



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 366 460**

51 Int. Cl.:
F03D 1/06 (2006.01)
F03D 3/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08776075 .7**
96 Fecha de presentación : **29.07.2008**
97 Número de publicación de la solicitud: **2188522**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **26.05.2010**

54 Título: **Álabe de turbina eólica.**

30 Prioridad: **11.09.2007 GB 0717690**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.10.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.10.2011

73 Titular/es: **BLADE DYNAMICS LIMITED**
Saunders Drive Isle of Wight
Cowes PO31 8HU, GB

72 Inventor/es: **Rudling, Paul**

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 366 460 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

Álabe de turbina eólica

5 La presente invención se refiere a los álabes de turbinas eólicas y a los procedimientos para fabricar los álabes de turbinas eólicas.

10 El enfoque actual para fabricar álabes de turbinas eólicas es producir de cada uno de los álabes, bien sea como dos mitades de carcasa y un larguero, o como dos mitades de carcasa con un cordón de larguero integral y almas cortantes. En ambos casos, las dos mitades de carcasas están unidas entre sí a lo largo de sus bordes principal y secundario para formar un álabe completo.

15 Los álabes están fabricados por lo general de plástico reforzado con fibra usando infusión de resina o técnicas de pre-impregnación. En ambos casos, los álabes se producen en instalaciones intensivas con mucha mano de obra y capital y después se transportan a la ubicación de la turbina eólica o parque eólico.

20 Las limitaciones del enfoque actual se relacionan principalmente con la escala de los álabes de turbinas eólicas que suelen ser de 40 m de longitud o más. A medida que el tamaño de los álabes aumenta, también lo hacen los costes asociados y la probabilidad de defectos de fabricación, como los álabes se hacen más grande, de alta calidad, son notoriamente difíciles de fabricar. Por otro lado, para compensarla probabilidad de defectos, los álabes presentan una sobre-ingeniería conllevando a una masa de álabe relativamente mayor. Esto a su vez conlleva a mayores cargas en la turbina, instalación más difícil y mayores costes de material.

25 En la práctica, los álabes más grandes son más deseables que los álabes pequeños, puesto que trazan un envolvente mayor y por lo tanto, capturan una mayor proporción de la energía eólica disponible. Esto significa que menos turbinas eólicas son necesarias para la misma capacidad de generación de energía.

30 Entendiendo lo anterior, mientras más grandes sean los álabes, más difícil y costoso son de transportar. Esto se ve agravado por el hecho de que muchas las turbinas eólicas se encuentran en zonas montañosas, que pueden ser inaccesibles por carretera. En ocasiones, los álabes se cortan por la mitad para reducir la longitud total de la estructura que tiene que transportarse, haciéndose posteriormente una unión en campo en el sitio de la turbina eólica. Sin embargo, esto no es una solución satisfactoria, puesto que implica, el corte a la mitad de un componente estructuralmente sonoro y costoso, por el contrario.

35 Numerosos enfoques se ha propuesto para abarcar este problema.

40 Los documentos EP 1 584 817 y WO 2006/002621 describen un álabe de turbina eólica subdividido en dos o más módulos. Cada modulo tiene una estructura de refuerzo en forma de una sección cajeadada. Un número de salientes sobresalen desde el extremo de la viga y se diseñan para coincidir con los salientes correspondientes en un modulo adyacente.

45 También algo relevante para la presente invención es el documento WO 03/087572 que describe un álabe de turbina eólica que no tiene una construcción modular. Este documento describe un larguero que tiene dos mitades una encima de la otra. Cuando se conforma el larguero, se insertan separadores entre las dos secciones de larguero para asegurar que las dos partes del álabe se alineen de forma correcta.

50 El documento WO 95/20104, que se considera como la técnica anterior más cercana a la materia objeto de las reivindicaciones 1 y 10, describe un álabe de turbina eólica que comprende un larguero modular que se extiende a lo largo de toda la longitud del álabe de turbina eólica. El larguero comprende una pluralidad de vigas cajeadas dispuestas lado a lado.

La presente invención se refiere a una mejora del diseño modular del álabe tipificado por los documentos EP 1 584 817 y WO 2006/002621.

55 En un primer aspecto, la presente invención proporciona un larguero para un álabe de turbina eólica, comprendiendo el larguero tres o más vigas dispuestas lado a lado, teniendo cada viga un alma longitudinal con una pestaña en cualquiera de sus bordes longitudinales.

60 Un larguero conformado por vigas es ventajoso ya que las vigas se pueden normalizar, asegurar su calidad, son baratas de producir, cuyos elementos son simples de transportar y se pueden conectar entre sí para formar una forma más compleja que aquella requerida convencionalmente para un larguero de álabe de turbina eólica.

65 Una o más vigas pueden ser una sección cajeadada cerrada, puesto que esto proporciona rigidez estructural adicional. Como alternativa, una o más vigas son una viga de sección abierta. Esto es ventajoso puesto que reduce el número de almas, y por tanto la cantidad de material utilizado, en el larguero. Una variedad de diferentes tipos de vigas se pueden utilizar también para apartar las propiedades del larguero a los requisitos particulares.

Preferiblemente, al menos uno de la una o más viga con secciones abiertas es una viga tipo o una viga con sección de canal que tiene propiedades estructurales fácilmente calculables. Nuevamente, se puede utilizar una variedad de tipos de vigas.

5 En un ejemplo preferido, la pluralidad de vigas se adhiere entre sí para facilitar el montaje. Como alternativa, o adicionalmente, la pluralidad de vigas con secciones abiertas se conecta entre sí mediante fijaciones mecánicas, nuevamente para facilitar el montaje.

10 Las pestañas comprenden preferiblemente plástico reforzado con fibra preformado. Estas pueden ser partes pre-impregnadas o pre-coladas, pero preferiblemente sometidas a pultrusión. Esto es ventajoso puesto que la pultrusión de componentes compuesto es un proceso eficiente casi con el 100% de los materiales. El coste de los desechos de material asociado con la fabricación del álabo de turbina eólica puede por tanto reducirse significativamente. Las partes se pueden curar o semicurar.

15 Preferiblemente, las almas comprenden plástico reforzado con fibra multiaxial que es adecuado para soportar cargas torsionales. Como alternativa, las almas pueden comprender plástico reforzado con fibra multiaxial sometido a pultrusión.

20 Las pestañas y las almas se adhieren preferiblemente entre sí. Como alternativa o adicionalmente, las pestañas y las almas se conectan entre sí por fijaciones mecánicas.

25 En un ejemplo preferido, el larguero comprende una pluralidad de unidades de larguero dispuestas de extremo a extremo a lo largo de la longitud del larguero. Esto alivia los problemas y los fletes de transportar un larguero con longitud total. Preferiblemente, las unidades de larguero tienen una longitud de modo que puedan adaptarse fácilmente a las soluciones logísticas globales normalizadas.

30 De forma preferida, las unidades de larguero se conectan en principio entre sí en sus almas para facilitar el montaje. Aunque las pestañas de las unidades de larguero adyacentes también se pueden conectar entre sí, no es necesario para la integridad estructural del larguero. De hecho, no conectar las pestañas puede ser ventajoso en ciertas circunstancias. Si las pestañas no se conectan, se pueden utilizar materiales diferentes para las pestañas de secciones adyacentes sin ningún problema de desajuste térmico causado por la conexión de las pestañas. Esto es particularmente útil para permitir que el plástico reforzado con fibra de carbono costoso se limite sólo a las partes críticas del álabo tales como la sección media y permitir el uso de material más económico para su uso en los extremos del larguero.

35 Preferiblemente, las almas de las unidades adyacentes se superponen y se unen entre sí.

40 Para juntas tales como aquellas de los documentos EP 1 584 817 y WO 2006/002621, las conexiones entre los elementos adyacentes se realizan de forma axial, predominantemente en la parte de larguero o cordón de larguero que transporta la carga principal de la estructura. En el caso del documento EP1584817, este requiere una cantidad significativa de material estructural adicional para reforzar la conexión axial y evitar la no coincidencia por flexión entre los conectores metálicos y el material compuesto subyacente. En el caso del documento WO2006/002621 se necesitan material adicional, terminaciones complejas y múltiples dimensiones precisas para realizar la junta en el elemento de refuerzo que transporta la carga principal. Esto hace que el álabo se desplace localmente en la región de la junta conllevando a un pobre comportamiento aerodinámico y aumentando también el peso y el coste del álabo.

50 Realizando la conexión a través de las múltiples almas superpuestas, la conexión tiene la ventaja que toda la carga de sección a sección se transmite de forma cortante (a diferencia de ser axialmente predominante como en la técnica anterior previa) a través de las almas permitiendo que la conexión se realice sin afectar notablemente las características de flexión del álabo en el área de la junta. El larguero diseñado con una pluralidad de vigas lado a lado permite la presencia de múltiples almas cortantes. Esto evita que el inconveniente del pandeo de las almas se convierta en un problema.

55 Preferiblemente, cada alma está provista de al menos un bloque de apoyo para transmitir la carga desde el alma cortante a un bloque de apoyo adyacente y después a un alma cortante asociada con el bloque de apoyo adyacente.

60 Las unidades de larguero adyacentes se conectan preferiblemente entre sí mediante fijaciones mecánicas. Como alternativa o adicionalmente, las unidades de larguero adyacentes se adhieren entre sí. La carga se transmite entre los bloques de apoyo adyacentes por medio de la conexión mecánica o conexión por adhesión.

65 En un ejemplo preferido al menos un par de unidades de larguero adyacentes comprende materiales no similares. Esto es ventajoso puesto que material más rígido y costoso tal como plástico reforzado con fibra de carbono, se puede utilizar en las regiones que soportan la carga principal del larguero, por ejemplo, en la región central y material menos costoso, por ejemplo, plástico reforzado con fibra de vidrio, se puede utilizar en las secciones

restantes del larguero.

5 En un ejemplo preferido la altura de las almas disminuye a lo largo de la longitud del larguero de tal manera que las pestañas de cada una de las vigas se aproximan entre sí a lo largo de la longitud del larguero para producir una concicidad desde un extremo del larguero hasta el otro.

10 Del mismo modo, en otro ejemplo preferido, la anchura del larguero se reduce a lo largo de la longitud del larguero. Esto se puede conseguir mediante el estrechamiento de las pestañas a lo largo de la longitud del larguero. Como alternativa o adicionalmente, las vigas de diferentes longitudes se pueden utilizar para disminuir la anchura del larguero terminando las vigas más externas antes del extremo de las vigas internas adyacentes.

Las vigas pueden tener preferiblemente diferentes alturas para permitir que el larguero montado se adapte mejor al perfil curvo externo del álabe.

15 En un ejemplo al menos una de las vigas se desplaza desde una viga adyacente de tal manera que las pestañas de la al menos una viga desplazada no son coplanares con las pestañas de la viga adyacente. Esto permite que se forme un larguero con una torsión.

20 En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un álabe de turbina eólica que tiene un larguero de acuerdo con el primer aspecto de la invención.

25 En un tercer aspecto, la presente invención proporciona un procedimiento para montar de un larguero para un álabe de turbina eólica, comprendiendo el procedimiento proporcionar una pluralidad de vigas que se extienden cada una en toda la profundidad del larguero, teniendo cada viga al menos un alma longitudinal con una pestaña en cualquier borde longitudinal, y uniendo la pluralidad de vigas lado a lado.

