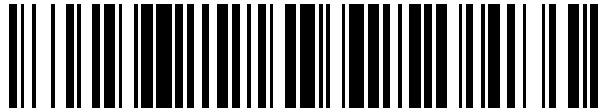


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 749 974**

51 Int. Cl.:

F03D 1/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2016 PCT/DK2016/050421**

87 Fecha y número de publicación internacional: **22.06.2017 WO17101944**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2016 E 16815555 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019 EP 3390811**

54 Título: **Junta para conectar una pala de rotor de turbina eólica a un buje de rotor y método asociado**

30 Prioridad:

14.12.2015 DK 201570821

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

24.03.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

BECH, ANTON

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 749 974 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

Junta para conectar una pala de rotor de turbina eólica a un buje de rotor y método asociado

5 **Campo técnico**

La invención se refiere en general a turbinas eólicas, y más particularmente a una junta mejorada para conectar una pala de rotor de turbina eólica a un buje de rotor, y a un método de formación de una pala de rotor de turbina eólica que tiene una junta mejorada para conectar la pala de turbina eólica al buje de rotor.

10

Antecedentes

Las turbinas eólicas se usan para producir energía eléctrica usando recursos renovables sin quemar un combustible fósil. En general, una turbina eólica convierte energía cinética del viento en energía eléctrica. Una turbina eólica de eje horizontal incluye una torre, una góndola localizada en el ápice de la torre, y un rotor que tiene un buje central y una pluralidad de palas acopladas al buje y extendiéndose hacia fuera del mismo. El rotor se soporta en un eje que se extiende de la góndola, eje que está operativamente acoplado directa o indirectamente con un generador que está alojado dentro de la góndola. En consecuencia, a medida que el viento fuerza las palas para rotar, se produce energía eléctrica por el generador.

15

20

En los últimos años, la energía eólica se ha vuelto una fuente de energía alternativa más atractiva y el número de turbinas eólicas, granjas eólicas, etc., ha aumentado significativamente, tanto en tierra como en la costa. Adicionalmente, el tamaño de turbinas eólicas también ha aumentado significativamente, con palas de turbina eólicas modernas que se extienden entre 50 a 80 metros de longitud, y se espera que aumente adicionalmente en el futuro. La longitud aumentada en las palas de turbina eólica ha introducido un número de consideraciones de diseño interesantes para diseñadores y fabricantes de turbinas eólicas. Por ejemplo, con longitud de pala creciente, la junta entre la pala de turbina eólica y el buje de rotor puede experimentar tensiones aumentadas que presentan consideraciones de diseño desafiantes para asegurar que la junta puede soportar las cargas esperadas durante la vida de operación de la turbina eólica.

25

30

Las juntas convencionales entre palas de rotor de turbina eólica y el buje de rotor incluyen pernos roscados acoplados a y que se extienden desde el extremo de raíz de la pala de turbina eólica, que están a su vez acoplados a un cojinete de paso asociado con el buje de rotor. Las palas de turbina eólica se fabrican típicamente de uno o más materiales compuestos formados de material fibroso y resina. Tales materiales en general no tienen la integridad estructural para proporcionar un mecanismo de fijación seguro en el que los pernos roscados puedan insertarse directamente. Un orificio o perforación, por ejemplo, puede ahusarse en el material compuesto en el extremo de raíz de la pala de rotor para proporcionar una rosca complementaria tras lo cual el perno roscado puede conseguir una conexión. Sin embargo, el material compuesto tiene intensidad de cizalla insuficiente para transferir las cargas entre las palas y buje mediante los pernos roscados y tendría lugar deterioro del material compuesto en la interfaz. El documento WO2011050806 se refiere a conexión de una pala de turbina eólica a un buje de turbina eólica. Las palas pueden conectarse al buje mediante pernos. El extremo de raíz de una pala y una pestaña de montaje coincidente del buje puede proporcionarse con medios de sujeción, por ejemplo en forma de orificios roscados dispuestos en un círculo con un radio dado en el extremo de raíz de la pala y correspondientes orificios pasantes formados en la pestaña del buje. La pala puede sujetarse al buje por pernos o varillas roscadas insertadas a través de los orificios en la pestaña de buje y atornillados en los orificios roscados en la raíz de la pala.

35

40

45

Por esta razón, en general es conocido utilizar insertos de metal internamente roscados en la interfaz entre los pernos roscados y el material compuesto en el extremo de raíz de la pala de turbina eólica. En este sentido, las perforaciones se forman típicamente a lo largo de la circunferencia del extremo de raíz de la pala de turbina eólica. Los insertos metálicos se posicionan a continuación dentro de las perforaciones y se unen adhesivamente en las mismas para embeber esencialmente los insertos metálicos en el material compuesto de la pala de rotor. Los pernos roscados están enganchados de manera roscada entonces con los insertos metálicos. Las fuerzas que actúan entre la pala de rotor y el buje de rotor actúan a través de los pernos roscados, y por lo tanto se transfieren mediante los insertos metálicos, que operan para distribuir más uniformemente las fuerzas a través del área de interfaz con el material compuesto más ligero. Las características de distribución de fuerza proporcionadas por los insertos metálicos a su vez proporcionan una junta de conexión con una integridad estructural suficiente para proporcionar una conexión segura entre el buje de rotor y la pala de rotor durante su uso.

50

55

60

65

Como se ilustra en las Figuras 1 y 1A, los insertos metálicos actuales 10 para las palas de turbina eólica 12 incluyen un cuerpo principal generalmente cilíndrico 14 y una extensión tubular 16 que se proyecta de un extremo del cuerpo principal 14. El cuerpo principal 14 incluye una perforación 18 que incluye una porción roscada 20 para recibir y acoplarse de manera roscada a un perno tal como un perno roscado 22. El cuerpo principal 14 define una interfaz 24 con el material compuesto 26 de la pala de turbina eólica 12 en la superficie externa 28 del cuerpo principal 14. La extensión tubular 16 se extiende desde el cuerpo principal 14 y define una interfaz externa 30 con el material compuesto 26 de la pala 12 en la superficie externa 32 de la extensión tubular 16 y una superficie interna 34 con el material compuesto 26 de la pala 12 en la superficie interna 36 de la extensión tubular 16. Como se ha indicado

anteriormente, los insertos 10 están situados dentro de las perforaciones en el extremo de raíz de la pala y unidos al material compuesto usando un adhesivo adecuado, tal como un epoxi.

5 Aunque las juntas de conexión actuales son suficientes para conseguir su fin pretendido de soporte de las cargas entre las palas de rotor y buje de rotor, una desventaja es que a medida que el tamaño de palas de turbina eólica continúa aumentando, el tamaño de la junta de conexión aumentará en general. Por lo tanto, el tamaño de la pala en el extremo de raíz aumentará (por ejemplo, diámetros más y más grandes) y el tamaño del buje y cojinete de paso aumentará, todo lo cual da como resultado aumentos significativos en costes materiales y de fabricación. Adicionalmente, el número, longitud y/o diámetro de los insertos metálicos debe aumentar en correspondencia en general para adaptar las tensiones de cizalla en el adhesivo de unión que une los insertos metálicos y el material compuesto. Esto de nuevo aumenta los costes materiales y de fabricación.

10 Por consiguiente, existe una necesidad de una junta de conexión mejorada para fijar el extremo de raíz de las palas de turbina eólica a un buje de rotor que supera las desventajas en escalamiento de juntas de conexión actual y adapta la carga aumentada de las palas de una manera mejorada.

Sumario

20 Para tratar estas y otras desventajas, una junta de conexión para fijar una pala de rotor de turbina eólica a un buje de rotor comprende un inserto configurado para estar acoplado a la pala de turbina eólica. El inserto incluye un cuerpo principal que tiene un primer extremo y un segundo extremo, una apertura de perforación central al primer extremo y que se extiende hacia el segundo extremo, y una superficie externa configurada para hacer interfaz con la pala. El inserto incluye adicionalmente una primera extensión tubular que se extiende lejos del segundo extremo del cuerpo principal y que tiene una superficie interna y una superficie externa, en el que cada una de las superficies interna y externa están configuradas para hacer de interfaz con la pala. Adicionalmente, el inserto incluye una segunda extensión tubular que se extiende lejos del cuerpo principal y que tiene una superficie interna y una superficie externa, en el que cada una de las superficies interna y externa están configuradas para hacer de interfaz con la pala.

30 En una realización, la segunda extensión tubular está dispuesta coaxialmente dentro de la primera extensión tubular para definir un hueco entre la superficie externa de la segunda extensión tubular y la superficie interna de la primera extensión tubular. Adicionalmente, en una realización ejemplar, la primera extensión tubular y/o la segunda extensión tubular tienen una configuración cónica. En este sentido, la superficie interna y/o externa de la primera extensión tubular y/o la segunda extensión tubular forman un ángulo ahusado agudo con relación a un eje central del inserto. El ángulo ahusado puede permanecer sustancialmente constante a lo largo de la longitud de la primera y/o segunda extensiones tubulares. Como alternativa, el ángulo ahusado puede variar a lo largo de la longitud de la primera extensión y/o la tubular. Además, un extremo libre de la primera y segunda extensiones tubulares puede ser colindante.

40 En una realización ejemplar, el inserto puede tener una construcción de dos partes que incluye un primer elemento de inserto y un segundo elemento de inserto, en el que el primer y segundo elementos de inserto están formados de manera separada y a continuación acoplarse posteriormente juntos para formar el inserto. Cada elemento de inserto puede llevar una de las extensiones tubulares. En una realización, el primer elemento de inserto incluye una base y la primera extensión tubular que se extiende lejos de la base. La base incluye la perforación central y una cavidad abierta a un hueco de la primera extensión tubular. El segundo elemento de inserto incluye una base y la segunda extensión tubular que se extiende lejos de la base. La base del segundo elemento de inserto se asienta dentro de la cavidad en el primer elemento de inserto para acoplar los elementos de inserto juntos y forman de esta manera el inserto. Esto puede conseguirse, por ejemplo, a través de un ajuste por presión entre la base del segundo elemento de inserto y la pared de cavidad. En una realización, la cavidad está abierta a la perforación central en el primer elemento de inserto. La base del segundo elemento de inserto puede incluir un canal formado a través del mismo y abierto a un hueco de la segunda extensión tubular.

55 La junta de conexión puede incluir adicionalmente un perno roscado que tiene un extremo de pala configurado para recibirse dentro de la perforación central del inserto para acoplar el perno roscado al inserto. El perno roscado puede tener adicionalmente un extremo de buje configurado para estar acoplado al buje de rotor. En una realización ejemplar, el extremo de pala y el extremo de buje del perno roscado pueden roscarse para facilitar el acoplamiento con un inserto en la pala de rotor y un cojinete de paso en el buje de rotor, por ejemplo. Se define una junta de conexión de acuerdo con aspectos de la invención en la reivindicación 1 adjunta. Las características opcionales preferidas adicionales de los mismos se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas 2-10.

60 En una realización, una pala de rotor de turbina eólica incluye un extremo de raíz, un extremo de punta, y una pluralidad de juntas de conexión como se ha descrito anteriormente para fijar la pala de rotor al buje de rotor de la turbina eólica, en el que los insertos de las juntas de conexión se embeben dentro del extremo de raíz de la pala de rotor. En una realización, el extremo de raíz de la pala de rotor incluye una pluralidad de perforaciones, en el que el inserto de las juntas de conexión está situado dentro de una respectiva perforación en el extremo de raíz de la pala de rotor. Cuando está así posicionada, la superficie externa del cuerpo principal forma una interfaz unida con la pala,

las superficies internas y externas de la primera extensión tubular forman una interfaz unida con la pala, y las superficies internas y externas de la segunda extensión tubular forman una interfaz unida con la pala.

