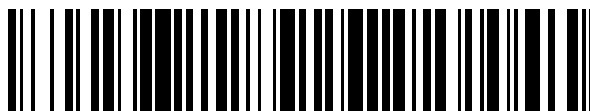


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 794 015**

51 Int. Cl.:

**B29L 31/08** (2006.01)  
**F03D 80/00** (2006.01)  
**F03D 9/25** (2006.01)  
**B29D 99/00** (2010.01)  
**B29C 70/02** (2006.01)  
**B29C 70/08** (2006.01)  
**F03D 1/06** (2006.01)  
**B29B 11/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.01.2011 E 14162053 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2020 EP 2752577**

54 Título: **Componentes de pala del rotor de la turbina eólica y métodos para hacer los mismos**

30 Prioridad:

**14.01.2010 US 295006 P**

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

**17.11.2020**

73 Titular/es:

**SIEMENS GAMESA RENEWABLE ENERGY  
SERVICE GMBH (100.0%)  
Überseering 10  
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

**GRUHN, JOEL, D;  
FRANKLIN, ETHAN y  
NARASIMHAN, KAMESHWARAN**

74 Agente/Representante:

**SÁNCHEZ SILVA, Jesús Eladio**

**ES 2 794 015 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**

Componentes de pala del rotor de la turbina eólica y métodos para hacer los mismos

5 Campo de la invención

La invención se refiere en general a palas de rotor de la turbina eólica. La invención también se refiere a capas de preforma estructurales de múltiples elementos de resistencia rígida o barras para su uso en la fabricación de componentes de pala eólica.

10

Antecedentes

15 Los avances tecnológicos en turbinas eólicas continúan demostrando que la energía a partir de la energía eólica ofrece una fuente de energía alternativa comercialmente viable. Las mejoras en el diseño han permitido aumentar los tamaños de las turbinas eólicas y las palas de rotor, de manera que se han realizado aumentos en la producción de energía. Sin embargo, los costos de fabricación presentan desafíos para el desarrollo de la tecnología de energía eólica como una fuente de energía alternativa competitiva. En particular, los factores que contribuyen a los costos de fabricación y la eficiencia energética de las turbinas eólicas incluyen el diseño y la construcción de palas de rotor.

20 Los aumentos en el tamaño de la pala del rotor han demostrado aumentos en la producción de energía. Las turbinas eólicas comerciales grandes a menudo incluyen palas de rotor con envergaduras de 40 a 45 metros o más. La energía que se extrae de las turbinas eólicas depende del área del círculo de la curva de la pala del rotor o del diámetro del rotor desde la punta de la pala hasta la punta de la pala. En particular, los aumentos en la longitud de la pala aumentan el área del círculo de la curva de la pala que puede resultar en capturar más energía eólica y aumentar la producción de energía. Por ejemplo, el área del círculo de la curva de la pala es proporcional al cuadrado de la longitud de la pala, de manera que un aumento del 10% en la longitud de la pala del rotor puede dar como resultado un aumento del 20% en la producción de energía de una turbina eólica.

30 Sin embargo, aumentar el tamaño de la pala del rotor y, en particular, la longitud de la pala resulta en un aumento correspondiente en el peso y grosor de la pala, así como en un aumento en los requisitos de resistencia de la pala. El peso de la pala es un factor limitante clave en el diseño de la pala por el cual un aumento en el tamaño de la pala hace que el peso de la pala aumente más rápido que el aumento correspondiente en la producción de energía de la turbina. En particular, los aumentos en la longitud de la pala pueden resultar en aumentos exponenciales en el peso de la pala en un factor de 2,5 a 3 debido a los aumentos en la masa y el área de la pala. Los costos de fabricación consecuentes serían proporcionales al aumento de la cantidad de materiales que se consumen en la fabricación de palas más grandes y, por lo tanto, pueden llegar a ser desproporcionadamente altos en relación con los aumentos que se realizan en la producción de energía, causando rendimientos decrecientes de las inversiones en tamaños de palas más grandes. Las mejoras tecnológicas han ayudado a mitigar los aumentos en el peso de la pala como resultado de los aumentos en el tamaño de la pala. Sin embargo, el peso de la pala sigue siendo un factor limitante con respecto a la mejora la producción de energía de la turbina y la eficiencia. Por lo tanto, aumentar la producción de energía de la turbina a través del tamaño de la pala y específicamente a través de la longitud de la pala presenta los desafíos de equilibrar la longitud, el peso, la resistencia y los costos de fabricación de la pala para producir palas que aumenten de manera rentable la producción de energía.

45 El rendimiento aerodinámico y la eficiencia de las palas de rotor también son fundamentales para la producción eficiente y rentable de energía eólica. El rendimiento óptimo de las palas de rotor es esencialmente un compromiso en el diseño de la pala entre la forma de la pala y la resistencia de la pala. Una pala ideal define a lo largo de su envergadura una forma relativamente estrecha y retorcida para permitir un rendimiento aerodinámico efectivo, mientras que es relativamente gruesa cerca o en la raíz de la pala para proporcionar a la pala suficiente resistencia para soportar cargas aerodinámicas. Los diseños de palas son normalmente más bulbosos cerca de la raíz de la pala para proporcionar un grosor y una resistencia que compense la envergadura liviana y relativamente estrecha de la pala.

50 Las palas de rotor de la técnica anterior incluyen palas acopladas de torsión por doblado o acopladas por torsión que tienen una estructura que afecta pasivamente las cargas aerodinámicas durante el funcionamiento de una turbina eólica. El diseño y la construcción de la pala dictan el rendimiento aerodinámico y, en particular, las propiedades elásticas o de flexión que exhiben las palas cuando se someten a cargas y presiones aerodinámicas. Específicamente, tales propiedades mecánicas deseables pueden construirse en estructuras de palas a través de la forma o curvatura de la pala y materiales de fabricación de la pala. En términos generales, una pala acoplada por torsión se dobla y gira en respuesta a las cargas aerodinámicas para ajustar pasivamente su ángulo de inclinación a lo largo de su longitud. El ángulo de inclinación ajusta la carga del viento que actúa sobre la pala. La inclinación pasiva leve, por ejemplo, en pocos o varios grados, hacia una posición estable permite que la pala se distribuya pasivamente y elimine las cargas de viento durante la operación. El diseño de la pala y los materiales de fabricación y las técnicas de construcción pueden facilitar la extensión del acoplamiento del momento de flexión de la pala con su rotación de torsión y, por lo tanto, el nivel de control de inclinación pasiva que la pala puede lograr. Los altos niveles de momento de flexión y torsión de la pala de acoplamiento demuestran reducciones en las cargas aerodinámicas, particularmente en condiciones de viento extremo, así como reducciones en las cargas de fatiga en todo el rotor o la turbina eólica. Además, el acoplamiento de torsión por doblado permite que las

65

aspas se ajusten constante y rápidamente a las ráfagas de viento y los efectos de rotación. Como resultado, aumentos en la producción de energía y disminuciones en el daño por fatiga del rotor y la turbina eólica son posibles.

5 La inclinación pasiva resulta, en parte, de la deformación elástica y el acoplamiento de torsión por doblado en los laminados estructurales, compuestos u otros materiales que construyen la pala y, en particular, la construcción de las estructuras de carga de la pala. Dichos materiales sirven como componentes estructurales pasivos que afectan la respuesta dinámica de la pala y las cargas aerodinámicas que actúan sobre la pala. Los estudios de diseños de palas sugieren que la reducción general de la carga puede depender, entre otros factores, de la cantidad de acoplamiento de materiales estructurales y su diseño y fabricación. Además, los materiales estructurales y su diseño pueden afectar el costo, la rigidez, el peso y la resistencia de la pala, así como la fatiga y la vida operativa de la pala.

15 Los procesos de fabricación de compuestos de la técnica anterior a menudo limitan la rigidez, la resistencia y la resistencia a la fatiga de los componentes de pala estructurales, tales como vigas en I, cordones de larguero y almas cortantes, a niveles inferiores al ideal o máximo. Las formas disponibles de fibras de refuerzo limitan las mejoras en estos procesos. Por ejemplo, la fibra de vidrio se suministra comúnmente como un tejido seco o sin relleno, una mecha o un tejido impregnado previamente. En cada caso, el material que se suministra se enrolla en un carrete o rollo para facilitar la manipulación y el envío. Sin embargo, enrollar una capa de material fibroso de grosor finito sobre un rodillo induce ondulación de la fibra o falta de colimación total de la fibra en la parte final, que puede no ser removible y que se ha demostrado que reduce la resistencia a la compresión. Una reducción en la resistencia a la compresión debe compensarse con más material, lo que fabrica un componente indeseablemente más grande, más pesado y más costoso.

20 Un componente más pesado también puede requerir más trabajo. La fabricación de tales componentes estructurales como, por ejemplo, un cordón de larguero fibrosos o con fibra, por ejemplo, vidrio, materiales compuestos, mallas, telas, capas y otros materiales, a menudo requiere volúmenes relativamente grandes de dichos materiales para construir un componente estructural. Debido a la naturaleza y el diseño de tales compuestos fibrosos y con fibra, mallas, telas, capas y materiales, la fabricación de cordones de larguero puede requerir mucho trabajo. Por ejemplo, la fabricación de cordones de larguero, tal como en un molde, a menudo requiere más de 50 capas de tela de vidrio para producir un cordón de larguero que puede ser del orden de 30 a 50 metros o de más longitud y puede tener un grosor, en algunos puntos a lo largo de su longitud, de unos 40 mm o más. Claramente, una eficiencia de material más baja requiere que se use una mayor cantidad de tela para hacer un cordón de larguero más grueso, y se requiere más mano de obra para llenar el molde del cordón de larguero.

25 Además, el empleo de tales capas de tela reforzada con fibra y materiales compuestos normalmente requiere la aplicación de una resina apropiada para pegar las capas de tela y los materiales compuestos y, por lo tanto, definir la geometría del cordón de larguero terminado. Los métodos y técnicas actuales para aplicar resina de pegamento incluyen infusión de resina e inyección de resina. Dichos métodos y técnicas implican fundir al vacío o inyectar bajo presión un volumen de resina de pegamento en, por ejemplo, una pila de capas de tela de fibra de refuerzo y posteriormente curar la resina para pegar las capas. Debido a la falta de forma estructural inherente a un tejido de fibra, dichos materiales de la técnica anterior son susceptibles de lavado de fibra durante la infusión o inyección de resina que da como resultado arrugas indeseables, abolladura, colocación incorrecta y orientación errónea de las capas de tejido y los compuestos en el cordón de larguero resultante.

30 Además, las capas de tela reforzada con fibra y los materiales compuestos de la técnica anterior son susceptibles de contracción durante el curado de la resina de pegamento. Durante el curado de la resina, la resina de pegamento puede encogerse sustancialmente de manera que la contracción de la resina puede causar arrugas, torceduras y abolladuras indeseables de las capas de tela y materiales compuestos durante la fabricación de componentes estructurales.

35 Nuevamente, las formas de los materiales de la técnica anterior no admiten un proceso de fabricación o moldeado estrictamente controlado, lo que a su vez requiere el uso de material adicional. En consecuencia, las técnicas y procesos de fabricación que utilizan materiales fibrosos o reforzados con fibra pueden afectar el tiempo de fabricación general y el costo de la producción de palas de turbina.

40 En el documento WO 2009/059604 A1, se describe una estera estructural para reforzar una estructura de pala de turbina eólica que comprende dos o más grupos de fibras pegadas, las fibras se pegan mediante una matriz que impide sustancialmente el movimiento relativo de dichas fibras, y en donde dichos grupos se conectan entre sí mediante medios de conexión que limitan el movimiento relativo de dichos grupos. Los medios de conexión para los grupos aseguran que el espacio entre los grupos se mantenga sustancialmente en un tamaño deseado, reduciendo así la cantidad de resina necesaria para saturar completamente la estera e impidiendo así las reacciones exotérmicas excesivas de la resina de infusión de la pala. Los medios de conexión pueden ser medios de costura que permiten a los grupos desplazarse longitudinalmente entre sí, permitiendo así que la unión se forme en una curva u otra.

45 Por lo tanto, es deseable formar componentes estructurales y de carga de las palas de rotor de la turbina usando materiales y técnicas de fabricación mejorados que permitan aumentar el tamaño de la pala del rotor, al tiempo que disminuyen el peso de la pala y aumentan la resistencia de la pala. Además, es deseable emplear materiales y técnicas de fabricación para producir tales estructuras de carga como cordones de larguero para mejorar la aerodinámica de las palas de rotor y, en el caso de las palas de rotor en forma de flecha, para contornear tales estructuras para conformar la

curvatura de la pala o curva de la pala. También es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que ayuden a evitar o minimizar el lavado y las arrugas de la fibra, al tiempo que aumentan la fracción de volumen de la fibra para garantizar una resistencia suficiente en componentes estructurales como los cordones de larguero. También es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que aumenten la eficiencia general de la fabricación de palas.

5 Además, es deseable usar materiales y técnicas de fabricación que reduzcan los costos de fabricación y el tiempo asociados con la producción de componentes de palas en términos de reducir los materiales y los costos de mano de obra, aumentar las tasas de infusión/inyección de resina y reducir los tiempos de curado de la resina.

10 Resúmen

En general, en un aspecto, la invención proporciona un cordón de larguero para una pala de turbina eólica que comprende una viga compuesta que se configura como un componente de soporte estructural de una carcasa de un perfil de la pala eólica. La viga compuesta define dimensiones de manera que el cordón de larguero se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura de la pala. La viga compuesta puede incluir una o más capas de preforma con cada capa de preforma que incluye múltiples elementos de resistencia unidireccionales rígidos o barras que se disponen adyacentes entre sí y longitudinalmente con relación a su longitud en una sola capa a lo largo de un eje longitudinal de la capa de preforma. Los elementos de resistencia o barras pueden retenerse en la capa con una estructura de retención que interactúa con los elementos o barras. Una configuración de una estructura de retención puede incluir una o más capas portadoras fibrosas a las que se unen los elementos de resistencia o barras. La disposición en una sola capa de los elementos de resistencia o barras puede definir la capa de preforma como un elemento o componente estructural prefabricado. Cada elemento de resistencia o barra puede comprender un material compuesto de fibras estructurales alargadas y sustancialmente rectas que se saturan por una resina matriz. La resina matriz puede distribuirse con una masa de las fibras, que se orientan longitudinalmente y se alinean sustancialmente de manera lineal. Cuando se cura o solidifica, el material compuesto puede formar un elemento o barra prefabricada rígida que tiene una distribución sustancialmente uniforme de fibras y un alto grado de colimación de fibras. La rectitud de las fibras y la colimación significativa de la fibra pueden producir elementos de resistencia o barras con alta rigidez y resistencia a la compresión significativa. Dichas propiedades son muy ventajosas y se requieren cuando las capas de preforma se usan en estructuras de carga, tales como una viga compuesta de un cordón de larguero, y en refuerzos de palas y otros componentes de palas. La rigidez y la resistencia a la compresión de las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden proporcionar al cordón de larguero y a otros componentes de la pala, y finalmente a la pala de la turbina, las propiedades mecánicas requeridas para palas más grandes y largas sin aumentar significativamente el peso de la pala y los materiales y costos de fabricación.

35 Cada capa de preforma puede estratificarse o apilarse con una o más capas de preforma para formar estructuras y componentes de palas. En una configuración, múltiples capas de preforma estratificadas o apiladas pueden definir total o parcialmente una longitud y un grosor de una viga compuesta del cordón de larguero. Algunas configuraciones de la viga compuesta pueden construirse y disponerse con múltiples capas de preforma para definir el cordón de larguero con un ancho y grosor transversal sustancialmente uniforme. Pueden construirse y disponerse otras configuraciones de la viga compuesta con múltiples capas de preforma para definir el cordón de larguero con un ancho transversal que se estrecha, por ejemplo, hacia la punta de la pala. Pueden construirse y disponerse configuraciones adicionales de la viga compuesta con múltiples capas de preforma para definir el cordón de larguero con un grosor ahusado que se estrecha a lo largo de la envergadura del cordón de larguero hacia la punta de la pala y, opcionalmente, hacia la raíz de la pala. Aún pueden construirse otras configuraciones de la viga compuesta y disponerlas con múltiples capas de preforma para definir el cordón de larguero con un contorno curvado. El contorno curvado puede corresponder al contorno de un diseño de pala curvada en el que se incorpora el cordón de larguero.

Las implementaciones del cordón de larguero pueden incluir una o más de las siguientes características. Las configuraciones de la viga compuesta del cordón de larguero que se construye y dispone con múltiples capas de preforma pueden incluir una o más capas de preforma que se unen o se pegan a, o se intercalan con, otras capas de preforma y/o múltiples capas fibrosas para definir la viga compuesta con el ancho y grosor transversal que se requiere o desea. La viga compuesta puede comprender múltiples capas de preforma que definen un cierto porcentaje del peso total por unidad de área de la viga compuesta, de manera que las capas de preforma pueden comprender cualquier porcentaje del peso total de un área dada de la viga compuesta. Este porcentaje puede depender del diseño y la forma de la pala, las propiedades mecánicas necesarias y/o los requisitos de rendimiento de la pala. Para aquellas configuraciones de la viga compuesta que se construye principalmente de múltiples capas de preforma estratificadas o apiladas, las capas de preforma pueden incluir hasta aproximadamente el 100% del peso total de la viga compuesta. En otras configuraciones de la viga compuesta que se construye y dispone con múltiples capas de preforma que se unen o se pegan a, o se intercalan con, múltiples capas fibrosas, las capas de preforma pueden incluir un porcentaje relativamente bajo del peso total por unidad de área de la viga compuesta. La construcción y disposición de las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden proporcionar flexibilidad a este respecto, de manera que las capas de preforma pueden facilitar la formación de la viga compuesta con cualquier número de capas de preforma, solas o en combinación con múltiples capas fibrosas, para satisfacer cualquier porcentaje requerido o deseado del peso total de la viga compuesta.

65 Además, la construcción y disposición de las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden proporcionar oportunidades para aumentar o maximizar la densidad de empaquetamiento de las capas de preforma y, por lo tanto, los

5 elementos de resistencia y barras en la viga compuesta, de manera que las capas de preforma pueden aumentar o maximizar la fracción de volumen de fibra de la viga compuesta. Las fibras estructurales de los elementos de resistencia o barras pueden aumentar la fracción de volumen total neto de fibra de las capas de preforma. De esta manera, las capas de preforma de acuerdo con la invención pueden emplearse para manipular la fracción de volumen total neto de fibra de la capa de preforma y la viga compuesta del cordón de larguero sin comprometer el cordón de larguero en términos de peso y dimensiones totales.

10 Las múltiples capas fibrosas a las que se unen o intercalan una o más capas de preforma pueden incluir capas de fibras, mallas o telas que se construyen con fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de grafito, fibras de basalto o fibras cerámicas, y combinaciones de las mismas. Cuando la viga compuesta se construye principalmente de múltiples capas de preforma, las capas de preforma pueden definir longitudes variables de modo que, cuando las capas de preforma se apilan o estratifican entre sí para fabricar la viga compuesta, las longitudes variables de las capas de preforma pueden definir un grosor ahusado de la viga compuesta. Cuando la viga compuesta se construye principalmente de múltiples capas fibrosas, cada capa de preforma puede definir ciertas dimensiones generales de modo que, cuando las capas de preforma se apilan o estratifican entre sí y/o con múltiples capas fibrosas para formar la viga compuesta, las capas de preforma puede servir como refuerzos estructurales o miembros de resistencia del cordón de larguero y otras porciones de la pala.

20 Múltiples capas de preforma apiladas o estratificadas, que se unen o intercalan con múltiples capas fibrosas o no, pueden definir una formación apilada a la que puede aplicarse una resina de pegamento para formar finalmente la viga compuesta. La resina de pegamento puede aplicarse a la formación apilada mediante diferentes técnicas que incluyen, entre otras, procesos de infusión de resina, moldeado por transferencia de resina, otras técnicas de vacío y técnicas de colocación manual. Después de que la resina de pegamento se cura o solidifica, la viga compuesta puede definir el cordón de larguero con una estructura terminada que tiene dimensiones generales bien definidas con mínimas irregularidades.

25 En otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma como se describe anteriormente. La capa de preforma puede incluir múltiples elementos de resistencia unidireccionales o barras que se disponen adyacentes entre sí y longitudinalmente con relación a su longitud en una sola capa. En algunas configuraciones de la capa de preforma de acuerdo con la invención, los elementos de resistencia o barras también están sustancialmente paralelos entre sí. La capa de preforma puede incluir además una estructura de retención para mantener los múltiples elementos de resistencia o barras en una sola capa. La estructura de retención en algunas configuraciones de la capa de preforma puede incluir una o más capas portadoras fibrosas a las que se unen los múltiples elementos de resistencia o barras. La capa portadora fibrosa puede incluir una tela no tejida que se construye de múltiples fibras, hilos y/o mechas. La capa portadora fibrosa puede tener la misma longitud y ancho transversal que la capa de preforma. En otras configuraciones, la capa portadora fibrosa puede tener un ancho transversal más ancho que la capa de preforma para definir al menos un borde periférico u orillo que se extiende hacia afuera desde al menos un borde de la capa de preforma. El borde u orillo puede definir un ancho transversal suficiente para servir como un punto de unión en el que la capa de preforma puede apilarse, estratificarse o intercalarse con una o más capas de preforma, múltiples capas fibrosas y/o bordes u orillos de otras capas portadoras de preforma. De esta manera, una o más capas portadoras con un borde y orillo pueden permitir que la(s) capa(s) de preforma se conecten o se unan a uno o más componentes de la viga compuesta del cordón de larguero. Además, una o más capas portadoras con un borde u orillo pueden permitir que la(s) capa(s) de preforma conecten o unan la viga compuesta del cordón de larguero a los componentes adyacentes de la pala, tal como un alma cortante o la porción de carcasa del perfil de la pala. Una o más capas portadoras con un borde y orillo también pueden permitir que la(s) capa(s) de preforma se conecten o unan a capas o componentes de las porciones de carcasa de un perfil de la pala.

45 En una configuración, la capa portadora fibrosa no tejida, cuando se ensambla con una o más capas de preforma, puede incluir fibras transversales, hilos y/o mechas que se disponen en una orientación transversal, o aproximadamente a 90°, en relación con los elementos de resistencia o barras unidireccionales de la capa de preforma. La capa portadora fibrosa puede impartir resistencia a la capa de preforma y puede aumentar la fracción de volumen de fibra de la capa de preforma. La capa portadora fibrosa también puede incluir una tela no tejida cosida, que incluye una tela biaxial o triaxial. Los múltiples elementos de resistencia o barras pueden pegarse o adherirse a una o ambas superficies de la capa portadora fibrosa. En otras configuraciones de la capa de preforma de acuerdo con la invención, la capa portadora fibrosa puede incluir una tela tejida.

55 En otro aspecto, la invención proporciona un componente estructural o de refuerzo de múltiples capas que incluye al menos una capa de preforma que se une o intercala con múltiples capas fibrosas. El componente de múltiples capas puede incluir una o más capas de preforma apiladas, unidas o intercaladas con múltiples capas fibrosas para definir las capas del componente. Las capas fibrosas pueden incluir capas fibrosas, mallas o telas de vidrio, carbono, grafito, basalto o fibras cerámicas, hilos y/o mechas y combinaciones de los mismos. La composición y la disposición de las capas de preforma y las capas fibrosas para formar el componente de múltiples capas pueden determinarse en relación con el propósito y la ubicación del componente en una pala de turbina eólica. Por ejemplo, una configuración del componente de múltiples capas puede incluir múltiples capas fibrosas que se disponen entre dos capas de preforma con los elementos de resistencia o barras de las capas de preforma que definen una superficie externa o exoesqueleto del componente multicapa.

65

En un aspecto adicional, la invención proporciona múltiples capas de preforma que se configuran en una banda continua. La banda continua puede incluir múltiples capas de preforma que se unen entre sí de manera adyacente a lo largo de su ancho transversal. La banda puede incluir zonas de extremo ahusadas que se extienden transversalmente a lo largo de su ancho para definir cada capa de preforma con una cierta longitud. Las zonas de extremo ahusadas se disponen y configuran en la banda para separar las capas de preforma individuales entre sí. Además, las zonas de extremo ahusadas pueden configurarse adicionalmente para permitir que las capas de preforma se separen, por ejemplo, al cortar una de la otra y de la banda. De esta manera, pueden proporcionarse múltiples capas de preforma que se requieren para fabricar una o más vigas compuestas, o uno o más componentes de la pala de turbina, en forma de banda continua para propósitos de almacenamiento y envío y para dispensar múltiples capas de preforma durante la fabricación de una viga compuesta u otros componentes de la pala.