30 Preferiblemente, el procedimiento comprende además unir una pluralidad de unidades de larguero de extremo a extremo a lo largo de la longitud del larguero. Las unidades de larguero se conectan preferiblemente en principio a sus almas.

35 En un cuarto aspecto, la presente invención proporciona un álabe de turbina eólica modular, comprendiendo el álabe una raíz en un extremo para la conexión a un eje, extendiéndose un larguero desde la raíz hacia una punta en el extremo opuesto, y al menos dos paneles de revestimiento que se soportan por el larguero y que forman una sección de álabe cerrada, en el que el larguero comprende una pluralidad de unidades de larguero dispuestas de extremo a extremo a lo largo de la longitud del larguero, y en el que el larguero comprende una pluralidad de vigas dispuestas lado a lado, teniendo cada viga un alma longitudinal con una pestaña en cualquier borde longitudinal.

40 El álabe de la turbina eólica del cuarto aspecto de la presente invención es ventajoso ya que se evitan los problemas y costes asociados con el transporte de un larguero de total longitud.

Preferiblemente, las unidades de larguero adyacentes se conectan en principio entre sí en sus almas.

45 A menudo es conveniente utilizar álabes de turbinas eólicas curvos que están dispuestos de modo que la punta está más cercana a barlovento cuando el álabe se monta sobre un eje en una configuración descargada. Una configuración de este tipo es ventajosa ya que se necesita usar una menor cantidad de material de refuerzo en el álabe para evitar el colapso de la torre.

50 En un ejemplo preferido, al menos una de las unidades de larguero es curva. Preferiblemente, la curvatura es de tal manera que la punta del álabe está más cerca de barlovento, cuando el álabe se monta en el eje en una configuración descargada. Como alternativa o adicionalmente, la curvatura es de tal manera que la punta del álabe está detrás del resto del álabe en la dirección de giro. Esta disposición es ventajosa ya que permite que un larguero curvo, y por lo tanto un álabe de turbina eólica curvo, se formen sin la necesidad de plantillas o moldes curvos complejos y costosos. Además, el diseño modular del larguero permite que un larguero sustancialmente recto o sustancialmente curvo se produzca a partir de un conjunto estándar de unidades de larguero que se pueden seleccionar para adaptarse mejor a las condiciones en las que operará la turbina eólica. Una disposición de este tipo puede, por ejemplo, diseñarse para proporcionar una capacidad de relevo de carga cuando el álabe está en uso.

60 La al menos una unidad de larguero curvo se localizan preferiblemente próxima a la punta del álabe. Como alternativa, al menos una unidad de larguero curvo se encuentra entre dos unidades de larguero sustancialmente rectos de manera que la curva se encuentra lejos de la punta de del álabe. Por lo tanto, se puede observar que el diseño modular del larguero permite una gran flexibilidad en el diseño de la turbina eólica sin los costes de herramientas asociados.

65 En un ejemplo preferido, la al menos una unidad de larguero curvo, y/o uno o más de la raíz, unidades de larguero o paneles de revestimiento están hechos de plástico reforzado con fibra. Como alternativa, la al menos una unidad de larguero curvo, y/o una o más de la raíz, unidades de larguero o paneles de revestimiento están hechos de otros

materiales adecuados, tales como madera o metal.

5 Las secciones adyacentes de del larguero se conectan preferiblemente entre sí mediante fijaciones mecánicas para facilitar el montaje. Como alternativa o adicionalmente, las secciones adyacentes del larguero se unen entre sí, nuevamente, para facilitar el montaje.

10 La forma en que las secciones de larguero adyacentes se unen como se ha descrito anteriormente tiene amplia aplicaciones más allá de que el larguero conforme una pluralidad de vigas dispuestas lado a lado. En particular, se podría aplicar a una larguero conocido que tenga una sola sección de viga cajeadada tal como aquellos conocidos a partir de los documento WO2006/002621 y EP1584817.

15 De acuerdo con este aspecto de la invención se proporciona un larguero modular para un álabe de turbina eólica, comprendiendo el larguero una pluralidad de unidades de larguero dispuestas de extremo a extremo, en el que cada unidad de larguero comprende, al menos en la región adyacente a una unidad adyacente, una pluralidad de almas cortantes que se superponen con la unidad de larguero adyacente, conectándose en principio las unidades entre sí por medio de las almas cortantes.

20 Preferiblemente cada larguero modular comprende además bloques de apoyo para soportar la unión entre las almas cortantes adyacentes. Las almas cortantes pueden después inmovilizarse juntas por medio del bloque de apoyo.

25 Si el bloque de apoyo se aplica a una sola sección de viga cajeadada, cada unidad de larguero comprende una sola sección de viga cajeadada con un par de almas cortantes, y al menos un alma cortante auxiliar se extiende entre las almas cortantes de la sección de viga cajeadada en una dirección por lo general paralela a las almas cortantes de la sección de viga cajeadada, y al menos en la porción de la unidad de larguero adyacente a una unidad de larguero.

Este aspecto de la invención también se puede extender a un álabe que comprende el larguero modular, el larguero puede estar solidario con la superficie del álabe por ejemplo, tal como se muestra en el documento EP1584817.

30 Un ejemplo de la presente invención se describe a continuación haciendo referencia a los siguientes dibujos, en los que:

la Figura 1 es una vista isométrica esquemática de un álabe de turbinas eólicas parcialmente completado;

35 la Figura 2 es una vista isométrica esquemática del larguero, el marco y la raíz del subconjunto del álabe de la Figura 1;

la Figura3 es una vista en sección transversal esquemática a lo largo de la línea A-A de la Figura 1;

40 la Figura 4 es una vista isométrica esquemática de los paneles de revestimiento y los miembros del marco de la Figura 1 antes del montaje;

la Figura 5 es una vista isométrica esquemática de un miembro de apoyo tubular que forma parte del subconjunto de raíz de la Figura 1;

45 la Figura 6 es una vista isométrica esquemática de un par de molduras de apoyo que forman parte del subconjunto de raíz;

la Figura7 es una vista isométrica esquemática de una mampara adjunta al larguero de la Figura 1;

50 la Figura 8 es una vista lateral en sección transversal esquemática del subconjunto de raíz durante el montaje;

la Figura 9 es una vista lateral en sección transversal esquemática del subconjunto de raíz terminado;

55 la Figura 10 es una vista isométrica esquemática de una viga de sección abierta, que forma parte del larguero de la Figura 1;

la Figura 11 es una vista isométrica esquemática de los componentes de la viga de sección abierta de la Figura10;

60 la Figura 12 es una vista isométrica esquemática de una primera porción del larguero de la Figura 1;

la Figura 13 es una vista isométrica esquemática de una segunda porción del larguero de la Figura 1;

la Figura 14 es una vista esquemática en planta y en sección transversal del larguero de la Figura 1;

65 la Figura 15 es una vista esquemática en planta, lateral y de sección transversal del extremo de la viga de sección abierta de la Figura 10;

la Figura 16 es una vista en planta en despiece esquemática de una junta entre dos unidades de larguero que forman el larguero de la Figura 1;

5 la Figura 17 es una vista esquemática en planta y en sección transversal de una unión completa entre dos unidades de larguero que forman larguero de la Figura 1;

las Figuras 18A y 18B son vistas en planta esquemáticas de las configuraciones finales alternativas para la viga de sección abierta mostrada en la Figura 15;

10 la Figura 19 es una vista lateral esquemática de una disposición de larguero alternativa;

la Figura 20 es una vista lateral esquemática de una turbina eólica con álabes que tienen el larguero de la Figura 18;

15 las Figuras 21A-21D son una vista lateral, una vista final, una vista en planta y una vista en perspectiva, respectivamente, de una disposición de larguero adecuada para un álabe curvo tal como aquél mostrado en la Figura 20;

20 la Figura 21E es una vista detallada de la parte etiquetada como E en la Figura 21D;

las Figuras 22A-22E son vistas similares a aquellas de las Figuras 21A-21D de una sección de larguero adecuada para crear un álabe que se curva dentro del plano del disco del rotor;

25 la Figura 23A es una vista en perspectiva de una sección de viga alternativa con algunos detalles mostrados resaltados;

la Figura 23B es una vista en perspectiva de una disposición de larguero antes de conformar el montaje de las secciones de viga como se muestra en la Figura 23A;

30 la Figura 23C es una vista que muestra los componente de la Figura 23B en una configuración montada;

la Figura 24 es una vista en planta de un larguero cajeadado conocido al que se aplica la técnica de unión de uno de los aspectos de la presente invención con secciones mostradas a lo largo de la longitud del larguero como A-E; y

35 la Figura 25 es una vista en planta de un álabe conocido se aplica la técnica de unión de uno de los aspectos de la presente invención con varias secciones mostradas a lo largo de la longitud del álabe como A-E.

La Figura 1 muestra una álabe de turbinas eólicas parcialmente completo 10 que comprende un larguero que soporta carga 30, que está conectado a un subconjunto de raíz 20 como se describirá con detalle más adelante. El larguero 30 soporta los miembros de marco 40, 50 en los que se montan los paneles de revestimiento 60, 70 para formar la superficie externa del álabe 10.

45 En el ejemplo que se muestra en las Figuras 1 a 3, los miembros del marco 40, 50 se fabrican de plástico reforzado con fibra de carbono reforzada de plástico y consisten en miembros del marco del lado principal 50 y miembros del marco del lado secundario 40. Como se muestra, los miembros del marco 40, 50 se conforman para corresponderse en gran medida con el perfil de sección transversal del álabe 10. En una construcción alternativa, los miembros del marco se pueden integrar con los paneles de revestimiento en lugar de con el larguero, como se establece en la solicitud anterior GB 0807515.2.

50 Los paneles de revestimiento 60, 70 se unen a los miembros del marco 40, 50 y al larguero 30 para formar una capa externa continua. Los paneles de revestimiento del lado principal 70 se unen a los miembros del marco del lado principal 50 y el resto de los paneles de revestimiento 60 se unen a los miembros del marco del lado principal 50, al larguero 30 y a los miembros del marco del lado secundario 40.

55 Los paneles de revestimiento 60 se fabrican de plástico reforzado con fibra de vidrio y tienen un revestimiento o pintura de gel que se aplica antes o después que se monten los paneles de revestimiento 60 en el bastidor. Como alternativa, los paneles se revisten con un revestimiento tal como aquél descrito en el documento DB0805713.5. Los paneles de revestimiento del borde principal 70 se fabrican de un material compuesto y tienen un revestimiento resistente al desgaste que se aplica antes o después que se monten los paneles de revestimiento del borde principal.

60 El conjunto de raíz 20, el larguero 30, los miembros del bastidor 40, 50 y los paneles de revestimiento 60, 70 se pegan en una plantilla para garantizar la precisión dimensional. La propia plantilla (no mostrada) es una plantilla modular que comprende una pluralidad de módulos de plantilla en los que ninguno tiene más de 20 m de longitud para facilitar el transporte de los módulos de plantilla hasta el sitio de montaje de la turbina eólica. En este ejemplo fijaciones mecánicas, tales como pernos y grapas se utilizan también para conectar los distintos componentes del

álabe 10 entre sí. En un ejemplo alternativo, se puede usar sólo pegamento o sólo fijaciones mecánicas.