5 En una realización, cada una de las perforaciones incluye una primera porción de cavidad que tiene un primer extremo abierto a una cara de extremo del extremo de raíz de la pala de rotor y que se extiende lejos de la cara de extremo a un segundo extremo. Además, cada perforación incluye una primera cavidad anular abierta a la primera porción de cavidad y que se extiende lejos del segundo extremo de la primera porción de cavidad, y una segunda cavidad anular abierta a la primera porción de cavidad y que se extiende lejos del segundo extremo de la primera porción de cavidad. Cuando los insertos están situados en las perforaciones, el cuerpo principal se sitúa en general dentro de la primera porción de cavidad, la primera extensión tubular se sitúa en general dentro de la primera cavidad anular, y la segunda extensión tubular se sitúa en general dentro de la segunda cavidad anular. En una realización, el extremo de pala de un perno roscado está acoplado al inserto y el extremo de buje del perno roscado está configurado para acoplarse a la pala de rotor. Se define una pala de rotor de turbina eólica de acuerdo con aspectos de la invención en la reivindicación 11 adjunta. Las características opcionales preferidas adicionales de la misma se definen en la reivindicación dependiente 12 adjunta. Se define una turbina eólica de acuerdo con aspectos de la invención en la reivindicación 13 adjunta.

20 En otra realización, un método de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica incluye proporcionar una pala de rotor que tiene un extremo de raíz y un extremo de punta y que proporciona una pluralidad de insertos. Cada inserto incluye un cuerpo principal que tiene un primer extremo y un segundo extremo, una perforación central abierta al primer extremo y que se extiende hacia el segundo extremo, y una superficie externa; una primera extensión tubular que se extiende lejos del segundo extremo del cuerpo principal y que tiene una superficie interna y una superficie externa; y una segunda extensión tubular que se extiende lejos del cuerpo principal y que tiene una superficie interna y una superficie externa. El método incluye adicionalmente embeber los insertos dentro del extremo de raíz de la pala de rotor de manera que la superficie externa del cuerpo principal hace de interfaz con la pala, las superficies internas y externas de la primera interfaz de extensión tubular con la pala, y la superficie interna y externa de la segunda extensión tubular hace de interfaz con la pala.

30 En una realización, proporcionar una pluralidad de insertos incluye adicionalmente formar un primer elemento de inserto que tiene la primera extensión tubular; formar un segundo elemento de inserto que tiene la segunda extensión tubular, formándose el segundo elemento de inserto separado del primer elemento de inserto; y unir el primer y segundo elementos de inserto para formar el inserto. Adicionalmente, embeber los insertos dentro del extremo de raíz de la pala incluye adicionalmente una pluralidad de perforaciones en el extremo de raíz de la pala de rotor; situar un inserto dentro de cada una de las perforaciones en el extremo de raíz de la pala de rotor; y unir los insertos dentro de las perforaciones. En una realización ejemplar, formar la pluralidad de perforaciones en el extremo de raíz incluye formar una primera porción de cavidad que tiene un primer extremo abierto a una cara de extremo del extremo de raíz de la pala de rotor y que se extiende lejos de la cara de extremo a un segundo extremo; formar una primera cavidad anular abierta a la primera porción de cavidad y que se extiende lejos del segundo extremo de la primera porción de cavidad; y formar una segunda cavidad anular abierta a la primera porción de cavidad y que se extiende lejos del segundo extremo de la primera porción de cavidad. La primera y segunda cavidades anulares pueden formarse simultáneamente. Se define un método de acuerdo con los aspectos de la invención en la reivindicación 14 adjunta. Las características opcionales preferidas adicionales de los mismos se definen en las reivindicaciones dependientes adjuntas 15-17.

45 **Breve descripción de los dibujos**

Los dibujos adjuntos, que se incorporan en y constituyen una parte de esta memoria descriptiva, ilustran una o más realizaciones de la invención y, junto con una descripción de la invención general anteriormente proporcionada, y la descripción detallada proporcionada a continuación, sirven para explicar la invención.

50 La Figura 1 es una vista en planta superior de un inserto metálico para una pala de turbina eólica de acuerdo con la técnica anterior;

La Figura 1A es una vista en sección transversal del inserto metálico mostrado en la Figura 1;

La Figura 2 es una vista en perspectiva de una turbina eólica en la que pueden usarse realizaciones de la invención;

55 La Figura 3 es una vista en perspectiva de una pala de rotor de turbina eólica y buje de rotor que tiene una junta de conexión;

La Figura 4 es una vista en perspectiva ampliada de un extremo de raíz de una pala de turbina eólica;

La Figura 5 es una vista en sección transversal des-ensamblada de una junta de conexión para una pala de rotor de turbina eólica y buje de rotor;

La Figura 6 es una vista en sección transversal de un inserto;

60 La Figura 7 es una vista en sección transversal ensamblada de una junta de conexión para una pala de rotor de turbina eólica y buje de rotor;

La Figura 8 es una vista en perspectiva parcial de un perno roscado;

La Figura 8A es una vista en perspectiva del perno roscado de la Figura 8 tomada en general a lo largo de la línea 8A-8A;

65 La Figura 9 es una vista en perspectiva parcial de un perno roscado;

La Figura 9A es una vista en perspectiva del perno roscado de la Figura 9 tomada en general a lo largo de la línea

9A-9A;

La Figura 10 es una vista de extremo parcial de la porción de raíz de la pala de turbina eólica; y

La Figura 11 es una vista en perspectiva parcial de un perno roscado.

5 Descripción detallada

Con referencia a la Figura 2, una turbina eólica 40 incluye una torre 42, una góndola 44 dispuesta en el ápice de la torre 42, y un rotor 46 operativamente acoplado a un generador (no mostrado) alojado dentro de la góndola 44. Además del generador, la góndola 44 aloja componentes misceláneos requeridos para convertir energía eólica en energía eléctrica y diversos componentes necesarios para operar, controlar y optimizar el rendimiento de la turbina eólica 40. La torre 42 soporta la carga presentada por la góndola 44, el rotor 46, y otros componentes de la turbina eólica 40 que se alojan dentro de la góndola 44 y también operan para elevar la góndola 44 y el rotor 46 a una altura por encima del nivel del suelo o nivel del mar, como pueda ser el caso, en el que se hallan típicamente corrientes de aire de movimiento más rápido de turbulencia inferior.

El rotor 46 de la turbina eólica 40, que se representa como una turbina eólica de eje horizontal, sirve como motor principal para el sistema electromecánico. El viento que supera un nivel mínimo activará el rotor 46 y provocará rotación en un plano sustancialmente perpendicular a la dirección del viento. El rotor 46 de la turbina eólica 40 incluye un buje central 48 y al menos una pala de rotor 50 que se proyecta hacia fuera del buje central 48 en localizaciones circunferencialmente distribuidas alrededor de las mismas. En la realización representativa, el rotor 46 incluye tres palas 50, pero el número puede variar. Las palas 50 están configuradas para interactuar con el flujo de aire que pasa para producir elevación que provoca que el buje central 48 gire alrededor de un eje longitudinal central.

La turbina eólica 40 puede estar incluida entre una colección de turbinas eólicas similares que pertenecen a una granja eólica o parque eólico que sirve como una planta de generación de energía conectada por líneas de transmisión con una red eléctrica, tal como una red eléctrica de corriente alterna (CA) de tres fases. La red eléctrica en general consiste en una red de estaciones de energía, circuitos de transmisión y subestaciones acopladas por una red de líneas de transmisión que transmiten la energía a cargas en forma de usuarios finales y otros clientes de servicios públicos eléctricos. Bajo circunstancias normales, la energía eléctrica se suministra del generador a la red eléctrica como es conocido para un experto en la materia.

Como es bien conocido en la industria, para ciertos diseños de turbina eólica, las palas de rotor 50 están acopladas al buje de rotor 48 de una manera que permite que las palas 50 giren o cabeceen alrededor de un eje longitudinal de las palas 50. Esto se consigue acoplando el extremo de raíz 52 de una pala 50 a un cojinete de paso (no mostrado) operativamente acoplado al buje de rotor 48. El cojinete de paso incluye en general un anillo que puede girar con relación al buje 48 al que está acoplado el extremo de raíz de la pala 50. Los cojinetes de paso son en general bien conocidos en la técnica y por lo tanto no se describirán en detalle adicional en el presente documento.

Como se ilustra en las Figuras 3 y 4, una junta de conexión 54 entre una pala de rotor 50 de la turbina eólica 40 y el buje de rotor 48 incluye una pluralidad de insertos 56 acoplados a la pala de rotor 50 en el extremo de raíz 52 de la misma, y una pluralidad de pernos 58, que en este ejemplo son pernos roscados configurados para acoplarse a los insertos 56 en la pala de rotor 50 y configurados adicionalmente para acoplarse al buje de rotor 48 (Figura 3), tal como a través del cojinete de paso. Como se ilustra en la Figura 4, los insertos 56 pueden espaciarse circunferencialmente alrededor de una cara de extremo 60 en el extremo de raíz 52 de la pala 50 y embeberse dentro del material de la pala 50 de manera que un extremo de conexión del inserto 56 sobresale ligeramente (por ejemplo, aproximadamente 5 mm) desde la cara de extremo 60 de la pala 50. Un método para situar los insertos 56 dentro del material de la pala 50 se describirá más completamente a continuación. El número de insertos 56 a lo largo de la circunferencia del extremo de raíz 52 de la pala 50 depende del tamaño de la pala, entre otros factores potenciales, pero puede estar en cualquier lugar de 80 a 180 insertos para palas entre 50 m-80 m en longitud. Debería tenerse en cuenta que pueden usarse más o menos insertos dependiendo de la aplicación específica.

Los pernos roscados 58 son en general miembros alargados cilíndricos que tienen un extremo de pala roscado 62 y un extremo de buje roscado 64. Como se ilustra en la Figura 3, durante el montaje de la turbina eólica 40, los pernos roscados 58 se enganchan de manera roscada con los insertos 56 en el extremo de raíz 52 de la pala de turbina eólica 50 de manera que el extremo de buje roscado 64 de los pernos roscados 58 se extiende lejos del extremo de raíz 52 de la pala 50. Los pernos roscados 58 se alinean a continuación con correspondientes orificios en el cojinete de paso en el buje 48, insertados a través del mismo, y asegurados al cojinete de paso mediante un sujetador roscado o similares. A través de la junta de conexión 54, una pala de turbina eólica 50 puede acoplarse de manera segura acoplada al buje de rotor 48 de la turbina eólica 40 y acomoda en general las cargas aplicadas a las palas 50 durante la vida operacional de la turbina eólica 40.

Una junta de conexión 54 para mejorar la conexión entre el buje de rotor 48 y la pala de rotor 50 se ilustra en las Figuras 5-7. En esta realización, el inserto 56 incluye un cuerpo principal generalmente cilíndrico 70 y al menos dos extensiones tubulares 72, 74 que se proyectan de un extremo del cuerpo principal 70 (se muestran dos) y configuradas para enganchar con el material (por ejemplo, un material compuesto) de la pala de turbina eólica 50 a

lo largo de las superficies internas y externas de cada una de las extensiones tubulares 72, 74 (Figura 7). En un aspecto ventajoso, las múltiples extensiones tubulares del cuerpo principal 70 aumentan el área superficial global de contacto entre el inserto 56 y el material que forma la pala 50. Adicionalmente, las múltiples extensiones tubulares aumentan el perímetro de contacto en el extremo libre de los insertos. Como resultado del aumento en el perímetro de contacto de extremo libre, la capacidad de carga de la junta de conexión 54 se aumenta en correspondencia. Por lo tanto, dada una anchura fija (por ejemplo, diámetro) y longitud de un inserto, el inserto 56 proporcionará una capacidad de carga aumentada en comparación con insertos convencionales, tal como aquellos anteriormente descritos. En consecuencia, los insertos 56 pueden adaptar palas mayores 50 sin un aumento correspondiente en la anchura o longitud de los insertos.