Las características y ventajas de los aspectos de la invención, junto con la propia invención, se comprenderán más completamente después de una revisión de las siguientes figuras, descripción detallada y reivindicaciones.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista en perspectiva de una turbina eólica;

La Figura 2 es una vista en perspectiva de una pala de turbina eólica;

La Figura 3 es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 2 tomada en las líneas A-A que ilustran una porción de la cuerda de la pala;

La Figura 4A es una vista del borde de ataque de la pala que se muestra en las Figuras 2 y 3 que incluyen un cordón de larguero de acuerdo con un aspecto de la invención;

La Figura 4B es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 2 tomada en las líneas B-B que ilustran dos cordones de larguero de acuerdo con la invención;

La Figura 4C es una vista oblicua en sección transversal de una porción de una carcasa de la pala que incluye una configuración del cordón de larguero de acuerdo con la invención;

La Figura 4D es una vista lateral de múltiples capas de preforma que se disponen en una formación apilada para formar una viga compuesta de un cordón de larguero de acuerdo con la invención;

La Figura 4E es una vista superior de la formación apilada de múltiples capas de preforma como se muestran en la Figura 4D;

La Figura 4F es una vista lateral de otro aspecto de la invención que proporciona una viga compuesta que incluye múltiples capas de preforma que se disponen con múltiples capas fibrosas para formar una viga compuesta;

La Figura 4G es una vista lateral de otra configuración de la formación apilada que se muestra en la Figura 4D o la Figura 4F;

La Figura 4H es una vista del borde de ataque de una pala que incluye un cordón de larguero de acuerdo con la invención, que define una curva;

La Figura 4I es una vista del borde de ataque de una pala que incluye un cordón de larguero de acuerdo con la invención que define una construcción relativamente recta a lo largo de su longitud;

La Figura 4J es una vista del borde de ataque de una pala que incluye un cordón de larguero de acuerdo con la invención, que define un ancho transversal ahusado;

Las Figuras 5A es una vista superior de una configuración de una capa de preforma de acuerdo con otro aspecto de la invención;

La Figura 5B es una vista en sección transversal de una capa de preforma que incluye un tejido textil de fibra;

Las Figuras 5C y 5D son vistas superiores de otras configuraciones de una capa de preforma;

La Figura 6 es una vista en sección transversal de la capa de preforma que se muestra en la Figura 5A tomada en las líneas C-C;

La Figura 7 es una vista en sección transversal de la capa de preforma que se muestra en la Figura 5A tomada en las líneas C-C;

Las Figuras 8A y 8B son vistas en perspectiva de un elemento de resistencia o barra de acuerdo con la invención;

Las Figuras 9A-9D son vistas en perspectiva de una capa de preforma que se une con una capa portadora fibrosa de acuerdo con la invención;

La Figura 9E es una vista en perspectiva de una capa de preforma que se une con una capa portadora fibrosa y múltiples capas fibrosas de acuerdo con la invención;

La Figura 10A y 10B son vistas en sección transversal de un componente estructural de capas múltiples de acuerdo con otro aspecto de la invención que incluye al menos una capa de preforma;

La Figura 10C es una vista en perspectiva de un componente estructural de capas múltiples;

Las Figuras 10D-10H son secciones transversales esquemáticas de configuraciones de componentes estructurales de capas múltiples;

La Figura 10I es una vista en sección transversal de una viga compuesta de un cordón de larguero que incluye múltiples componentes estructurales;

Las Figuras 11A-11G son vistas en perspectiva de patrones de apilamiento de múltiples capas de preforma de acuerdo con la invención;

Las Figuras 12A y 12B son vistas en perspectiva de múltiples capas de preforma que incluyen un borde periférico u orillo de acuerdo con la invención;

La Figura 12C es una vista en sección transversal de múltiples capas de preforma que definen un borde escalonado;

Las figuras 12D y 12E son vistas en sección transversal de capas de preforma que definen un borde escalonado que se une a una porción de carcasa de un perfil de la pala;

La Figura 13 es una vista en perspectiva en sección transversal de una capa de preforma que se dispone a lo largo de una capa portadora fibrosa tejida de acuerdo con la invención;

5 La Figura 14A es una vista en perspectiva de otro aspecto de la invención que incluye una banda continua de múltiples capas de preforma;

La Figura 14B es una vista lateral en alzado de una zona ahusada que se define en la banda que se muestra en la Figura 12A;

La Figura 14C es una vista lateral de una porción de la zona ahusada que se muestra en la Figura 12B; y

10 La Figura 15 es una vista en sección transversal de la pala que se muestra en la Figura 3 que incluye una o más capas de preforma que se disponen en las porciones de carcasa de la pala.

#### Descripción detallada

15 Con referencia a las Figuras 1 y 2, en un aspecto, la invención proporciona una turbina eólica 10 que incluye una góndola 12 que se monta en una torre 14 y un rotor 16 que incluye un cubo giratorio 18 y palas de turbina 20. El rotor 16 se conecta operativamente a un generador eléctrico (no se muestra) que se aloja en la góndola 12. La torre 14 expone las palas 20 al viento. Las palas 16 capturan la energía eólica y transforman la energía eólica en un movimiento de rotación, que el generador eléctrico convierte en energía eléctrica mediante el generador eléctrico. La turbina eólica 10 que se ilustra en la Figura 1 incluye tres palas de turbina 20, aunque la invención no se limita específicamente a tres palas 20 y anticipa que el rotor 16 puede incluir más o menos palas de turbina.

20 Como se muestra en la Figura 2, la pala de turbina 20 incluye una porción de perfil aerodinámico 100 que se extiende entre una punta 116 y una raíz 118 de la pala. La porción de perfil aerodinámico 100 define un borde de ataque 112 y un borde de salida 114 de la pala 20. La raíz 118 se construye y dispone para su conexión con el cubo giratorio 18 de la turbina eólica 10. La distancia a lo largo o longitudinal entre la raíz 118 y la punta 116 de la pala se conoce como la envergadura o longitud  $L_1$  de la pala 20.

30 Con referencia a la Figura 3, se ilustra una vista en sección transversal de la pala 20 que se muestra en la Figura 2 tomada a lo largo de las líneas A-A. La porción de perfil aerodinámico 100 incluye una o más capas 101 y 103 que se conforman para definir la porción de perfil aerodinámico 100 con el borde de ataque 112 y el borde de salida 114. La distancia entre el borde de ataque 112 y el borde de salida 114 se conoce como la cuerda o ancho  $W_1$  de la pala 20. La cuerda  $W_1$  varía a lo largo de la longitud de la pala 20. La porción de perfil aerodinámico 100 incluye una porción de carcasa 120 primera o superior y una porción de carcasa 122 segunda o inferior como se muestra en la Figura 3. La primera porción de carcasa 120 y la segunda porción de carcasa 122 se adhieren juntas a lo largo de los perímetros de las porciones de carcasa 120 y 122 y en las juntas adhesivas (no se muestran) adyacentes al borde de ataque 112 y el borde de salida 114.

35 Con referencia adicional a la Figura 3, la primera y la segunda porciones de carcasa 120 y 122 pueden incluir una o más capas de refuerzo 101 y 103 que se configuran con materiales reforzados con fibra que incluyen, por ejemplo, materiales compuestos y/o tejidos reforzados con fibra. Además, las porciones de carcasa 120 y 122 pueden incluir un núcleo de rigidización 105 y 107 que se dispone entre una o más de las capas de refuerzo 101 y 103 y se forma, por ejemplo, de madera de balsa o espuma.

40 La pala 20 también incluye una estructura de soporte de carga longitudinal o cordón de larguero 126 que se incorpora con una o más de las capas de las porciones de carcasa 120 y 122 y se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura o longitud  $L_1$  de la pala 20. Una o más almas cortantes 125 que se extienden transversalmente entre de larguero 126 y las porciones de carcasa 120 y 122 unen los cordones de larguero 126. Los cordones de larguero 126 y las almas cortantes 125 son estructuras de refuerzo y se construyen y disponen para proporcionar rigidez, resistencia y estabilidad a la pala 20. Estas propiedades de la pala 20 ayudan a soportar el peso de la pala y ayudan a reducir o eliminar sustancialmente el daño a la pala 20 debido a la flexión de la pala y a las cargas aerodinámicas que actúan sobre la pala 20, así como ayudan a reducir o eliminar sustancialmente el riesgo de contacto de la pala 20 con la torre de turbina 14.

#### Formación y Configuraciones del Cordón de Larguero

55 Con referencia a las Figuras 4A-4E, y con referencia adicional a la Figura 3, en otro aspecto, la invención proporciona un cordón de larguero de pala 126 que se construye y dispone como una viga compuesta 127. Como se ilustra en la Figura 3, el cordón de larguero 126 puede unirse o pegarse a una o más capas que forman la porción de carcasa 120 primera o superior, y un segundo cordón de larguero 126 puede unirse o pegarse a una o más capas que forman la porción de carcasa 122 segunda o inferior. En una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, el cordón de larguero 126 se construye y dispone para unirse o incorporarse con al menos la capa intermedia 105 y 107 de una porción de carcasa 120 y 122. La invención no se limita a este respecto y concibe que el cordón de larguero 126 pueda construirse y disponerse en diferentes configuraciones y unirse o incorporarse a las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala de cualquier manera para formar una estructura de carga de las porciones de carcasa 120 y 122.

65 La Figura 4A es una vista del borde de ataque 112 de la pala 20 que incluye el cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención. La Figura 4B ilustra una vista en sección transversal de la envergadura de la pala  $L_1$  tomada en la línea B-B de

la Figura 2 con el cordón de larguero 126 incluido en la primera y la segunda porciones de carcasa 120 y 122. Como se muestra en la Figura 4A, el cordón de larguero 126 se posiciona en la pala de turbina 20 entre la raíz de la pala 118 y la punta de la pala 116 y define una longitud  $L_2$  que se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura  $L_1$  de la pala de turbina 20. La longitud  $L_2$  del cordón de larguero 126 es normalmente mayor que su ancho transversal  $W_2$ .

Como se muestra en la Figura 4C, el cordón de larguero 126 define un ancho transversal  $W_2$  que es menor que la cuerda  $W_1$  de la pala 20. El ancho transversal  $W_2$  puede ser sustancialmente uniforme a lo largo de la longitud  $L_2$  del cordón de larguero en una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención. Como se describe a continuación, en otra configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, el ancho transversal del cordón de larguero 126 puede incluir un ancho transversal ahusado, que se ahúsa o se estrecha a lo largo de la longitud  $L_2$  del cordón de larguero, hacia la punta de la pala 116.

Los cordones de larguero, tales como los que se ilustran en la Figura 3 y en las Figuras 4A y 4B, a menudo se fabrican o construyen en un molde (no se muestra) que se configura como una bandeja horizontal que tiene un interior que se define por un panel inferior y dos paredes laterales que se extienden hacia arriba desde el panel inferior y definen una abertura superior del molde. El fondo y las paredes laterales tienen dimensiones que ayudan a fabricar el cordón de larguero 126 con la longitud requerida o deseada  $L_2$  y el ancho transversal requerido o deseado  $W_2$ . La altura de las paredes laterales del molde con frecuencia corresponde al grosor requerido o deseado del cordón de larguero 126. Cuando se dispone en posición horizontal con la abertura hacia arriba, el interior del molde puede recibir materiales de fabricación. En una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, múltiples capas de preforma 300A y 300B, como se describe a continuación, pueden estratificarse o apilarse entre sí, o pueden estratificarse o apilarse verticalmente dentro del interior del molde, para construir el cordón de larguero 126.

Los cordones de larguero también pueden fabricarse o construirse en un molde integrado (no se muestra) que se configura para formar al menos porciones del cordón de larguero 126 y las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala 20. Tales moldes tienen configuraciones y dimensiones similares para ayudar a fabricar el cordón de larguero 126 con la longitud  $L_2$ , el ancho transversal  $W_2$  y el grosor que se requieren o desean. Tales moldes también pueden permitir que los materiales de fabricación, tales como las capas de preforma 300A y 300B que se describen a continuación, se estratifiquen o apilen entre sí, o que se estratifiquen o apilen verticalmente, dentro del interior del molde.

La Figura 4D ilustra una vista lateral del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención tomada a lo largo de su dimensión longitudinal o longitud  $L_2$ , y la Figura 4E ilustra una vista superior del cordón de larguero 126 que se muestra en la Figura 4D. En la configuración que se ilustra, el cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención comprende una viga compuesta 127 que incluye múltiples capas de preforma 300A y 300B de elementos de resistencia o barras altamente flexibles, que se describen en detalle a continuación. Las múltiples capas de preforma 300A y 300B se disponen en una formación apilada 128 y se fijan en la formación apilada 128 con resina de pegamento para formar una viga compuesta 127. La viga compuesta 127 se extiende a lo largo de al menos una porción de la envergadura  $L_1$  de la pala y define un grosor  $T_{i1-in}$ . Como se muestra en la Figura 4D, el grosor  $T_{i1-in}$  de la viga compuesta 127 varía a lo largo de su longitud  $L_2$ , de manera que el cordón de larguero 126 define un grosor ahusado  $T_{i1-in}$  a lo largo de la envergadura  $L_1$  de la pala. El grosor  $T_{i1-in}$  de la viga compuesta 127 puede variarse para acomodar aspectos estructurales del diseño de la pala 20 y proporcionar a la pala 20 propiedades de soporte de carga. En una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, la viga compuesta 127 define un grosor variable  $T_{i1-in}$  que se ahúsa a lo largo de su longitud  $L_2$  desde un área 129 de mayor grosor  $T_{máx}$  hacia la punta de la pala 116 y hacia la raíz de la pala 118. Diferentes puestos a lo largo del cordón de larguero 126 definen ciertos grosores  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ ,  $T_{i3}$ , y  $T_{i4}$ , como se ilustra en la Figura 4D; y dichos grosores pueden variar para ayudar a configurar el cordón de larguero 126 y, al menos en una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, para configurar el cordón de larguero 126 con un grosor ahusado. La invención no se limita a este respecto y se anticipa que la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 puede construirse para definir un grosor variable o un grosor sustancialmente uniforme a lo largo de su longitud  $L_2$ .

Como se muestra en las Figuras 4D y 4E, múltiples capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes variables se apilan entre sí como capas, o se apilan verticalmente como capas dentro de un molde de cordón de larguero. Cada capa de preforma individual 300A y 300B puede disponerse por encima o por debajo de otra capa de preforma 300A y 300B para construir el grosor de la viga compuesta 127. Como se muestra en la Figura 4E, cada capa de preforma 300A y 300B se apila en una posición predeterminada a lo largo de otra capa de preforma adyacente 300A y 300B para ayudar a definir un grosor ahusado  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ ,  $T_{i3}$ , y  $T_{i4}$ . Dentro de un molde de cordón de larguero, las capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse verticalmente adyacentes a una o más capas de preforma 300A y 300B para construir el cordón de larguero 126. Una o más capas de preforma 300A pueden tener una longitud  $L_3$  que es relativamente la capa de preforma más larga de múltiples capas de preforma 300A y 300B que forman la formación apilada 128 para definir una superficie 127B de la viga compuesta 127. Como se muestra en la Figura 4E, otras capas de preforma 300B pueden tener longitudes más cortas y variables  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera. Cuando se ensamblan, las longitudes variables  $L_3$  y  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A y 300B ahúsan el grosor de la viga compuesta 127 a lo largo de su longitud  $L_2$ , como se muestra en la Figura 4D. La configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, por lo tanto, puede adaptarse o ajustarse fácilmente a cualquier contorno de longitud, ancho y/o grosor de la pala.

La formación apilada 128 de las múltiples capas de preforma 300A y 300B puede incluir las capas de preforma 300A y 300B apiladas de manera que los bordes laterales 301 de cada capa de preforma individual 300A y 300B se alineen



longitudinalmente, como se muestra en la Figura 4E. Alternativamente, algunas o todas las capas de preforma 300A y 300B de la formación apilada 128 se disponen una con relación a la otra, de manera que, los bordes laterales de las capas de preforma 300A y 300B (no se muestra) se desplazan a lo largo del ancho transversal  $W_2$  de la formación apilada. 128. Los bordes laterales no alineados o desplazados de tales capas de preforma 300A y 300B ayudan a crear un área de superficie aumentada del cordón de larguero 126, lo que puede ayudar a aumentar la resistencia de unión a lo largo de los bordes laterales del cordón de larguero 126 y/o puede ayudar a impedir la formación de marcas a lo largo de la formación apilada 128.

Cuando se ensamblan, las capas de preforma apiladas 300A y 300B pueden ayudar además a configurar una superficie de la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención como una superficie ahusada o escalonada 127A, que resulta de las longitudes variables  $L_3$  y  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A y 300B. Una superficie no escalonada o ahusada 127B también puede resultar de una o más capas de preforma 300A que tienen mayor longitud o la longitud más larga  $L_3$  de las múltiples capas de preforma del cordón de larguero 126. En una configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, la superficie ahusada o escalonada 127A se orienta hacia afuera, hacia una superficie exterior del perfil de la pala 100, mientras que la superficie 127B no ahusada o escalonada se orienta hacia adentro hacia un interior hueco del perfil de la pala 100 que se define por una configuración interna del perfil de la pala 100. Alternativamente, en otra configuración del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, la superficie ahusada o escalonada 127A se orienta hacia adentro lejos de la superficie exterior del perfil de la pala 100 y hacia el interior hueco del perfil de la pala 100.

Como se describe, los cordones de largueros pueden definir un grosor ahusado  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ ,  $T_{i3}$ ,  $T_{i4}$ ,  $T_{in}$  a lo largo de su longitud  $L_2$ , que se ahúsa hacia la punta de la pala 116 y se ahúsa hacia la raíz de la pala 118 desde un punto de mayor o máximo grosor  $T_{m\acute{a}x}$  del cordón de larguero. Como se muestra en la Figura 4D, la superficie ahusada o escalonada 127A de la viga tiene una cierta tasa de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$  que corresponde al grosor requerido o deseado de la viga compuesta 127. La tasa de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$  corresponde a cambios en el grosor de la viga 127 y a una relación dada del cambio en el grosor de la viga por unidad de longitud de viga  $L_2$ . Una pequeña tasa de ahusamiento  $S_1$  representa un ahusamiento gradual del grosor de la viga, por ejemplo,  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$  y  $T_{i3}$ , mientras que una gran tasa de ahusamiento  $S_2$  representa un ahusamiento abrupto o empinado del grosor de la viga, por ejemplo,  $T_{i4}$ . Como se muestra en la Figura 4D, la superficie de la viga 127A y el grosor  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$  y  $T_{i3}$  se ahúsan con una tasa gradual  $S_1$  desde el área 129 con el mayor grosor  $T_{m\acute{a}x}$  hacia la punta de la pala 116. La disminución gradual de grosor  $T_{i1}$ ,  $T_{i2}$ , y  $T_{i3}$  ayuda a proporcionar al cordón de larguero 126 con suficiente resistencia y flexibilidad, así como la disminución del peso a lo largo de la envergadura  $L_1$  de la pala 20. En contraste, la superficie 127A y el grosor  $T_{i4}$  de la viga 127 que se extiende desde la raíz de la pala 118 se incrementa a una tasa de ahusamiento empinada  $S_2$ . La tasa de ahusamiento empinada  $S_2$  proporciona el grosor de la viga y, por lo tanto, ayuda a proporcionar resistencia y soporte a la porción del cordón de larguero 126 que se une o se conecta a la raíz de la pala 118.

En un ejemplo, solamente con fines ilustrativos, donde la pala 20 define una longitud  $L_1$  de cuarenta (40) metros, el cordón de larguero 126 define una longitud  $L_2$  de alrededor de treinta y nueve (39) metros (con un punto de mayor grosor  $T_{m\acute{a}x}$  de aproximadamente 40 mm que se dispone en un puesto de aproximadamente 3 metros desde la raíz de la pala 118). El cordón de larguero 126 tiene un ancho transversal sustancialmente uniforme  $W_2$  de alrededor de 500 mm, y una tasa gradual de ahusamiento  $S_1$  de la superficie de la viga 127A puede tener una relación de aproximadamente 1:900. En esta configuración, una tasa empinada de ahusamiento  $S_2$  puede tener una relación de aproximadamente 1:50. La invención no se limita a ninguna tasa(s) particular(es) de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$  ni a ningún grosor particular de la viga compuesta 127 porque estas características de la viga no son necesariamente constantes o limitadas. El cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, por lo tanto, puede construirse con cualquier grosor y tasa de ahusamiento para ayudar a cumplir los requisitos de resistencia y flexibilidad de un diseño particular de cordón de larguero.

Como se muestra en las Figuras 4D y 4E, y como se describió anteriormente, la formación ahusada 128 de la viga compuesta 127 puede resultar de apilar o estratificar múltiples capas de preforma 300A y 300B en un molde para definir el grosor ahusado y el ancho transversal  $W_2$  de la viga compuesta 127. Como se describe a continuación con referencia a las Figuras 5A-5D y la Figura 6, cada capa de preforma 300A y 300B incluye una sola capa de una pluralidad de elementos de resistencia o barras 202. Cada elemento de resistencia o barra 202 se dispone dentro de una capa de preforma individual 300A y 300B adyacente al menos a otro elemento de resistencia o barra 202 a lo largo de su dimensión longitudinal. La construcción y disposición de la pluralidad de elementos de resistencia o barras 202 que se orientan longitudinalmente, de las capas de preforma 300A y 300B, ayudan a proporcionar la viga compuesta 127 y el cordón de larguero 126 con rigidez, flexibilidad y resistencia.

Con referencia a la Figura 4F, y con referencia adicional a las Figuras 4A-4F, en otro aspecto, la invención proporciona la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 que comprende múltiples capas de preforma 300A y 300B, como se describió anteriormente y con más detalle a continuación, estratificadas con múltiples capas fibrosas, mallas o telas 602. Las capas fibrosas, mallas o telas 602 incluyen, pero no se limitan a, telas o mallas secas o sin relleno, telas o mallas de fibra impregnadas previamente, hilos de fibra, mechas de fibra y combinaciones de las mismas, y se denominan colectivamente "capas fibrosas" a fin de describir las invenciones. Las fibras que comprenden las capas fibrosas 602 pueden incluir fibras, hilados y/o mechas de vidrio; fibras, hilados y/o mechas de carbono; fibras, hilados y/o mechas de grafito; fibras, hilados y/o mechas de basalto; fibras, hilados y/o mechas cerámicas; y combinaciones de las mismas.

Más específicamente, la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención incluye una o más capas de preforma 300A y 300B apiladas, estratificadas o intercaladas con una o más capas fibrosas 602. Como se muestra en la vista lateral de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de la Figura 4F, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse o estratificarse, o disponerse encima y/o debajo, de una o más capas fibrosas 602. El grosor ahusado  $T_{11-in}$ , la(s) tasa(s) de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$ , la longitud  $L_2$  y el ancho transversal  $W_2$  que se requieren o desean de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 se logran en esta configuración de acuerdo con la invención al apilar, estratificar o intercalar capas de preforma 300A y 300B y múltiples capas fibrosas 602. Cuando el cordón de larguero 126 se forma usando un molde de cordón de larguero, o un molde que forma al menos una porción de un cordón de larguero y una porción de carcasa 120 o 122 de la pala 20, las capas de preforma 300A y 300B pueden apilarse verticalmente por encima y/o debajo de una o más capas fibrosas 602 y/o una o más capas de preforma 300A y 300B.

Como se muestra en la Figura 4F, en una configuración de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención, múltiples capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes variables se apilan, estratifican o intercalan con múltiples capas fibrosas 602 que también tienen longitudes variables para ayudar a lograr el grosor ahusado  $T_{11-in}$  de la formación apilada 128 o viga compuesta 127. Cada capa de preforma individual 300A y 300B puede disponerse encima y/o debajo de otra capa de preforma 300A y 300B o una o más capas fibrosas 602 para construir el grosor de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. La Figura 4E ilustra las longitudes variables  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A y 300B de una formación apilada dada 128 y la viga compuesta 127; sin embargo, la Figura 4E también puede servir para ilustrar las posibles longitudes variables  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, que las múltiples capas fibrosas 602 pueden definir para ayudar a lograr, junto con las múltiples capas de preforma 300A y 300B, el estrechamiento del grosor de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Como se muestra en la Figura 4F, una o más capas de preforma 300A y 300B se apilan, o colocan, con múltiples capas fibrosas 602, de manera que una o más capas de preforma 300A y 300B se disponen en una posición predeterminada dentro de la formación apilada 128 o viga compuesta 127 para ayudar a definir el grosor de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127. En tales posiciones, una o más capas de preforma 300A y 300B se apilan a lo largo de otras capas de preforma 300A y 300B o a lo largo de una o más capas fibrosas 602. La estratificación de las capas de preforma 300A y 300B con múltiples capas fibrosas 602 puede ayudar a definir el grosor ahusado  $T_{11}$ ,  $T_{12}$ ,  $T_{13}$ , y  $T_{14}$  y las tasas de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$  de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127.