La Figura 4 muestra ejemplos de los paneles de revestimiento individuales 60, 70 y de los miembros del marco 40, 50 que forman parte del kit para realizar el álabe final 10. Los paneles de revestimiento 70, 60 se conforman de modo que se pueden apilar uno dentro del otro durante el almacenamiento y el transporte.

La Figura 5 muestra un miembro de apoyo tubular 80 que forma parte del subconjunto de raíz 20 de la Figura 1. El tubo 80 es tubo de plástico reforzado con fibra de vidrio enrollado con un filamento de aproximadamente 5 m de longitud. El tubo 80 se fabrica en un mandril macho de modo que tiene una dimensión interna precisa. Los orificios roscados 81 se encuentran en un extremo del tubo 80 para la conexión con el eje de una turbina eólica.

Un par de molduras de apoyo de plástico reforzadas con fibra de vidrio 85 se muestran en la Figura 6. Estas molduras de apoyo 85 tienen una superficie externa curva aguda que se consigue bien sea mediante el uso de un molde hembra o por mecanizado. Las molduras de apoyo 85 tienen forma de C con un radio externo de curvatura que coincide con el radio interno de curvatura del tubo 80.

Como se muestra en las Figuras 8 y 9, dos pares de molduras de apoyo 85 se adhieren a la superficie interna del tubo 80. Las molduras de apoyo, que tienen aproximadamente de 100 mm a 150 mm de profundidad, se unen aproximadamente a 200 mm de cada extremo del tubo 30.

La Figura 7 muestra una mampara de plástico reforzado con fibra de vidrio 90 unido a una porción del larguero 30. En este ejemplo, la mampara 90 consta de dos mitades 95, que se unen entre sí y con el larguero 30. En un ejemplo alternativo, la mampara 90 es una sola pieza con un agujero a través del mismo para recibir el larguero 30.

Durante el montaje, una primera mampara 90 se une al larguero 30. El larguero 30 se inserta después en el tubo 80 desde el extremo opuesto al extremo de conexión del eje hasta que la mampara 90 colinda con un primer par de molduras de apoyo 85a. La mampara 90 se fija después a las molduras de apoyo 85a mediante adhesivo y pernos 87 que se extienden a través de la mampara 90 y las molduras de apoyo 85a. Una segunda mampara 90 se une después a la porción del larguero en el tubo 80 y se fija al segundo par de molduras de apoyo 85b mediante adhesivo y pernos 87.

La Figura 10 muestra una viga tipo I de sección abierta 33, que forma parte del larguero 30. La viga tipo I 33 se compone de componentes de pestañas 31 posicionados a ambos lados de un alma longitudinal 32 en cualquiera de los bordes longitudinales del alma 32. Las pestañas 31 se fabrican de plástico reforzado con fibra de carbono o vidrio unidireccional y el alma 32 se fabrica de plástico reforzado con fibra de carbono o vidrio multiaxial de $\pm 45^\circ$. Las pestañas 31 se forman como pre-formas, por ejemplo, en un proceso de pultrusión y tienen una sección transversal rectangular. Las pestañas 31 pueden, en un ejemplo alternativo, tener una sección transversal curva para encajar el perfil externo del álabe de forma más próxima. Sin embargo, con el fin de mantener los componentes del larguero lo más simple posible, se prefiere que las pestañas tengan una sección transversal rectangular u otra que forma que se pueda apilar. También, en ciertas partes del álabe, tales como en el extremo de la raíz, se pueden proporcionar pre-formas adicionales, por ejemplo, en forma de secciones angulares, en la interfaz del alma 32 y de cada pestaña 31.

Las pestañas 31 se adhieren a cada lado del alma 31 próximo a los bordes longitudinales del alma para formar la viga tipo I 33. Por otra parte, la viga tipo I 33 podría incluir dos pestañas, cada una teniendo una ranura longitudinal para la recepción de los respectivos bordes del alma. La viga tipo I 33 se monta en una plantilla para garantizar la precisión dimensional. En un ejemplo alternativo, las pestañas 31 se conectan al alma 32 mediante fijaciones mecánicas, además de, o como una alternativa, mediante adhesivo.

Como se muestra en la Figura 12, el larguero 30 se conforma por una pluralidad de vigas tipo I 33 dispuestas a lado. Como se muestra en las secciones transversales B y C de la Figura 14, las pestañas 31 se encuentran en ambos lados del larguero 30 en una sección tomada a través del larguero. Las vigas tipo I 33 se sostienen en una plantilla para garantizar la precisión dimensional y se adhieren entre sí a lo largo de las pestañas 31. Como alternativa, o adicionalmente, las pestañas se pueden conectar entre sí mediante fijaciones mecánicas.

En el ejemplo que se muestra en las Figuras 12 y 14, la profundidad del larguero 30 es mayor en el medio. Esta configuración se utiliza para tener en cuenta la curvatura de los paneles de revestimiento 60 que se unen al larguero 30 y que definen la superficie externa del álabe de turbina eólica, como se muestra en la Figura 3. El cambio de profundidad entre las vigas tipo I más externas 33 y las vigas tipo I más internas 33 se consigue alterando la profundidad del alma 32. Además, la profundidad del larguero 30 se reduce desde el extremo de la raíz hasta el extremo de punta. Esta disminución de la profundidad se consigue, en parte, disminuyendo la profundidad de las almas 32, desde un extremo del componente de las vigas tipo I 33 hasta el otro, de tal manera que tengan una configuración sustancialmente trapezoidal. Como se describe más adelante, la profundidad del larguero 30 disminuye también a lo largo de la longitud del larguero mediante la reducción de la profundidad total de las almas 32 en unidades de larguero sucesivos 35.

La Figura 13 muestra otra disposición de las vigas tipo I 33 en una segunda sección del larguero 30, cuya sección incluye una torsión. En esta sección, las vigas tipo I 33 se disponen lado a lado con sus pestañas 31 desplazadas unas de las otras de modo que las pestañas 31 de la viga tipo I no son coplanares con las pestañas 31 de una viga tipo I 33 adyacente. La medida del desplazamiento aumenta a lo largo de la longitud del larguero 30. La torsión permite que el larguero conforme el perfil externo del álabe 10, que se tuerce alrededor del eje longitudinal del álabe.

La Figura 14 muestra una vista en planta y en sección transversal del larguero 30 y se ilustra cómo la anchura del larguero 30 se ahúsa desde el extremo de la raíz hasta el extremo de la punta. Esta conicidad se consigue, en parte, dejando caer las secciones de pestaña 31 de las vigas tipo I 33 de manera que las vigas más externas tengan una sección transversal acanalada (en forma de una C), en lugar de que una sección transversal de una viga tipo I. La sección transversal B muestra la porción más ancha del larguero 30 formada por cuatro vigas tipo I 33, y la sección transversal C muestra una sección de anchura reducida del larguero 30, que se forma por dos vigas tipo I 33 y dos vigas acanaladas 38. Como se describe más adelante, la anchura del larguero 30 se reduce también a lo largo de la longitud del larguero mediante la conexión de unidades de largueros sucesivos 35 que tienen cada vez menos componentes de vigas 33, justas de extremo a extremo.

El larguero 30 se puede formar a partir de una pluralidad de vigas tipo I con total longitud 33 y/o vigas acanaladas 38. Sin embargo, en el presente ejemplo, el larguero 30 comprende una pluralidad de unidades de larguero 35, cada una con no más de 12 m de longitud, unidas de extremo a extremo.

Con el fin de crear la junta entre las unidades de larguero 35, cada viga tipo I 33 (o viga acanalada 38) se termina en un punto, como se ilustra en la Figura 15. Las pestañas 31 se ahúsan hacia abajo desde su anchura máxima Y hasta cero al extremo de la viga tipo I 33 a lo largo de una longitud predeterminada. Los bloques de apoyo 34 fabricados de plástico reforzado con fibra de vidrio se unen y/o sujetan mecánicamente a ambos lados del alma 32 en dos posiciones, una en la que las pestañas 31 se comienzan a ahusar, y la otra centrada en el punto en el que las pestañas 31 se ahúsan hasta cero. Los bloques de apoyo 34 tienen una anchura de Y/2. Cada bloque de apoyo 34 tiene un orificio 39 para recibir un pasador de seguridad 36.

El orificio de puede formar mediante un tubo metálico que tenga plástico reforzado con fibra enrollado alrededor de la parte externa del mismo en la superficie que se une al bloque. El pasador de seguridad puede ser también de metal. Este se puede exponer a temperaturas bastante bajas (por ejemplo, sumergiéndose en nitrógeno líquido inmediatamente antes de ajustarse en los orificios 39). Este se expande después *in situ* para crear un ajuste hermético con el tubo.

Como una alternativa para los pasadores 36 mostrados en el Figura 16 que se muestran transversales al larguero, los bloques 34 en las secciones adyacentes pueden tener caras ahusadas complementarias y cada pareja orientada una hacia la otra se puede unir mediante un pasador que discurre en la dirección longitudinal del larguero.

La Figura 16 muestra dos unidades de larguero 35a, 35b antes de la conexión y la Figura 17 muestra las dos unidades de larguero 35a, 35b conectadas entre sí por pasadores de seguridad 36. Como se observa, las almas 32 de las unidades de larguero adyacentes 35a, 35b se superponen en la unión. La conexión mecánica entre las unidades de larguero adyacentes 35a, 35b se realiza sólo a través de las almas 32. Los bordes ahusados de las pestañas 31 colindan entre sí, pero no se conectan físicamente en este ejemplo. En un ejemplo alternativo, las almas 32 de las unidades de larguero adyacentes 35a, 35b pueden alternativa o adicionalmente unirse entre sí por medio de los bloques 34. En un ejemplo alternativo adicional, las pestañas 31 de las unidades de larguero adyacentes 35a, 35b se pueden conectar mediante fijaciones mecánicas y/o adhesivo.

La unidad de larguero 35a comprende de tres vigas tipo I 33 y la unidad de larguero 35b comprende dos vigas tipo I 33. Sin embargo, esto es sólo a efectos de ilustración, las unidades de larguero 35 que se pueden formar de cualquier número de vigas tipo I 33 y/o vigas acanaladas 38 como se desee. Del mismo modo, los extremos de las pestañas 31 no necesitan ahusarse, como se muestra en las Figuras 15, 16 y 17. Configuraciones extremas alternativas para las pestañas 31 se muestran en las Figuras 18A y 18B.

La Figura 20 muestra un álabe de 10' que tiene una configuración curva que se desvía de nuevo a una forma más recta con carga y en la Figura 19 muestra un larguero 30' para su uso dentro del álabe 10'.

El larguero de 30' se compone de una pluralidad de unidades de larguero 35a', 35b', 35c' conectados entre sí de extremo a extremo. Las unidades de larguero 35a', 35c' son sustancialmente rectas y se fabrican de vigas de sección abierta compuestas 33 como se ha descrito anteriormente. Sin embargo, la unidad de larguero 35b' tiene una configuración curva. La unidad de larguero 35b' se conecta en cada extremo a las unidades de larguero sustancialmente rectos 35a', 35c' de modo que la punta del larguero 30', y por lo tanto la punta del álabe 10', está más próxima a barlovento cuando el álabe 10' se monta sobre un eje 5 en una configuración descargada.