El cuerpo principal 70 del inserto 56 incluye un extremo de conexión 76 y una perforación central 78 que se extiende hacia dentro del extremo de conexión 76 y configurada para recibir un perno roscado 58 en el mismo, como se ilustra en la Figura 7. La perforación central 78 incluye una primera porción de entrada 80 adyacente al extremo de conexión 76, una segunda porción roscada 82 adyacente a la porción de entrada 80, y una tercera porción de expansión 84 adyacente a la porción roscada 82. La porción de entrada 80 es en general circular en sección transversal, tiene paredes laterales suaves, y está dimensionada para recibir el perno roscado 58 en la misma. En una realización ejemplar, la longitud de la porción de entrada 80 a lo largo de la perforación central 78 puede estar entre aproximadamente 0,25 D y aproximadamente 2 D, donde D es el diámetro mayor del extremo de pala roscada 62 del perno roscado 58 configurado para recibirse en la perforación central 78. Debería reconocerse que otras longitudes son también posibles y permanecen dentro del alcance de la presente invención.

La porción roscada 82 incluye roscas internas configuradas para engranar con las roscas en el extremo de la pala 62 del perno roscado 58. A modo de ejemplo y sin limitación, la porción roscada 82 puede estar configurada para recibir un perno roscado 58 con rosca M20-M50 (y preferentemente aproximadamente un perno roscado M30) y tiene una longitud a lo largo de la perforación central 78 entre aproximadamente 0,5 D y aproximadamente 3 D. Otras longitudes pueden también ser posibles y la invención no está limitada al intervalo anterior.

Finalmente, la porción de expansión 84 tiene una dimensión transversal mayor que la de la porción roscada 82, en el que el aumento en tamaño de la cavidad inmediatamente adyacente a las roscas está configurado para reducir las concentraciones de tensión en la primera rosca y distribuir más equitativamente las fuerzas a través de varias roscas. En una realización ejemplar, la porción de expansión 84 puede ser generalmente cilíndrica con un diámetro mayor que el diámetro de la porción roscada 82. Por ejemplo, el diámetro de la porción de expansión 84 puede ser entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 50 % mayor que el diámetro de la porción roscada 82. Además, la longitud de la porción de expansión 84 a lo largo de la perforación central 78 puede ser entre 0,1 D y 1 D en diversas realizaciones. Debería reconocerse que el diámetro y longitud pueden tener otros valores y permanecer dentro del alcance de la presente invención.

En una realización ejemplar, el cuerpo principal 70 del inserto 56 puede ser generalmente cilíndrico, en el que la superficie externa 86 del cuerpo principal 70 es generalmente paralela a un eje central 88 del inserto 56. Además, el cuerpo principal 70 puede estar dimensionado de manera que la superficie externa 86 está entre aproximadamente 1,5 D y aproximadamente 3 D. El tamaño del cuerpo principal 70 puede ser menor o mayor que lo proporcionado anteriormente. Adicionalmente, la longitud del cuerpo principal 70 puede ser entre aproximadamente 0,4 D y aproximadamente 6 D. La longitud puede tener también otros valores fuera de este intervalo. En una realización ejemplar, el cuerpo principal 70 puede formarse de un metal, tal como acero. Sin embargo, debería reconocerse que en realizaciones alternativas, otros tipos de metales, o incluso otros materiales no metálicos adecuadamente fuertes, pueden usarse para formar el cuerpo principal 70 del inserto 56.

En una realización ejemplar, la primera extensión tubular 72 tiene un primer extremo 90 acoplado a un extremo de punta 92 del cuerpo principal 70 y se extiende lejos del cuerpo principal 70 a un extremo libre 94. En una realización, la primera extensión tubular 72 puede ser generalmente cilíndrica, en el que una superficie externa 96 y una superficie interna 98 de la extensión 72 se extienden rectas lejos del cuerpo principal 70 para que sean generalmente paralelas al eje central 88 del inserto 56. Por consiguiente, el espesor de la pared de la primera extensión tubular 72 puede permanecer sustancialmente constante a lo largo de la longitud de la primera extensión tubular 72 del primer extremo 90 al extremo libre 94. Además, la primera extensión tubular 72 puede estar dimensionada de modo que la superficie externa 96 de la primera extensión tubular 72 en el primer extremo 90 se alinea o se adapta de manera suave con la superficie externa 86 del cuerpo principal 70 en el extremo de punta 92. Adicionalmente, la longitud de la primera extensión tubular 72 puede estar entre aproximadamente 2 D y aproximadamente 10 D. Sin embargo, también son posibles otras longitudes. En una realización ejemplar, la primera extensión tubular puede estar formada de un metal, tal como acero. Sin embargo, debería reconocerse que en realizaciones alternativas, otros tipos de metales, o incluso otros materiales no metálicos adecuadamente fuertes pueden usarse para formar la primera extensión tubular 72 del inserto 56.

En una realización alternativa, y como se ilustra en Figuras 5-7, la primera extensión tubular 72 puede ser generalmente cónica, en el que la superficie externa 96 y/o la superficie interna 98 forman un ángulo agudo con relación al eje central 88 del inserto 56. En este sentido, la superficie externa 96 de la primera extensión tubular 72 puede ahusarse hacia dentro hacia el eje central 88 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y

aproximadamente 20 grados. De manera similar, la superficie interna 98 de la primera extensión tubular 72 puede ahusarse hacia fuera lejos del eje central 88 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados. Por consiguiente, el espesor de pared de la primera extensión tubular 72 puede reducirse en una dirección del primer extremo 90 hacia el extremo libre 94. A modo de ejemplo, el espesor de la pared puede reducirse entre
 5 aproximadamente el 10 % y aproximadamente el 80 % del primer extremo 90 al extremo libre 94. Una reducción fuera del intervalo anteriormente indicado también es posible. Por ejemplo, el extremo libre 94 puede ser relativamente agudo no teniendo sustancialmente espesor en el extremo. En una realización, el ángulo ahusado de la superficie externa y/o interna 96, 98 puede ser generalmente constante a lo largo de la longitud de la primera extensión tubular 72 del primer extremo 90 al extremo libre 94. Como alternativa, el ángulo ahusado puede variar a
 10 lo largo de la longitud de la primera extensión tubular 72 del primer extremo 90 al extremo libre 94.

Como se ha analizado anteriormente, en un aspecto ventajoso, el inserto 56 incluye una segunda extensión tubular 74 configurada para aumentar el área de contacto entre el inserto y el material en el extremo de raíz 52 de la pala 50. En una realización ejemplar, la segunda extensión tubular 74 puede estar dispuesta coaxialmente con relación a la primera extensión tubular 72. Más particularmente y como se ilustra en la Figura 6, la segunda extensión tubular 74 puede estar situada dentro de la primera extensión tubular 72 de manera que la primera extensión tubular 72 está dispuesta como un miembro tubular externo y la segunda extensión tubular 74 está dispuesta como un miembro tubular interno.

Similar a la primera extensión tubular 72, la segunda extensión tubular 74 tiene un primer extremo 106 acoplado al extremo de punta 92 del cuerpo principal 70 y se extiende lejos del cuerpo principal 70 hasta un extremo libre 108. En una realización, la segunda extensión tubular 74 puede ser generalmente cilíndrica, en el que una superficie externa 110 y una superficie interna 112 de la extensión 74 se extienden rectas lejos del cuerpo principal 70 para que sean generalmente paralelas al eje central 88 del inserto 56. Por consiguiente, el espesor de la pared de la segunda extensión tubular 74 puede permanecer sustancialmente constante a lo largo de la longitud de la segunda extensión tubular 74 del primer extremo 106 al extremo libre 108. Además, la segunda extensión tubular 74 puede estar dimensionada para ajustarse dentro de la primera extensión tubular 72 y definir un espacio o hueco 114 entre la superficie externa 110 de la segunda extensión tubular 74 y la superficie interna 98 de la primera extensión tubular 72 (Figura 6). A modo de ejemplo, el diámetro externo de la segunda extensión tubular 74 en el primer extremo 106 puede ser entre aproximadamente el 20 % y aproximadamente el 70 % del diámetro externo de la primera extensión tubular 72 en el primer extremo 90. Son posibles también otros valores. Adicionalmente, el hueco 114 puede terminar en una región arqueada adyacente al cuerpo principal 70. Adicionalmente, la longitud de la segunda extensión tubular 74 puede ser tal para que sea colindante con el extremo libre 94 de la primera extensión tubular 72. En una realización alternativa, sin embargo, el extremo libre 108 de la segunda extensión tubular 74 puede ser hacia dentro o hacia fuera del extremo libre 90 de la primera extensión tubular 72. En una realización ejemplar, la segunda extensión tubular 74 puede estar formada de un metal, tal como acero. Sin embargo, debería reconocerse que en realizaciones alternativas, otros tipos de metales, o incluso otros materiales no metálicos adecuadamente fuertes, pueden usarse para formar la segunda extensión tubular 74 del inserto 56.

En una realización alternativa, y como se ilustra en las Figuras 5-7, la segunda extensión tubular 74 puede ser en general cónica, en el que la superficie externa 110 y/o la superficie interna 112 forman un ángulo agudo relativo al eje central 88 del inserto 56. En este sentido, la superficie externa 110 de la segunda extensión tubular 74 puede ahusarse hacia dentro hacia el eje central 88 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados. De manera similar, la superficie interna 112 de la segunda extensión tubular 74 puede ahusarse hacia fuera lejos del eje central 88 en un intervalo entre aproximadamente 1 grado y aproximadamente 20 grados. Por consiguiente, el espesor de la pared de la segunda extensión tubular 74 puede reducirse en una dirección del primer extremo 106 hacia el extremo libre 108. A modo de ejemplo, el espesor de la pared puede reducirse entre aproximadamente el 10 % y aproximadamente el 80 % del primer extremo 106 al extremo libre 108. Una reducción fuera del intervalo anteriormente indicado también es posible. Por ejemplo, el extremo libre 94 puede ser relativamente agudo no teniendo sustancialmente espesor en el extremo. En una realización, el ángulo ahusado de la superficie externa y/o interna 110, 112 puede ser generalmente constante a lo largo de la longitud de la segunda extensión tubular 74 del primer extremo 106 al extremo libre 108. Como alternativa, el ángulo ahusado puede variar a lo largo de la longitud de la segunda extensión tubular 74 del primer extremo 106 al extremo libre 108.

En una realización ejemplar, la primera y segunda extensiones tubulares 72, 74 pueden tener una configuración similar, tal como que tiene configuraciones geométricas similares, longitudes, ángulos ahusados, espesor de pared, etc. La invención, sin embargo, no está limitada a una disposición de este tipo, y en realizaciones alternativas la configuración de la primera y segunda extensiones tubulares 72, 74 puede ser diferente unas de las otras, incluyendo diferentes configuraciones geométricas, longitudes, ángulos ahusados, espesor de pared, etc.

En una realización, el inserto 56 puede estar formado como un miembro unitario en el que el cuerpo principal 70, la primera extensión tubular 72, y la segunda extensión tubular 74 pueden formarse integralmente juntas como un miembro monolítico. En una realización alternativa, sin embargo, el inserto 56 puede tener un diseño o construcción de dos partes en el que las dos partes se forman de manera separada y a continuación se acoplan posteriormente juntos para formar el inserto 56. En este sentido y como se ilustra en la Figura 5, el inserto 56 puede incluir un primer elemento de inserto 120 y un segundo elemento de inserto 122 que están formados de manera separada y

posteriormente acoplados para formar el inserto 56. En una realización ejemplar, cada uno de los elementos de inserto 120, 122 lleva a cabo una de las extensiones tubulares 72, 74 del inserto 56. Por ejemplo, el primer elemento de inserto 120 puede llevar la primera extensión tubular 72 y el segundo elemento de inserto 122 puede llevar el segundo elemento tubular 74. Cuando el primer y segundo elementos de inserto 120, 122 están acoplados juntos, tal como una manera analizada a continuación, los elementos forman de manera colectiva el cuerpo principal 70 y la primera y segunda extensiones tubulares 72, 74. El diseño en dos partes proporciona un enfoque más rentable para fabricar los insertos 56 y es más factible a partir de un punto de vista de fabricación.