Como se muestra en la Figura 4F, y con referencia adicional a la Figura 4E, una o más capas de preforma 300A y 300B y/o una o más capas fibrosas 602 pueden tener longitudes  $L_3$  que son relativamente largas en comparación con otras capas de preforma y capas fibrosas 602 para ayudar a definir una superficie 127B escalonada o ahusada de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Otras capas de preforma 300B y capas fibrosas 602 pueden tener en comparación longitudes relativamente más cortas y variables  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera. Como se muestra en la Figura 4F, las longitudes variables  $L_3$  y  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602 ayudan a definir el grosor ahusado de la formación apilada 128 y el grosor de la viga compuesta a lo largo su longitud  $L_2$ . Como también se muestra en las Figuras 4E y 4F, una o más capas fibrosas 602 que tienen ciertas longitudes definidas, por ejemplo,  $L_{4c-4d}$ , pueden estratificarse con una o más capas de preforma 300A y 300B que tienen longitudes definidas, por ejemplo,  $L_{4a-4b}$  y  $L_{4e-4f}$ , para ayudar a lograr un grosor ahusado requerido  $T_{11-in}$  y una tasa(s) de ahusamiento  $S_1$  y  $S_2$  de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127. La configuración de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención pueden adaptarse y ajustarse fácilmente a cualquier contorno de longitud, ancho y/o grosor de la pala.

La formación apilada 128 y la viga compuesta 127 pueden comprender múltiples capas de preforma 300A y 300B que definen un cierto porcentaje del peso total por unidad de área de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127. La invención no se limita a este respecto y anticipa que las capas de preforma 300A y 300B pueden comprender cualquier porcentaje del peso total de un área dada de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Este porcentaje puede depender del diseño y la forma de la pala, las propiedades mecánicas necesarias y/o los requisitos de rendimiento de la pala. Además, o alternativamente, cualquiera de las configuraciones de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 que se muestran en las Figuras 4D-4G puede incluir una o más capas de preforma 300A y 300B que se configuran para reforzar una o más áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127. Por ejemplo, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden configurarse para reforzar parcialmente una o más áreas seleccionadas de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 que se muestra en la Figura 4F, por ejemplo, además de las capas de preforma 300A y 300B que se estratifican con múltiples capas fibrosas 602 para construir la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 como se describió anteriormente. La colocación selectiva de las capas de preforma 300A y 300B dentro de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 puede ayudar a reducir la carga aerodinámica a lo largo de la pala 20 durante condiciones de viento fuerte. Por ejemplo, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden disponerse dentro de la formación apilada 128 para definir una mayor densidad de capas de preforma 300A y 300B a lo largo de una porción del cordón de larguero 126, tal como una o más porciones del cordón de larguero 126 que se orientan hacia el borde de ataque de la carcasa de la pala 120 y 122. La mayor cantidad de capas de preforma 300A y 300B ayudaría a acoplar la flexión del cordón de larguero y la pala con la torsión del cordón de larguero y la pala que se producen en respuesta a las cargas aerodinámicas a lo largo de la pala 20 durante el funcionamiento de la turbina. La mayor cantidad de capas de preforma 300A y 300B puede ayudar así a la inclinación de la pala 20 a reducir tales cargas aerodinámicas.

En otro caso, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden configurarse para reforzar parcialmente una o más áreas seleccionadas de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 que se construye principalmente de múltiples

capas fibrosas 602, de manera que la capa o capas de preforma 300A y 300B pueden comprender un bajo porcentaje del peso total de ciertas áreas seleccionadas. En esta configuración, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden constituir cualquier porcentaje, y tan poco como 1% o menos, del peso total de un área seleccionada de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127.

Como se discute a continuación en detalle con referencia a las Figuras 10A-10I, una o más capas de preforma 300A y 300B pueden unirse o pegarse a, o se intercalarse con, una o más capas fibrosas 602 para formar un componente estructural de múltiples capas 702 del cordón de larguero 126 o las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala 20. Uno o más componentes 702 también pueden construirse como refuerzos para una o más áreas seleccionadas a lo largo de la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126. Además, uno o más componentes 702 pueden construirse para estratificarse o apilarse con las capas de preforma 300A y 300B y múltiples capas fibrosas 602 que construyen la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 que se muestra en la Figura 4F.

Con referencia a la Figura 4G, se ilustra otra configuración de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 de acuerdo con la invención. Las capas de preforma 300A y 300B, solas o en combinación con múltiples capas fibrosas 602, definen el cordón de larguero 126 con un grosor que se ahúsa a una cierta tasa de ahusamiento  $S_1$  hacia la punta de la pala 116, mientras que una porción del cordón de larguero 126 que se orienta hacia, o se coloca adyacente o cerca de, la raíz de la pala 118, define un grosor sustancialmente uniforme. En esta configuración, la formación apilada 128 o viga compuesta 127 se ahúsa a lo largo de su envergadura  $L_1$  solo hacia la punta de la pala 116 y proporciona un grosor suficiente a lo largo de un extremo para unir o conectar el cordón de larguero 126 a la raíz de la pala 118 o a un área del perfil de la pala adyacente a la raíz de la pala 118.

Con referencia a las Figuras 4H y 4I, el cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención puede diseñarse y fabricarse con las capas de preforma 300A y 300B, o las capas de preforma 300A y 300B apiladas, estratificadas o intercaladas con múltiples capas fibrosas 602, para servir como soportes estructurales para diseños de palas curvada y diseños de palas rectas. Como se muestra en la Figura 4H, la pala 20 puede configurarse con una curva para manejar cargas aerodinámicas y/o para afectar el acoplamiento de torsión por giro. En tales diseños de palas, las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602 pueden ayudar a configurar el cordón de larguero 126 con una envergadura curva o curvada para que el cordón de larguero 126 pueda exhibir un acoplamiento de torsión por giro similar a medida que la pala curvada 20 responde a las cargas aerodinámicas. Con una construcción curvada, las capas de preforma 300A y 300B del cordón de larguero 126 ayudarían a restringir las capas fibrosas 602 a lo largo de un borde interno de una curva o curvatura del cordón de larguero 126 a medida que se dobla y retuerce en respuesta a las cargas aerodinámicas. La restricción de las capas fibrosas 602 impediría o minimizaría el arrugamiento y la abolladura de las capas fibrosas 602. En comparación, la Figura 4I ilustra el cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención con una envergadura relativamente recta.

Con referencia a la Figura 4J, en una configuración alternativa del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención, el cordón de larguero 126 define un ancho transversal  $W_2$  menor que la cuerda  $W_1$  de la pala 20 y que se ahúsa o estrecha a lo largo de la longitud  $L_2$  del cordón de larguero hacia la punta de la pala 116. Como en otras configuraciones del cordón de larguero 126, la longitud  $L_2$  del cordón de larguero 126 es normalmente mayor que su ancho transversal  $W_2$ . Como se muestra en la Figura 4J, el cordón de larguero 126 tiene un ancho transversal  $W_2$  que se estrecha o se ahúsa desde un extremo, por ejemplo, que se configura para unir o conectar el cordón de larguero 126 a la raíz de la pala 118, y a un extremo opuesto, por ejemplo, que se orienta hacia la punta de la pala 116. En otras palabras, el ancho transversal  $W_2$  del cordón de larguero 126 se estrecha o se ahúsa desde un ancho transversal determinado  $W_2$ , por ejemplo, más cercano a la raíz de la pala 118, hasta un segundo ancho transversal  $W_2$  en un extremo opuesto del cordón de larguero 126, por ejemplo, más cercano a la punta de la pala 116.

Como se mencionó anteriormente, el cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención puede construirse como una viga compuesta 127 prefabricada o moldeada previamente, por ejemplo, empleando un molde de cordón de larguero. En este caso, la viga compuesta 127 se construye como un componente separado del perfil de la pala 100 y las porciones de carcasa 120 y 122 y luego se ensambla con cada porción de carcasa 120 o 122 durante la formación o moldeado de las porciones de carcasa 120 y 122. Alternativamente, el cordón de larguero 126 puede construirse durante, y como parte del proceso de formación o moldeado que construye las porciones de carcasa 120 y 122. En cada configuración, las capas de preforma 300A y 300B, o las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602, que construyen la viga compuesta 127 inicialmente definen una formación apilada 128 que puede ensamblarse, por ejemplo, dentro de un molde de cordón de larguero, como se describe en el presente documento.

Como se describirá en detalle a continuación con referencia a las Figuras 11A y 11B, la resina de pegamento 502 se aplica a la formación apilada 128 una vez que el número requerido de capas de preforma 300A y 300B, o el número requerido de capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602, se apilan, estratifican o intercalan para construir la formación apilada 128. La resina de pegamento 502 se aplica de acuerdo con métodos y técnicas que facilitan la penetración de la resina en la formación apilada 128. La resina 502 rodea elementos de resistencia individuales o barras 202 y penetra a través y rodea las capas de preforma adyacentes o apiladas 300A y 300B y las capas fibrosas 602, si están presentes, de modo que la resina 502 llene cualquier espacio o vacío 500 entre elementos individuales o barras 202, entre las capas de preforma 300A y 300B, entre las capas fibrosas 602, y/o entre las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602. Durante el curado de la resina, la resina 502 pega elementos de resistencia o barras individuales,

capas de preforma individuales 300A y 300B, y/o capas fibrosas individuales 602 con capas de preforma apiladas o adyacentes 300A y 300B y/u otras capas fibrosas 602 para formar la viga compuesta 127.

Puede emplearse cualquiera de una variedad de métodos y técnicas para aplicar la resina de pegamento 502 a la formación apilada 128, incluyendo los métodos y técnicas que usan presión, calor o vacío que infunde o inyecta resina de pegamento en la formación apilada 128. Las técnicas de infusión de resina pueden incluir aplicar un vacío a la formación apilada 128 que aspira la resina de pegamento 502 dentro y a través de las capas de preforma 300A y 300B y las capas fibrosas 602. Por ejemplo, cuando la formación apilada 128 se construye dentro de un molde, puede aplicarse un vacío a lo largo de la circunferencia del molde. El vacío aspira el suministro de resina dentro del molde a lo largo del ancho transversal del molde, y además aspira el suministro de resina a través de la formación apilada 128 a lo largo de su ancho transversal  $W_2$ . Dichos métodos de infusión de resina incluyen, pero no se limitan a, el Proceso de Moldeado por Infusión de Resina Compuesta Seeman (SCRIMP), el Moldeado por Transferencia de Resina asistida por Vacío (VARTM), otras técnicas de vacío y técnicas de colocación manual.

Otras técnicas incluyen la inyección de resina mediante la cual el suministro de resina de pegamento 502 se distribuye a un molde cerrado bajo presión y se inyecta dentro del molde, y por lo tanto, dentro y a través de la formación apilada 128, para llenar cualquier espacio o vacío en la formación apilada 128.

Después de la aplicación del volumen requerido de resina de pegamento 502, la formación apilada llena de resina 128 se somete a un proceso de curado, tal como, por ejemplo, un proceso que emplea calor a cualquier temperatura adecuada durante cualquier tiempo adecuado suficiente para curar adecuadamente la resina de pegamento 502 y pegar las capas de preforma 300A y 300B, los elementos de resistencia individual o barras, y las capas fibrosas 602, todos juntos. Alternativamente, cuando se emplean técnicas de infusión de resina, las etapas de infusión y curado pueden superponerse de manera que el curado de la resina de pegamento 502 comience después de que haya comenzado la infusión, por ejemplo, aplicando calor al molde en el que reside la formación apilada 128 y antes de que se aplique todo el volumen requerido de resina a la formación apilada 128. Como apreciarán los expertos en la técnica, son posibles otras técnicas de curado de la formación apilada llena de resina 128, que incluyen, pero no se limitan a, curado a temperatura ambiente, curado químico, curado ultravioleta, curado con haz de electrones y curado mediante una combinación de calor y presión.

#### Capas de Preformas de Múltiples Elementos de Resistencia o Barras

Con referencia a las Figuras 5A-5D y las Figuras 6-7, en otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma 300A y 300B, como se describe anteriormente, y la capa de preforma 400 como se describe con referencia a la Figura 7. La Figura 5A es una vista superior de una modalidad de la capa de preforma 300A y 300B de acuerdo con la invención, y la Figura 6 ilustra una vista en sección transversal de la capa de preforma 300A y 300B que se muestra en la Figura 5A. La Figura 7 ilustra una vista en sección transversal de otra modalidad de la capa de preforma 400 que se muestra en la Figura 5A de acuerdo con la invención. La capa de preforma 300A, 300B y 400 se construye y dispone con una pluralidad de elementos de resistencia unidireccionales alargados o barras 202 y 402 que se disponen en una sola capa y que se extienden sustancialmente a lo largo de un eje longitudinal 304 de la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Los elementos de resistencia o barras 202 y 402 exhiben una rigidez y resistencia deseables o requeridas. Sin embargo, los elementos de resistencia o barras 202 y 402 también demuestran un alto grado de flexibilidad de manera que los elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 y las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden ajustarse y conformarse a los doblados y curvaturas de tales componentes de pala estructurales como cordones de larguero con mínimas arrugas o sin arrugas y abolladura. Los elementos o barras 202 y 402 también pueden exhibir tales propiedades de flexión durante la fabricación de componentes estructurales, tales como cordones de larguero. Cuando se incorpora en una pala 20, tal como la pala acoplada por torsión 20, el cordón de larguero 126 puede ayudar a permitir que la pala 20 se doble y gire a lo largo de su envergadura en respuesta a las cargas de viento y fatiga que actúan a lo largo de la pala 20.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 puede proporcionarse como un compuesto prefabricado que incluye un número definido de elementos de resistencia o barras 202 y 402. Los elementos de resistencia o barras 202 y 402 se disponen en la capa de preforma 300A, 300B y 400 en una sola capa. Los elementos de resistencia o barras 202 y 402 son unidireccionales con elementos individuales o barras 202 y 402 alineadas longitudinalmente con relación a la longitud  $L_5$  de otros elementos o barras 202 y 402 en la capa. Como se ilustra en la Figura 5A y las Figuras 6 y 7, los elementos o las barras 202 y 402 individuales se disponen en una sola capa adyacente a otros elementos o barras 202 y 402 a lo largo de su dimensión longitudinal o longitud  $L_5$ . En una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, los elementos de resistencia o barras 202 y 402 son sustancialmente paralelos entre sí en la capa de preforma.

Como se muestra en la Figura 5A, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir opcionalmente una estructura textil de fibra 302 que atraviesa el ancho  $W_3$ ,  $W_4$  de la capa 300A, 300B y 400 en una orientación y en un patrón adecuados para retener elementos o barras individuales 202 y 402 en una sola capa. La estructura textil de fibra 302 se describe en detalle a continuación con referencia a la Figura 5B. Otras estructuras de acuerdo con la invención que sirven para retener los elementos o barras 202 y 402 en una sola capa también se describen en detalle a continuación.

La Figura 6 incluye una sección transversal de la capa de preforma 300A y 300B que se muestra en la Figura 5A a lo largo de su ancho transversal  $W_3$  e ilustra la disposición de los elementos o barras 202 en una sola capa. Los elementos o barras 202 que se muestran en la Figura 6 definen una sección transversal circular. Sin embargo, la invención no se limita tanto y concibe que los elementos o barras de resistencia puedan definir otros perfiles transversales que incluyen, pero no se limitan a, elementos o barras 402 que tienen una sección transversal sustancialmente rectangular como se muestra en la Figura 7.

Como las Figuras 6 y 7 ilustran, los elementos o barras 202 y 402 definen sustancialmente los mismos diámetros de sección transversal de manera que la capa de preforma 300A, 300B y 400 tiene un grosor sustancialmente uniforme  $T_2$ ,  $T_3$ . Los elementos circulares o barras 202 y 402 pueden definir diámetros de sección transversal en un rango de aproximadamente 0,25 mm a aproximadamente 20 mm.

Con referencia a las Figuras 8A y 8B y con referencia adicional a las Figuras 6 y 7, cada elemento de resistencia o barra 202 y 402 es un elemento o barra curado(a) o, en algunos casos, es un elemento o barra preformado(a). Los elementos o barras 202 y 402 se construyen y disponen para servir como miembros estructurales y para proporcionar rigidez, resistencia a la compresión y flexibilidad a los materiales compuestos y componentes estructurales en los que se incorporan los elementos o barras 202 y 402, tales como la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126. El alto grado de flexibilidad de los elementos o barras 202 y 402 permite que los elementos o barras 202 se doblen y giren para ajustarse a los dobleces, curvaturas y/o contornos del cordón de larguero 126 que se requieren para un diseño de pala particular, tal como, por ejemplo, un diseño de pala curvada.

Cada elemento de resistencia o barra 202 y 402 se construye de un material compuesto que incluye fibras estructurales alargadas y sustancialmente rectas 306 que se saturan por una resina matriz 308, por ejemplo, una resina termoplástica o curada. Las fibras 306 se orientan longitudinalmente y se alinean sustancialmente de manera lineal. La resina matriz 308 se distribuye dentro de una masa de las fibras 306 para formar, cuando se cura o solidifica, un elemento prefabricado rígido o barra 202 y 402. Los elementos o barras resultantes 202 y 402 tienen una distribución sustancialmente uniforme de fibras 306 dentro de la resina matriz 308. Las fibras 306 también tienen un alto grado de colimación por lo que las fibras 306 son unidireccionales y son sustancialmente lineales con relación a otras fibras 306 en el elemento o barra 202 y 402. La relativa rectitud de las fibras 202 y 402 y la colimación significativa de la fibra producen elementos de resistencia o barras 202 y 402 que exhiben una alta rigidez y una resistencia a la compresión significativa, que son necesarias y altamente ventajosas cuando las capas de preforma 300A, 300B se emplean para fabricar estructuras de carga, tales como el cordón de larguero 126, y elementos estructurales y refuerzos de los componentes de la pala. La capa de preforma resultante 300A, 300B y 400 incluye, por lo tanto, elementos prefabricados o barras 202 y 402 que imparten la rigidez y resistencia a la compresión requeridas y deseables a cada una de las múltiples capas de preforma 300 que forman la viga compuesta 127 u otros componentes de la pala.

El tipo de fibras estructurales alargadas 306 se selecciona con respecto al tipo de fibra, el diámetro de la fibra y/o la filamentación de la fibra en dependencia de las propiedades requeridas para el cordón de larguero 126 y otros componentes de la pala. Las fibras estructurales alargadas 306 generalmente definen diámetros en un rango de aproximadamente 1 micra a aproximadamente 100 micras, e incluyen, pero no se limitan a, fibras de vidrio, fibras de carbono, fibras de basalto y combinaciones de las mismas.

La resina matriz 308 que rodea las fibras 306 incluye una matriz de resina adecuada para adherirse y fijar las fibras 306 y para proporcionar rigidez y resistencia al elemento o barra resultante 202 y 402, así como a la capa de preforma 300A, 300B y 400. La resina matriz 308 puede incluir resinas no curables o resinas curadas por calor/radiación que incluyen, pero no se limitan a, una resina termoplástica o una resina termo-endurecible. La resina matriz 308 puede seleccionarse en base a las propiedades de refuerzo mecánico que la resina matriz 308 proporciona a los elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 resultantes y a las capas de preforma 300A, 300B y 400.

Las capas de preforma 300A, 300B y 400 de elementos de resistencia prefabricados o barras 202 y 402 no se contraen durante el curado de la resina de pegamento 502 que se aplica a la formación apilada 128, como se describe a continuación con referencia a las Figuras 11A y 11B. Las capas de preforma resultantes 300A, 300B y 400 exhiben resistencia a las arrugas, torceduras y abolladuras durante la fabricación del cordón de larguero 126. A diferencia de los compuestos y telas de fibra de la técnica anterior que se usan para construir cordones de larguero, los elementos de resistencia prefabricados o barras 202 y 402 (que comprenden las fibras 306 embebidas en la resina matriz 308 previamente curada) resisten sustancialmente la contracción durante el curado de la resina de pegamento 502. Los elementos de resistencia o barras 202 y 402 ayudan, por lo tanto, a eliminar o reducir sustancialmente la incidencia de arrugas, torceduras o abolladuras de las capas de preforma 300A, 300B y 400 durante la fabricación del cordón de larguero 126. Además, la resina matriz previamente curada 308 y/o las fibras estructurales 306 proporcionan a los elementos individuales o barras 202 y 402 de la capa de preforma 300A, 300B y 400 con resistencia al lavado de fibras durante las aplicaciones de la resina de pegamento 502 a la formación apilada 128.

La resistencia a la contracción y al lavado de fibras que exhiben las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención ayuda a evitar o al menos minimizar las arrugas, torceduras y abolladuras y, por lo tanto, ayuda a eliminar o al menos minimizar cualquier debilidad estructural en el cordón de larguero resultante 126.

Los elementos de resistencia o barras 202 y 400 pueden definir además características de superficie y/o química de superficie que ayudan a promover la adhesión de los elementos o barras 202 y 402 a la resina de pegamento 502. Las características superficiales de los elementos o barras 202 y 402 incluyen, pero no se limitan a, una superficie texturizada, una superficie rugosa o una superficie tratada químicamente que se logra con diferentes técnicas, por ejemplo, aplicando un recubrimiento superficial, para producir, por ejemplo, superficies rugosas de los elementos o barras 202 y 402. Las superficies texturizadas o rugosas promueven la adhesión de la resina de pegamento 502 a los elementos o barras 202 y 402.

Además, las superficies texturizadas o rugosas de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 ayudan a facilitar la penetración de la resina de pegamento 502 entre los elementos de resistencia en las barras 202 y 402, particularmente donde las capas de preforma 300A, 300B y 400 se apilan o estratifican. Las superficies texturizadas o rugosas de los elementos o barras 202 y 402 también ayudan a aumentar la unión entre los elementos individuales o las barras 202 y 402 y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400, de manera que se aumenta la resistencia pura laminar interna de las capas de preforma apiladas o estratificadas 300A, 300B y 400, y la viga compuesta del cordón de larguero 126. Además, las superficies texturizadas o rugosas de los elementos o barras 202 y 402 ayudan a inhibir las grietas de delaminación entre la resina de pegamento 502 y los elementos de resistencia o barras 202 y 402, aumentando, por lo tanto, la resistencia a la fatiga de la capa de preforma 300A, 300B y 400 y el cordón de larguero resultante 126 u otros componentes de la pala en los que se incluye la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Como se muestra en la Figura 5A, la estructura textil de fibra opcional 302 interactúa con los elementos de resistencia o barras 202 y 402 para retener los elementos o barras 202 y 402 en una sola capa con elementos individuales 202 y 402 que se orientan adyacentes, por ejemplo, y sustancialmente paralelos entre sí a lo largo su dimensión longitudinal o longitud  $L_5$ . La capa de preforma 300A, 300B y 400 que se muestra en las Figuras 6 y 7 pueden no incluir los elementos de resistencia o barras 202 y 402 pegados entre sí. En estas configuraciones, la estructura textil de fibra 302 produce en consecuencia un tejido relativamente suelto de elementos de resistencia o barras 202 y 402 que define espacios diminutos 500 entre elementos adyacentes o barras 202 y 402.

Los espacios diminutos 500 entre los elementos de resistencia o las barras 202 y 402 mejoran la flexibilidad de los elementos individuales o las barras 202 y 402 y facilitan la capacidad de los elementos o barras para doblarse, particularmente cuando los elementos o barras 202 y 402 se forman en las capas de preforma 300A, 300B y 400 o se incorporan en la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 u otros componentes de la pala. Durante la formación, por ejemplo, el moldeado, de la viga compuesta 127, las capacidades de flexión de los elementos o barras 202 y 402 son ventajosas. Dichas capacidades de flexión permiten que los elementos o barras 202 y 402 realicen pequeños ajustes en los dobleces y curvaturas del diseño de cordón de larguero 126 de manera que los elementos o barras 202 y 402 se adapten sustancialmente a la forma o contorno del cordón de larguero 126. El cordón de larguero 126 y las capas de preforma 300A, 300B y 400, cada una de acuerdo con la invención, permiten la fabricación del cordón de larguero 126 con una estructura que se adapta o corresponde a la forma de la pala 20, al tiempo que proporciona la pala 20 con su soporte estructural necesario y propiedades de soporte de carga.

Las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, por lo tanto, pueden usarse para fabricar el cordón de larguero 126 con una configuración adecuada para su uso como estructura de carga en una pala acoplada por torsión 20. El cordón de larguero 126 puede incluirse en la pala acoplada por torsión 20 para ayudar a construir la pala 20 con capacidades de acoplamiento de torsión por doblado mediante el cual la pala se tuerce mientras se dobla a lo largo de su envergadura  $L_1$  o eje horizontal. La construcción del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención puede ayudar a facilitar la capacidad de la pala 20 acoplada por torsión para mitigar las cargas aerodinámicas. Durante el funcionamiento de la turbina, la pala 20 se dobla en respuesta a las cargas aerodinámicas que actúan sobre la pala 20 y también gira para alterar su rendimiento aerodinámico. Específicamente, la pala 20 se inclina pasivamente para estabilizarse en respuesta a cargas de viento de manera que la pala 20 elimina pasiva y rápidamente tales cargas. La incorporación del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención en una pala 20 doblada/acoplada por torsión puede ayudar a la pala 20 a responder rápidamente a las ráfagas de viento y a las velocidades de rotación, así como puede ayudar a reducir el daño por fatiga de la pala 20 en un rango de las condiciones de velocidad del viento.