La unidad de larguero 35b' tiene una construcción de viga con sección abierta modular como se ha descrito anteriormente con respecto a las unidades de larguero sustancialmente rectas 35a', 35c'. En un ejemplo alternativo, la unidad de larguero curvo 35b' y/o las unidades de larguero sustancialmente rectas 35a', 35b' pueden consistir en

componentes colados o mecanizados monolíticamente. En una alternativa adicional, la unidad de larguero curvo 35b' y/o las unidades de larguero sustancialmente rectas 35a', 35b' pueden ser una combinación ser una combinación de componentes metálicos y no metálicos.

5 Una disposición más detallada de la unidad de larguero 35b' se muestra en las Figuras 21A a 21E.

10 Como se puede observar, el alma 32 se flexiona hacia abajo en una configuración curva. Las pestañas 31 tienen una configuración laminada como se muestra en la Figura 21E que permite que la curvatura del alma 32 se acomode. Cada laminación se flexiona hasta la medida requerida. Se apreciará que este diseño permite que se produzcan diferentes curvaturas con un número limitado de partes puesto que no requiere que se diseñen ni que se produzcan componentes separados para cada radio de curvatura que se requiera.

15 Aunque la Figura 21 ilustra un diseño adecuado para un álabe curvado fuera del plano del disco del rotor como se muestra en la Figura 20, Las Figuras 22A a 22E muestra un diseño adecuado para su uso con un álabe que se curva e una dirección ortogonal, en concreto dentro del plano del rotor del disco. En este caso, como se muestra en la Figura 22E, las laminaciones que forman las pestañas 31 descansan en el plano paralelo al alma 32 acomodando de esta manera la flexión del alma 32 en una dirección normal al plano del alma 32.

20 Las figuras 23A-23C muestran unidades de larguero conformadas por secciones de vigas cerradas. En las Figuras 23B y 23C, se muestran dos secciones que comprenden cada una un par de pestañas 31 conectadas por un par de almas 32. Cada pestaña 31 tiene una conicidad alargada 101 en el extremo que se aproxima a la junta y a una de las almas 32A de cada viga que termina bastante próxima a la otra alma 32. Una segunda alma 102 se fija dentro de la junta a la mitad de la anchura de la pestaña y paralela a las almas 32. La segunda alma 102 se fija al alma 32B mediante bloques de apoyo 103 que tienen orificios para pasadores 104. Cuando las vigas se ponen en contacto como se muestra en las Figura 23C, existirá nuevamente una pluralidad de almas superpuestas 32 y 102 y pestañas colindantes 31. Las almas se pueden unir por medio de bloques de apoyo 103 utilizando las juntas de superposición descritas anteriormente con relación a las Figuras 15 a 18.

30 La Figura 24 muestra un larguero conocido al que se puede aplicar la técnica de unión de un aspecto de la presente invención.

35 A diferencia de los ejemplos anteriores, el larguero no se fabrica de una pluralidad de vigas dispuestas lado a lado. Sino que, el larguero es una sola sección cajeadada mostrado en las Figuras 24A y E. Un larguero con viga cajeadada de este tipo se conoce, por ejemplo, en el documento WO2006/00262. La modificación de la Figura 24 se refiere a la forma en que se unen las dos secciones. La vista en planta de la Figura 24 muestra las pestañas de las dos secciones. La pestaña de la primera sección 110 se extiende para una longitud 111 mientras que la pestaña de la segunda sección 112 se extiende para una longitud 113 dejando la longitud 114 en la que se interdigitan las dos pestañas, como se muestra. La pestaña 110 tiene tres proyecciones 115 con superficies oblicuas que colindan contra las proyecciones correspondientes 116 en la pestaña 112.

40 Como se muestra en la Figura 24C la pestaña inferior se corresponde con la pestaña superior, aunque se pueden proporcionar diferentes configuraciones de proyecciones para la pestaña inferior.

45 La primera sección 110 tiene un par de almas 117 mientras que la segunda sección 112 tiene un par de almas 118.

La primera sección 110 tiene adicionalmente un alma suplementaria 119 que comienza en la posición intermedia 120 y que se extiende por lo general a lo largo de la línea central del larguero hasta el extremo de la primera sección dentro de la proyección central 115.

50 De forma similar, la segunda sección 112 tiene un par de almas suplementarias 121 que comienzan en una posición intermedia 122, distanciadas aproximadamente a un cuarto de la trayectoria a través de la anchura de la sección y que se extienden por lo general paralelas a las almas 118 hasta el extremo de las proyecciones 116. Esto se apreciará a partir de la Figura 24C en la que todas las pestañas 117, 119 y 121 están por lo general paralelas entre sí. Aunque se muestran en puntos de un cuarto y mitad de la trayectoria a través de la anchura del larguero, no se requiere la ubicación precisa. Las almas está provistas de bloques de apoyo en las ubicaciones 123, 124 que se disponen de forma simple con respecto a aquellos mostrados en la Figura 16. Por lo tanto, las dos secciones se ponen en contacto con los bloques de apoyo colindando, y se aseguran mediante pasadores 125 en la forma que se ha descrito anteriormente.

60 La Figura 25 muestra cómo el método de unión se puede aplicar a un álabe modular tal como aquél que se ha descrito en el documento EP1584817. Este tiene nuevamente un larguero con una sola viga cajeadada, pero en este caso el larguero con viga cajeadada forma una parte integrante del álabe en lugar de ser un componente separado. Por lo tanto, la única diferencia entre las Figuras 24 y 25 es la presencia de los paneles de revestimiento 130 que están integrados en las pestañas del larguero.

65 Se apreciará que los álabes de las turbinas eólicas modulares 10, 10' descritos anteriormente son sólo ejemplos y

5 que se prevén otras disposiciones de los componentes. En particular, los componentes se pueden fabricar de cualquier material adecuado, como plásticos, plásticos reforzados con fibra, madera, aluminio y acero. Además, el material de los componentes no tiene que ser consistente a través de toda la estructura del álabe. En concreto, se pueden utilizar diferentes materiales en las diferentes secciones del larguero 30, 30' de acuerdo como lo demanden los requisitos de carga.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un álabo de turbina eólica modular (10), comprendiendo el álabo una raíz (20) en un extremo para la conexión a un eje, extendiéndose un larguero (30) desde la raíz (20) hacia una punta en el extremo opuesto, y al menos dos paneles de revestimiento (60) que se soportan por el larguero (30) y que forman una sección de álabo cerrada, en el que el larguero (30) comprende una pluralidad de vigas (33) dispuestas lado a lado, teniendo cada viga (33) al menos un alma longitudinal (32) con una pestaña (31) en cada borde longitudinal, **caracterizado por que** el larguero (30) comprende una pluralidad de unidades de larguero (35a) dispuestas de extremo a extremo a lo largo de la longitud del larguero (30).
- 10 2. Un álabo de turbina eólica modular (10) de acuerdo con la reivindicación 1, en el que las unidades de larguero adyacentes (35a) se conectan en principio entre sí en sus almas (32).
- 15 3. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 1 ó 2, en el que al menos una de las unidades de larguero (35b') es curva.
- 20 4. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 3, en el que la curvatura es de tal manera que la punta del álabo (10) está más próxima a barlovento cuando el álabo se monta en el eje en un configuración descargada.
- 25 5. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 3 ó 4, en el que la curvatura es de tal manera que la punta del álabo (10) está detrás del resto del álabo (10) en la dirección de giro.
- 30 6. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que al menos una unidad de larguero curvo (35b') se encuentra próxima a la punta del álabo.
- 35 7. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 5, en el que al menos una unidad de larguero curvo (35b') se encuentra entre dos unidades de larguero sustancialmente rectas (35a).
- 40 8. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las secciones adyacentes del larguero (35a) se conectan entre sí mediante fijaciones mecánicas (36).
- 45 9. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las secciones adyacentes del larguero (35a) se unen entre.
- 50 10. Un larguero modular (30) para un álabo de turbina eólica (10), **caracterizado por que** el larguero (30) comprende una pluralidad de unidades de larguero (110) dispuestas de extremo a extremo, en el que cada unidad de larguero (110) comprende, al menos en la región (111) adyacente a una unidad adyacente (112), una pluralidad de almas cortantes (119, 121) que se superponen con la unidad de larguero adyacente (112), estando las unidades conectadas en principio entre sí por medio de las almas cortantes de superposición.
- 55 11. Un larguero (30) de acuerdo con la reivindicación 10 que comprende además bloques de apoyo (124) para soportar la junta entre las almas cortantes (119, 121).
- 60 12. Un larguero (30) de acuerdo con la reivindicación 11 en el que las almas adyacentes (119, 121) se unen entre sí por medio de los bloques de apoyo (124).
13. Un larguero (30) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12 en el que cada unidad de larguero (110) comprende una sola sección de viga cajeadada que tiene un par de almas cortantes (117), y al menos un alma cortante auxiliar (119) se extiende entre las almas cortantes de la sección de viga cajeadada en una dirección por lo general paralela, y al menos en la porción de la unidad de larguero (111) adyacente a una unidad adyacente (112).
14. Un álabo de turbina eólica (10) que comprende un larguero modular (30) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13.
15. Un álabo de turbina eólica (10) de acuerdo con la reivindicación 14 que comprende una pluralidad de paneles de revestimiento (130) que forman la superficie externa de la sección de álabo, estando los paneles de revestimiento (130) integrados con el larguero (30)