Como se muestra en la Figura 5, el primer elemento de inserto 120 incluye una base 124 y la primera extensión tubular 72 que se extiende desde un extremo de punta de la base 124. En una realización ejemplar, la base 124 y la primera extensión tubular 72 puede formarse integralmente como un cuerpo unitario. En una realización alternativa, sin embargo, la base 124 y la primera extensión tubular 72 pueden ser piezas separadas que están acopladas posteriormente juntas. La base 124 incluye la perforación central 78 como se ha descrito anteriormente. Además, la base 124 incluye una cavidad 126 que está abierta al hueco de la primera extensión tubular 72, y por lo tanto accesible del extremo libre 94 de la primera extensión tubular 72. La cavidad 126 puede también ser abierta a la perforación central 78. En una realización, la cavidad 126 puede ser una extensión longitudinal de la porción de expansión 84 de la perforación central 78. Como se describe a continuación, la cavidad 126 está configurada para recibir un aspecto del segundo elemento de inserto 122 para acoplar los dos elementos 120, 122 juntos para formar el inserto 56.

El segundo elemento de inserto 122 incluye una base generalmente cilíndrica 128 y la segunda extensión tubular 74 se extiende desde un extremo de punta de la base 128. En una realización ejemplar, la base 128 y la segunda extensión tubular 74 pueden estar formadas integralmente como un cuerpo unitario. En una realización alternativa, sin embargo, la base 128 y la segunda extensión tubular 74 pueden ser piezas separadas que están acopladas posteriormente juntas. Para fines que se analizarán en más detalle a continuación, la base 128 incluye un canal 130 que se extiende desde un primer extremo 132 de la base 128 y abierto al hueco de la segunda extensión tubular 74.

Para formar el inserto 56 de los dos elementos de inserto 120, 122, el segundo elemento de inserto 122 puede insertarse a través del extremo libre 94 de la primera extensión tubular 72 del primer elemento de inserto 120 y a través del hueco de la primera extensión tubular 72 hasta que la base 128 del segundo elemento de inserto 120 se asiente dentro de la cavidad 126 en la base 124 del primer elemento de inserto 120, como se muestra en la Figura 6. En una realización, el acoplamiento entre los dos elementos de inserto 120, 122 puede conseguirse por un ajuste por presión entre la base 128 del segundo elemento de inserto 122 y la cavidad 126 del primer elemento de inserto 120. En este sentido, una superficie externa de la base 128 puede ahusarse ligeramente para facilitar un ajuste por presión de este tipo. Debería reconocerse, sin embargo, que el acoplamiento entre los elementos de inserto 120, 122 puede conseguirse por procesos alternativos o adicionales, que incluyen unión, conexiones retráctiles, soldadura ultrasónica, etc. Una conexión roscada puede usarse también para acoplar los miembros de inserto 120, 122. La conexión roscada, sin embargo, debería ser suficientemente apretada de manera que sustancialmente no haya juego entre los dos insertos. Cuando el primer y segundo elementos de inserto 120, 122 están acoplados, puede formarse el inserto 56 como se ha descrito anteriormente. En este sentido, las bases 124, 128 definen de manera colectiva el cuerpo principal 70 del inserto 56 con la primera y segunda extensiones tubulares 72, 74 que se extienden desde el extremo de la punta 92 de las mismas. Como se ilustra adicionalmente en la Figura 6, la base 128 del segundo elemento de inserto 122 cierra esencialmente la perforación central 78 en el primer elemento de inserto 120. Sin embargo, el canal 130 en la base 128 puede estar abierto a la perforación central 78 cuando los elementos de inserto 120, 122 están acoplados juntos.

Como se ha analizado anteriormente, una pluralidad de insertos 56 están espaciados circunferencialmente de manera aproximada a la cara de extremo 60 en el extremo de raíz 52 de la pala de rotor 50 y embebidos en el material 138, tal como un material compuesto, que forma el extremo de raíz 52 de la pala 50. Por lo tanto, después de que se forma la pala de turbina eólica 50, o al menos el extremo de raíz 52 de la misma, puede formarse una pluralidad de perforaciones circunferencialmente espaciadas 140 en la cara de extremo 60 del extremo de raíz 52 de la pala 50. Las perforaciones 140 están generalmente configuradas para corresponder en tamaño y forma al tamaño y forma de los insertos 56 de modo que los insertos 56 pueden recibirse en las mismas. En este sentido, cada perforación 140 incluye una primera porción de cavidad generalmente cilíndrica 142 que se extiende hacia dentro desde la cara de extremo 60 y termina en un segundo extremo 144. La anchura (por ejemplo, dimensión transversal, diámetro, etc.) de la perforación 140 es simplemente ligeramente mayor que los insertos 56 configurados para recibirse dentro de las perforaciones 140. Además, la longitud de la primera porción de cavidad 142 está configurada para corresponder en general a la longitud del cuerpo principal 70 del inserto 56.

La perforación 140 incluye adicionalmente una primera cavidad anular 146 que tiene un primer extremo 148 en el segundo extremo 144 de la primera porción de cavidad 142 y que se extiende hacia dentro de la misma y que termina en un segundo extremo 150. De esta manera, la primera cavidad anular 146 está abierta a la primera porción de cavidad 142. La configuración de la primera cavidad anular 146 corresponde en general a la configuración de la primera extensión tubular 72. Por lo tanto, en una realización ejemplar, la primera cavidad anular 146 puede tener una configuración generalmente cilíndrica o una configuración generalmente cónica para adaptarse a la de la primera extensión tubular 72. Adicionalmente, la longitud de la primera cavidad anular 146 corresponde en

general a la longitud de la primera extensión tubular 72. Como puede apreciarse, la primera cavidad anular 146 debería ser ligeramente mayor que la primera extensión tubular 72 (por ejemplo, aproximadamente 0,5 mm de espaciado) y ligeramente más larga que la primera extensión tubular (por ejemplo, aproximadamente 5 mm más larga) para acomodar la primera extensión tubular y el adhesivo circundante.

5 De una manera similar, la perforación 140 incluye adicionalmente una segunda cavidad anular 152 que tiene un primer extremo 154 en el segundo extremo 144 de la primera porción de cavidad 142 y que se extiende hacia dentro de la misma y que termina en un segundo extremo 156. De esta manera, la segunda cavidad anular 152 está abierta a la primera porción de cavidad 142. La configuración de la segunda cavidad anular 152 corresponde en general a la configuración de la segunda extensión tubular 74. Por lo tanto, en una realización ejemplar la segunda cavidad anular 146 puede tener una configuración generalmente cilíndrica o una configuración generalmente cónica para adaptarse a la de la segunda extensión tubular 74. Adicionalmente, la longitud de la segunda cavidad anular 152 corresponde generalmente a la longitud de la segunda extensión tubular 74. Como puede apreciarse, la segunda cavidad anular 152 debería ser ligeramente mayor que la segunda extensión tubular 74 (por ejemplo, aproximadamente 0,5 mm de espaciado) y ligeramente más larga que la segunda extensión tubular (por ejemplo, aproximadamente 5 mm más largo) para acomodar la segunda extensión tubular y el adhesivo circundante. En una realización ejemplar, la segunda cavidad anular 152 está dispuesta coaxialmente con relación a la primera cavidad anular 146. Más particularmente, y como se ilustra en la Figura 5, la segunda cavidad anular 152 puede estar situada hacia dentro de la primera cavidad anular 146 de manera que la primera cavidad anular 146 está dispuesta como una cavidad anular externa y la segunda cavidad anular 152 está dispuesta como una cavidad anular interna.

En una realización, las perforaciones 140 pueden estar formadas perforando en primer lugar la primera porción de cavidad 142 con un elemento de perforación adecuado o broca. Posteriormente, las dos cavidades anulares 146, 152 pueden estar formadas usando de manera apropiada elementos de perforación huecos dimensionados, tal como un elemento de perforación con punta de diamante. Las cavidades anulares 146, 152 pueden formarse en una manera en serie o pueden formarse simultáneamente. En una realización alternativa, sin embargo, un único elemento de perforación puede usarse para formar la perforación entera 140. Los expertos en la materia reconocerán métodos alternativos o adicionales para formar las perforaciones 140 en el extremo de raíz 52 de las palas 50 y la invención no está limitada a lo descrito en el presente documento. Adicionalmente, puede haber procesos alternativos para embeber los insertos 56 dentro del extremo de raíz 52 de la pala 50. A modo de ejemplo, los insertos 56 pueden ser parte de un proceso de moldeo usado para formar la pala. Por lo tanto, la invención no debería estar limitada a la formación de perforaciones en el extremo de raíz de la pala para embeber los insertos dentro de la pala.

35 Como se ilustra en la Figura 7, con las perforaciones 140 formadas en la cara de extremo 60 en el extremo de raíz 52 de la pala de rotor 50, los insertos 56 pueden estar situados en las mismas. En este sentido, los insertos 56 pueden estar situados de manera que el cuerpo principal 70 del inserto 56 está generalmente situado en la primera porción de cavidad 142, la primera extensión tubular 72 está situada generalmente en la primera cavidad anular 146, y la segunda extensión tubular 74 está situada generalmente en la segunda cavidad anular 152. En una realización ejemplar, para acoplar los insertos 56 al extremo de raíz 52 de la pala de turbina eólica 50, los insertos 56 pueden unirse adhesivamente dentro de las perforaciones 140, tal como con un epoxi adecuado. Esto puede conseguirse, por ejemplo, localizando depósitos o paquetes adhesivos (no mostrados) dentro del hueco 114 entre la primera y segunda extensiones tubulares 72, 74. Un adhesivo de este tipo puede ser adhesivo epoxi. De esta manera, a medida que se empuja el inserto 56 en la perforación 140, la extensión anular del material de la pala 158 entra en contacto con el depósito adhesivo y fuerza al adhesivo a que fluya a lo largo de la interfaz entre el inserto 56 y la perforación 140. El adhesivo a continuación se cura para asegurar los insertos 56 dentro de las perforaciones 140 de la pala de turbina eólica 50.

50 Si fuera necesario, los procesos adicionales pueden implementarse para asegurar una unión suficiente entre los insertos 56 y las perforaciones 140. Por ejemplo, los puertos de entrada (no mostrados) pueden formarse a través de la pared lateral externa y/o interna en el extremo de raíz 52 de la pala 50 de manera que los puertos de entrada están en comunicación con la primera porción de cavidad 142 y/o la primera cavidad anular 146 de las perforaciones 140. El adhesivo puede a continuación bombearse a través de los puertos de entrada para rellenar el espacio intersticial entre los insertos 56 y las perforaciones 140. El canal 130 puede usarse para permitir que el aire y exceso de adhesivo escapen durante el proceso de unión. Como alternativa, puede extraerse un vacío en el canal 130 para facilitar que el adhesivo fluya a lo largo de la interfaz entre los insertos 56 y las perforaciones 140. Los expertos en la materia pueden reconocer otros procesos para asegurar que los insertos 56 están suficientemente unidos a las perforaciones 140 en el extremo de raíz 52 de la pala de rotor 50 y la invención no está limitada a la descrita en el presente documento.

60 Como se ilustra en la Figura 7, cuando un inserto 56 está embebido en el extremo de raíz 52 de la pala de rotor 50, el cuerpo principal 70 del inserto 56 define una interfaz de unión 164 con el material 138 de la pala 50 en la superficie externa 86 del cuerpo principal 70. Además, la primera extensión tubular 72 que se extiende desde el cuerpo principal 70 define una interfaz de unión externa 166 con el material 138 de la pala 50 en la superficie externa 96 de la primera extensión tubular 72, y una interfaz de unión interna 168 con el material 138 de la pala 50 en la superficie interna 98 de la primera extensión tubular 72. En un aspecto ventajoso, la segunda extensión tubular 74

que se extiende desde el cuerpo principal 70 define una interfaz de unión externa 170 con el material 138 de la pala 50 en la superficie externa 110 de la segunda extensión tubular 74, y una interfaz de unión interna 172 con el material 138 de la pala 50 en la superficie interna 112 de la segunda extensión tubular 74. Las interfaces de unión 170, 172 proporcionadas por la segunda extensión tubular 74 proporcionan un aumento significativo en el área superficial de contacto entre el inserto 56 y el material de la pala 138. Adicionalmente, la inclusión de la segunda extensión tubular 74 aumenta el perímetro de contacto en la parte libre del inserto 56. Este aumento en el perímetro de contacto a su vez aumenta la capacidad de carga de la junta de conexión 54 entre la pala de rotor 50 y buje de rotor 48.