Además, los espacios diminutos 500 entre los elementos de resistencia individuales o las barras 202 ayudan a facilitar la penetración de la resina de pegamento 502 en una formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 o una formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 apiladas, estratificadas o intercaladas con múltiples capas fibrosas 602. Los espacios 500 facilitan el flujo y la penetración de la resina de pegamento 502 entre los elementos individuales o barras 202 y 402 y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 y múltiples capas fibrosas 602. Como se describe a continuación, las tasas de infusión o inyección de resina de pegamento 502 que se logran en formaciones apiladas 128, incluidas las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, son relativamente rápidas en comparación con las tasas de infusión o inyección de resina que se obtienen con aplicaciones de resina de pegamento 502 a materiales fibrosos y compuestos y laminados de la técnica anterior que se usan para construir cordones de larguero.

La Figura 5B ilustra una configuración de la capa de preforma 300A y 300B de acuerdo con la invención que incluye la estructura textil de fibra 302. La estructura textil de fibra 302 incluye, pero no se limita a, un tejido de fibra textil entrelazado, por ejemplo, un tejido liso o cuadrado y una tela hecha mediante costuras. La estructura de fibra textil 302 se extiende a

través del ancho transversal  $W_3$  de la capa de preforma 300A y 300B y las interacciones con los elementos de fuerza individual o barras 202 de modo que el tejido de fibra 302 retiene los elementos o barras 202 en una sola capa de preforma 300A y 300B. Como se muestra en la Figura 5A, el tejido de fibra 302 puede definir un tejido que se extiende a través del ancho  $W_3$  de la capa de preforma 300A y 300B en forma de zigzag. Como se muestra en la Figura 5B, el tejido de fibra 302 puede incluir además costuras que se entrelazan entre las barras o los elementos de resistencia 202. Sin embargo, la invención no se limita específicamente a este respecto y anticipa que cualquiera de una variedad de tipos y patrones de tejido textil puede retener los elementos de resistencia o barras 202 de una sola capa de preforma 300A y 300B. Como estructura de retención, la estructura textil de fibra 302 también espacia los elementos de resistencia individuales o barras 202. La estructura textil de fibra 302 ayuda, por lo tanto, a formar el tejido relativamente suelto de elementos de resistencia o barras 202 como se describió anteriormente. El tejido suelto define espacios diminutos 500 entre los elementos y las barras 202 que ayudan a mejorar las capacidades de doblado y torsión/curvado de los elementos y barras 202 y ayudan a facilitar la penetración de la resina de pegamento 502 entre elementos individuales o barras 202 y entre capas preformadas 300A y 300B apiladas o estratificadas. De manera similar, la estructura textil de fibra 302 puede incorporarse con la capa de preforma 400 que se muestra en la Figura 7 para interactuar con elementos de resistencia individuales o barras 402 de modo que el tejido de fibra 302 retenga los elementos o barras 402 en una sola capa de preforma 400.

Con referencia a las Figuras 5C y 5D, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención puede incluir una o más bandas o tiras de un material de unión 310 que se configura para servir como una estructura de retención alternativa a la estructura textil de fibra 302. Las bandas o tiras de material 310 atraviesan el ancho  $W_3$  o  $W_4$  de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en ciertos lugares a lo largo de la longitud  $L_5$  de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de modo que las bandas o tiras 310 ayuden a asegurar elementos individuales o barras 202 y 402 en una sola capa. El material de unión 310 penetra y rodea elementos individuales o barras 202 y 402 en los puntos de su aplicación para ayudar a retener los elementos o barras 202 y 402. El material de unión 310 incluye cualquier agente de pegamento o adhesivo adecuado para retener elementos individuales o barras 202 y 402 y puede incluir, pero no se limita a, un agente o adhesivo de fusión en caliente, un agente de pegamento o adhesivo curado con UV, un adhesivo elastomérico, o una cinta adhesiva o de pegamento. En una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, el material de unión 310 incluye una masa de hilos adhesivos que se aplican a lo largo del ancho  $W_3$  o  $W_4$  de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en ciertos lugares. En otra configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, el material de unión 310 incluye un adhesivo elastomérico que es compatible con la resina de pegamento 502, tal como una resina epoxídica, que se aplica a la formación apilada 128.

Con referencia a las Figuras 9A y 9B, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención puede incluir una capa portadora 312 como una estructura de retención alternativa a la estructura textil de fibra 302 y una o más bandas o tiras de material de unión 310. La capa portadora incluye, pero no se limita a, una capa portadora fibrosa 312 que se construye de una tela no tejida, que sirve como un sustrato al que se unen o pegan los elementos de resistencia individual o barras 202 y 402 para retener los elementos o barras 202 y 402 en una sola capa. Pueden disponerse una o más capas de revestimiento adhesivo no tejido a lo largo de una superficie de la capa portadora 312 sobre la cual se disponen los elementos o barras 202 y 402. Posteriormente, la capa portadora 312 y el elemento o barras 202 y 402 pueden laminarse para formar la capa de preforma 300A, 300B y 400. La capa portadora 312 se construye con uno o más materiales de tela adecuados para facilitar el permeado y, por lo tanto, la penetración de la resina de pegamento 502 entre elementos de resistencia individuales o barras 202 y capas de preforma individuales apiladas o adyacentes 300A, 300B y 400.

Un número dado de elementos de resistencia o barras 202 y 402 se dispone a lo largo de la capa portadora 312 en una sola capa con elementos individuales o barras 202 y 402 adyacentes, por ejemplo, y sustancialmente paralelos entre sí a lo largo de la longitud  $L_5$  de los elementos o barras 202 y 402. Como se mencionó, los elementos o barras 202 y 402 se fijan o pegan a la capa portadora 312 con un adhesivo y pueden definir espacios diminutos 500 entre los elementos o barras adyacentes 202 y 402. La capa portadora fibrosa 312 puede incluir una tela no tejida que se construye de fibras, hilos y/o mechas que incluyen, pero no se limitan a, fibras, hilados y/o mechas de poliéster; fibras, hilados y/o mechas de poliamida; fibras, hilados y/o mechas de poliolefina; fibras, hilados y/o mechas de vidrio; fibras, hilados y/o mechas de carbono; fibras, hilados y/o mechas de aramida; fibras, hilados y/o mechas de grafito; o fibras, hilados y/o mechas de basalto; y combinaciones de los mismos. En configuraciones preferidas de la capa portadora 312 de acuerdo con la invención, la capa portadora comprende fibras, hilos y/o mechas de vidrio o poliéster.

Las fibras, hilos y/o mechas de la capa portadora 312 ayudan a aumentar el volumen de fibra de la capa de preforma 300A, 300B y 400 y, en particular, ayudan a fortalecer las capas de preforma 300A, 300B y 400 a lo largo de los espacios 500 entre los elementos o barras 202 y 402 en los que puede residir el adhesivo que se aplica. La capa portadora 312 ayuda, por lo tanto, a aumentar la resistencia transversal y longitudinal de la capa de preforma 300A, 300B y 400, de manera que el cordón de larguero resultante 126 u otros componentes de la pala en los que se incorpora la capa de preforma 300A, 300B y 400, ayuda para mitigar las fuerzas de corte tridimensionalmente.

En una modalidad de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa portadora fibrosa no tejida 312 incluye una tela que comprende múltiples fibras transversales, hilos y/o mechas que se disponen en una orientación sustancialmente transversal, o aproximadamente a  $90^\circ$ , en relación con los elementos de resistencia o barras 202 y 402 cuando se ensambla la capa de preforma 300A, 300B y 400. En otra modalidad de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa portadora fibrosa no tejida 312 incluye una tela cosida, por ejemplo, una tela biaxial o triaxial.

La capa portadora 312 se construye y dispone para servir como un sustrato al cual los elementos de resistencia o barras 202 y 402 se unen o pegan para retener los elementos o barras 202 y 402 en una sola capa. La capa portadora 312 puede definir dimensiones, por ejemplo, longitud y ancho, similares a las dimensiones de una sola capa de elementos o barras 202 y 402 que forman la capa de preforma 300A, 300B y 400. La capa 312 puede incluir una o más fibras, hilos y/o mechas que se construyen con uno o más materiales, tales como los identificados anteriormente, adecuados para facilitar la penetración y el permeado de la resina de pegamento 502 entre los elementos de resistencia individuales y barras 202 y 402, y entre las capas individuales de preformas 300A, 300B y 400, cuando la resina de pegamento 502 se aplica a una formación apilada ensamblada 128. Las costuras, el pegado y/u otros métodos para configurar la capa portadora fibrosa 313 pueden interconectar las fibras, hilos y/o mechas. Como se describe a continuación con referencia a la Figura 13, la capa portadora 312 de acuerdo con la invención también puede incluir una tela tejida que incluye fibras, hilos y/o mechas tejidas en un tipo o patrón de tejido particular.

Pueden disponerse una o más capas adhesivas a lo largo de al menos una superficie de la capa portadora fibrosa 312; posteriormente, uno o más elementos de resistencia o barras 202 y 402 se disponen a lo largo de la superficie recubierta de la capa 312 para formar la capa de preforma 300A, 300B y 400.

Las configuraciones de la capa de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluir la capa portadora fibrosa 312 que comprende fibras, hilos y/o mechas que tienen de aproximadamente 3% a aproximadamente 15% del peso total de las fibras unidireccionales 306 de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 de una capa de preforma dada 300A, 300B y 400.

Con referencia a las Figuras 9C y 9D, en configuraciones adicionales de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, la capa portadora fibrosa 312 puede definir dimensiones, por ejemplo, longitud y ancho, que son diferentes de las dimensiones de una sola capa de elementos o barras 202 y 402 que forman la capa de preforma 300A, 300B y 400. En una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400, la capa 312 define un ancho transversal  $W_5$  mayor que el ancho transversal  $W_3$  y  $W_4$  de una sola capa de elementos o barras 202 y 402. En esta configuración, la capa 312 define un borde periférico externo u orillo 314 a lo largo de al menos un borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400 cuando los elementos o barras 202 y 402 y la capa 312 se acoplan. El borde periférico u orillo 314 se extiende hacia afuera desde el elemento más externo o barra 202 y 402 a lo largo de al menos un borde de la capa de preforma.

El borde periférico u orillo 314 tiene un ancho  $W_6$  suficiente para ayudar al borde u orillo 314 a servir como un punto de unión o una porción de unión que se dimensiona y configura para unir o pegar la capa de preforma 300A, 300B y 400 con uno o más componentes del cordón de larguero 126 y/o uno o más componentes del perfil de la pala 100 o, más particularmente, las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala 20. Por ejemplo, el borde periférico u orillo 314 de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 puede intercalarse o superponerse con una o más capas fibrosas 602 para ayudar a asegurar la capa de preforma 300A, 300B y 400 a uno o más componentes del cordón de larguero 126. En otro caso, el borde periférico u orillo 314 puede unirse, pegarse o intercalarse indirectamente o directamente con uno o más componentes estructurales y/o capas de la porción de carcasa 120 y 122 de la pala 20, tal como cualquiera de las capas 101, 103, 105 o 107 que forman la porción de carcasa 120 o 122. El borde u orillo 314 ayuda, por lo tanto, a asegurar las capas de preforma 300A, 300B y 400 al cordón de larguero 126, la pala 20 y/o cualquier componente del cordón de larguero 126 o la pala 20.

Con referencia a la Figura 9E, se ilustra una vista en perspectiva esquemática de una configuración de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención e incluye múltiples elementos de resistencia unidireccionales alargados o barras 202 y 402 que se disponen en una sola capa y que se extienden sustancialmente a lo largo de un eje longitudinal 304 de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Múltiples elementos de resistencia o barras 202 y 402 se disponen adyacentes una a otra a lo largo de su dimensión longitudinal o  $L_5$ , por ejemplo, y en una orientación sustancialmente paralela, a lo largo de la capa portadora fibrosa 312. Cada elemento de resistencia o barra 202 y 402 se une o pega a lo largo de la capa portadora 312 mediante una o más capas de adhesivo 316 que se aplica a una superficie de la capa portadora 312. Una o más capas adhesivas 316 en combinación con la capa portadora 312 retienen los múltiples elementos o barras 202 y 402 en una sola capa.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 que se ilustra en la Figura 9E incluye el borde periférico u orillo 314 de la capa portadora 312 descrita anteriormente, que se extiende hacia afuera a lo largo de un borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Mientras que la Figura 9E ilustra el borde u orillo 314 de la capa portadora 312, la invención no está tan limitada y concibe que la capa de preforma 300A, 300B y 400 también puede incluir un borde periférico adicional u orillo 314 que se extiende hacia afuera a lo largo de un borde opuesto o adicional de la capa de preforma 300A, 300B y 400. La invención también anticipa que la capa portadora 312 de la capa de preforma 300A, 300A puede no incluir ningún borde u orillo 314.

La capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir además una etiqueta o leyenda impresa 340 que proporciona información y/o indicios que se relacionan con la longitud de la capa de preforma y/o con el puesto o posición de la capa de preforma 300A, 300B y 400 en la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 en relación con otras capas de preforma 300A, 300A y 400 y, si está presente, en relación con una o más capas fibrosas 602. Tal información y/o indicios ayudarían a proporcionar dirección en el ensamblaje de múltiples capas de preforma 300A, 300B



y 400, con o sin múltiples capas fibrosas 602, en la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Tal información e indicios pueden incluir además una chapa o número secuencial de capa de preforma que identifica la posición de la capa en la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 y/u otros detalles o especificaciones de fabricación.

5 Además, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede incluir designaciones 342 que indican lo(s) puesto(s) o posición(es) en el que la capa de preforma se separará, por ejemplo, mediante corte, de otra capa de preforma adyacente 300A, 300B y 400 donde se proporcionan una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 en una banda continua 510, como se describe en detalle a continuación con referencia a las Figuras 14A-14C. Tales designaciones también facilitarían la colocación de las capas de preforma 300A, 300B y 400 en la formación apilada 128 durante el montaje de la formación  
10 apilada 128.

#### Componentes Estructurales de Capas Múltiples

15 Con referencia a las Figuras 10A y 10B, en otro aspecto, la invención proporciona un componente estructural de capas múltiples 702 que incluye al menos una de las capas de preforma 300A, 300B y 400 que se describen anteriormente que pueden unirse o pegarse a, o intercalarse con, una o más capas fibrosas 602. El componente estructural 702 se diseña y construye para servir como un elemento estructural de la viga compuesta 127 del cordón de larguero 12, y/o como un elemento estructural o refuerzo del perfil de la pala 100, tal como las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala 20.

20 Las Figuras 10A y 10B ilustran secciones transversales del componente estructural de capas múltiples 702 de acuerdo con la invención que incluye al menos una capa 400 de preforma que se une o se pega a, o se intercala con, múltiples capas fibrosas 602. Mientras que las configuraciones que se ilustran en las Figuras 10A y 10B incluyen la capa de preforma 400 que tiene múltiples elementos de resistencia o barras 402 con secciones transversales sustancialmente rectangulares, la invención concibe que el componente estructural 702 puede incluir una o más capas de preforma 300A y 300B que  
25 incluyen elementos o barras 202 que tienen secciones transversales circulares, como se describió anteriormente, o capas de preforma que tienen elementos de resistencia o barras que tienen otras configuraciones de sección transversal. Además, mientras que las configuraciones del componente estructural 702 que se muestran en las Figuras 10A y 10B incluyen la capa portadora 312, la invención anticipa que otras configuraciones del componente estructural 702 de acuerdo con la invención pueden omitir la capa portadora 312.

30 Como se muestra en la Figura 10A, una configuración del componente estructural 702 incluye múltiples capas fibrosas 602 unidas o intercaladas con la capa de preforma 400 a lo largo de una superficie de la capa de preforma 400 opuesta a la capa portadora 312 para formar el componente de múltiples capas 702. Otra configuración del componente estructural 702 que se muestra en la Figura 10B incluye la capa de preforma 400 unida o intercalada con múltiples capas fibrosas  
35 602 a lo largo de cada superficie de la capa de preforma 400, de manera que el componente de múltiples capas 702 incluye la capa de preforma 400 intercalada entre múltiples capas fibrosas 602.

40 Con referencia a la Figura 10C, se ilustra una vista en perspectiva esquemática del componente estructural de capas múltiples 702 que se muestra en la Figura 10A. En esta configuración, el componente estructural 702 incluye cinco capas fibrosas 602 que se unen o intercalan con una superficie de la capa de preforma 400 opuesta a esa superficie que se une o se pega a la capa portadora fibrosa 312. Alternativamente, las capas fibrosas 602 pueden unirse o pegarse a una superficie de la capa portadora 312.

45 Una configuración del componente estructural 702 que se muestra en la Figura 10C incluye la capa portadora 312 que se construye de una capa de tela no tejida que tiene múltiples fibras transversales, hilos y/o mechas. Cuando la capa portadora 312 se une a múltiples elementos de resistencia o barras 402 unidireccionales que se disponen en una sola capa, las fibras, hilos y/o mechas de la capa portadora 312 se disponen en una orientación sustancialmente transversal, o aproximadamente a 90°, en relación con los elementos de resistencia o barras 402 unidireccionales. En esta configuración, las múltiples capas fibrosas 602 se construyen de tela biaxial. Cuando se ensambla con la capa de preforma  
50 400, cada capa fibrosa biaxial 602 puede tener aproximadamente el 10% de sus fibras, hilos y/o mechas que se disponen en una orientación sustancialmente transversal, o aproximadamente a 90°, a los elementos de resistencia o barras 402, y aproximadamente el 90% de sus fibras, hilos y/o mechas que se disponen en una orientación sustancialmente longitudinal con relación a un eje longitudinal 305 de la capa de preforma 400. El contenido de fibra o gramos por metro cuadrado (g/m<sup>2</sup>) de fibras, hilos y/o mechas de la capa portadora 312 y las capas fibrosas 602 pueden manipularse para permitir la fabricación del componente estructural 702 con una fracción de volumen de fibra preferida. Por ejemplo, el componente estructural 702 que se muestra en la Figura 10C puede incluir cinco capas fibrosas 602 que comprenden aproximadamente 800 g/m<sup>2</sup> de fibra de tela, mientras que la capa portadora 312 comprende aproximadamente 100 g/m<sup>2</sup> de fibra de tela con el componente de múltiples capas resultante 702 que tiene una fracción de volumen de fibra relativamente alta.

60 En algunas configuraciones del componente estructural 702 que se muestra en las Figuras 10A-10C, la capa portadora 312 puede construirse del mismo material que las capas fibrosas 602, tal como tela biaxial. En estos casos, la capa portadora 312 como se describió anteriormente puede omitirse para obtener ahorros en los costos de materiales.

65 Otras configuraciones del componente estructural de capas múltiples 702 de acuerdo con la invención se ilustran en las Figuras 10D-10H. Tales componentes 702 pueden usarse como elementos estructurales, por ejemplo, para construir la

formación apilada 128 y, en última instancia, para construir la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126, y/o pueden usarse como elementos de resistencia o refuerzos, por ejemplo, de las porciones de carcasa de la pala 20 u otros componentes de la pala. Las secciones transversales esquemáticas de diferentes capas/componentes del componente estructural 702 se muestran en las Figuras 10D-10H, donde E representa al menos una de cualquiera de las capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención que incluye múltiples elementos de resistencia unidireccional o barras 202 y 402 que se disponen en una sola capa como se describe anteriormente; U representa la capa portadora 312; y F representa múltiples capas fibrosas 602. Las capas de preforma E de acuerdo con la invención pueden ayudar a adaptar el componente de múltiples capas 702 para un diseño particular del componente 702 o para un propósito particular o ubicación del componente 702 en la pala del cordón de larguero 126, o en las porciones de carcasa de la pala 120 y 122 u otros componentes de la pala.

La Figura 10D ilustra una sección transversal de dos capas de preforma E que se apilan o intercalan con una capa portadora U que se une o intercala entre las dos capas de preforma E para definir un componente de múltiples capas 702 con una configuración E, U, E, U. La Figura 10E ilustra una sección transversal de una disposición alternativa de dos capas de preforma apiladas o intercaladas E con una capa portadora U de una capa de preforma E que se une o intercala con una capa portadora U de una capa de preforma E adyacente para definir una configuración E, U, U, E. Esta configuración es un ejemplo ilustrativo de un componente de múltiples capas 702 que tiene un "exoesqueleto" que se define por los elementos de resistencia o barras 202 y 402 de la capa de preforma E.

La Figura 10F ilustra una sección transversal de una variación de la configuración que se muestra en la Figura 10E que incluye múltiples capas fibrosas F unidas o intercaladas con las capas de preforma E a lo largo del "exoesqueleto" del componente estructural 702. El componente estructural 702 puede unirse posteriormente o intercalarse con otros componentes estructurales 702, tales como componentes 702 que tienen la misma configuración de capas, por lo que las capas fibrosas externas F se unen o se intercalan con las capas fibrosas externas E de componentes estructurales 702 adyacentes o apilados. La formación apilada 128 puede incluir uno o más de los componentes estructurales 702 que se muestran en la Figura 10F, de manera que las capas fibrosas F, que son compresibles y menos rígidas que los elementos de resistencia o barras 202 y 402, se ubican en ciertas puestos, posiciones o interfaces a lo largo de la formación apilada 128, por ejemplo, que requieren compresibilidad o menos rigidez.

La Figura 10G ilustra una sección transversal de otra variación de la configuración que se muestra en la Figura 10E que incluye múltiples capas fibrosas F unidas o intercaladas con las capas de preforma E, de manera que las capas fibrosas F se orientan hacia adentro y entre las dos capas de preforma E. En esta configuración, las capas fibrosas F se unen o intercalan con cada capa portadora U de las capas de preforma apiladas o adyacentes E.

Las disposiciones de capa que se muestran en las Figuras 10F y 10G ilustran la simetría de las capas U, E y F dentro del componente 702. Tales disposiciones pueden ser ventajosas porque la simetría de las capas alrededor de un plano medio del componente 702 puede ayudar a resistir o minimizar la contracción de la fibra durante la fabricación del componente 702 lo que puede producir componentes 702 que son preferiblemente más planos.

La Figura 10H ilustra una sección transversal de una disposición alternativa de las capas fibrosas F y las capas portadoras U que se muestran en la Figura 10G por la cual las capas portadoras U se orientan a lo largo de una superficie externa del componente estructural 702.

La invención no se limita a las configuraciones de los componentes estructurales de múltiples capas 702 que se muestran en las Figuras 10D-10H y concibe que un componente estructural de múltiples capas 702 puede comprender otras disposiciones apiladas o estratificadas de las capas de preforma E, capas portadoras U y/o múltiples capas fibrosas F.

Uno o más componentes estructurales 702 pueden configurarse y ensamblarse en cualquiera de las configuraciones de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 de acuerdo con la invención como se describe anteriormente. Con referencia a la Figura 10I, una sección transversal tomada a lo largo del mayor grosor  $T_{\text{máx}}$  de la viga compuesta 127 que se muestra en la Figura 4F (que resulta de la formación apilada 128 de una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 y múltiples capas fibrosas 602) ilustra múltiples componentes estructurales 702 que pueden incluirse en ciertas puestos y posiciones dentro de la formación apilada 128 según se requiera o desee para proporcionar al cordón de larguero 126 con la resistencia a la compresión requerida y otras propiedades mecánicas.

Además, o alternativamente, el componente estructural 702 puede configurarse y ensamblarse con la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 de tal manera que ayude a reforzar una o más áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127. Por ejemplo, dentro de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 que se construye principalmente de múltiples capas fibrosas 602, uno o más componentes 702 pueden usarse para reforzar, al menos parcialmente, áreas seleccionadas a lo largo de la formación apilada 128 y la viga compuesta 127, por ejemplo, para proporcionar resistencia adicional y/o para eliminar o minimizar las arrugas y las abolladuras de las capas fibrosas 602. En tales configuraciones, una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 del componente estructural 702 pueden definir un porcentaje bajo, y tan poco como aproximadamente 1 % o menos, del peso total de un área reforzada seleccionada de la formación apilada 128 y capa compuesta 127.

#### Patrones de Apilamiento de Capa de Preforma

Las Figuras 11A y 11B ilustran las capas de preforma 300A, 300B y 400 en una formación apilada de dos capas 128. Como se muestra en la Figura 11A, se apilan dos capas de preforma 300A, 300B con elementos o barras 202 que tienen secciones transversales circulares y los elementos o barras 202 de una primera capa 301 se alinean con los elementos o barras 202 de una segunda capa 303 para definir un "patrón de columna".

De manera similar, como se muestra en la Figura 11B, se apilan dos capas de preforma 400 con elementos o barras 402 que tienen secciones transversales sustancialmente rectangulares y los elementos o barras 402 de una primera capa 401 se alinean con los elementos de las barras 402 de una segunda capa 403 para definir un patrón de columna. Mientras que dos capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 se ilustran en las Figuras 11A y 11B, la invención no está tan limitada y concibe que cualquier número de capas de preforma 300 y 400 puede definir el patrón de columna, así como los otros patrones que se describen a continuación.