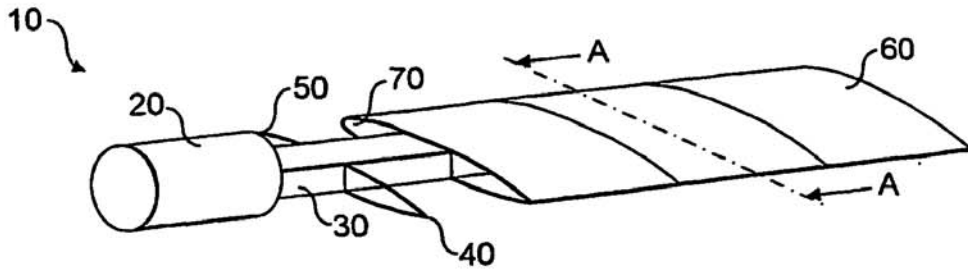


FIG. 1

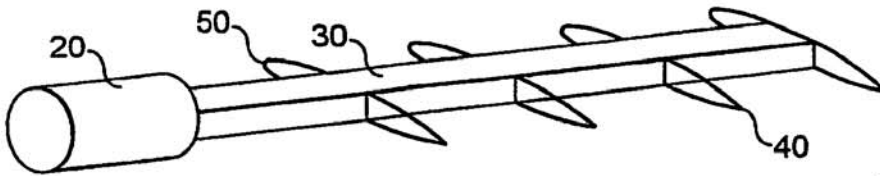


FIG. 2

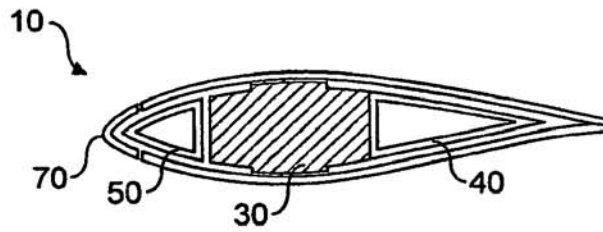


FIG. 3

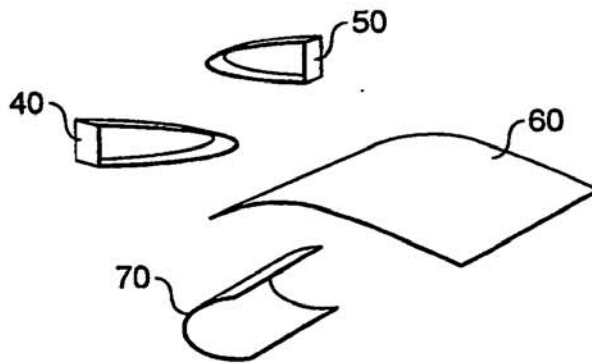


FIG. 4

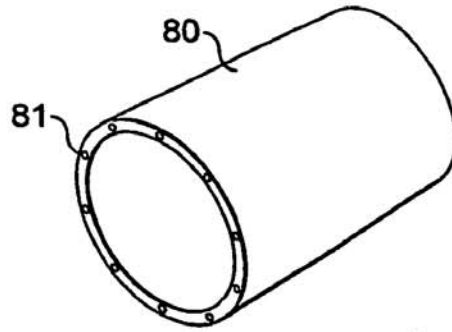


FIG. 5

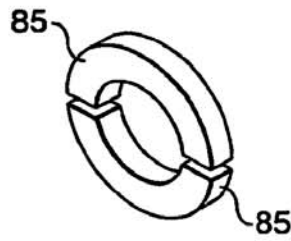


FIG. 6

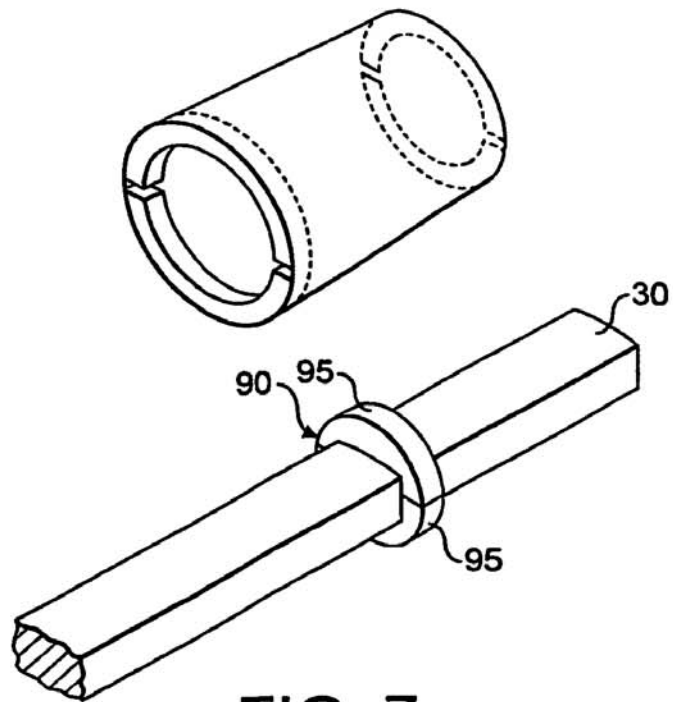


FIG. 7

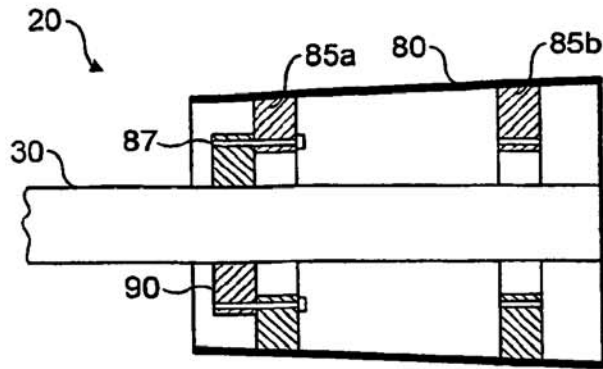


FIG. 8

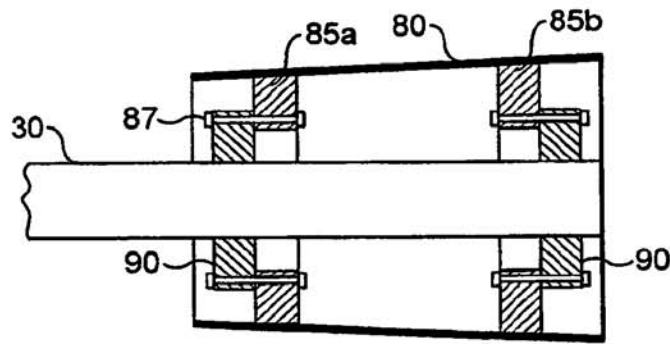


FIG. 9

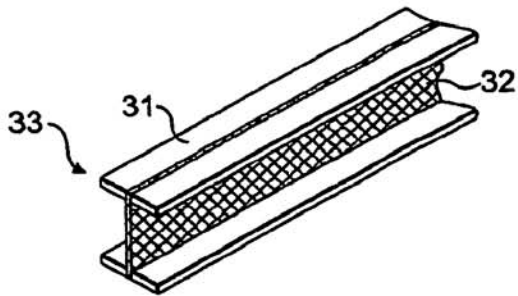


FIG. 10

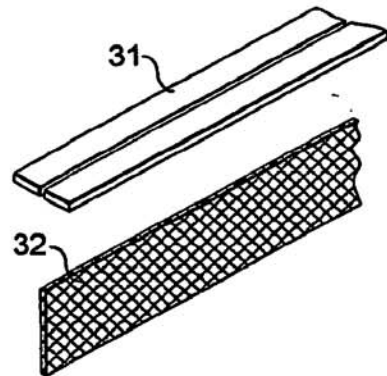


FIG. 11

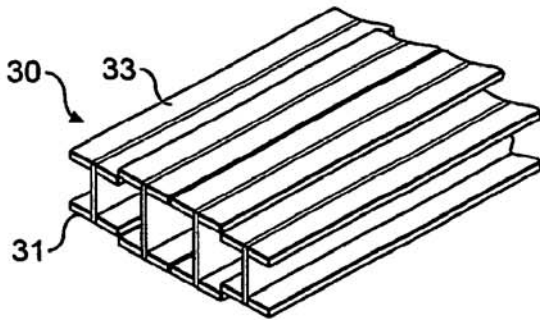


FIG. 12

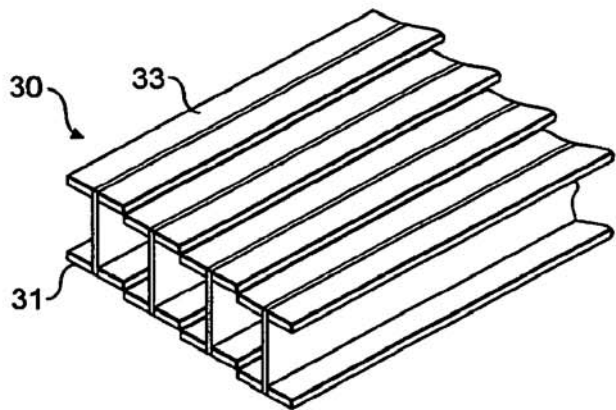


FIG. 13

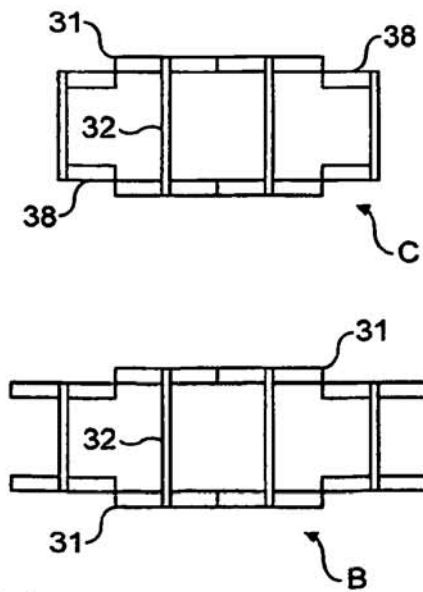
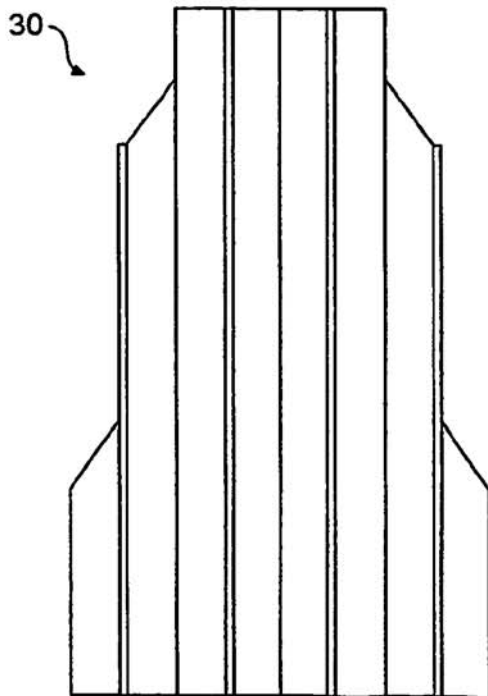