10 Como se ha analizado anteriormente, para facilitar el acoplamiento de la pala de rotor 50 al buje de rotor 48, los pernos roscados 58 pueden insertarse en la perforación central 78 de los insertos 56 y rotarse para enganchar las roscas en el extremo de pala 62 de los pernos roscados 58 con las roscas en la porción roscada 82 de la perforación central 78 en los insertos 56. Los pernos roscados 58 pueden insertarse en la perforación central 78 hasta el extremo roscado de los pernos roscados 58 son equitativos con o se extienden más allá de la primera rosca o la más interna de la porción roscada 82 (Figura 7). Por ejemplo, en una realización el extremo roscado de los pernos roscados 58 puede extenderse pasada la primera rosca y puede espaciarse justo ligeramente de la base 128 del segundo elemento de inserto 122 que se cierra de la perforación central 78. Tener el extremo de los pernos roscados 58 extendiéndose más allá de la primera rosca de la porción roscada 82 proporciona una distribución de fuerzas más uniforme a través de las roscas y reduce la probabilidad de concentraciones de alta tensión durante su uso.

De acuerdo con otro aspecto, los pernos roscados 58 pueden incluir un elemento de reducción de tensión, mostrado en general en 180, adyacente al extremo de pala roscada 62 del perno roscado 58. Por ejemplo, en una realización el elemento de reducción de tensión puede estar inmediatamente adyacente al extremo de la pala roscada 62. En una realización alternativa, sin embargo, el elemento de reducción de tensión 180 puede espaciarse ligeramente de las roscas del extremo de la pala 62. Durante la operación de la turbina eólica, las palas se someten a cargas aerodinámicas y gravitacionales que dan como resultado momentos de curvatura de aletas y bordes - y estos momentos de curvatura se retienen por fuerzas axiales en los pernos roscados 58. Cuando las palas de turbina eólica se fijan al buje de rotor, la estructura de pala y la estructura del buje no son aproximadamente simétricas alrededor del patrón de perno y así tienen lugar algunas deformaciones radiales en los pernos roscados que fuerzan los pernos roscados a curvarse a aproximadamente sus líneas centrales. Por lo tanto, los pernos roscados 58 experimentan tanto tensiones axiales como tensiones de curvatura. Para reducir las tensiones de curvatura en los pernos roscados, los pernos roscados tienen una dimensión transversal reducida que hace a los pernos roscados más flexibles en la dirección de la deformación radial. Las deformaciones radiales en los pernos roscados generalmente no están limitadas por la rigidez de curvatura de los pernos roscados 58 y así una sección más delgada del perno roscado dará como resultado que el perno roscado experimente menos tensión de curvatura para la misma deformación radial - puesto que las superficies exteriores de los pernos típicamente experimentan las tensiones más grandes. Por lo tanto, para reducir las tensiones de curvatura en los pernos roscados 58 para la misma deformación radial, se proporciona una región localizada que tiene una reducción en la dimensión transversal relevante de los pernos roscados. Esta reducción en dimensión transversal, sin embargo, es tal que no pone en peligro la integridad estructural de la junta de conexión 54.

Por ejemplo, en una realización el elemento de reducción de tensión 180 puede estar formado como una región de cuello en la que una dimensión transversal de la región de cuello es menor que la dimensión transversal del extremo de pala roscada 62. En una realización ejemplar, la región de cuello incluye un primer extremo adyacente al extremo de la pala 62 y un segundo extremo más adyacente al extremo de buje 64 de manera que la región de cuello 182 tiene una longitud menor que, y preferentemente significativamente menor que, la longitud del perno roscado 58. La región de cuello puede estar localizada más hacia el extremo de la pala 62 que el extremo del buje 64 del perno roscado 58. La dimensión transversal de la región de cuello puede ser también menor que una dimensión transversal del perno roscado 58 adyacente a la región de cuello y entre el segundo extremo y el extremo de buje 64 del perno roscado 58 (por ejemplo, en el lado opuesto del extremo de la pala 62).

En una realización como se ilustra en las Figuras 8 y 8A, la región de cuello 182 puede ser generalmente cilíndrica con una sección transversal generalmente circular, en la que el diámetro de la región de cuello 182 es menor que el diámetro del extremo de la pala roscada 62. El diámetro de la región de cuello 182 puede ser también menor que el diámetro del perno roscado 58 adyacente a la región de cuello 182 y entre el segundo extremo y el extremo de buje 64 del perno roscado 58. A modo de ejemplo, la región de cuello 182 puede estar formada a través de un proceso de mecanizado (por ejemplo, operación de fresado) que elimina material de un perno roscado formado. En una realización ejemplar, el diámetro de la región de cuello 182 puede reducirse entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 40 % en comparación con el diámetro del extremo de la pala 62 del perno roscado 58. Pueden ser posibles también otros valores fuera de este intervalo. Además, la longitud de la región de cuello 182 puede estar entre aproximadamente 0,5 D y aproximadamente 2 D. Sin embargo, también son posibles otras longitudes. Además, la región de cuello 182 puede incluir una o más transiciones 184, tales como ahusados, biseles o similares, en un extremo o ambos extremos de la región de cuello 182 para proporcionar una reducción/expansión suave en la dimensión transversal del perno roscado 58, evitando de esta manera concentraciones de tensión generalmente asociadas con esquinas y pasos relativamente agudos.

En otra realización y como se ilustra en las Figuras 9 y 9A, los pernos roscados 58 pueden incluir una región de cuello 186 que tiene una sección transversal generalmente elíptica. La región de cuello 186 puede estar caracterizada por una primera dimensión transversal como el eje mayor 188 de la sección transversal elíptica y una segunda dimensión transversal como el eje menor 190 de la sección transversal elíptica. Los lados de la región de cuello 186 que se extienden en general en la dirección del eje mayor 188 pueden definir una porción generalmente plana o planar 192. En una realización ejemplar, el eje menor 190 tiene una longitud menor que el diámetro del extremo de la pala roscada 62. La longitud del eje menor 190 puede ser también menor que el diámetro del perno roscado 58 adyacente a la región de cuello 186 y entre el segundo extremo y el extremo de buje 64 del perno roscado 58. A modo de ejemplo, el eje menor 190 de la región de cuello 186 puede reducirse entre aproximadamente el 5 % y aproximadamente el 40 % en comparación con el diámetro de extremo de la pala 62 del perno roscado 58. Sin embargo, son posibles otros valores.

En la realización ejemplar, el eje mayor 188 puede tener una longitud mayor que el diámetro del extremo de la pala roscada 62, y posiblemente mayor que el diámetro del perno roscado 58 adyacente a la región de cuello 186 y entre el segundo extremo de la región de cuello y el extremo de buje 64 del perno roscado 58. A modo de ejemplo, una región de cuello 186 de este tipo puede formarse durante la formación del perno roscado 56. En este sentido, pueden presionarse los lados opuestos del perno roscado 56, usando una presión adecuada o similares, hacia dentro unos hacia los otros, definiendo de esta manera el eje menor 190 y las regiones planas 192. Esta presión a continuación provoca una protuberancia o expansión de material en la dirección transversal (por ejemplo, de manera que el área en sección transversal permanece sustancialmente constante), definiendo de esta manera el eje mayor 188 y dando como resultado una región de cuello en sección transversal elíptica 186. Similar a lo anterior, la longitud de la región de cuello 186 puede ser entre aproximadamente 0,5 D y aproximadamente 2 D. Sin embargo, también son posibles otras longitudes. Además, la región de cuello 188 puede incluir una o más transiciones, tales como ahusados, biseles o similares, en uno o ambos extremos de la región de cuello para proporcionar una reducción/expansión suave en la dimensión cruzada del perno roscado 58, evitando de esta manera concentraciones asociadas en general con esquinas y pasos relativamente agudos.

Hay una orientación preferida de la región de cuello 186 con relación al eje central de la pala 50 en el extremo de raíz 52 de la pala 50. En este sentido y como se ilustra en la Figura 10, los pernos roscados 58 pueden estar orientados de manera que el eje mayor 188, o las porciones planas 192, de la región de cuello 186 son en general perpendiculares a las líneas radiales 194 que se extienden hacia fuera del eje central de la pala 50 en el extremo de raíz 52 y que intersectan en general un centro de la sección transversal elíptica. De esta manera, la dimensión transversal mínima del perno roscado es generalmente paralela a las líneas radiales 194. Con una reducción en el eje menor 190 en comparación con el diámetro del extremo de la pala 62 del perno roscado 58, las tensiones en la superficie de los pernos roscados 58 en la región de cuello 186 (es decir, la localización de tensión máxima) pueden reducirse cuando los pernos roscados se someten a cargas de curvatura generalmente radiales.

Para situar los pernos roscados 58, y más particularmente la región de cuello 186, en la orientación apropiada durante el acoplamiento de la pala 50 al buje 48, los pernos roscados 58 pueden incluir un indicador 196 adyacente al extremo de buje 64 de los pernos roscados 58. En este sentido, los técnicos dentro del buje 48 no pueden ver la región de cuello 186 de los pernos roscados 58 durante la instalación de la pala 50 puesto que la región de cuello 186 es externa al buje 48. Usando el indicador 196, sin embargo, el técnico puede asegurar la orientación apropiada de la región de cuello 186 sin una confirmación visual de la misma región de cuello. En una realización, por ejemplo, y como se ilustra en la Figura 11, el indicador 196 puede ser una ranura, muesca o línea formada en la cara de extremo del extremo de buje roscado 64 que tiene una orientación que coincide con la del eje mayor 188 de la región de cuello 186. Pueden usarse también otros símbolos para identificar la orientación de la región de cuello 186, tal como correspondiendo al eje mayor y/o menor 188, 190 u otro aspecto geométrico de la región de cuello 186. Observando el indicador, el técnico puede ajustar los pernos roscados 58 de manera que la región de cuello 186 tiene la orientación ilustrada en la Figura 10.

Aunque la presente invención se ha ilustrado por una descripción de diversas realizaciones preferidas y aunque estas realizaciones se han descrito en algún detalle, no es la intención del solicitante restringir o limitar de manera alguna el alcance de las reivindicaciones adjuntas hasta tal detalle. Serán fácilmente evidentes ventajas y modificaciones adicionales para los expertos en la materia. Por ejemplo, aunque la invención se ha descrito en términos de un perno roscado, la invención puede ser beneficiosa en aplicaciones que usan otros tipos de pernos o conectores alargados, tales como pernos de cabeza, etc. Por lo tanto, las diversas características de la invención pueden usarse en solitario o en cualquier combinación dependiendo de las necesidades y preferencias del usuario.