Además, aunque los elementos de resistencia individual o barras 202 y 402 se muestran en las Figuras 11A y 11B adyacentes entre sí o en alineación vertical para definir las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 en un patrón de columna, la invención no se limita a este respecto. Con referencia a las Figuras 11C y 11D, los elementos individuales o barras 202 y 402 pueden disponerse en alineación alterna cuando las capas de preforma 300A, 300B y 400 se apilan. Tal alineación alternativa puede incluir al menos una porción de un elemento o barra 202 y 402 de una primera capa 300A, 300B y 400 que se dispone adyacente o en alineación vertical con al menos una porción de un espacio 500 que se define entre elementos adyacentes o barras 202 y 402 de una segunda capa de preforma 300A, 300B y 400. Tal apilamiento o alineación alternativa de los elementos o barras 202 y 402 con espacios 500 definen las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 en un "patrón de ladrillo".

Con referencia a la Figura 11E, el patrón de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 puede ser aleatorio dentro de una formación apilada o estratificada de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400, por lo que los elementos de resistencia o barras 202 y 302 de las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 no se disponen necesariamente en un patrón de columna o de ladrillo. Más bien, se apilan múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400, de manera que los elementos de resistencia o barras 202 y 402 de una capa de preforma en relación con otra capa de preforma pueden definir un patrón aleatorio, que puede incluir o no los patrones de columna o ladrillo.

Los patrones de apilamiento o estratificación de las capas de preforma individuales 300A, 300B y 400 que se describen anteriormente pueden afectar ventajosamente la geometría y el tamaño de los espacios o vacíos 500 que se definen entre elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 de una capa de preforma dada y que se definen entre elementos o barras 202 y 402 de capas de preforma 300A, 300B y 400 adyacentes o apiladas. Además, las dimensiones generales y la geometría de los elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 definen la geometría y el tamaño de los espacios o vacíos 500. En configuraciones preferidas de la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, los elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 pueden tener un perfil nominalmente rectangular, como se muestra en la Figura 8B, con bordes redondeados o bordes que definen un radio de curvatura particular. Los bordes redondeados generan espacios o vacíos 500 que sirven como conductos para la resina de pegamento líquida 502 durante la aplicación de la resina de pegamento 502 a la formación apilada 128. Sin embargo, los bordes con un radio grande pueden crear un esfuerzo máximo en un punto donde el elemento de resistencia o los bordes de la barra están en contacto. En una configuración de las capas de preforma apiladas o estratificadas 300A, 300B y 400, un radio de borde preferido puede ser menor que un límite superior de 1/4 de grosor de un elemento o barra 202 y 402 y mayor que 1/4 de la separación entre las capas individuales de preformas 300A, 300B y 400.

El grosor sustancialmente uniforme  $T_2$  y  $T_3$  y el ancho transversal sustancialmente uniforme  $W_3$  y  $W_4$  de las capas de preforma 300A, 300B y 400 forman la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 como una estructura terminada que tiene unas dimensiones generales bien definidas y, en particular, un grosor bien definido, con irregularidades mínimas. El grosor sustancialmente uniforme  $T_2$  y  $T_3$  y el ancho transversal  $W_3$  y  $W_4$  de las capas de preforma 300A, 300B y 400 también permiten que dos o más capas de preforma 300 y 400 encajen bien con otras capas de preforma 300A, 300B y 400 y defina la formación apilada 128 con una tolerancia cercana repetible.

El grosor sustancialmente uniforme  $T_2$  y  $T_3$  y el ancho transversal  $W_3$  y  $W_4$  de dos o más capas de preforma 300A, 300B y 400 también proporcionan oportunidades para aumentar o maximizar la densidad de empaquetamiento de los elementos y barras 300 y 400 y para aumentar o maximizar la fracción de volumen de fibra de la formación apilada 128, de manera que la viga compuesta 127 pueda construirse con una cantidad reducida de material o un número reducido de capas de preforma 300A, 300B o 400. En particular, la estructura de los elementos de resistencia o barras 202 y 402, que incluye las fibras estructurales sustancialmente rectas 306 embebidas en la resina matriz 308, ayuda a aumentar la fracción de volumen de fibra de los miembros o barras 202 y 402, y a aumentar la fracción de volumen total neto de fibra de las capas de preforma 300A, 300B y 400. Por ejemplo, donde la fracción de volumen de fibra del miembro de resistencia o barra 202 y 402 está en un rango de aproximadamente 50 % a aproximadamente 85 %, y el volumen total de barra de la capa de preforma 300A, 300B y 400 es de aproximadamente 80 % a menos del 100 %, la fracción de volumen total neto de fibra de la capa de preforma puede incrementarse hasta aproximadamente el 85 %. Como resultado, puede usarse menos material o menos capas de preforma 300A, 300B y 400 para construir la viga compuesta 127 del cordón de larguero sin comprometer la fracción de volumen de fibra. Además, usar menos material o menos capas de preforma 300A, 300B y 400 para formar la viga compuesta 127 puede producir un cordón de larguero 126 más ligero y delgado. Como resultado de la separación diminuto 500 entre elementos de resistencia o barras 202 y 402, los elementos individuales o barras 202

y 402 proporcionan mayor resistencia a la flexión y torsión y producen capas de preforma más fuertes y más delgadas 300A, 300B y 400 sin cambiar el cordón de larguero 126 o el diseño de la pala 20.

5 Con referencia a las Figuras 11F y 11G, las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 que forman la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 no necesariamente incluyen elementos de resistencia individuales o barras 202A, 202B y 402A, 402B que definen el mismo diámetro o dimensiones generales. Por el contrario, las múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 dentro de una viga compuesta 127 puede incluir una o más capas 300A, 300B y 400 que tienen elementos de resistencia o barras 202A, 202B y 402A, 402B de diferentes diámetros o dimensiones generales. Como se muestra en la Figura 11F, los elementos de resistencia o barras 202A y 202B sustancialmente circulares de las capas de preforma 300A, 300B incluyen una o más capas 300A, 300B de elementos o barras 202A que definen un diámetro y una o más capas 300A, 300B de elementos o barras 202B que definen un diámetro diferente, por ejemplo, mayor o menor. De manera similar, como se muestra en la Figura 11G, los elementos rectangulares o barras 402A y 402B de las capas de preforma 400 incluyen una o más capas 400 de elementos o barras 402A que definen un conjunto de dimensiones generales y una o más capas 400 de elementos o barras 402B que definen un conjunto de dimensiones generales diferentes, más grandes o más pequeñas. Tales capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden incluir elementos o barras que definen ciertos diámetros, perfiles o dimensiones generales que facilitan la unión del cordón de larguero 126 a elementos adyacentes de la pala 20, tales como el alma cortante 125 y las porciones de carcasa 120 y 122. Por ejemplo, las dimensiones mayores o menores de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 pueden ser ventajosas para unir una o más capas de preforma 300A, o para unir una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 del cordón de larguero 126 a una interfaz entre el cordón de larguero y los elementos adyacentes de la pala 20.

25 Con referencia a las Figuras 12A-12C y con referencia adicional a las Figuras 9A-9E, las capas de preforma 300A, 300B y 400 de la formación apilada 128 o la viga compuesta 127 pueden incluir capas de preforma individuales 300A, 300B y 400 que se unen o se pegan a, o se intercalan con, la capa portadora fibrosa 312 y/o múltiples capas fibrosas 602, como se describe anteriormente. Las Figuras 12A y 12B ilustran las capas de preforma apiladas 300A, 300B y 400 con cada capa de preforma 300A, 300B y 400 que se une o se pega a la capa portadora 312 y/o se une o se pega a, o se intercala con, múltiples capas fibrosas 602. Cada capa portadora 312, y/o una o más de las múltiples capas fibrosas 602, pueden incluir el borde periférico u orillo 314 como se describió anteriormente. El borde u orillo 314 se extiende hacia fuera a lo largo de al menos un borde de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 y define un ancho dado  $W_6$ . Mientras que las Figuras 12A y 12B ilustran solo una porción de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 y el borde u orillo 314 a lo largo de un borde de cada capa 300A, 300B y 400, la invención no está tan limitada y concibe que la capa portadora 312, y/o una o más de las capas fibrosas 602 pueden incluir un borde periférico adicional u orillo 312 a lo largo de un borde opuesto u otro borde de la capa de preforma 300A, 300B y 400. Como se mencionó anteriormente, el borde u orillo 314 tiene un ancho  $W_6$  suficiente para ayudar al borde u orillo 314 a servir como un punto de unión o una porción de unión que se dimensiona y configura para ayudar a unir, pegar o intercalar la capa de preforma 300A, 300B y 400 con uno o más componentes del cordón de larguero 126, y/o con uno o más de otros componentes o capas de una porción de la pala del rotor 20, tal como las porciones de carcasa 120 y 122. El borde u orillo 314 ayuda, por lo tanto, a asegurar las capas de preforma individuales o apiladas 300A, 300B y 400, así como la formación apilada 128 y la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126, con la pala del rotor 20.

40 Con referencia a la Figura 12C, en otra configuración, dos o más de las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden apilarse, estratificarse o intercalarse entre sí para definir una elevación lateral escalonada 410 a lo largo de uno o más bordes de una pila de capas de preforma. La elevación lateral escalonada 410 se define desplazando las posiciones de cada capa de preforma 400 en relación con otra capa de preforma 400 que se posiciona adyacente o directamente encima y/o debajo de cada capa de preforma 400. Como se muestra en la Figura 12C, las capas de preforma 400 se apilan en un patrón de ladrillo por el cual cada elemento de resistencia o barra 402 de una capa de preforma 400 se alinea sustancialmente con al menos una porción de un espacio o vacío 500 que se define entre dos elementos de resistencia o barras 202 y 402 adyacentes de otra capa de preforma 400. Sin embargo, las capas de preforma 400 no necesitan apilarse en un patrón de ladrillo y sus posiciones con relación a las capas de preforma adyacentes 400, cuando se apilan, definen la elevación lateral escalonada 410. La elevación lateral escalonada 410 facilita la unión de la pila de la capa de preforma 400 a otros componentes del cordón de larguero 126, y/o a otros componentes de la pala 20, sirviendo como áreas en las que las capas de preforma 400 apiladas pueden unirse o pegarse a, o intercalarse con tales componentes. Opcionalmente, las capas de preforma 400 pueden unirse o pegarse a la capa portadora 312 y/o a una o más capas fibrosas 602 que tienen el borde periférico u orillo 314, que serviría como un punto de unión, pegamento o intercalado de las capas de preforma 400 apiladas a los componentes del cordón de larguero 126 o la pala 20.

60 Con referencia a las Figuras 12D y 12E, las capas de preforma 400 apiladas que tienen la elevación lateral escalonada 410 se muestran unidas o pegadas a, o intercaladas con, partes de las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala 20. Como se muestra en la Figura 12D, la elevación lateral escalonada 410, con o sin el borde periférico u orillo 314, proporciona sitios y posiciones en las que las capas de preforma 400 apiladas se unen o se pegan, o se intercalan con, una o más capas que construyen las porciones de carcasa 120 y 122 de la pala. Por ejemplo, como se muestra en la Figura 12D, la elevación lateral escalonada 410 se une o se pega a, o se intercala, con porciones, por ejemplo, espuma, de la capa intermedia 105 y 107 de la porción de carcasa 120 y 122. Además, como se muestra en la Figura 12E, las capas de preforma 400 apiladas pueden tener un borde longitudinal sustancialmente uniforme sin la elevación lateral escalonada 410. En este caso, el borde periférico u orillo 314, que se forma a partir de la capa portadora 312 y/o una o más capas fibrosas 602 de las capas de preforma 400, puede servir como sitios y posiciones en los que las capas de

preforma apiladas 400 se unen o se pegan a, o se intercalan con una o más capas de las porciones de carcasa 120 y 122, tales como la capa intermedia 105 y 107, por ejemplo, espuma, como se muestra.

Con referencia a la Figura 13, en una configuración de la capa portadora fibrosa 312 de acuerdo con la invención, la capa portadora incluye una capa portadora de tela tejida 313 que incluye múltiples hilos de urdimbre o mechas 315 y uno o más hilos de trama o relleno 317 entretejidos en un patrón. Los hilos de urdimbre o mechas 315 tienen un peso denier suficiente, por ejemplo, mayor que uno o más hilos de trama 317, de manera que, cuando la resina de pegamento 502 se aplica a la formación apilada 128, la resina de pegamento 502 penetra en los espacios o vacíos 500 que se definen entre elementos de resistencia adyacentes o barras 402. Los hilos de urdimbre o mechas 315 de la capa de tela 313 en combinación con la resina de pegamento 502 pueden formar, por lo tanto, una junta 319 entre elementos de resistencia adyacentes o barras 402 de una capa de preforma 400 dada. La junta 319 ayuda a minimizar los espacios o vacíos 500 y ayuda a proporcionar resiliencia en respuesta a las cargas de tensión y estiramiento a lo largo del cordón de larguero 126. La junta 319 ayuda, por lo tanto, a minimizar el agrietamiento de la resina de pegamento 502 y la rotura de los elementos individuales o barras 402.

En otra configuración de la capa portadora de tela tejida 313, los hilos de urdimbre o mechas 315 pueden configurarse y/o tener un denier suficiente, de manera que los hilos de urdimbre o mechas 315 se eleven a lo largo de una superficie de la capa portadora 313. Tales hilos de urdimbre o mechas 315 elevados se extienden longitudinalmente a lo largo de la superficie de la capa portadora 313 con relación al eje longitudinal 304 de los elementos de resistencia unidireccionales o barras 402 y ayudan a servir como características de alineación. Los hilos de urdimbre o mechas 315 elevados ayudarían a la colocación de cada elemento de resistencia y barra 202 y 402 en una posición dada a lo largo de la superficie de la capa portadora 313.

En una configuración adicional de la capa portadora de tela tejida 313, pueden configurarse múltiples hilos de urdimbre o mechas 315 longitudinales y/o tener un denier suficiente, de manera que los hilos de urdimbre o mechas 313 se eleven a lo largo de ambas superficies de la capa portadora 313. Los hilos de urdimbre o mechas 315 elevados servirían como características de alineación para ayudar a la colocación longitudinal de cada elemento de resistencia o barra 202 y 402 a lo largo de una primera superficie de la capa portadora 313, así como servirían como características de alineación para ayudar a la colocación de una capa de preforma 300A, 300B y 400 con otra capa de preforma 300A, 300B y 400 adyacente. Los hilos de urdimbre o mechas 315 elevados a lo largo de una segunda superficie de la capa portadora tejida 313 que se opone a la primera superficie de la capa portadora 313 facilitarían el apilamiento o la estratificación de las dos capas de preforma 300A, 300B y 400. Las capas portadoras 313 pueden configurarse adicionalmente para facilitar el apilamiento o la estratificación de las capas de preforma 300A, 300B y 400 en un patrón de columna, ladrillo o aleatorio.

La estructura de la capa de preforma resultante 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención, como se mencionó, también ayuda a aumentar la densidad de empaquetamiento y, por lo tanto, ayuda a disminuir el volumen de resina de pegamento 502 requerida para formar la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 a partir de la formación apilada 128 de múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400.

Por tanto, la construcción de las capas de preforma 300A, 300B y 400 y los patrones de estratificación o apilamiento y las disposiciones de las capas de preforma de acuerdo con la invención permiten controlar las dimensiones de cada capa de preforma 300A, 300B y 400 y, por lo tanto, controlar las dimensiones generales y la estructura acabada de la viga compuesta 127 que forma el cordón de larguero 126. Además, el uso de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 ayuda a aumentar o maximizar la fracción de volumen total neto de fibra, lo que ayuda a aumentar o maximizar la fracción de volumen de fibra del cordón de larguero 126, mientras reduce o minimiza la cantidad de material que se usa para construir la viga compuesta 127. Como se indicó, también es posible una reducción del volumen de la resina de pegamento 502 que se aplica a la formación apilada 128 para formar la viga compuesta 127. Como resultado, pueden lograrse reducciones en los materiales y los costos de fabricación usando la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención como componentes estructurales del cordón de larguero 126 de la pala.

Como se describió anteriormente, los espacios diminutos 500 entre los elementos de resistencia individuales o barras 202 y 402 y entre las capas de preforma 300A, 300B y 400 estratificadas o adyacentes, cuando se forman en la formación apilada 128, ayudan a facilitar la penetración de la resina de pegamento 502 durante la formación de la viga compuesta 127. Son posibles tasas de penetración de resina 502 relativamente rápidas, por ejemplo, del orden de varios minutos, entre elementos individuales o barras 202 y 402 y entre capas de preforma individuales 300A, 300B y 400. Como se muestra en las Figuras 11A y 11B, la resina de pegamento 502 penetra y fluye hacia los espacios 500 y cualquier vacío.

Además, como se mencionó, las propiedades mecánicas de los elementos de resistencia preformados o barras 202 y 402 ayudan a permitir que los elementos o barras 202 y 402 resistan las arrugas y la contracción durante la aplicación y el curado de la resina de pegamento 502. Esto elimina los requisitos de tiempos de curado lentos y temperaturas de curado relativamente bajas que se usan actualmente en muchas técnicas de fabricación de cordones de larguero de la técnica anterior para evitar la formación de arrugas en tejidos, materiales compuestos y materiales fibrosos y de fibra. Además, la estructura y las propiedades mecánicas de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 y la capa de preforma resultante 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención ayudan a los elementos individuales o barras 202 y 402 a resistir el lavado de fibras durante la inyección o infusión de resina de pegamento. 502. En particular, los elementos de resistencia o barras 202 y 402 resisten el lavado de fibra a lo largo del ancho transversal  $W_2$  de la formación apilada 128 de múltiples

capas de preforma 300A, 300B y 400 al que se aplica la resina de pegamento 502. La resistencia al lavado de fibras ayuda a que la capa de preforma 300A, 300B y 400 minimice o elimine las oportunidades para la formación de arrugas, torceduras o abolladuras indeseables a lo largo de la viga compuesta 127 durante su fabricación y, finalmente, a lo largo del cordón de larguero 126. El incremento de las tasas de penetración de resina de pegamento y el incremento la resistencia de los elementos de resistencia o barras 202 y 402 al lavado de fibras acortan efectivamente los tiempos requeridos para la penetración y curado de la resina durante la fabricación del cordón de larguero 126.

Banda Continua de Capas de Preforma

Con referencia a las Figuras 14A-14C, en otro aspecto, la invención proporciona la pluralidad de capas de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención que se configuran y disponen en una banda continua 510. La banda 510 incluye múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 en cualquiera de las configuraciones que se describen anteriormente. La Figura 14A proporciona un ejemplo ilustrativo de la banda 510 de acuerdo con la invención que incluye ocho (8) capas de preforma 300A-H y 400A-H con cada capa de preforma adyacente a al menos otra capa de preforma a lo largo de su ancho transversal  $W_3$  y  $W_4$ . El ancho transversal  $W_3$  y  $W_4$  de las capas de preforma 300A-H y 400A-H tal como se muestra en las Figuras 6 y 7 define la banda 510 con un ancho transversal sustancialmente uniforme  $W_5$ . Además, las capas de preforma 300A, 300B y 400 adyacentes definen la longitud  $L_5$  de la banda 510. Mientras que la Figura 14A ilustra la banda 510 que incluye ocho (8) capas de preforma 300A-H y 400 A-H, la banda 510 de acuerdo con la invención no se limita a este respecto y concibe que la banda 510 puede incluir cualquier número de capas de preforma 300A, 300B y 400. La banda 510 puede construirse y disponerse para suministrar un número de capas de preforma 300A, 300B y 400 suficientes para construir parcial o totalmente una o más vigas compuestas 127 de cordón de larguero u otros componentes de la pala.

La banda 510 define la pluralidad de capas de preforma individuales 300A-H y 400A-H como múltiples sublongitudes de la longitud de la banda  $L_5$ . En esta configuración de la banda 510, las sublongitudes corresponden a las longitudes variables requeridas  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A-H y 400A-H que se muestran en la Figura 4E que se usan para configurar la formación apilada 128 y, en última instancia, la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 con un grosor variable, tal como se muestra en las Figuras 4D y 4F. La invención no se limita a este respecto y anticipa otras configuraciones de la banda 510. Por ejemplo, algunas configuraciones de la banda 510 pueden incluir múltiples capas de preforma 300A, 300A y 400 que tienen longitudes y anchos transversales sustancialmente uniformes para suministrar las capas de preforma 300A, 300B y 400 para construir la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126 con un ancho transversal y un grosor sustancialmente uniformes. Otras configuraciones de la banda 510 pueden incluir múltiples capas de preforma 300A, 300B y 400 que tienen anchos transversales variables para construir la viga compuesta 127 con un ancho transversal que se ahúsa a lo largo de su envergadura.

La banda 510 define además zonas de extremo ahusadas 512 a través de su ancho  $W_5$ . Las zonas de extremo ahusadas 512 definen la banda 510 en sublongitudes individuales que tienen las longitudes variables  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera, de las capas de preforma 300A-H y 400A-H.

Como se muestra en la Figura 14B, cada zona de extremo ahusada 512 incluye porciones adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B adyacentes al menos a un extremo de cada capa de preforma 300A-H y 400A-H. En una configuración de la banda 510 de acuerdo con la invención, las zonas de extremo ahusadas 512 pueden formarse en la banda 510 eliminando porciones o adelgazando los extremos de las capas de preforma 300A-H y 400A-H. En este caso, las capas de preforma 300A-H y 400A-H pueden formar inicialmente la banda 510 como un material continuo de banda sin zonas de extremo ahusadas 512. Pueden usarse procesos o técnicas de adelgazamiento o rectificado para eliminar o adelgazar los extremos de las capas de preforma 300A-H, 400A-H para crear, por lo tanto, las zonas de extremo ahusadas 512 en la banda 510. Cada zona de extremo ahusada 512 puede incluir una o más indicaciones 513 para indicar el punto en el que las capas de preforma adyacentes 300A-H y 400A-H pueden separarse, por ejemplo, cortando a lo largo del punto, una de otra. Las zonas de extremo ahusadas 512 se crearían en ubicaciones predeterminadas a lo largo de la banda 510 para definir cada capa de preforma 300A-H y 400A-H con una longitud requerida o deseada  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera.

Todavía con referencia a la Figura 14B, las porciones adelgazadas 320A, 320B de las capas de preforma adyacentes 300A-H y 400A-H definen cada zona de extremo ahusada 512 con ciertas tasas de ahusamiento  $S_3$  y  $S_4$ . Las tasas de ahusamiento  $S_3$  y  $S_4$  pueden relacionarse con la longitud de  $L_5$  de la banda 510, o pueden relacionarse con la longitud  $L_{4a}$ ,  $L_{4b}$ ,  $L_{4c}$ ,  $L_{4d}$ , etcétera de cualquier capa de preforma particular. Las zonas de extremo ahusadas 512 pueden definir un punto que sea lo suficientemente delgado como para permitir la separación, por ejemplo, mediante corte o rectificado, de las capas de preforma 300A-H y 400A-H entre sí y la banda 510. Cuando se separa de la banda 510, cada capa de preforma individual 300A-H, 400A-H puede incluirse en un puesto o posición específica dentro de la formación apilada 128.

Cada capa de preforma 300A-H y 400A-H tiene una porción adelgazada 320A, 320B y 322A, 318B a lo largo de al menos uno de sus extremos. Las tasas de ahusamiento  $S_3$  y  $S_4$  de las porciones adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B pueden corresponder y pueden ayudar a configurar el ahusamiento del grosor del cordón de larguero 126, particularmente donde el cordón de larguero 126 se construye principalmente de capas de preforma. Las tasas de ahusamiento  $S_3$  y  $S_4$  también pueden corresponder a la suavidad relativa o ahusamiento continuo del cordón de larguero 126. Tal ahusamiento continuo puede reducir o minimizar el efecto de aumento de tensión de un corte contundente o separación entre las capas de

preforma. Normalmente, el grosor mínimo de las porciones adelgazadas sería lo suficientemente delgado como para reducir el efecto de aumento de tensión a niveles aceptables, y lo suficientemente grueso como para mantener la resistencia a la tracción longitudinal de la banda 510. Por ejemplo, dicho grosor mínimo puede estar entre aproximadamente 5 % y aproximadamente 50 % del grosor nominal sin ahusar. En una modalidad preferida, el grosor mínimo puede ser aproximadamente el 20 % del grosor sin ahusar.