FIG. 14

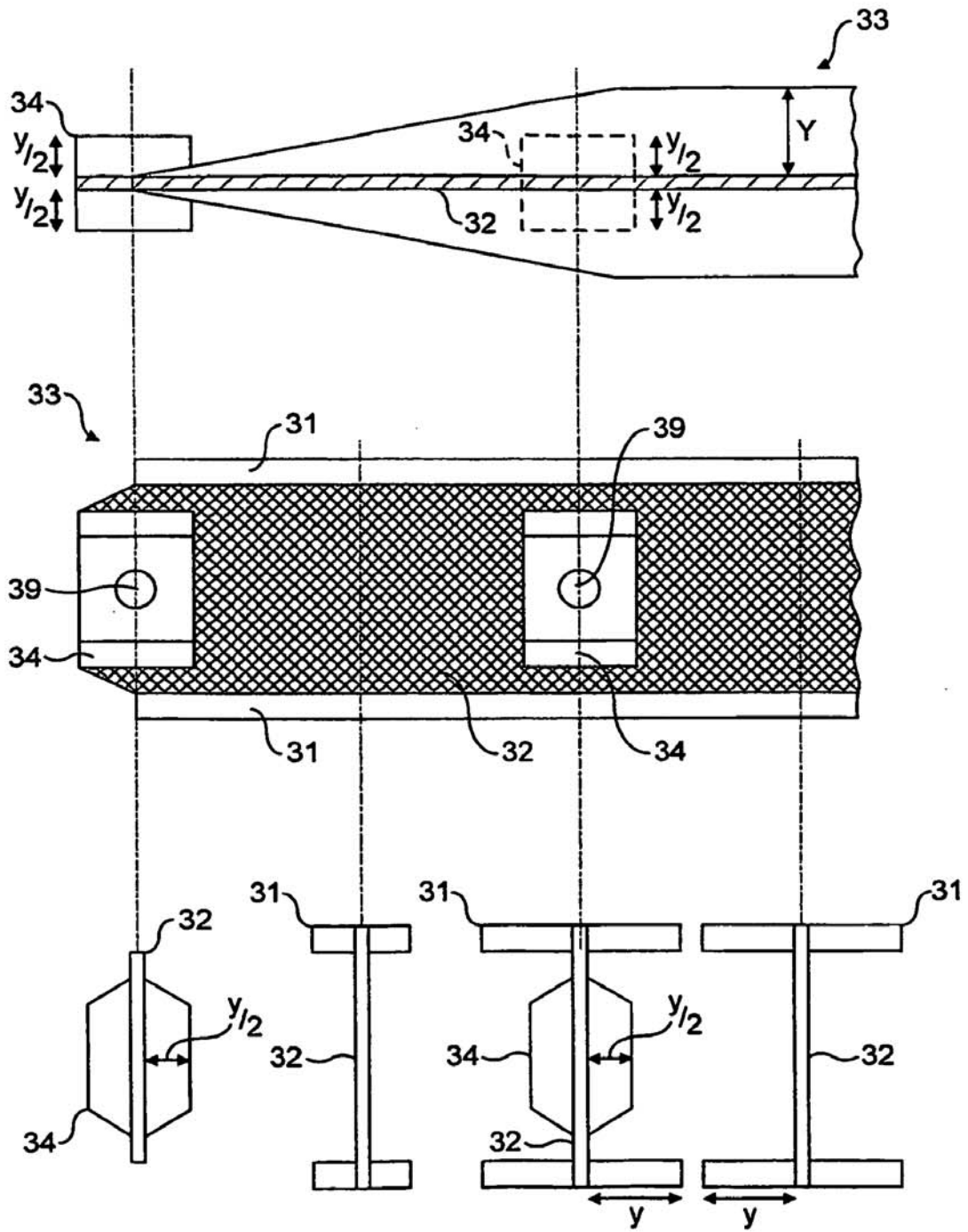


FIG. 15

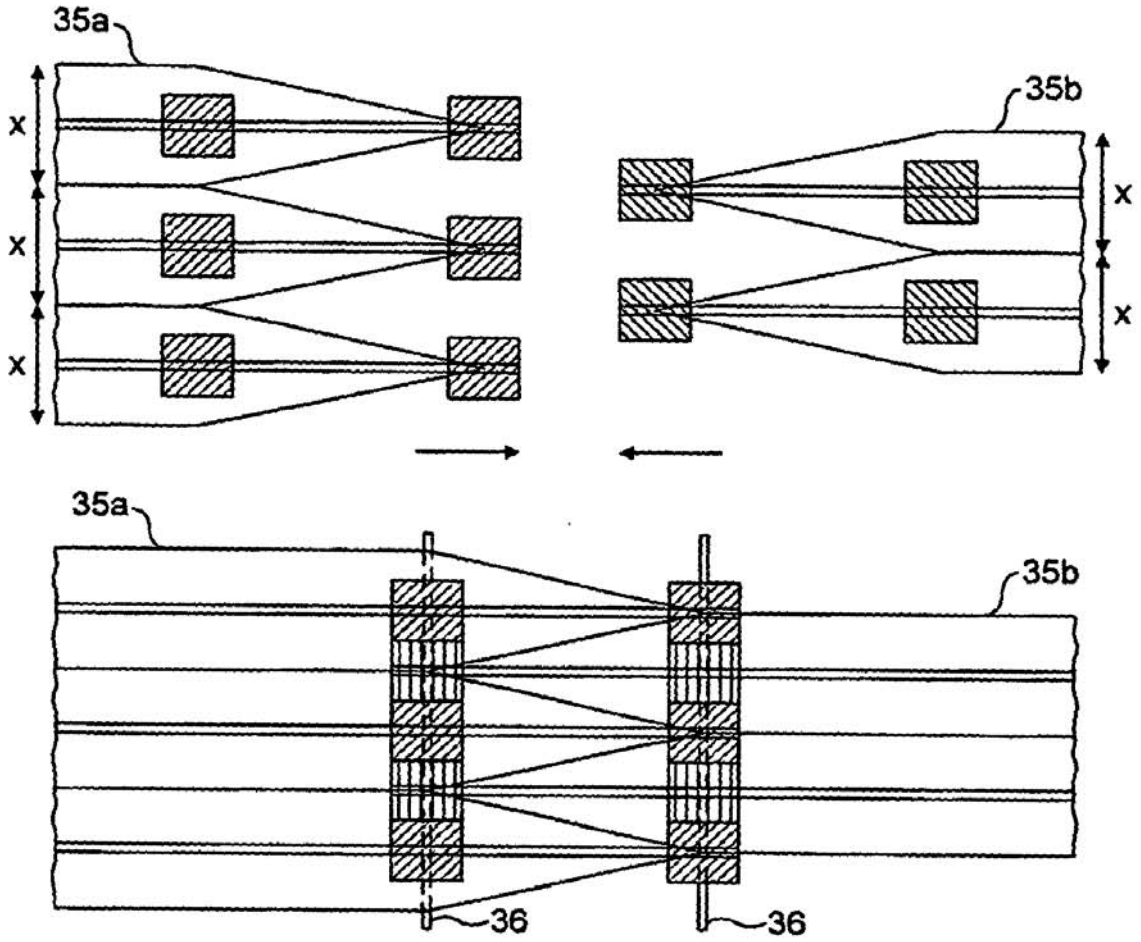


FIG. 16

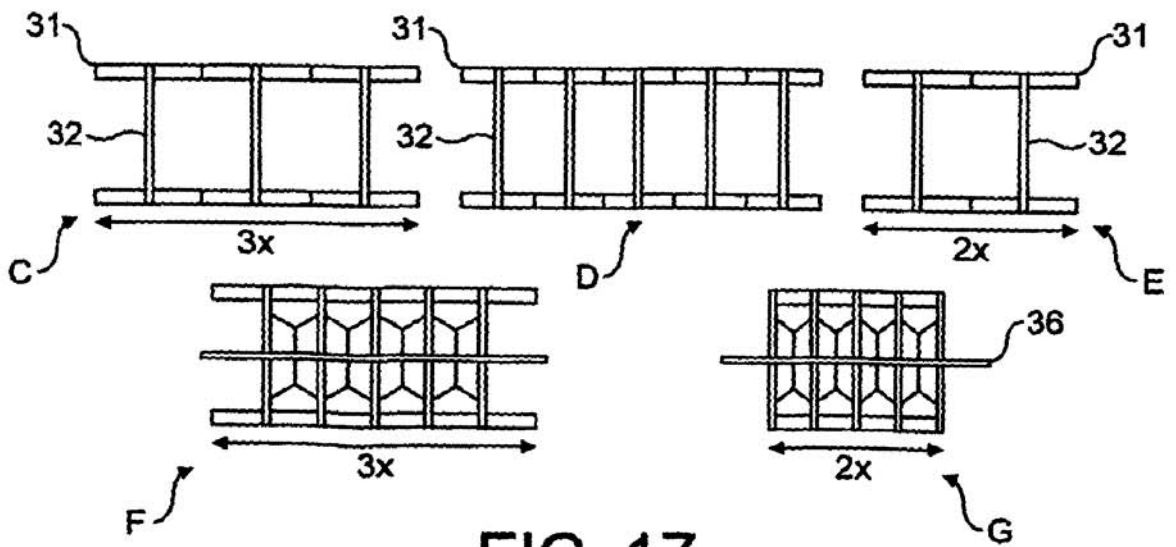


FIG. 17

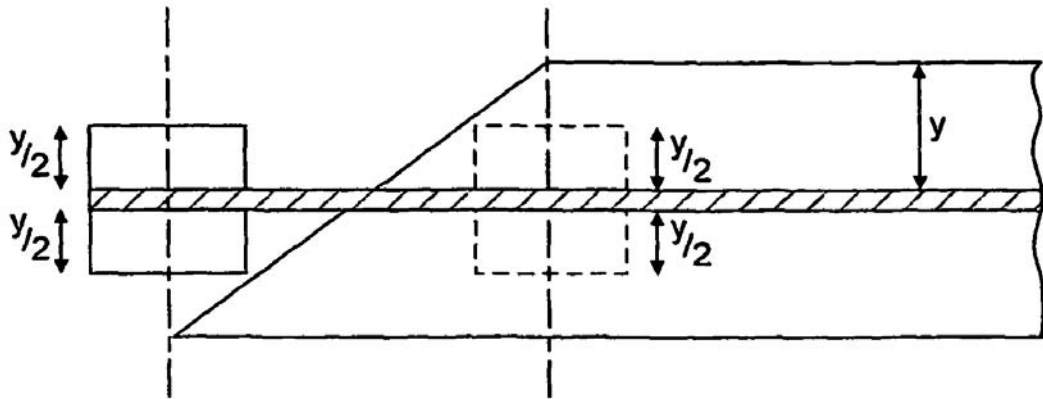


FIG. 18A

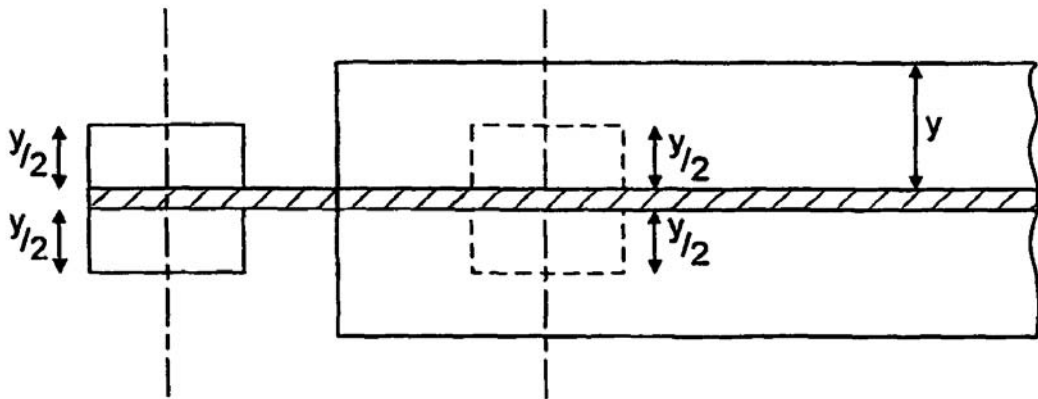


FIG. 18B

