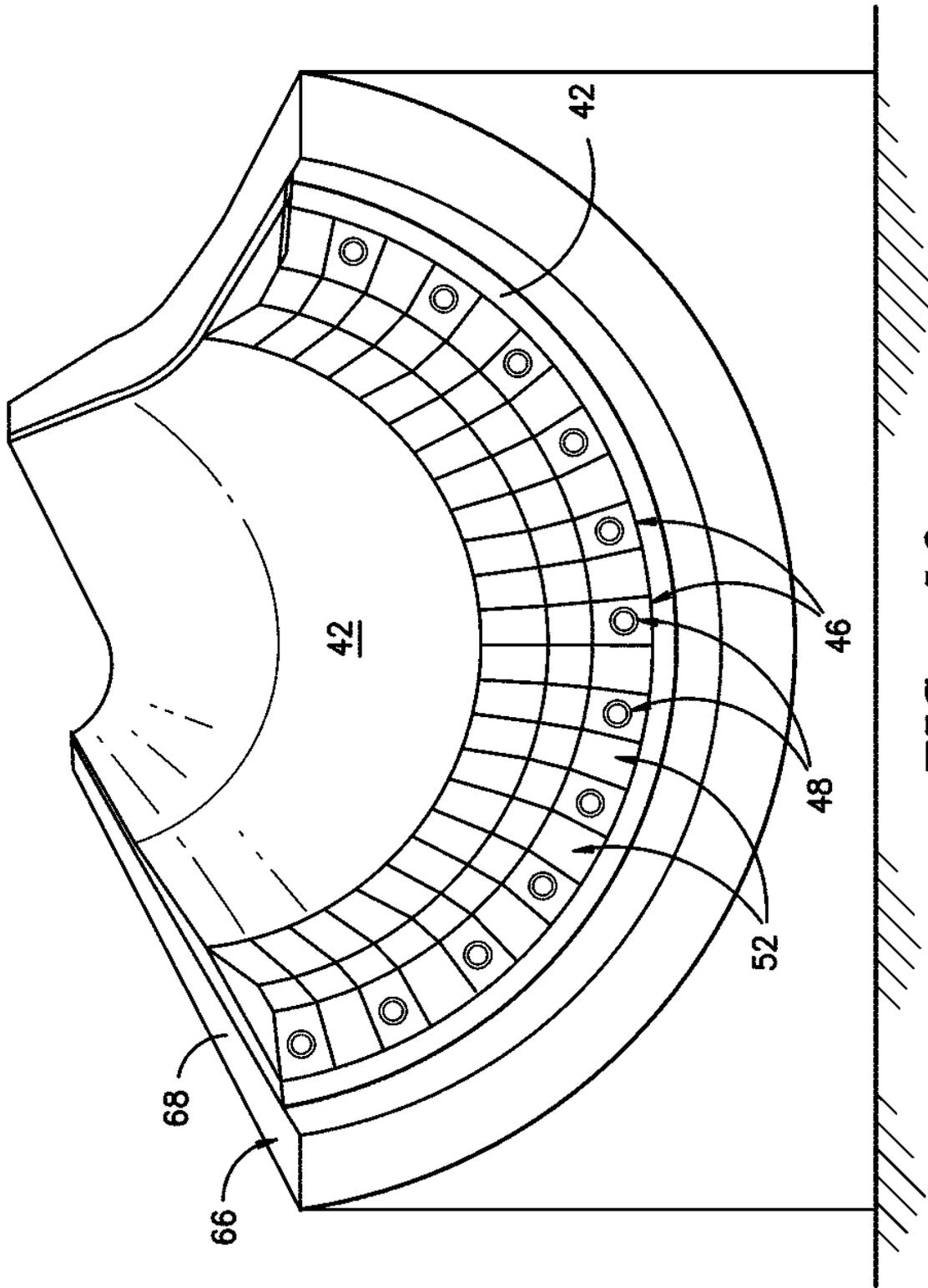
*FIG. -13-*



*FIG. -14-*