REIVINDICACIONES

1. Una junta de conexión (54) para fijar una pala de rotor de turbina eólica (50) a un buje de rotor (48) que comprende un inserto (56) configurado para acoplarse a la pala de turbina eólica (50), comprendiendo el inserto (56):
 5 un cuerpo principal (70) que tiene un primer extremo y un segundo extremo, una perforación central (78) abierta al primer extremo y que se extiende hacia el segundo extremo, y una superficie externa configurada para hacer de interfaz con la pala;
 una primera extensión tubular (72) que se extiende lejos del segundo extremo del cuerpo principal (70) y que tiene una superficie interna (98) y una superficie externa (96), cada una de las superficies interna y externa (98, 96)
 10 configuradas para hacer de interfaz con la pala (50); y caracterizada por
 una segunda extensión tubular (74) que se extiende lejos del cuerpo principal (70) y que tiene una superficie interna (112) y una superficie externa (110), cada una de las superficies interna y externa (112, 110) configuradas para hacer de interfaz con la pala (50).
- 15 2. La junta de conexión (54) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que la segunda extensión tubular (74) está dispuesta coaxialmente dentro de la primera extensión tubular (72) para definir un hueco entre la superficie externa (110) de la segunda extensión tubular (74) y la superficie interna (98) de la primera extensión tubular (72).
- 20 3. La junta de conexión (54) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la primera extensión tubular (72) y/o la segunda extensión tubular (74) tienen una configuración cónica.
4. La junta de conexión (54) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la superficie externa o interna de la primera extensión tubular (72) y/o la segunda extensión tubular (74) forman un ángulo ahusado agudo con relación a un eje central (88) del inserto (56); preferentemente en el que el ángulo ahusado permanece sustancialmente constante a lo largo de la longitud de la primera y/o segunda extensiones tubulares (72, 74).
- 25 5. La junta de conexión (54) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el inserto (56) tiene una construcción de dos partes que comprende un primer elemento de inserto (120) y un segundo elemento de inserto (122), estando formados el primer y segundo elementos de inserto (120, 122) de manera separada y posteriormente acoplados juntos para formar el inserto (56).
- 30 6. La junta de conexión (54) de acuerdo con la reivindicación 5, en el que cada elemento de inserto (120, 122) lleva una de las extensiones tubulares (72, 74).
- 35 7. La junta de conexión (54) de acuerdo con la reivindicación 6, en el que el primer elemento de inserto (120) comprende una base (124) y la primera extensión tubular (72) que se extiende lejos de la base (124), teniendo la base la perforación central (78) dispuesta en la misma y una cavidad (126) abierta a un hueco de la primera extensión tubular (72), en el que el segundo elemento de inserto (122) comprende una base (128) y la segunda extensión tubular (74) que se extiende lejos de la base (128), y en el que la base (128) del segundo elemento de inserto (122) está asentada dentro de la cavidad (126) en el primer elemento de inserto (120) para acoplar los elementos de inserto (120, 122) juntos y formar de esta manera el inserto (56).
- 40 8. La junta de conexión (54) de acuerdo con la reivindicación 7, en el que la cavidad (126) está abierta a la perforación central (78) en el primer elemento de inserto (120); la junta de conexión (54) preferentemente comprende adicionalmente un canal a través de la base (128) del segundo elemento de inserto (122) y abierto a un hueco de la segunda extensión tubular (74).
- 45 9. La junta de conexión (54) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende adicionalmente un perno (58) que tiene un extremo de pala (62) configurado para recibirse dentro de la perforación central (78) del inserto (56) para acoplar el perno (58) al inserto (56), y un extremo de buje (64) configurado para acoplarse al buje de rotor (48).
- 50 10. Una pala de rotor de turbina eólica (50) que tiene un extremo de raíz (52) y un extremo de punta, comprendiendo la pala de rotor (50) una pluralidad de juntas de conexión (54) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los insertos (56) de las juntas de conexión (54) están embebidos dentro del extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50).
- 55 11. La pala de rotor de turbina eólica (50) de acuerdo con la reivindicación 10, que comprende adicionalmente una pluralidad de perforaciones (140) formadas en el extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50), en el que el inserto (56) de las juntas de conexión (54) está situado dentro de las respectivas perforaciones (140) en el extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50) de manera que la superficie externa (86) del cuerpo principal (70) forma una interfaz unida con la pala, las superficies internas y externas (96, 98) de la primera extensión tubular (72) forman una interfaz curvada con la pala, y las superficies internas y externas (110, 112) de la segunda extensión tubular (74) forman una interfaz unida con la pala; preferentemente en el que cada una de las perforaciones (140) comprende:
 60 una primera porción de cavidad (142) que tiene un primer extremo abierto a una cara de extremo (60) del extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50) y que se extiende lejos de la cara de extremo (60) a un segundo extremo (144);
- 65

- una primera cavidad anular (146) abierta a la primera porción de cavidad (142) y que se extiende lejos del segundo extremo (144) de la primera porción de cavidad (142); y
una segunda cavidad anular (152) abierta a la primera porción de cavidad (142) y que se extiende lejos del segundo extremo (144) de la primera porción de cavidad (142),
5 y en el que el cuerpo principal (70) del inserto (56) está generalmente situado dentro de la primera porción de cavidad (142), la primera extensión tubular (72) está generalmente situada dentro de la primera cavidad anular (146), y la segunda extensión tubular (74) está situada generalmente dentro de la segunda cavidad anular (152).
12. La pala de rotor de turbina eólica (50) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 10-11 cuando dependen
10 de la reivindicación 9, en el que el extremo de pala del perno (58) está acoplado al inserto (56) y el extremo de buje del perno (58) está configurado para acoplarse al buje de rotor (48) para asegurar la pala de rotor (50) al buje de rotor (48).
13. Una turbina eólica (40) que comprende una pala de rotor de turbina eólica (50) de acuerdo con cualquiera de las
15 reivindicaciones 10-12.
14. Un método de fabricación de una pala de rotor de turbina eólica (50), que comprende:
proporcionar una pala de rotor (50) que tiene un extremo de raíz (52) y un extremo de punta;
proporcionar una pluralidad de insertos (56), comprendiendo cada inserto (56) un cuerpo principal (70) que tiene un
20 primer extremo y un segundo extremo, una perforación central (78) abierta al primer extremo y que se extiende hacia el segundo extremo, y una superficie externa (86); una primera extensión tubular (72) que se extiende lejos del segundo extremo del cuerpo principal (70) y que tiene una superficie interna (98) y una superficie externa (96); y una segunda extensión tubular (74) que se extiende lejos del cuerpo principal (70) y que tiene una superficie interna (112) y una superficie externa (110); y
25 embeber los insertos (56) dentro del extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50) de manera que la superficie externa (86) del cuerpo principal (70) hace de interfaz con la pala, las superficies internas y externas (98, 96) de la primera extensión tubular (72) hacen de interfaz con la pala, y las superficies internas y externas (112, 110) de la segunda extensión tubular (74) hacen de interfaz con la pala.
15. El método de acuerdo con la reivindicación 14, en el que proporcionar una pluralidad de insertos (56) comprende
30 adicionalmente:
formar un primer elemento de inserto (120) que tiene la primera extensión tubular (72);
formar un segundo elemento de inserto (122) que tiene la segunda extensión tubular (74), formándose el segundo
elemento de inserto (122) separado del primer elemento de inserto (120); y
35 unir el primer y segundo elementos de inserto (120, 122) para formar el inserto (56).
16. El método de acuerdo con la reivindicación 14 o 15, en el que embeber los insertos (56) dentro del extremo de
raíz (52) de la pala (50) comprende adicionalmente:
formar una pluralidad de perforaciones (140) en el extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50);
40 situar un inserto (56) dentro de cada una de las perforaciones (140) en el extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50); y
unir los insertos (56) dentro de las perforaciones (140).
17. El método de acuerdo con la reivindicación 16, en el que formar una pluralidad de perforaciones (140)
45 comprende adicionalmente:
formar una primera porción de cavidad (142) que tiene un primer extremo abierto a una cara de extremo (60) del
extremo de raíz (52) de la pala de rotor (50) y que se extiende lejos de la cara de extremo (60) a un segundo
extremo (144);
formar una primera cavidad anular (146) abierta a la primera porción de cavidad (142) y que se extiende lejos del
50 segundo extremo (144) de la primera porción de cavidad (142); y
formar una segunda cavidad anular (152) abierta a la primera porción de cavidad (142) y que se extiende lejos del
segundo extremo (144) de la primera porción de cavidad (142); preferentemente en el que formar la primera y
segunda cavidades anulares (146, 152) comprende adicionalmente formar simultáneamente la primera y segunda
cavidades anulares (146, 152).
55