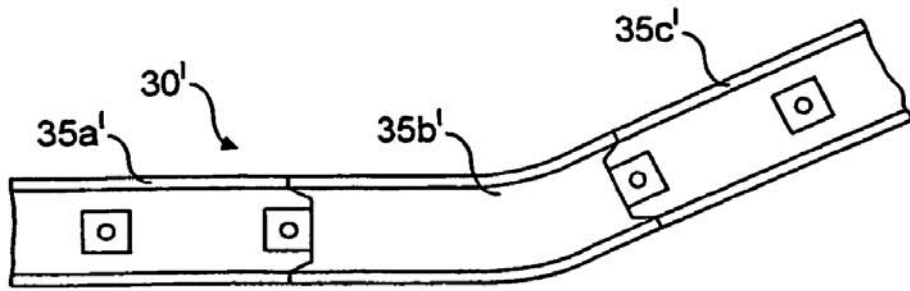


FIG. 19

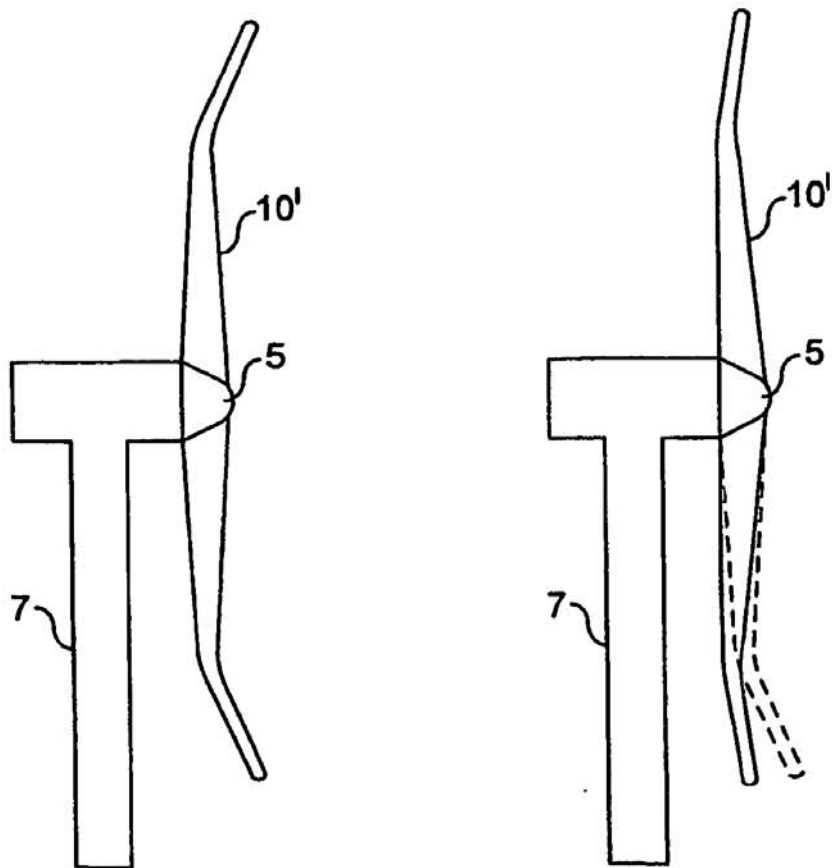
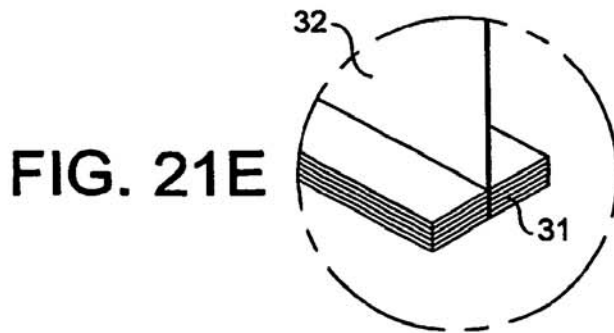
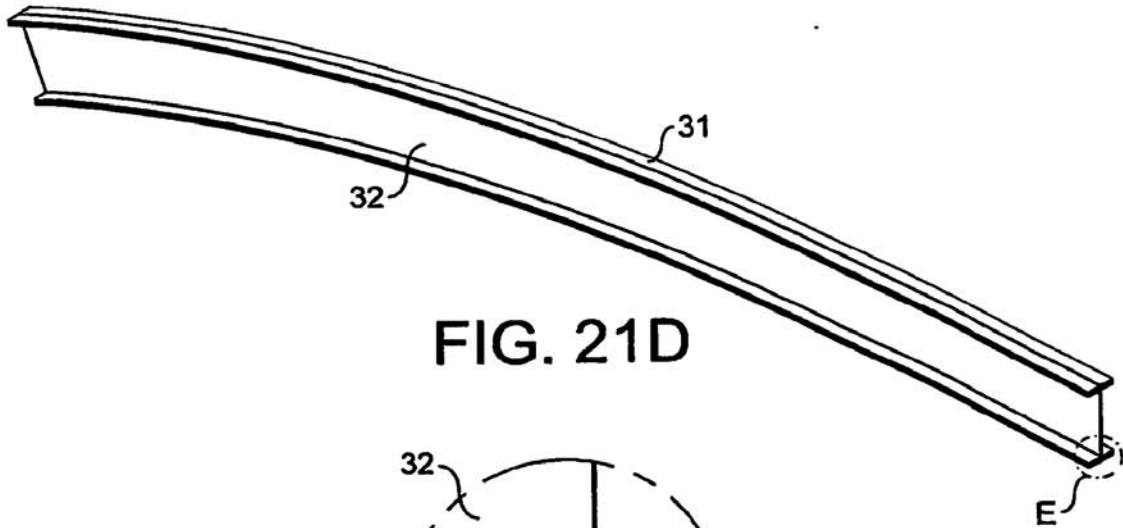
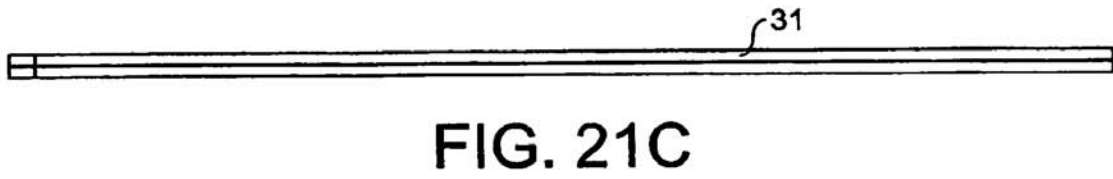
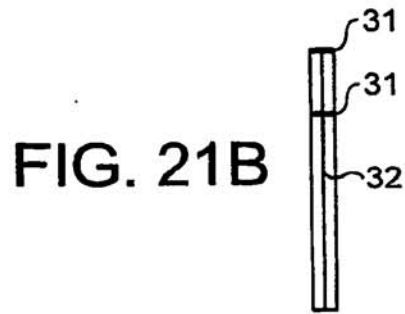
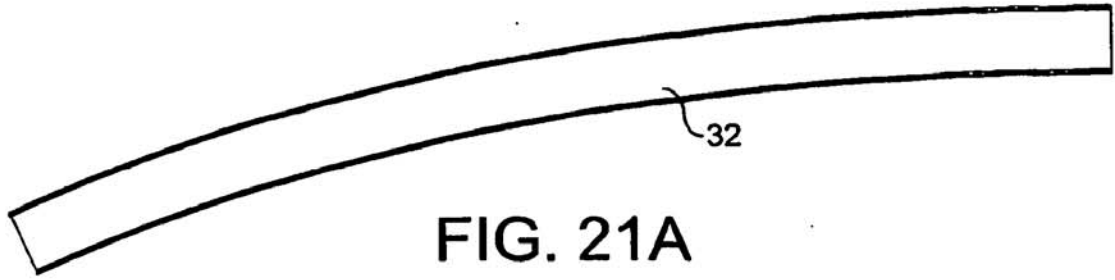