La Figura 14C ilustra una vista lateral de una porción adelgazada 320B de un extremo de una primera capa de preforma 300A-H, 400A-H que forma parte de una zona ahusada 512. La porción adelgazada 320B define una tasa de ahusamiento  $S_4$  que puede corresponder a una tasa de inclinación  $S_x$  de una porción adelgazada de una segunda capa de preforma. Cuando la primera y la segunda capa de preforma se apilan o estratifican durante la fabricación de la formación apilada 128, las porciones adelgazadas pueden colocarse dentro de la formación apilada 128 una respecto de la otra para ayudar a definir un ahusamiento del grosor de la formación apilada 128. De esta manera, las partes adelgazadas 320A, 320B y 322A, 318B con ciertas tasas de ahusamiento  $S_x$  pueden ajustar continuamente el ahusamiento del grosor de la formación apilada 128

Las longitudes variables de las capas de preforma 300A-C y 400A-C, y las tasas de ahusamiento  $S_x$  de las porciones adelgazadas de las capas de preforma, también pueden determinar el puesto o posición de cada capa de preforma 300A-H, 400A-H en la formación apilada 128. Este es el caso con la configuración de la banda 510 que se muestra en la Figura 14A, que suministraría cada capa de preforma 300A-C y 400A-C para su colocación en un puesto o posición particular en la formación apilada 128 que se muestra en la Figura 4D y 4F. Apilar o estratificar las capas de preforma 300A-C y 400A-C en sus respectivos puestos o posiciones definiría el ahusamiento del grosor de la formación apilada y, en última instancia, la viga compuesta 127 del cordón de larguero 126.

La banda 510 puede construirse con cualquier número de capas de preforma 300A-H y 400A-H suficientes para suministrar las capas de preforma 300A-H y 400A-H para construir parcial o totalmente una o más vigas compuestas 127. La banda 510 puede configurarse en una bobina, o envolverse a lo largo de un carrete o rollo, con el propósito de almacenar y enviar la banda 510 y con el propósito de distribuir las capas de preforma 300A-H, 400A-H durante la fabricación del cordón de larguero 126 y/u otros componentes de la pala 20.

#### Capas de Preforma Estructurales y de Refuerzo

Con referencia a la Figura 15, en otro aspecto, la invención proporciona la capa de preforma 300A, 300B y 400 en cualquiera de las configuraciones que se describen anteriormente para servir como un componente o miembro estructural, de resistencia y/o de refuerzo de la construcción de la pala 20. La Figura 15 es una vista en sección transversal de la pala 20 que se muestra en la Figura 2 tomada a lo largo de las líneas A-A e ilustra las porciones de carcasa superior e inferior 120 y 122 de la pala 20. Una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden diseñarse y construirse para su inclusión en las porciones de carcasa superior y/o inferior 120 y 122 como un componente o miembro de resistencia y/o refuerzo. En algunas configuraciones, la capa de preforma 300A, 300B y 400 puede ser integral con al menos una porción del borde de ataque 112 de la pala 20 que se define por capas de las porciones de carcasa superior e inferior 120 y 122. Como se muestra en la Figura 15, pueden incluirse una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 en la capa intermedia, por ejemplo, espuma, 105 y 107 de las porciones de carcasa superior e inferior 120 y 122 a lo largo de una porción del borde de ataque 112 de la pala 20. Alternativa, o adicionalmente, pueden incluirse una o más capas de preforma 300A, 300B y 400 en la capa intermedia, por ejemplo, espuma, de las porciones de carcasa superior e inferior 120 y 122 a lo largo de una porción del borde de salida 118 de la pala 20. En cualquier aplicación, la capa de preforma 300A, 300B y 400 de acuerdo con la invención se construye y dispone para proporcionar resistencia y/o refuerzo a lo largo de la porción del borde de ataque 112 y/o el borde de salida 118 en el que se incorpora. Además, las capas de preforma 300A, 300B y 400 pueden ayudar a agregar control geométrico adicional a la pala 20, de manera que la pala 20 maneje vórtices aerodinámicos y elimine las cargas de aire, así como también maneje el impacto a lo largo de la pala 20, debido a la deformación, desprendimiento de hielo y pájaros. La invención no se limita a este respecto y concibe que la capa de preforma 300A, 300B y 400 pueda diseñarse y construirse sustancialmente como se describió anteriormente, y/o puede configurarse adicionalmente, para servir como un miembro de refuerzo y/o resistencia de otros componentes de la pala 20.

Habiendo así descrito al menos un aspecto ilustrativo de la invención, los expertos en la técnica se darán cuenta fácilmente de diferentes alteraciones, modificaciones y mejoras. Tales alteraciones, modificaciones y mejoras se destinan a estar dentro del alcance de la invención. Por consiguiente, la descripción anterior es solo a modo de ejemplo y no pretende ser limitativa. El límite de la invención se define solo en las siguientes reivindicaciones y sus equivalentes.

## REIVINDICACIONES

1. Un elemento estructural para una pala de turbina eólica (20) que comprende:
  - 5 una capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) de una viga compuesta (127) que se configura para extenderse a lo largo de al menos una porción de un perfil de la pala de turbina eólica (20), la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) que incluye múltiples barras de resistencia alargadas (202, 402) que se disponen longitudinalmente entre sí en una sola capa, cada barra de resistencia (202, 402) se dispone adyacente y separada de al menos una barra de resistencia adyacente (202, 402);
  - 10 cada barra de resistencia (202, 402) incluye múltiples fibras estructurales colimadas unidireccionales (306), sustancialmente rectas, que se fijan en una resina matriz solidificada (308) de modo que cada barra de resistencia (202, 402) sea rígida y defina una geometría terminada que incluya una longitud y un ancho seleccionado y un perfil seleccionado;
  - 15 la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) que incluye al menos una capa portadora (312, 313) a la que se unen las múltiples barras de resistencia (202, 402) mediante un adhesivo (316) que se aplica al menos a una de las capas portadoras (312, 313) y las barras de resistencia (202, 402);
  - en donde la capa portadora (312, 313) ubica las barras de resistencia adyacentes (202, 402) para permitir el flujo de resina de pegamento líquida (502) entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402); y,
  - 20 en donde la capa portadora (312, 313) de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) incluye uno o más materiales permeables adecuados para facilitar el permeado y la penetración para permitir el flujo de resina de pegamento líquida (502) a través de la capa portadora (312, 313),
  - caracterizado porque** la capa portadora (312, 313) de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) comprende al menos uno de un material no tejido y un material tejido que tiene uno o más de:
  - 25 múltiples fibras, múltiples hilos y múltiples mechas (315) sustancialmente unidireccionales, que se disponen en una orientación sustancialmente transversal con relación al eje longitudinal de las barras de resistencia (202, 402).
2. El elemento estructural de acuerdo con la reivindicación 1, en donde al menos una porción de extremo de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) termina en una zona de extremo ahusada (512), el ahusamiento que es a una tasa de ahusamiento seleccionada.
3. El elemento estructural de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, incluye una ausencia de material entre cada barra de resistencia (202, 402), la ausencia de material permite el flujo de resina de pegamento líquida (502) entre los miembros de resistencia adyacentes.
- 35 4. El elemento estructural de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los espacios entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402) a lo largo de al menos una porción de la longitud de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) son sustancialmente uniformes.
- 40 5. El elemento estructural de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde se selecciona por su humectabilidad y compatibilidad con el material, al menos uno de un material no tejido y un material tejido.
6. El elemento estructural de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde un adhesivo (316) compatible con la resina de pegamento líquida (502) se une a la capa portadora (312, 313) y a las múltiples barras de resistencia (202, 402).
- 45 7. El elemento estructural de acuerdo con la reivindicación 6, en donde el adhesivo (316) se aplica al menos a una de las capas portadoras (312, 313) y las barras de resistencia (202, 402), incluye una capa de adhesivo (316) para unir las barras de resistencia (202, 402) a la capa portadora (312, 313).
- 50 8. El elemento estructural de cualquier reivindicación precedente, en donde el elemento estructural comprende uno o más de un cordón de larguero (126), una viga en I, un alma cortante (125) y otros componentes de pala estructurales de la pala de turbina eólica (20).
- 55 9. El elemento estructural de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende:
  - múltiples capas de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H), cada capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) es adyacente y se conecta con al menos otra capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) a lo largo de un ancho transversal de las capas de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H), formando una banda continua;
  - 60 una zona de extremo ahusada (512) que se define entre dos capas de preforma adyacentes y conectadas (300A - 300H, 400, 400A - 400H), la zona de extremo ahusada (512) que incluye una porción de extremo ahusada que se extiende desde un extremo de cada capa de preforma adyacente (300A - 300H, 400, 400A - 400H), en donde la porción de extremo ahusada se extiende desde cada capa de preforma adyacente (300A - 300H, 400, 400A - 400H) a una cierta tasa de ahusamiento,
  - 65



en donde la zona de extremo ahusada (512) tiene un grosor a lo largo de al menos un punto para permitir la separación de las dos capas de preforma adyacentes (300A - 300H, 400, 400A - 400H) entre sí.

- 5 10. El elemento estructural de acuerdo con la reivindicación 9, en donde al menos dos de las múltiples capas de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) tienen diferentes longitudes.
- 10 11. Un método para ensamblar un elemento estructural para una pala de turbina eólica (20), que comprende la formación de una capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) para extenderse a lo largo de al menos una porción de un perfil de la pala de turbina eólica (20), en donde la formación de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) comprende:
- 15 aplicar adhesivo (316) al menos a una de una superficie de una capa portadora (312, 313) y un número de barras de resistencia alargadas (202, 402);
- 20 disponer las barras de resistencia alargadas (202, 402) longitudinalmente entre sí a lo largo de la superficie de la capa portadora (312, 313), de manera que cada barra de resistencia (202, 402) se dispone adyacente y separada de al menos una barra de resistencia adyacente (202, 402), la separación permite el flujo de resina de pegamento líquida (502) entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402), en donde la capa portadora (312, 313) incluye uno o más materiales permeables adecuados para facilitar el permeado y la penetración para permitir el flujo de resina de pegamento líquida (502) a través de la capa portadora (312, 313),
- 25 y en donde cada barra de resistencia (202, 402) incluye múltiples fibras estructurales colimadas unidireccionales (306), sustancialmente rectas, que se fijan en una resina matriz solidificada (308) de modo que cada barra de resistencia (202, 402) es rígida y define una geometría terminada que incluye una longitud y un ancho seleccionado y un perfil seleccionado,
- 30 en donde la capa portadora (312, 313) de la capa de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H) comprende al menos uno de un material no tejido y un material tejido que tiene uno o más de: fibras múltiples, hilos múltiples y mechas múltiples (315), sustancialmente unidireccionales, que se disponen en una orientación sustancialmente transversal con relación al eje longitudinal de las barras de resistencia (202, 402), en donde el método comprende, además:
- 35 apilar cada una de las capas de preforma múltiples (300A - 300H, 400, 400A - 400H) con una o más capas de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H);
- hacer que la resina de pegamento líquida (502) fluya entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402) y a través de la capa portadora (312, 313) a la que se unen las barras de resistencia (202, 402) y las capas de preforma apiladas adyacentes (300A - 300H, 400, 400A - 400H); y solidificar la resina de pegamento líquida (502) para fijar las capas de preforma apiladas (300A - 300H, 400, 400A - 400H) para formar el elemento estructural.
- 40 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en donde la disposición comprende ubicar las barras de resistencia adyacentes (202, 402) a una distancia fija separada, y en donde la distancia fija permite el flujo de resina de pegamento líquida (502) entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402).
- 45 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 11 o la reivindicación 12, en donde la disposición comprende disponer las barras de resistencia (202, 402) en una sola capa.
- 50 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 11 a la 13, comprende además la etapa de apilar una o más capas (602) de al menos uno de un material tejido fibroso y un material no tejido fibroso con las dos o más capas de preforma (300A - 300H, 400, 400A - 400H).
- 55 15. El método de cualquiera de las reivindicaciones de la 11 a la 14, en donde la etapa de hacer que fluya la resina de pegamento líquida (502) incluye la etapa de emplear la infusión de resina líquida mediante una inyección y aplicar un vacío.
16. El método de acuerdo con la reivindicación 15, en donde, antes de la etapa de hacer que fluya la resina de pegamento líquida (502), las capas de preforma apiladas (300A - 300H, 400, 400A - 400H) se colocan en un molde de una pala de turbina (20), que comprende además la etapa de aspirar un vacío a lo largo del molde, mediante el cual se hace fluir la resina de pegamento líquida (502) entre las barras de resistencia adyacentes (202, 402) y a través de la capa portadora (312, 313) las cuales se unen a las barras de resistencia (202, 402) y a las barras de resistencia adyacentes (202, 402) y a las capas portadoras (312, 313) dentro del molde.

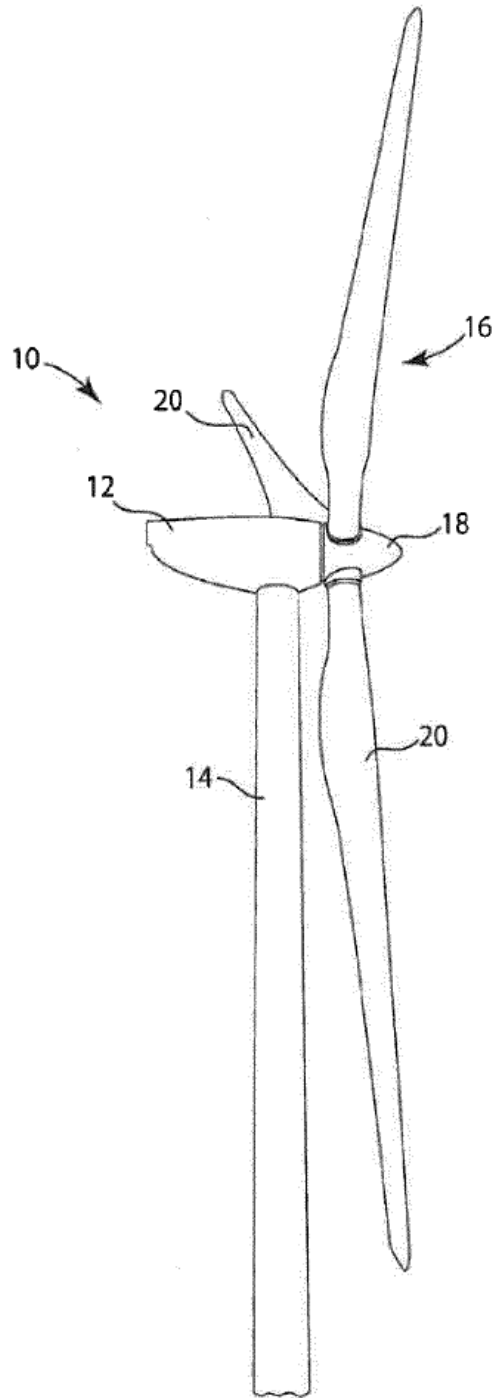
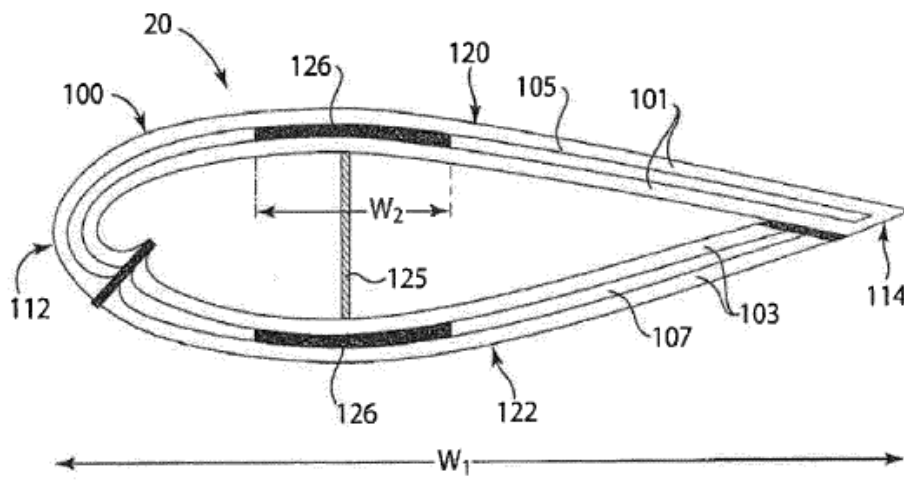
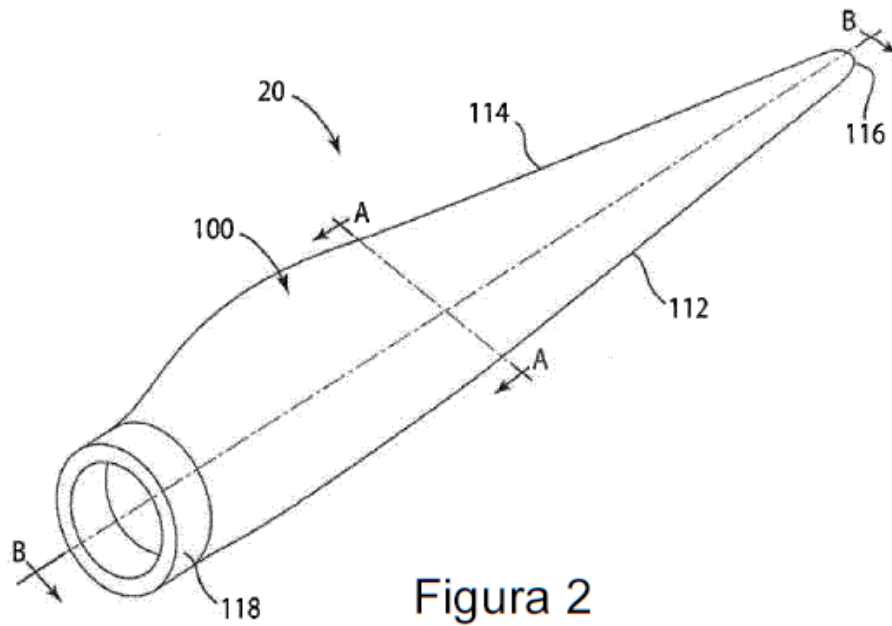