**FIG. -15-**



**FIG. -16-**

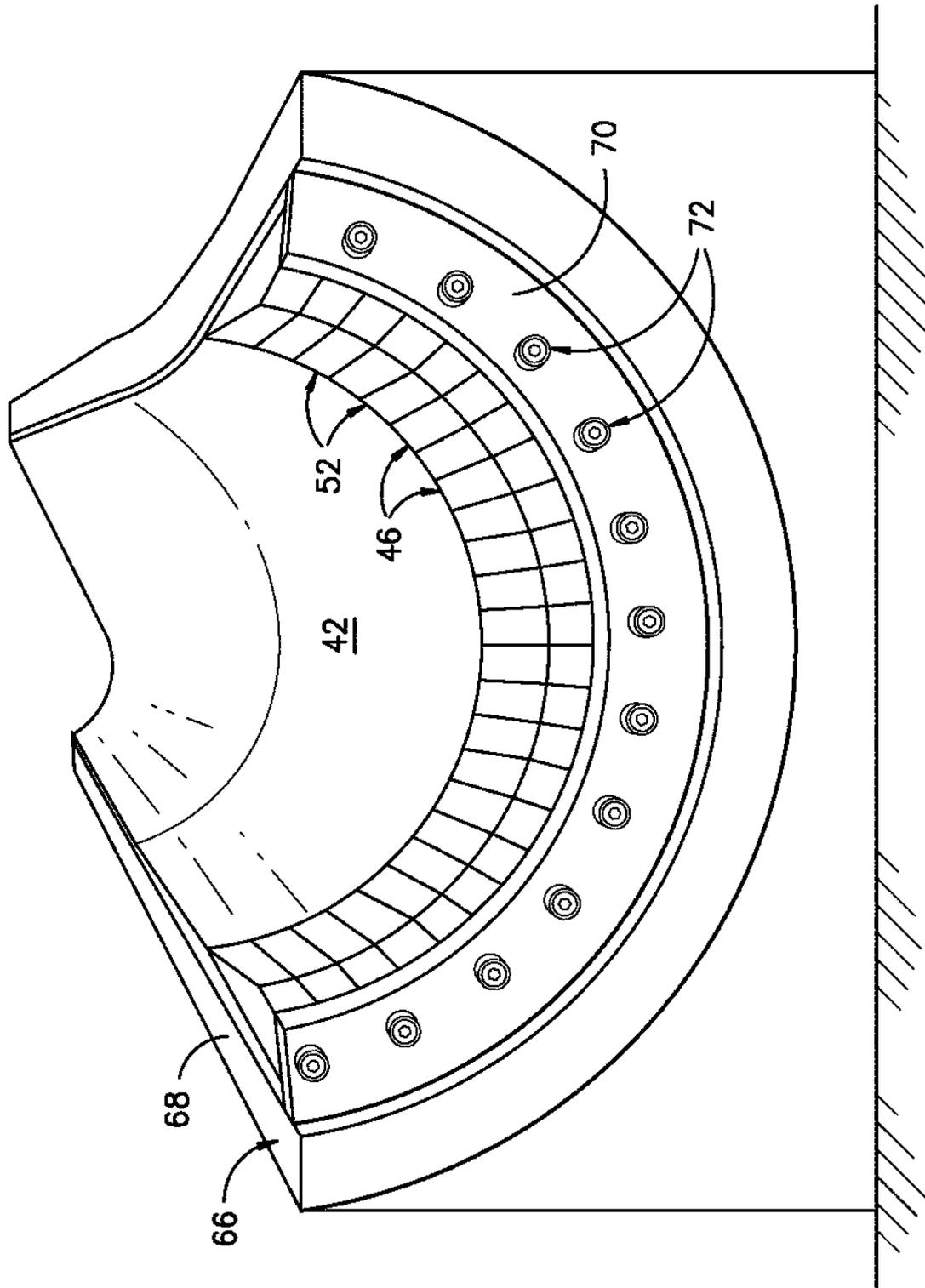