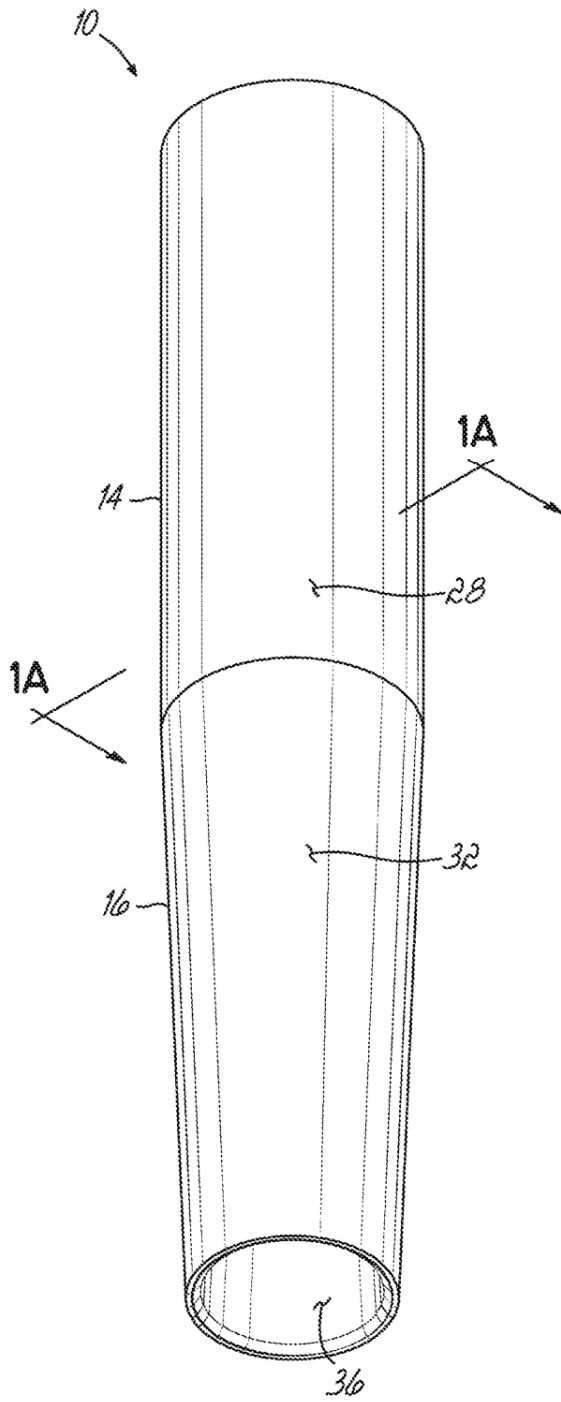


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

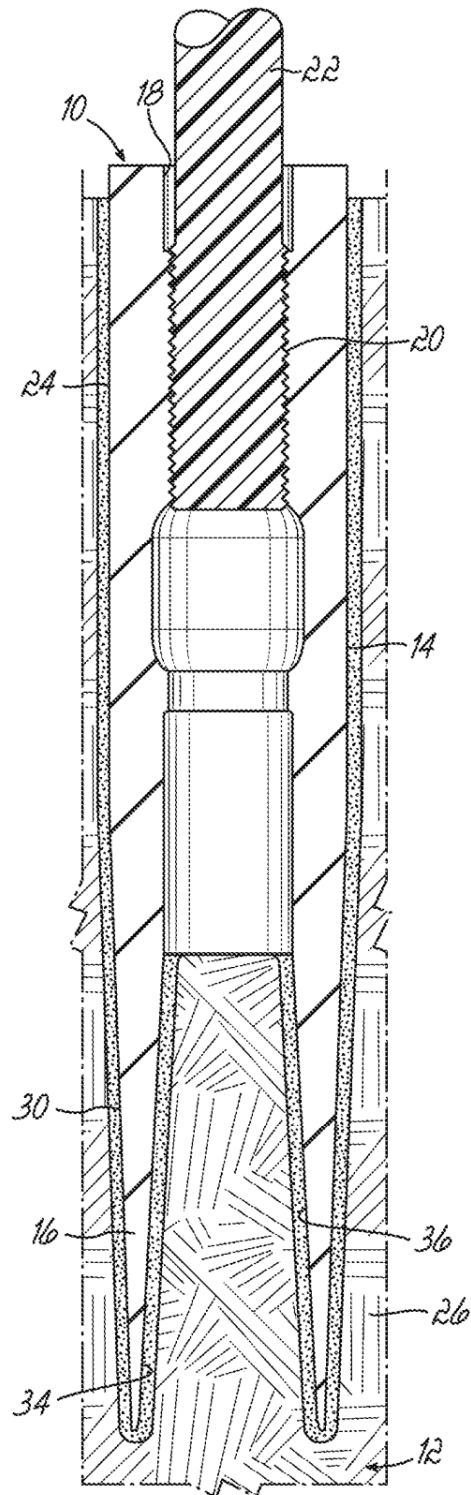


FIG. 1A
TÉCNICA ANTERIOR

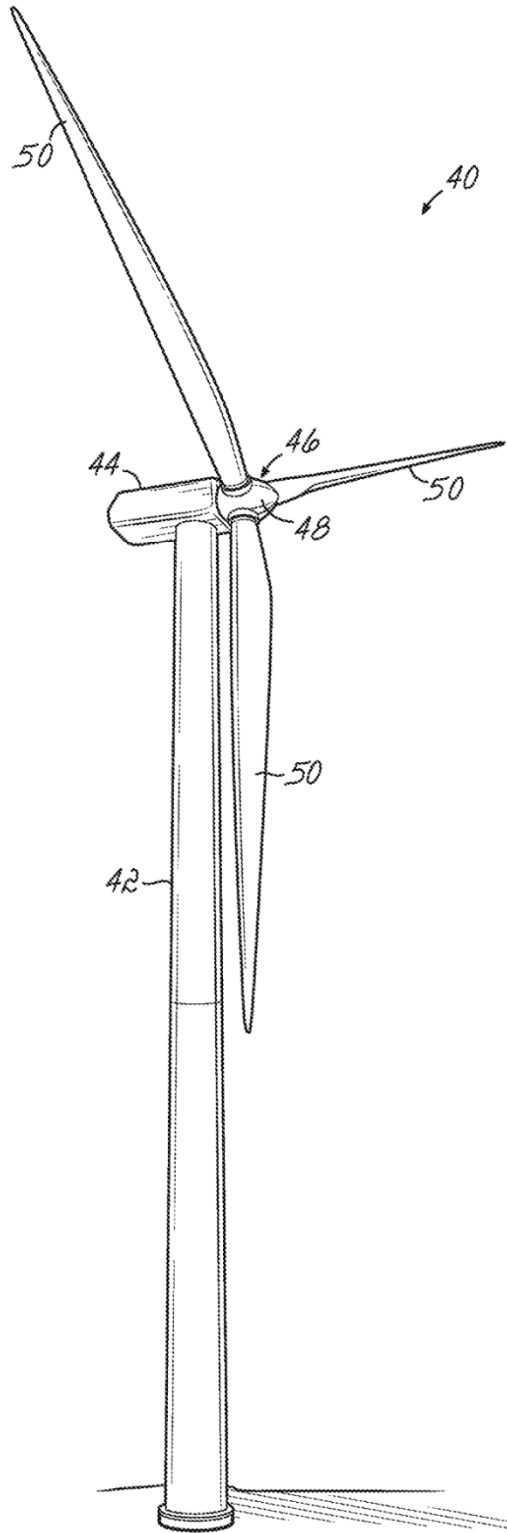


FIG. 2

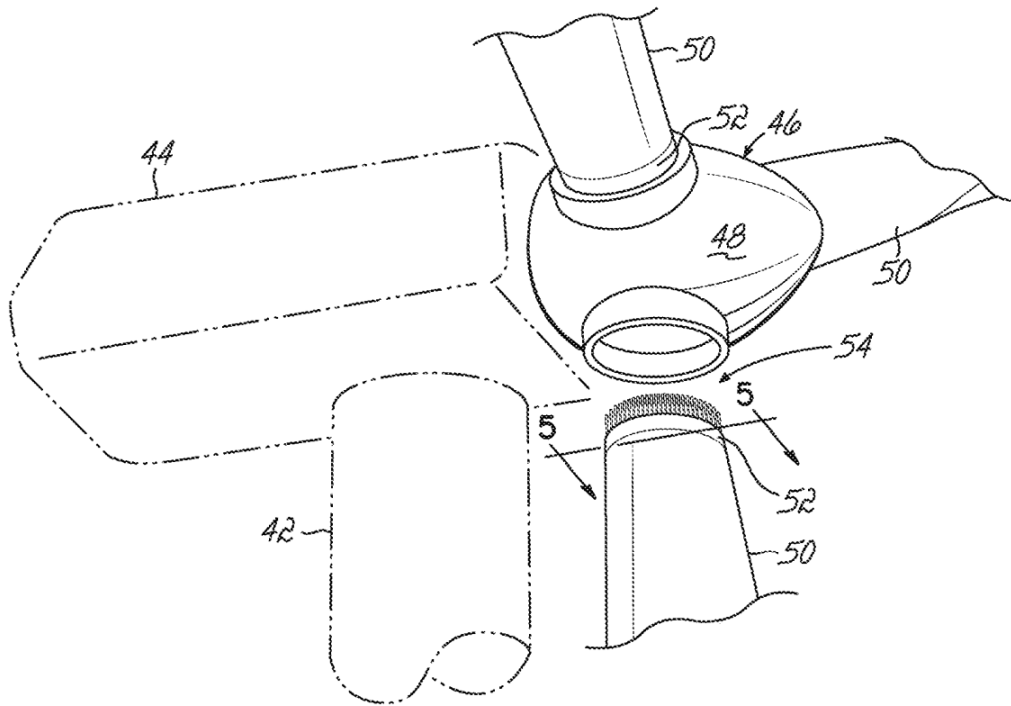


FIG. 3

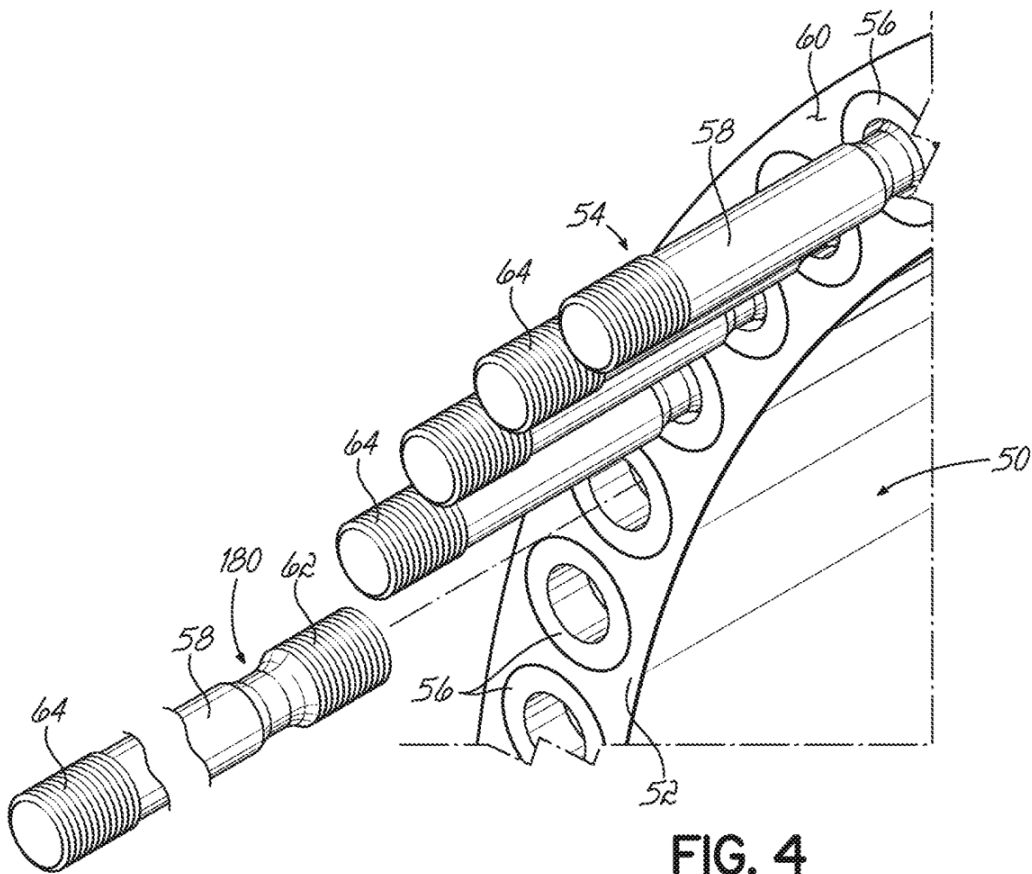


FIG. 4

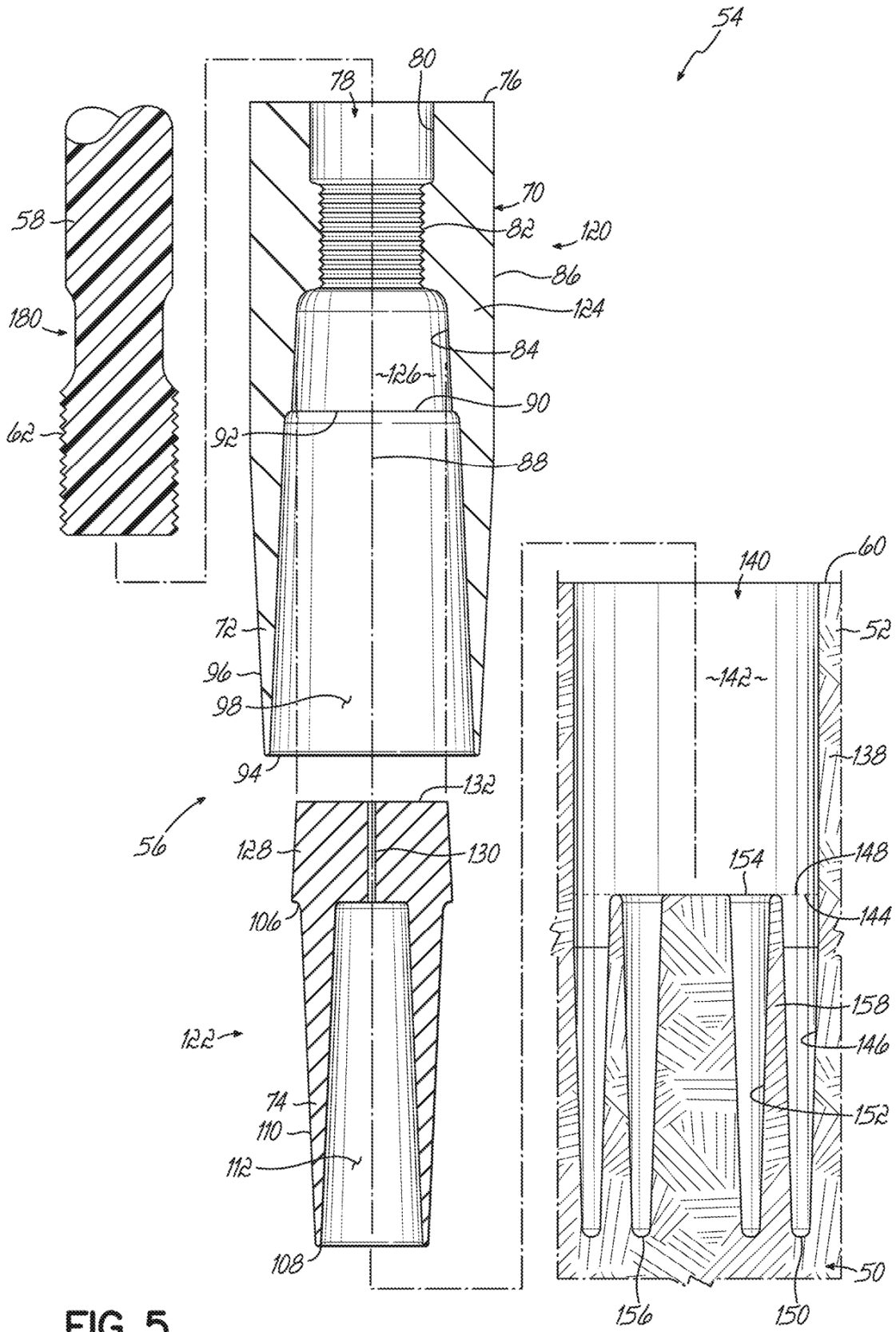


FIG. 5