Figura 1



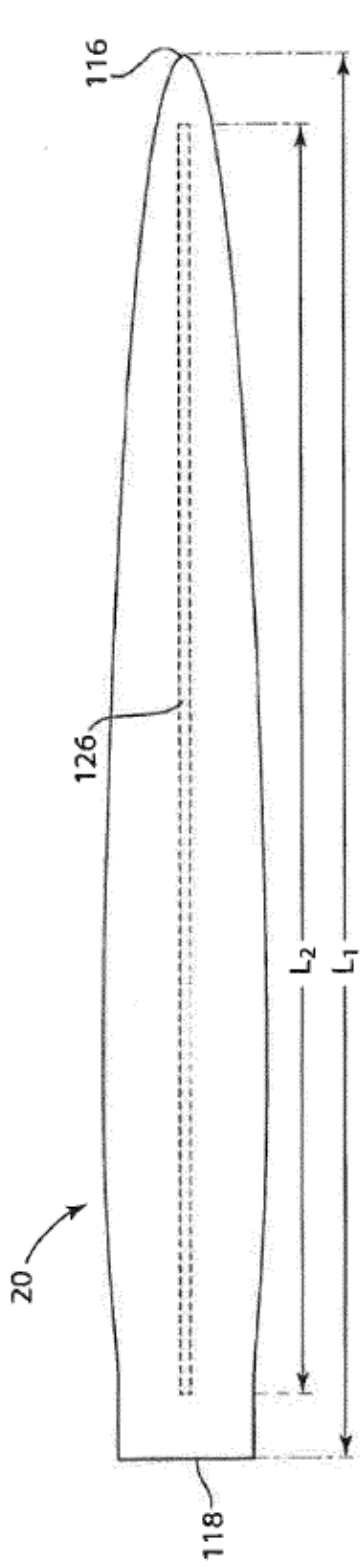


Figure 4A

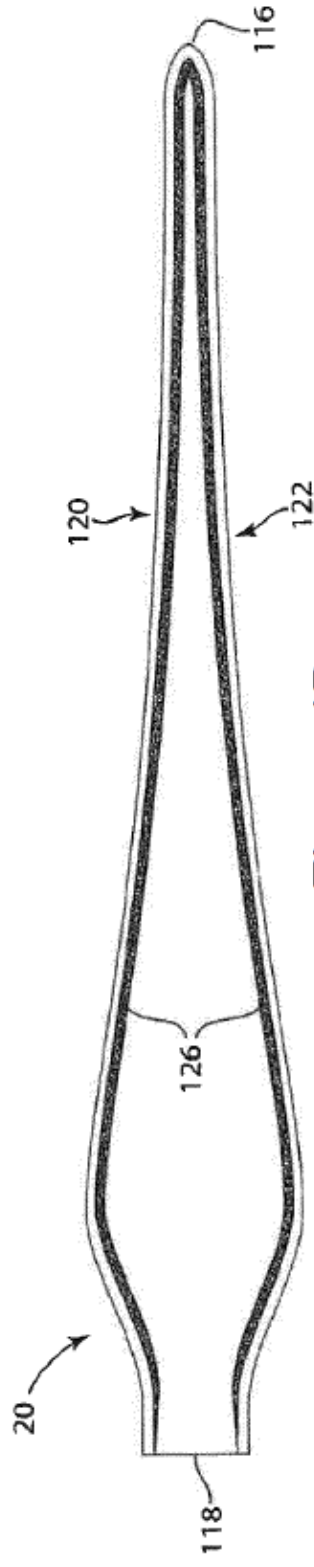


Figure 4B

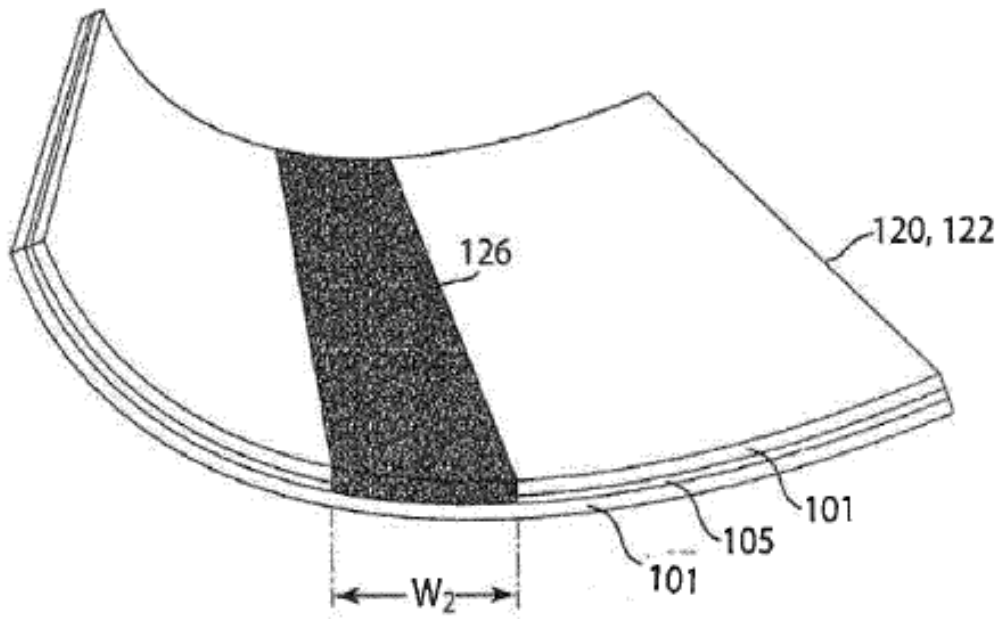


Figura 4C

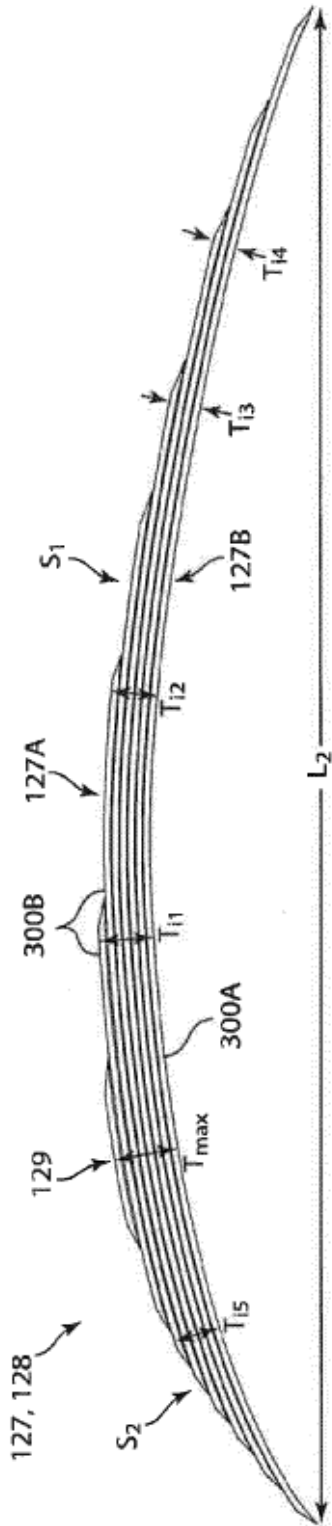


Figura 4D

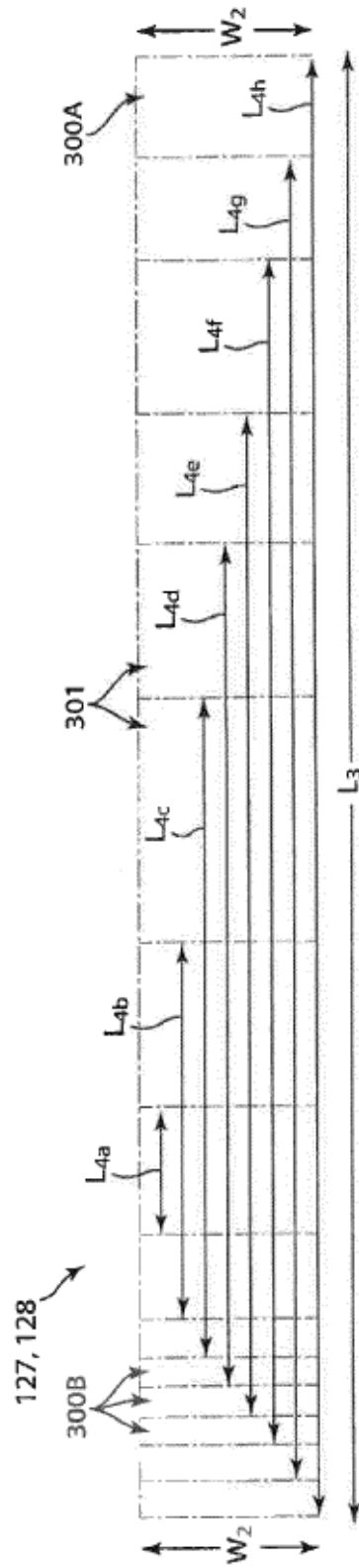


Figura 4E

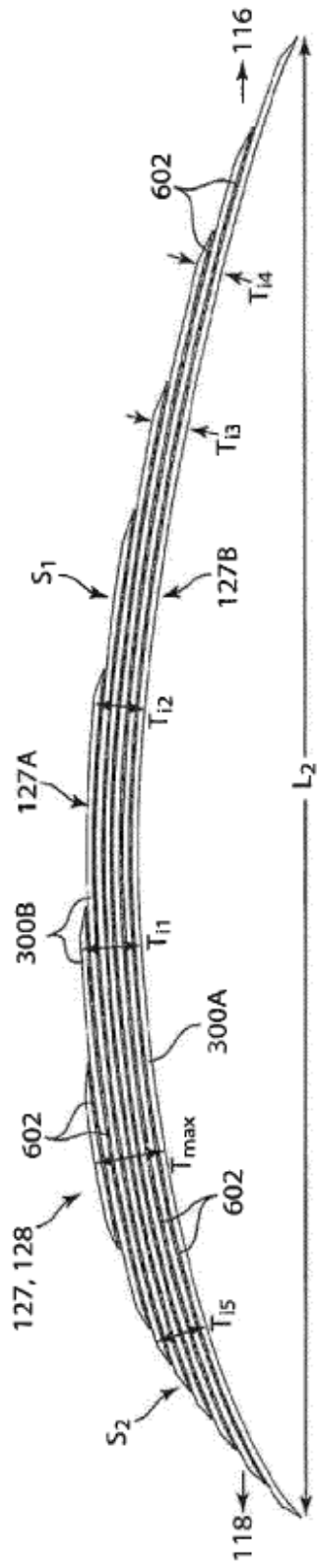


Figura 4F

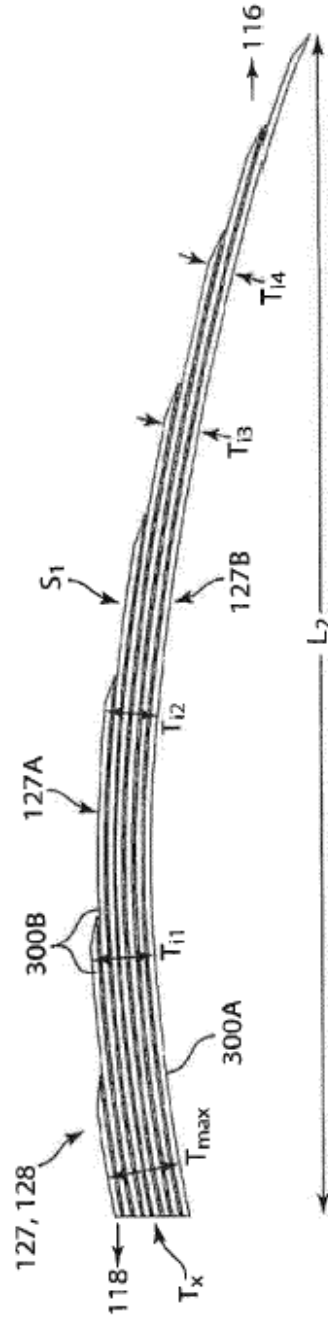
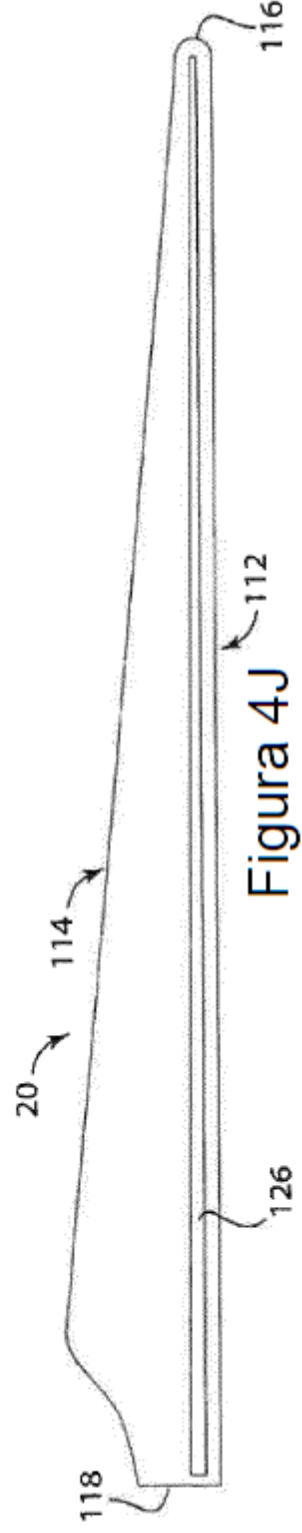
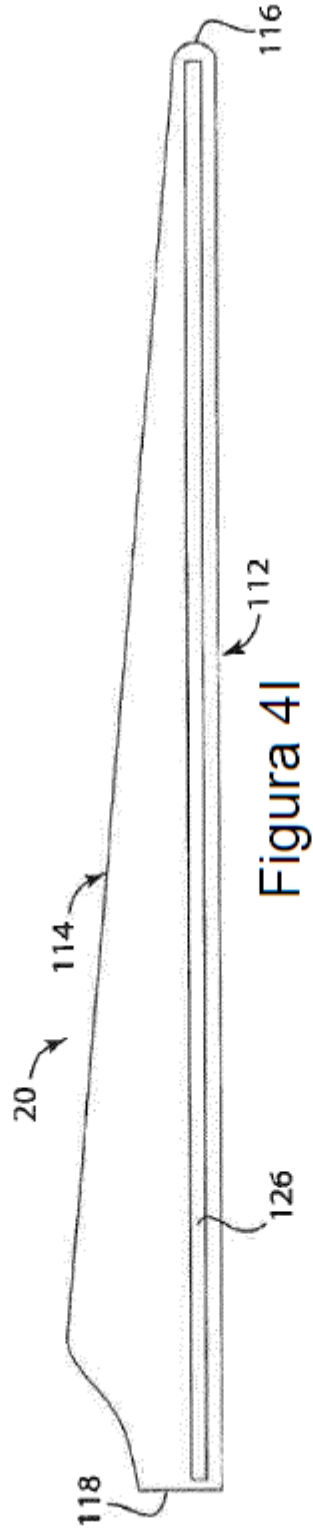
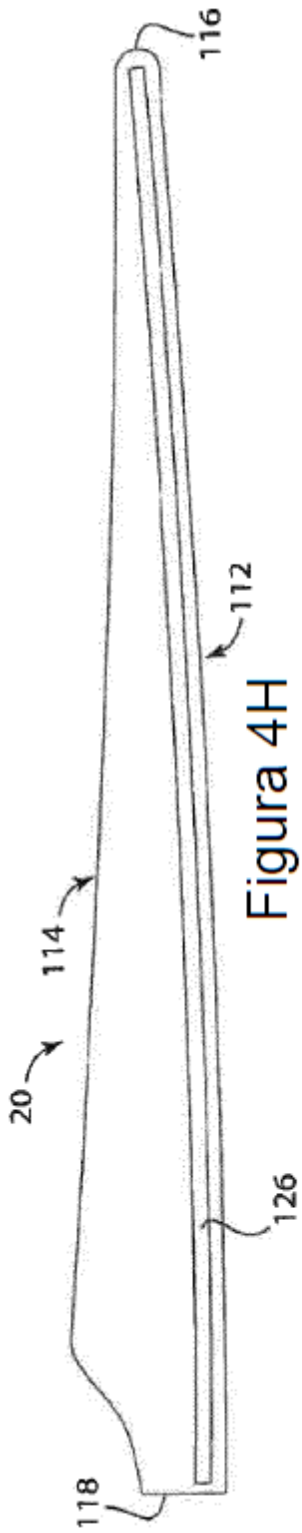