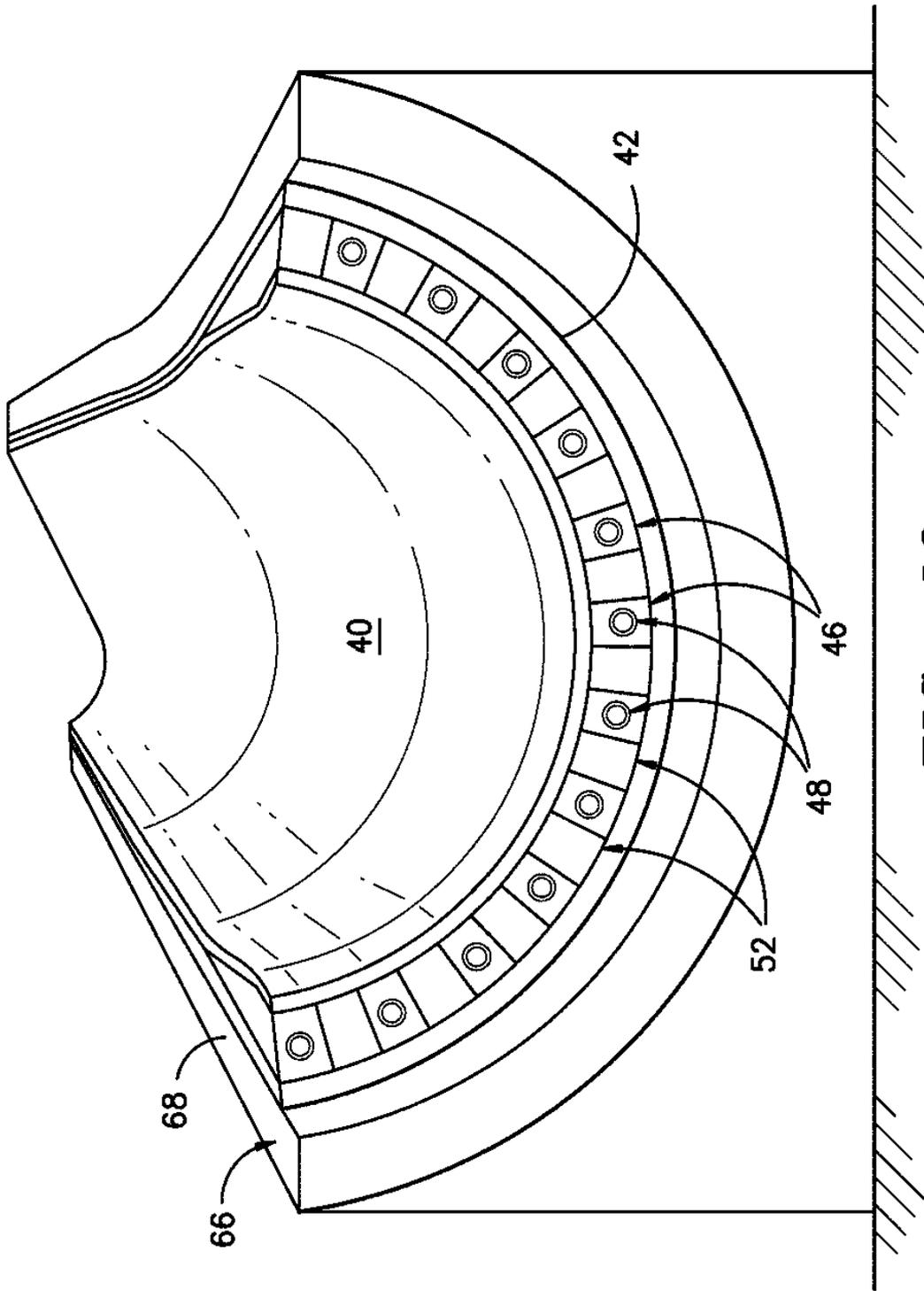


FIG. -17-



**FIG. -18-**