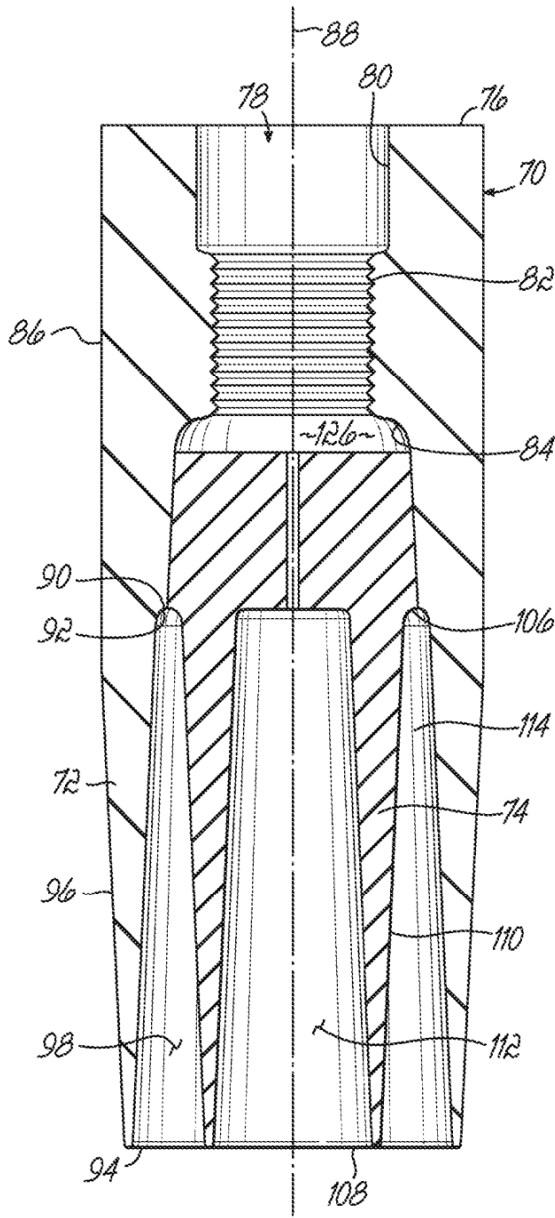


FIG. 6

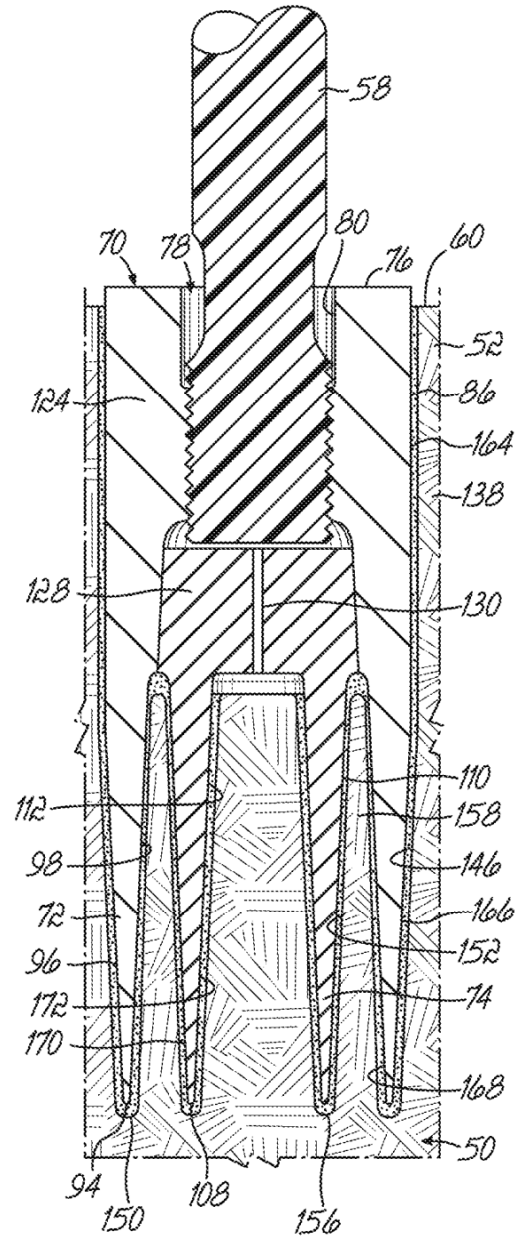


FIG. 7

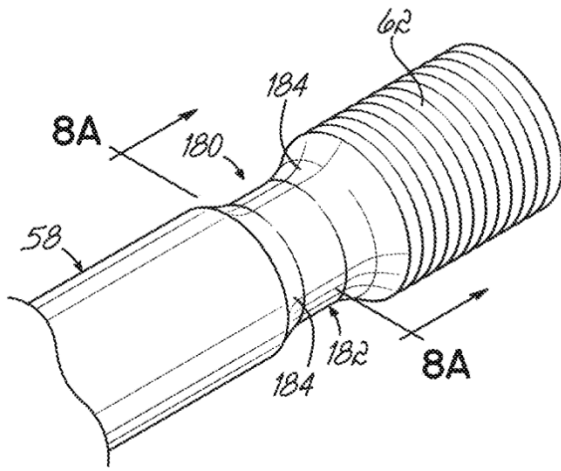


FIG. 8

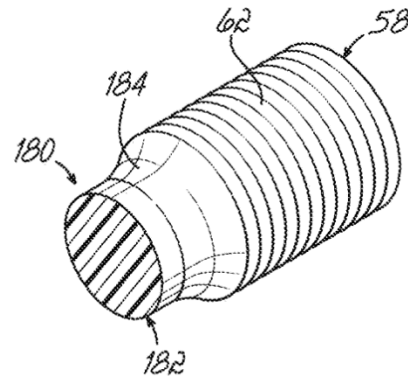


FIG. 8A

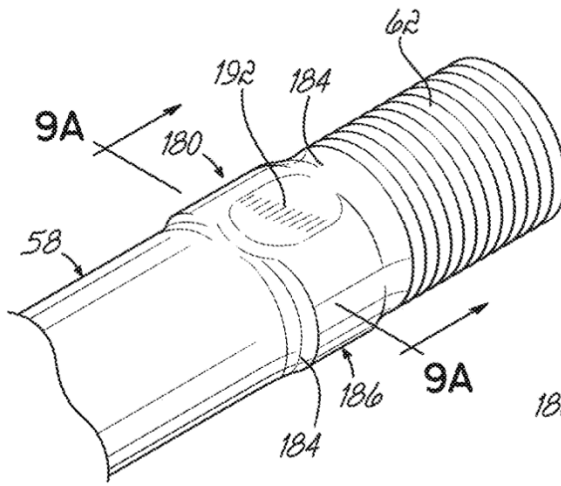


FIG. 9

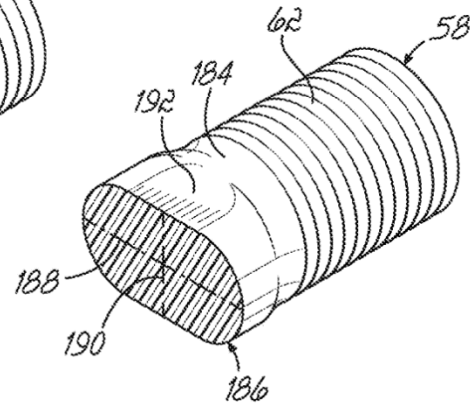


FIG. 9A

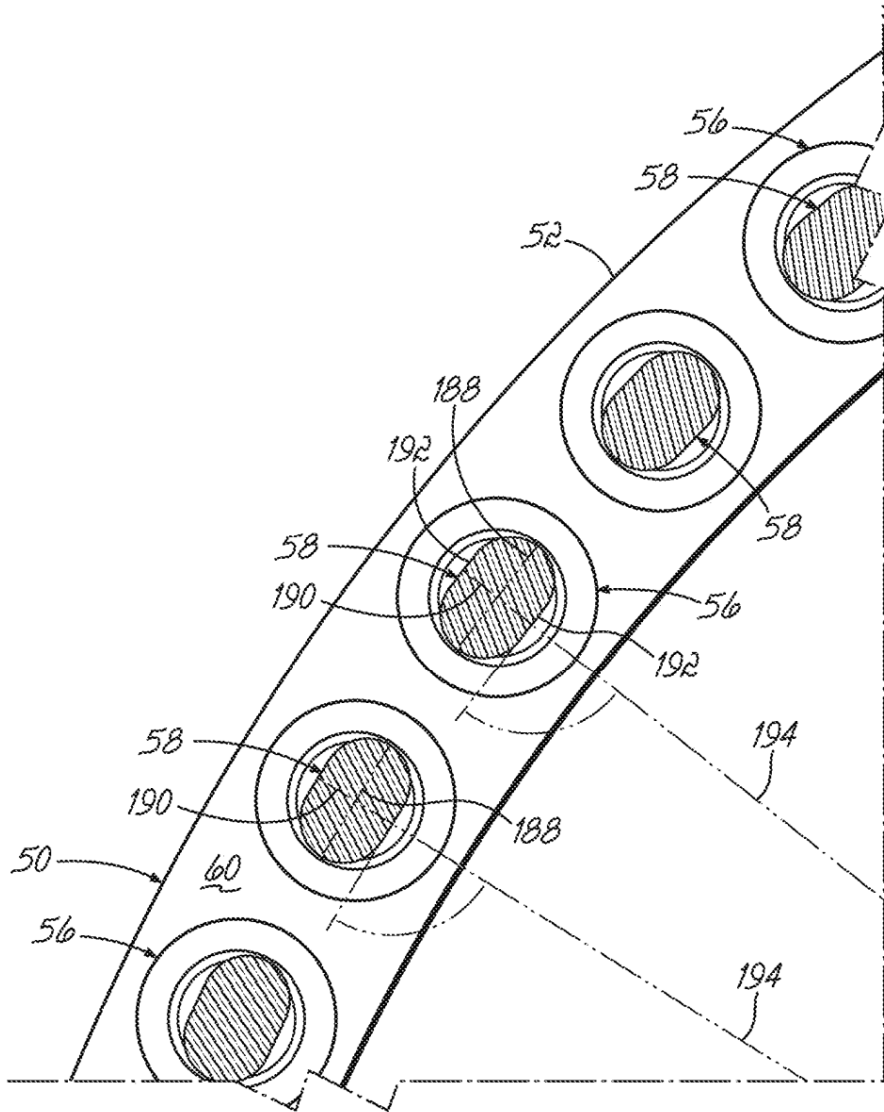


FIG. 10

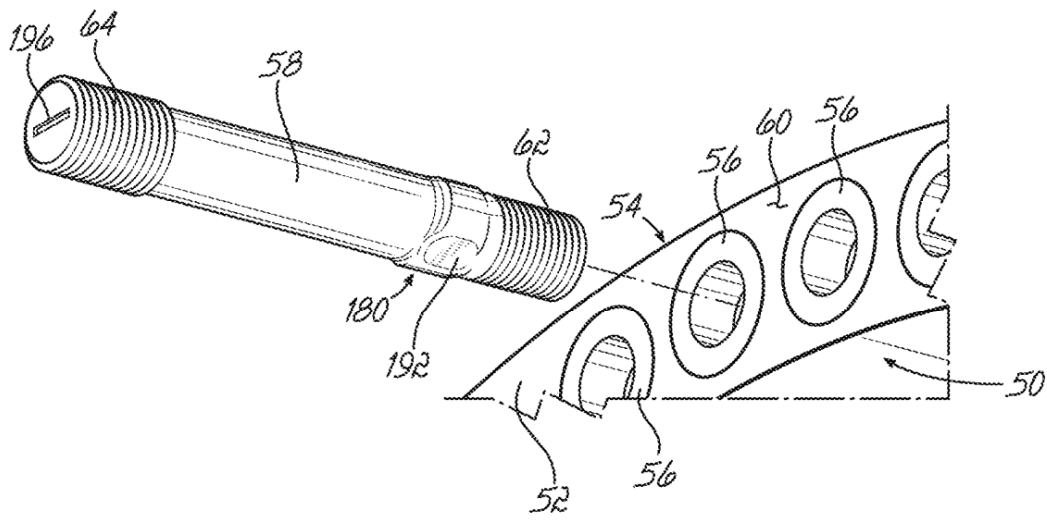


FIG. 11