FIG. 20



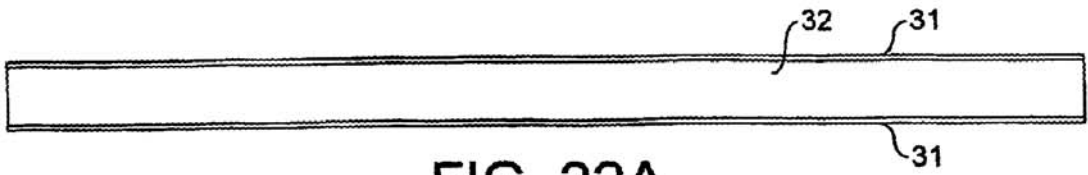


FIG. 22A

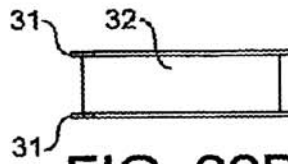


FIG. 22B

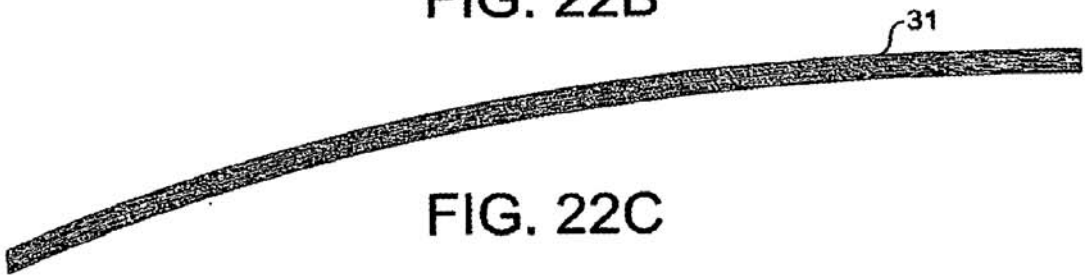


FIG. 22C

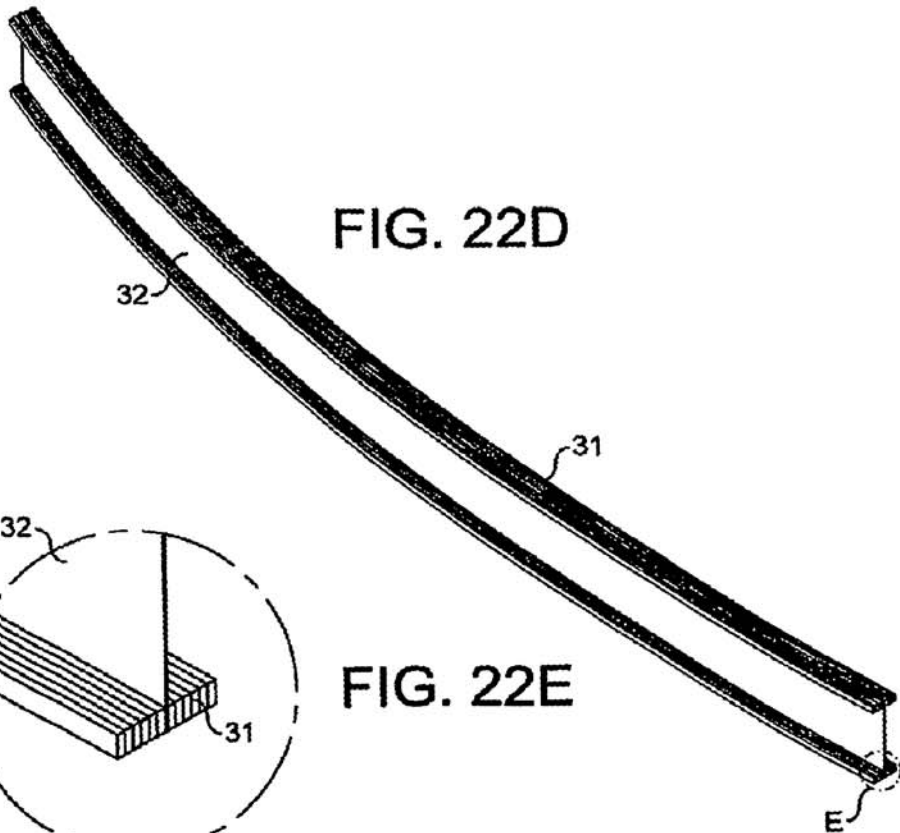


FIG. 22D

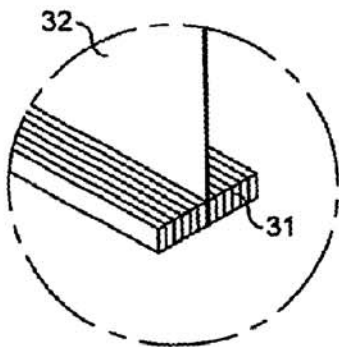


FIG. 22E

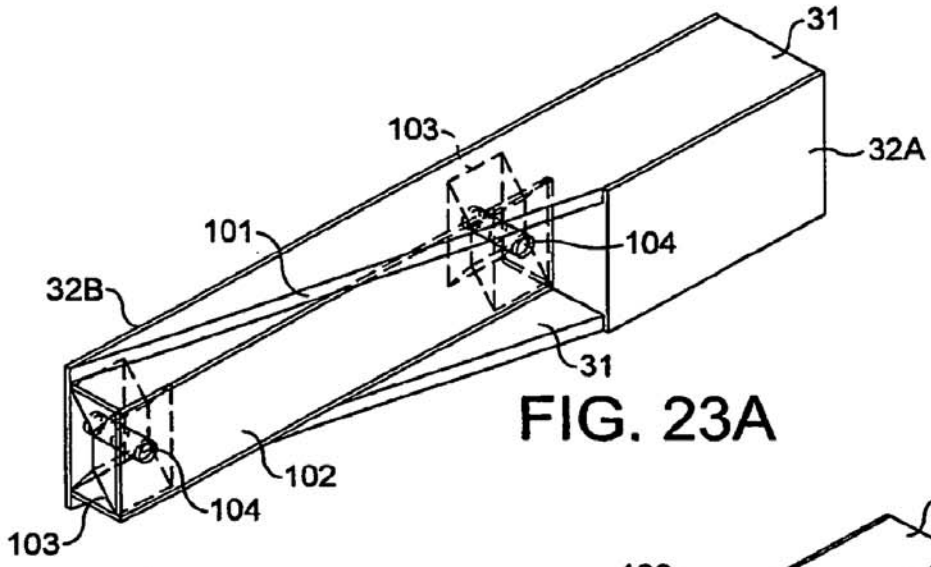


FIG. 23A

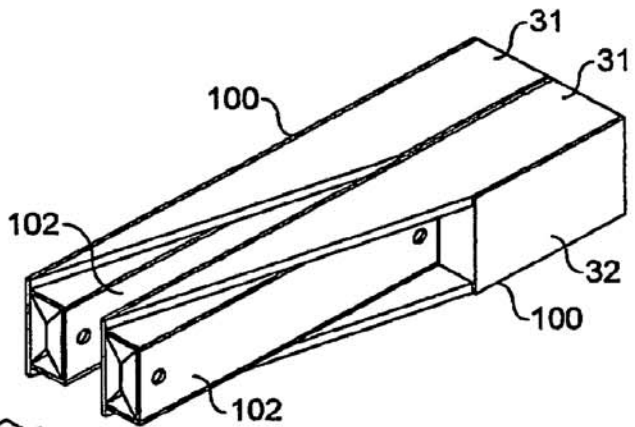


FIG. 23B

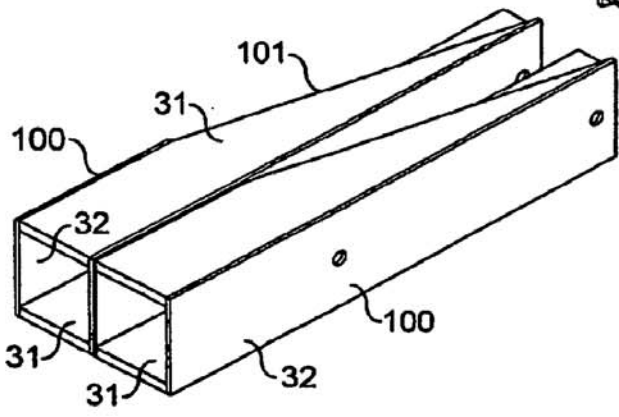


FIG. 23C

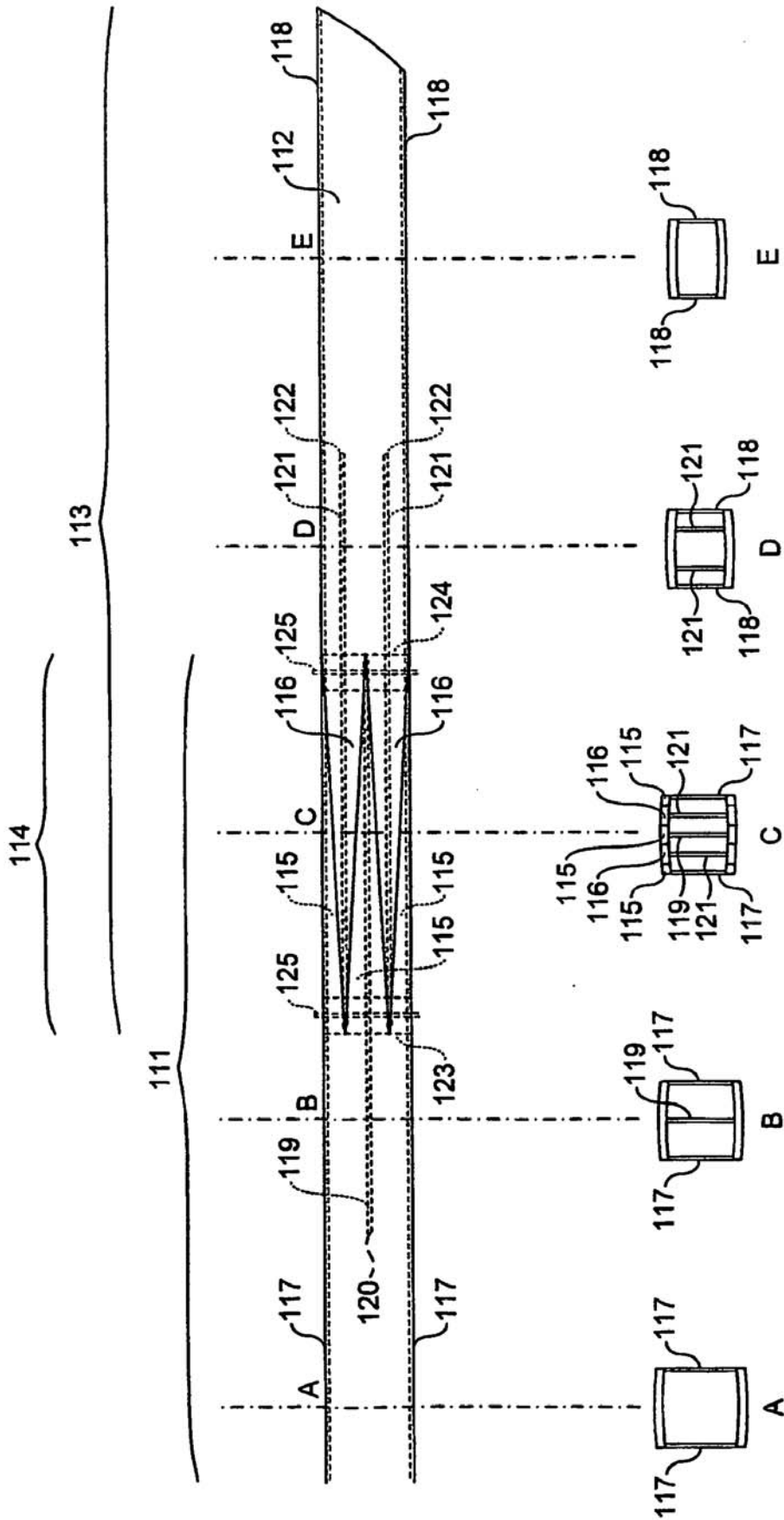


FIG. 24

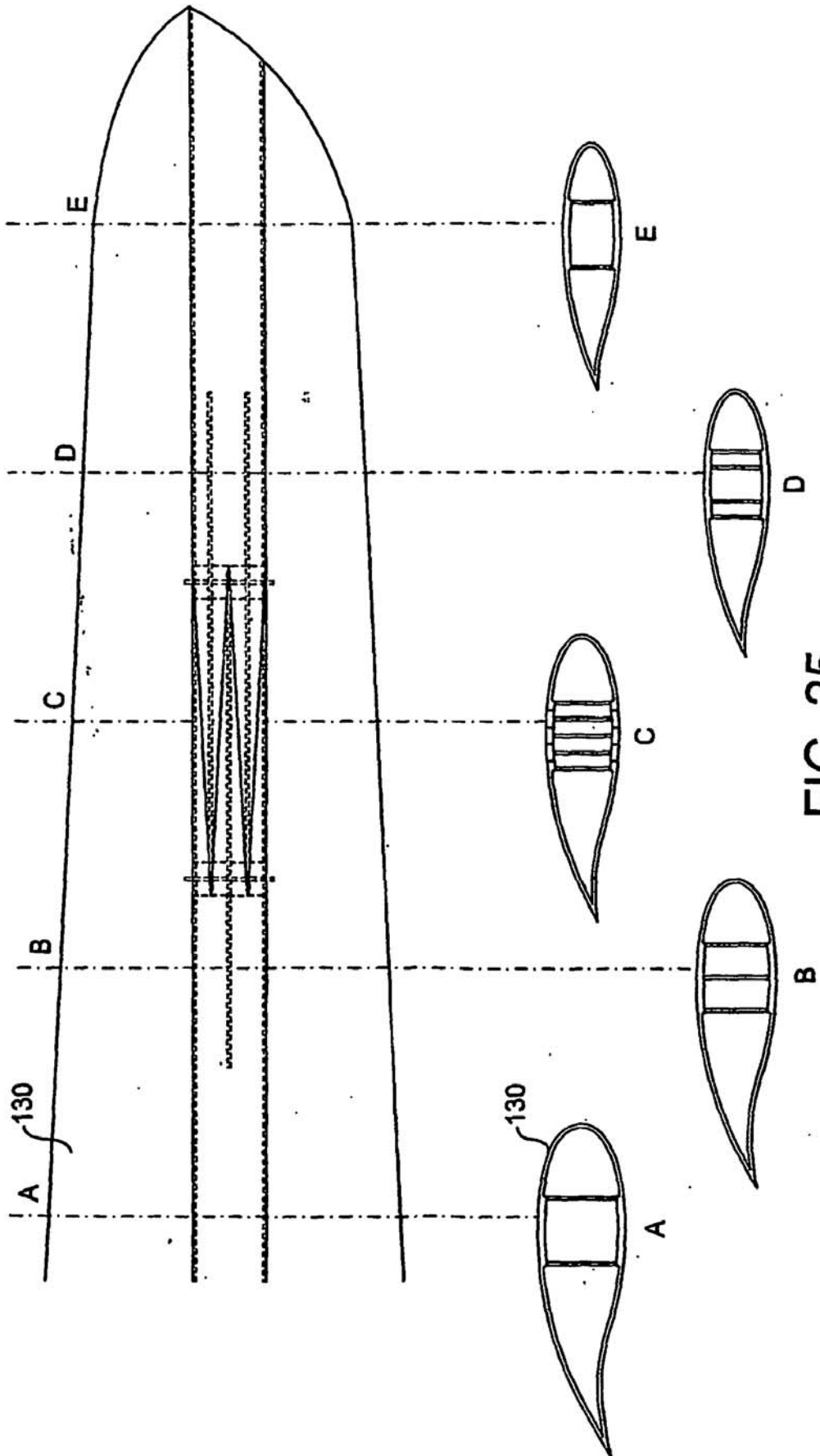


FIG. 25