Figura 4G





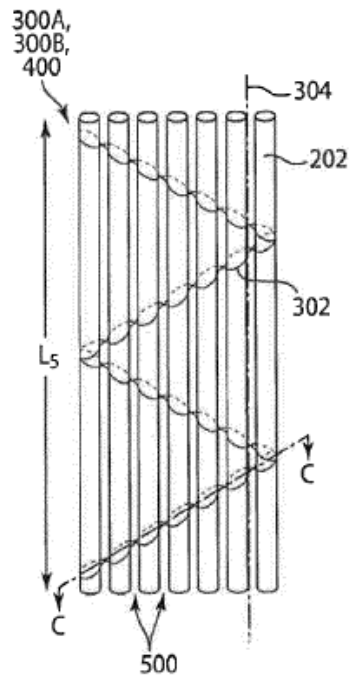


Figura 5A

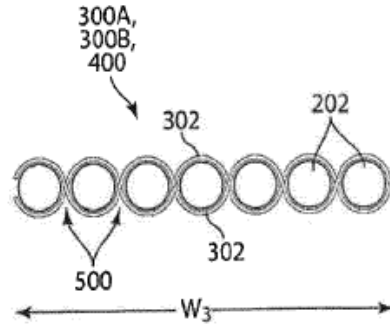


Figura 5B

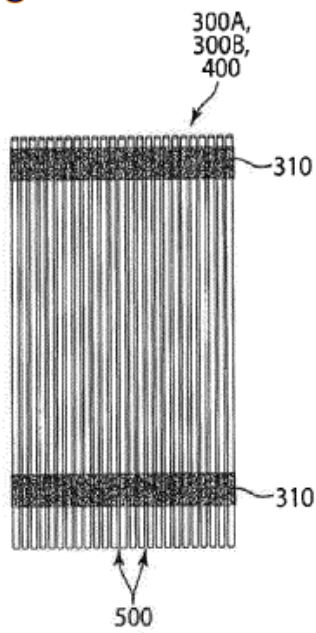


Figura 5C

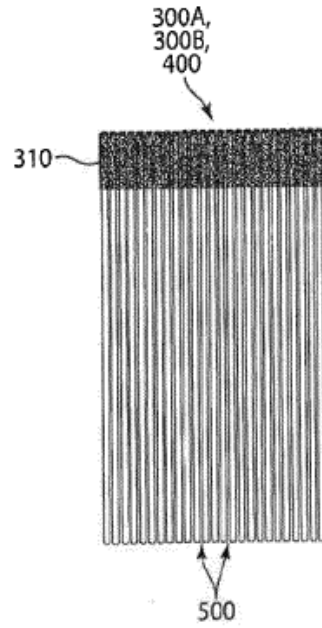


Figura 5D

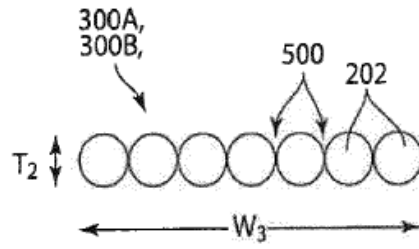


Figura 6

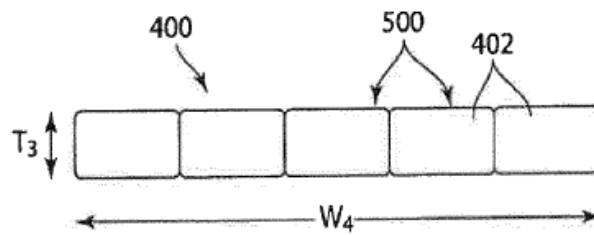


Figura 7

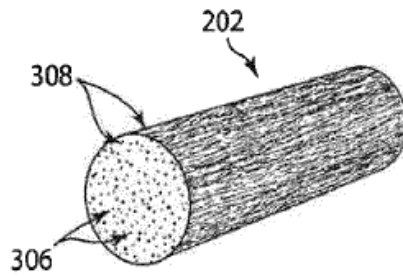


Figura 8A

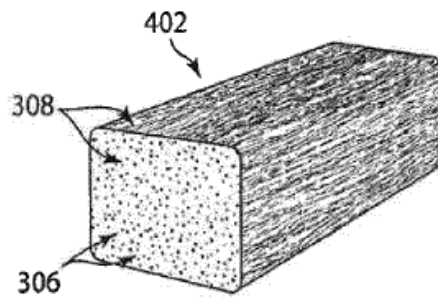


Figura 8B

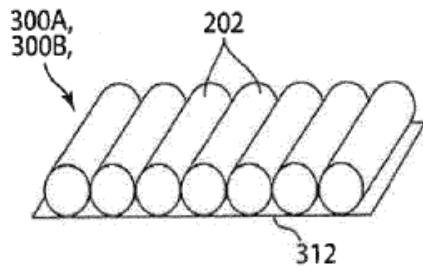


Figura 9A

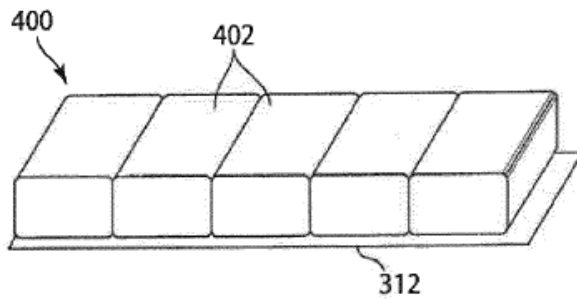


Figura 9B

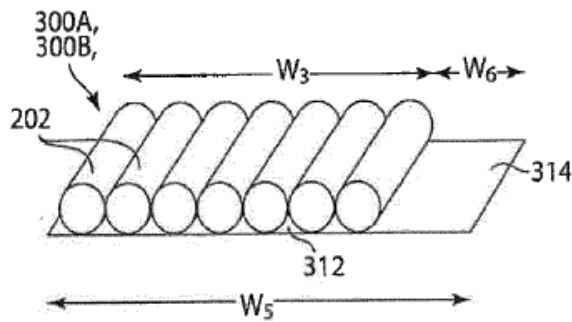


Figura 9C

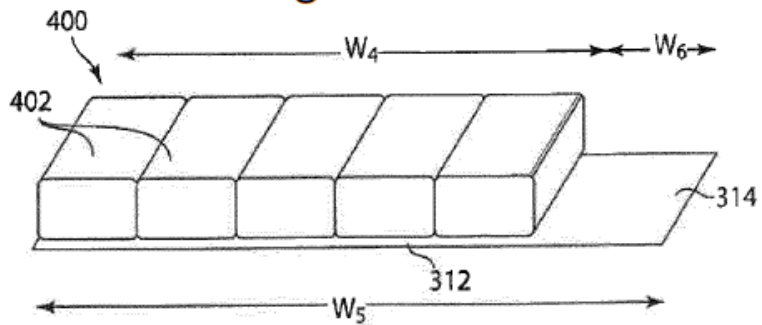


Figura 9D

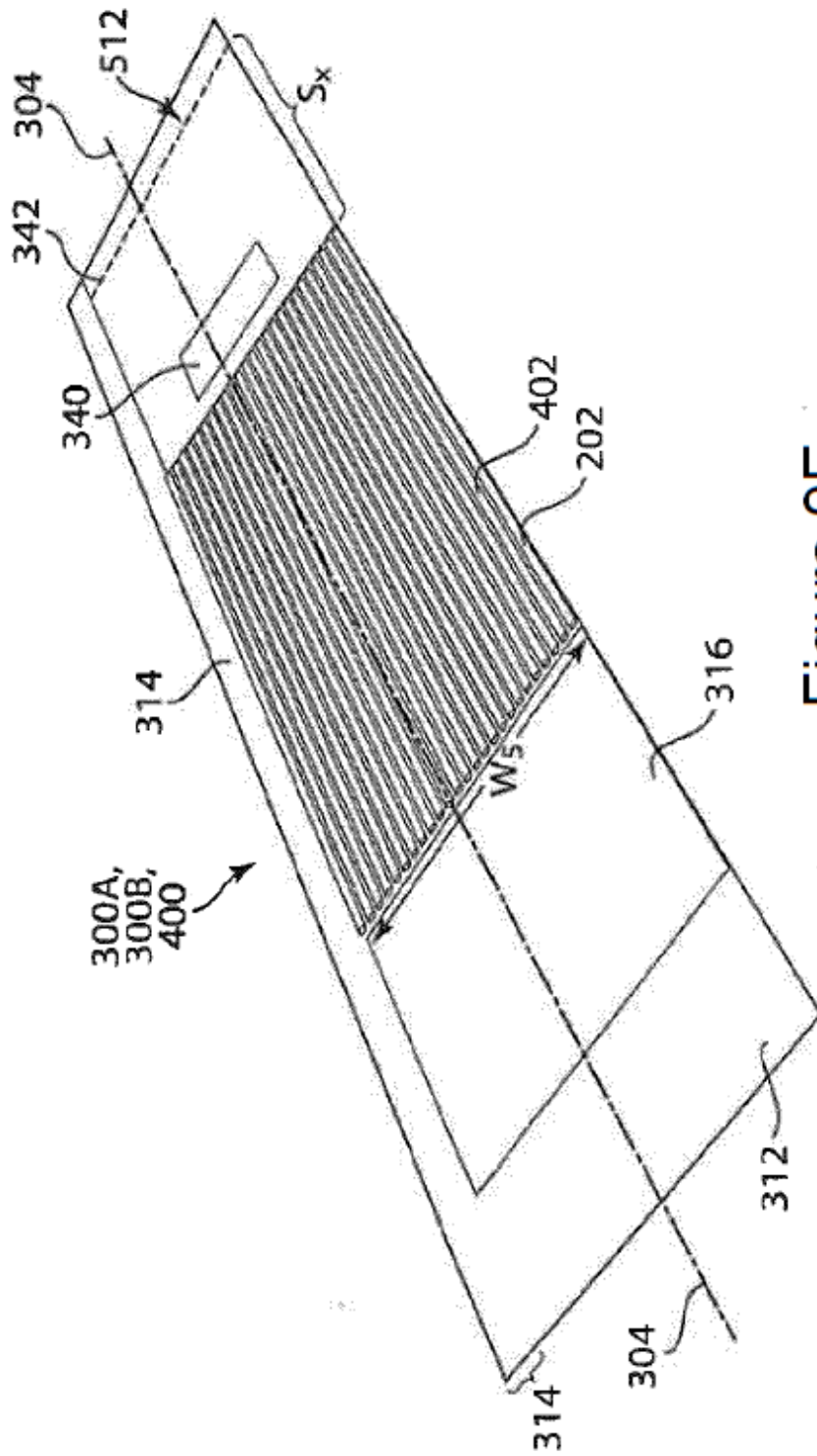


Figura 9E

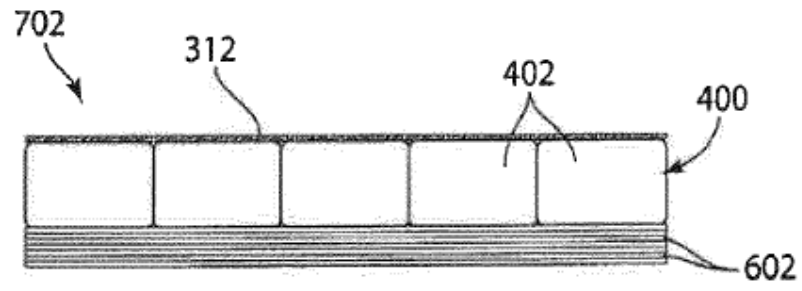


Figura 10A

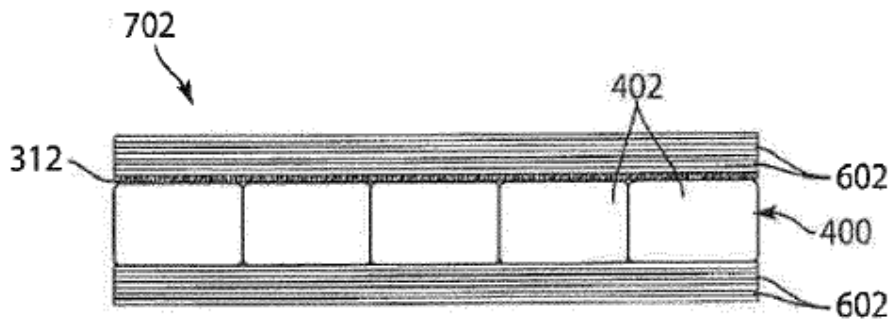


Figura 10B

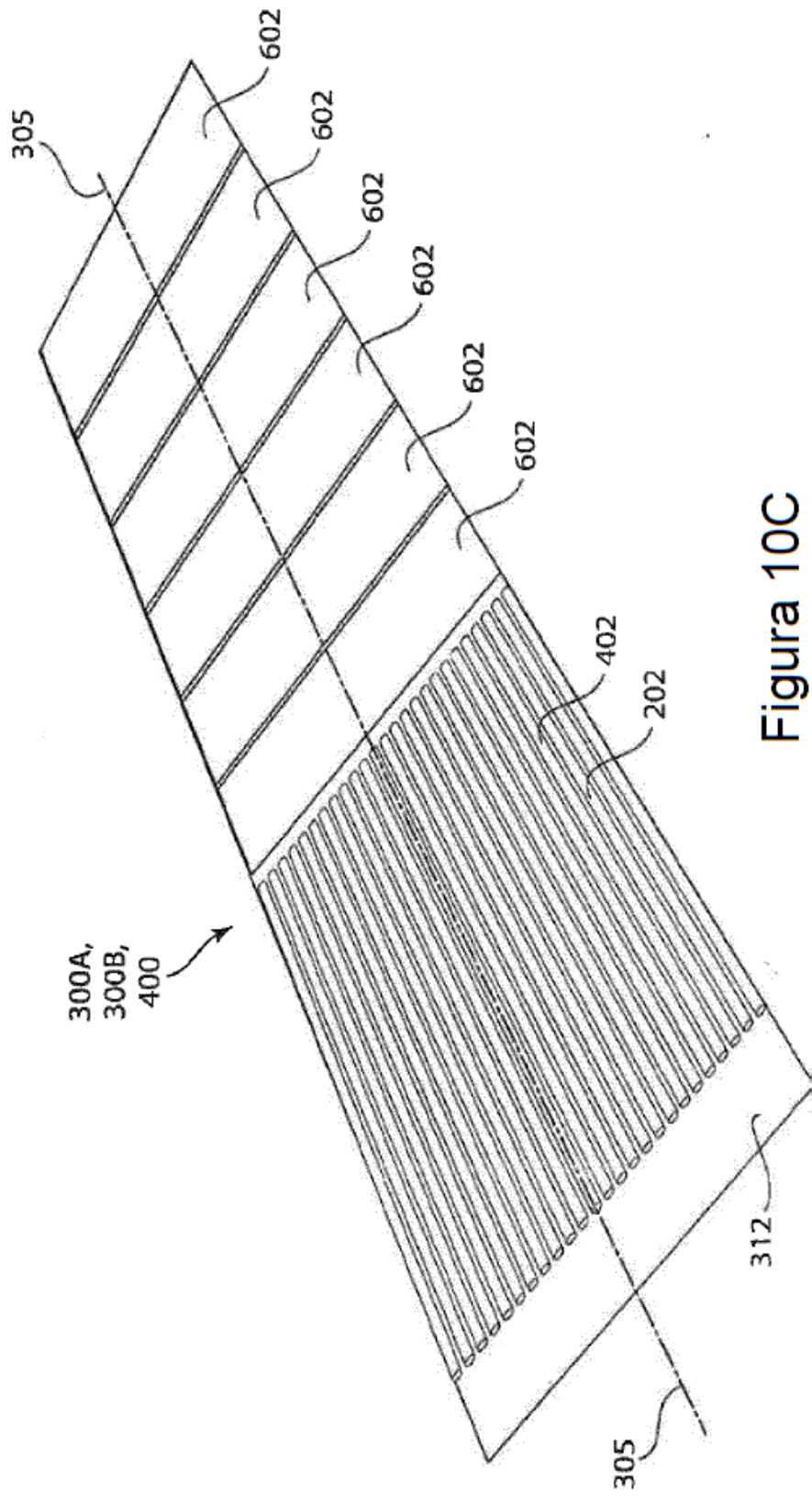


Figura 10C

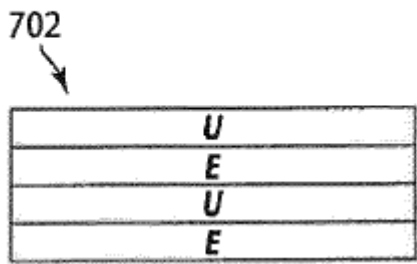


Figura 10D

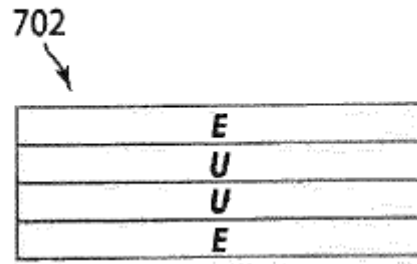


Figura 10E

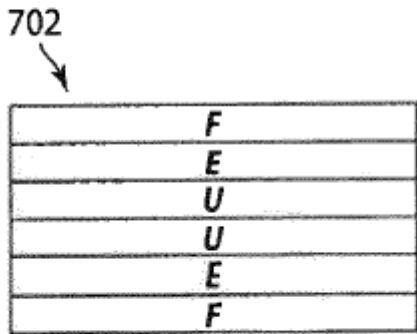


Figura 10F

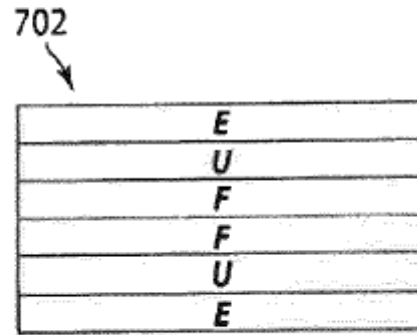


Figura 10G

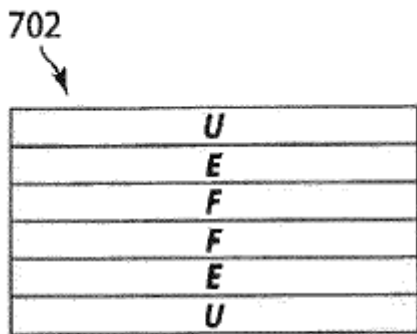


Figura 10H

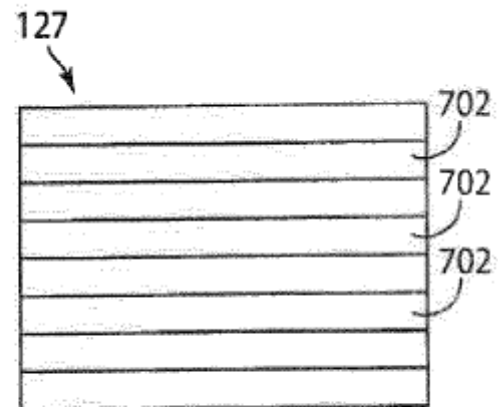


Figura 10I

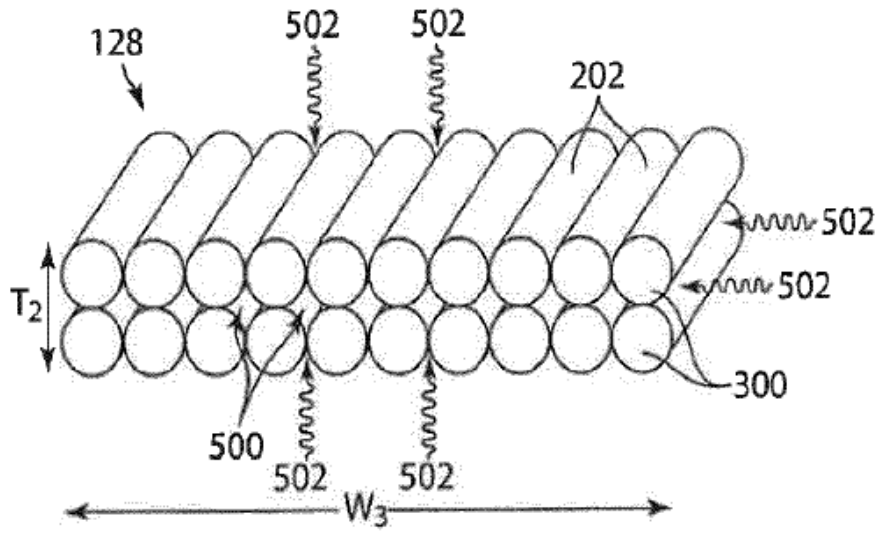


Figura 11A

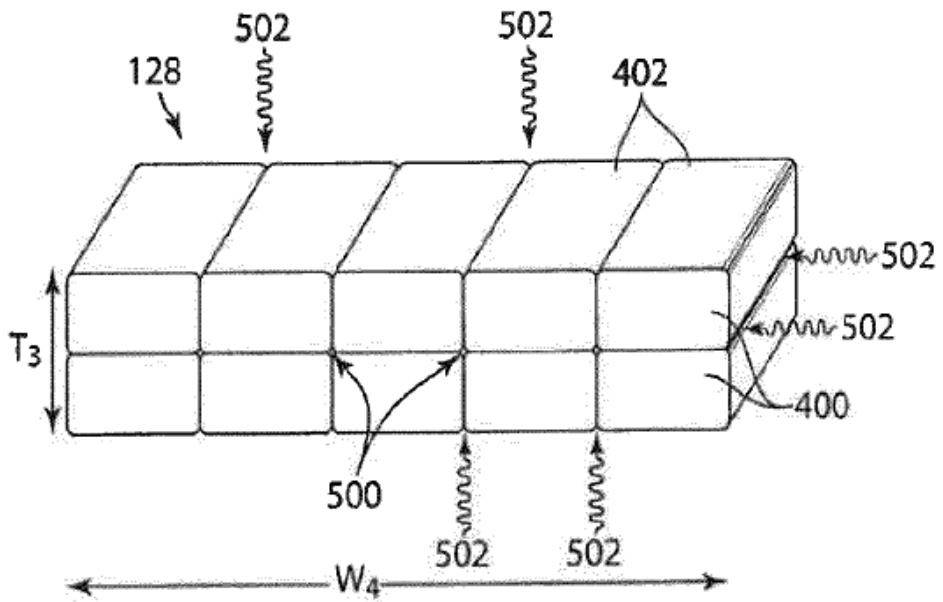


Figura 11B



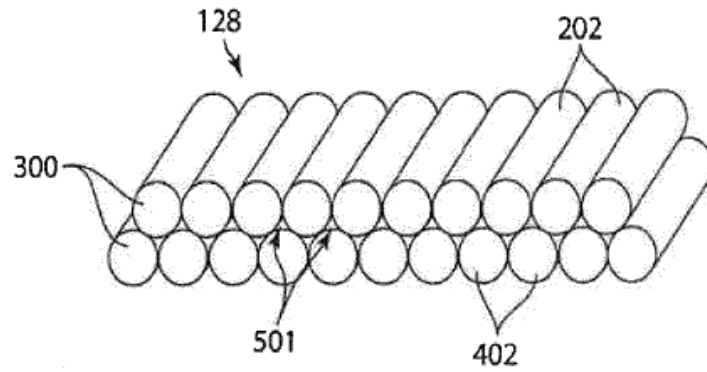


Figura 11C

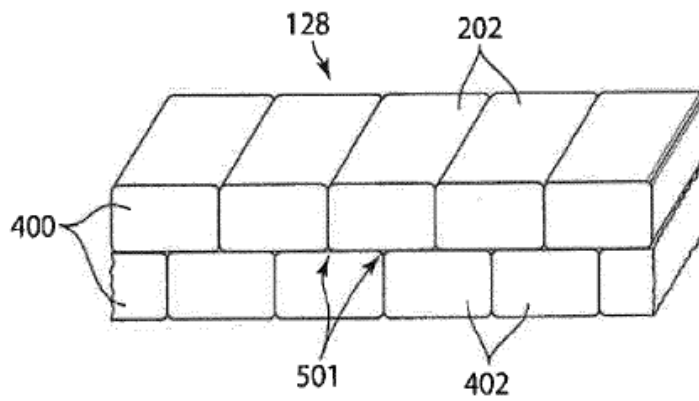


Figura 11D

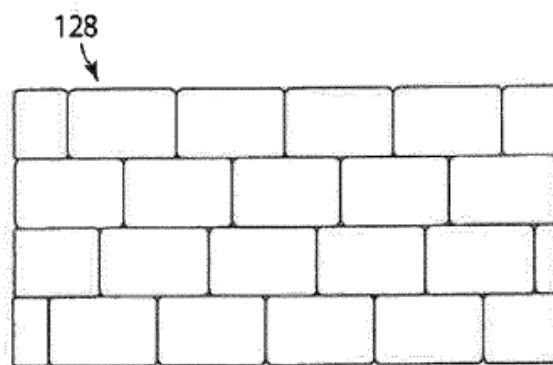


Figura 11E

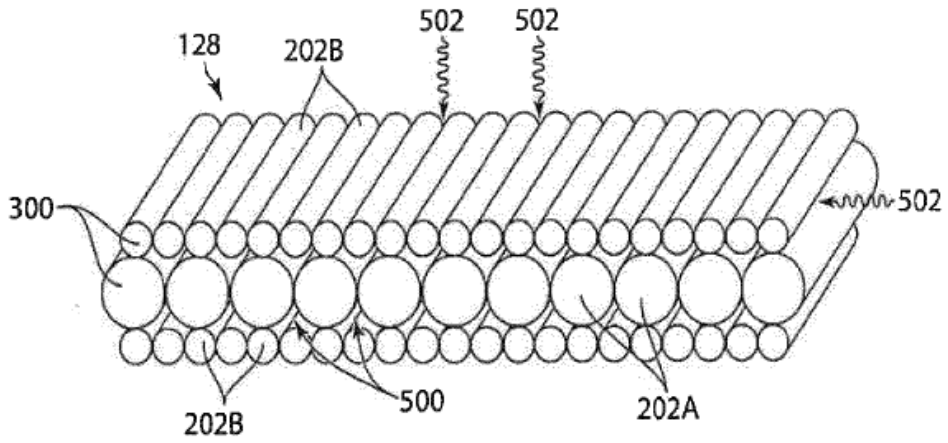


Figura 11F

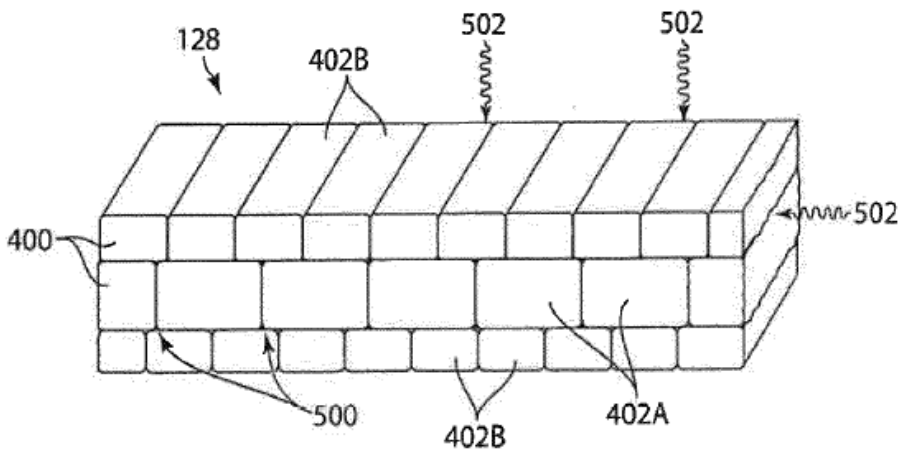


Figura 11G

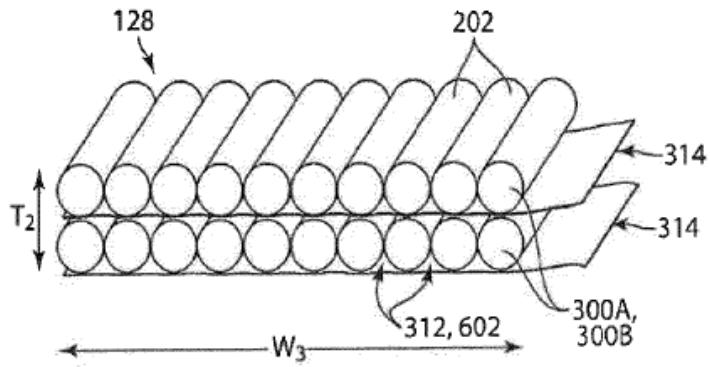


Figura 12A

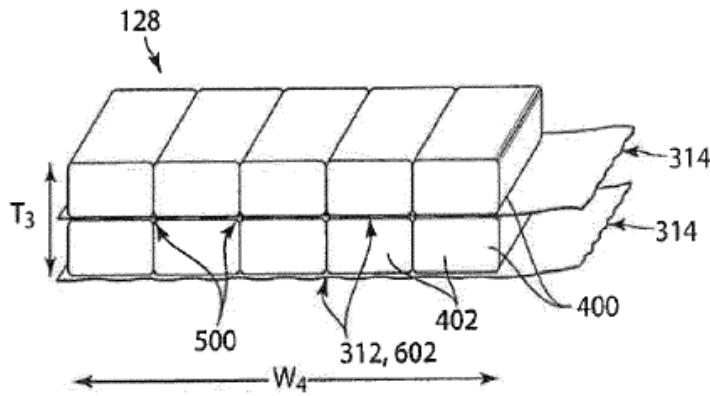


Figura 12B

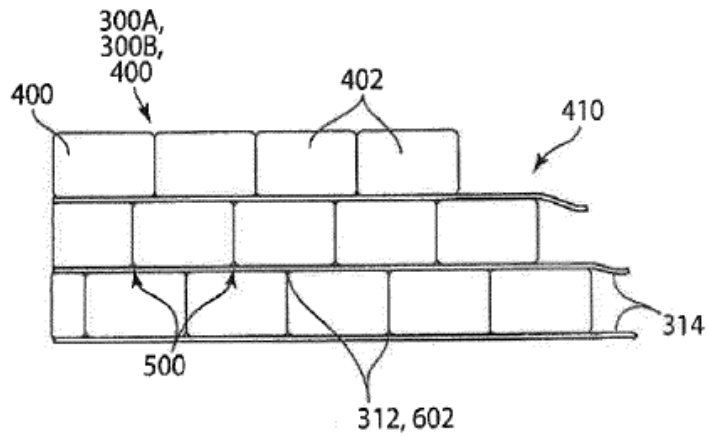


Figura 12C

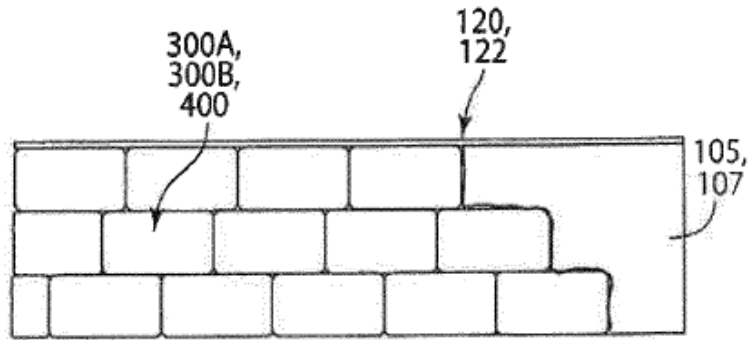


Figura 12D

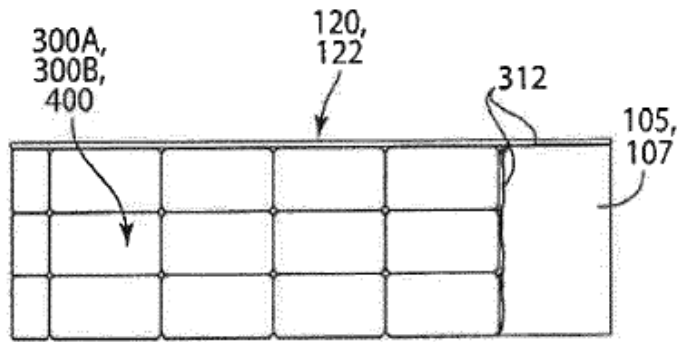


Figura 12E

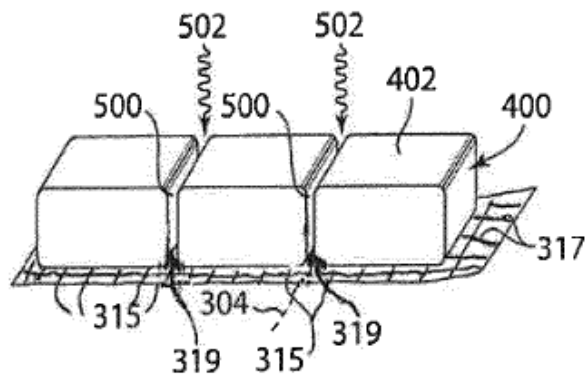


Figura 13

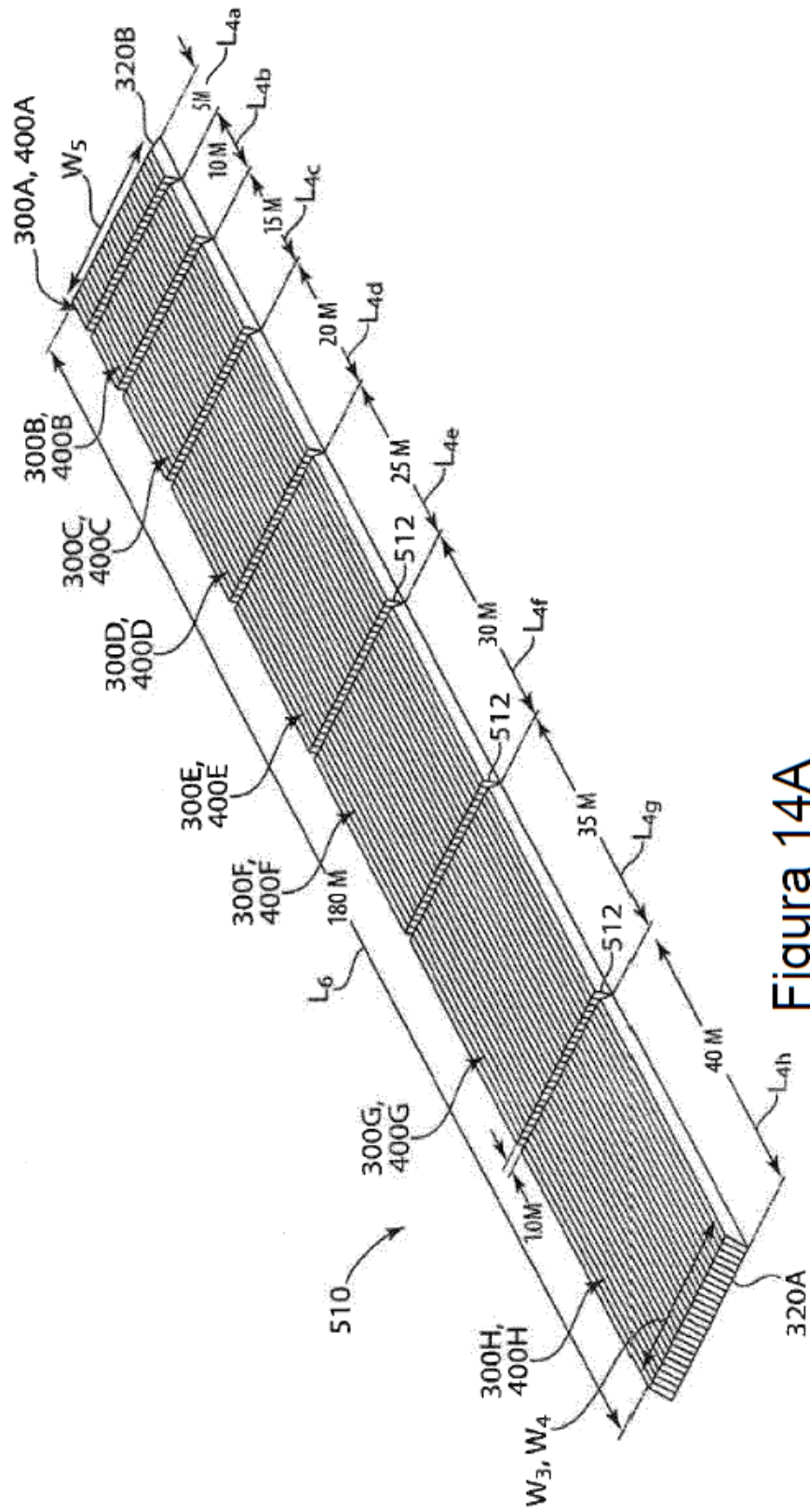


Figura 14A

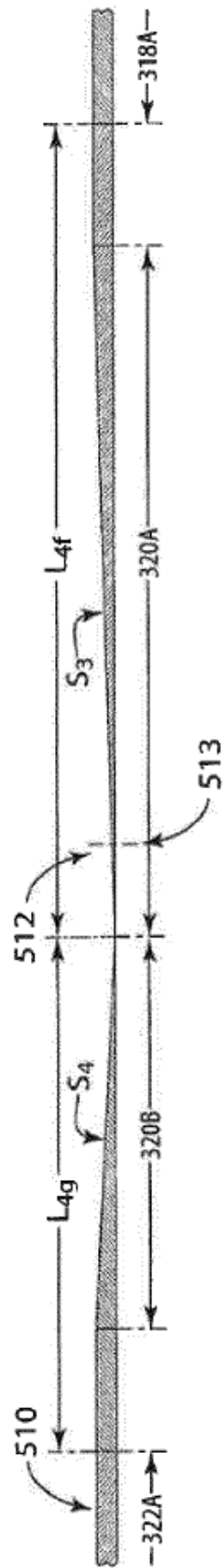


Figura 14B

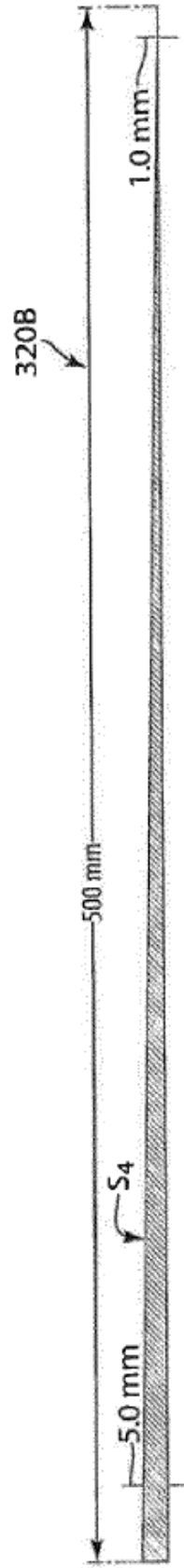


Figura 14C

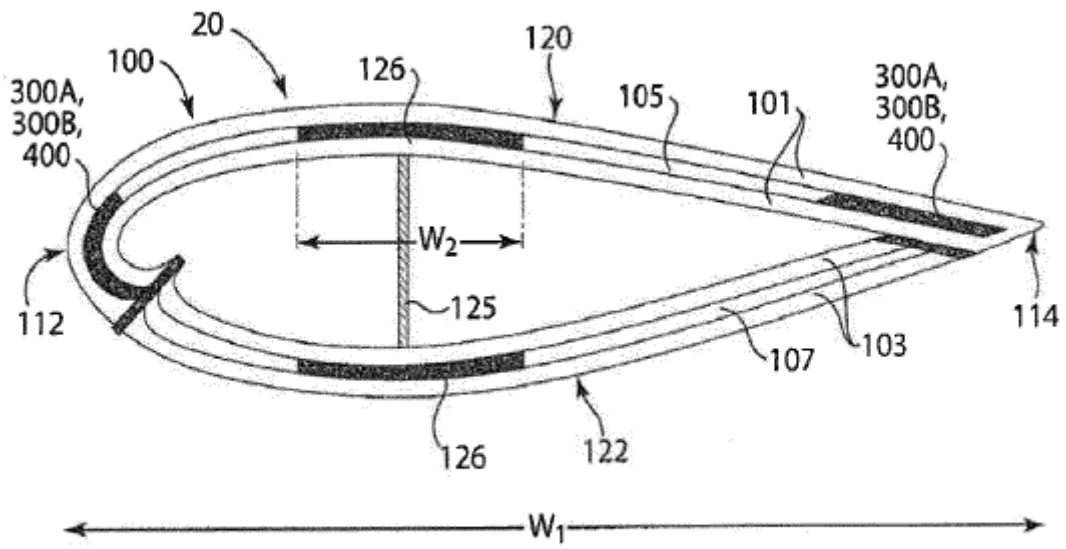


Figura 15