

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 607 848**

51 Int. Cl.:

**F03D 1/06** (2006.01)

**F16B 17/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **06.07.2010 PCT/EP2010/059657**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.01.2011 WO2011006800**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **06.07.2010 E 10728260 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **14.09.2016 EP 2454473**

54 Título: **Dispositivo de montaje de segmentos de aspas de aerogeneradores y procedimiento de unión de segmentos de aspas de aerogeneradores**

30 Prioridad:

**16.07.2009 FR 0954935**

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

**04.04.2017**

73 Titular/es:

**AIRBUS SAFRAN LAUNCHERS SAS (100.0%)  
60-62 rue Camille Desmoulins  
92130 Issy-les-Moulineaux, FR**

72 Inventor/es:

**AUBERON, MARCEL y  
PETERMANN, NICOLAS**

74 Agente/Representante:

**MORGADES MANONELLES, Juan Antonio**

**ES 2 607 848 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**

Dispositivo de montaje de segmentos de aspas de aerogeneradores y procedimiento de unión de segmentos de aspas de aerogeneradores

5 La presente invención se refiere a la tecnología de uniones mecánicas de piezas estructurales de materiales compuestos y, en particular, prevé un dispositivo de ensamblaje de segmentos de aspas de aerogeneradores y el procedimiento de unión de segmentos de aspas de aerogeneradores asociado.

10 Esta invención se refiere en particular al ámbito de las aspas de aerogeneradores de grandes dimensiones.

Las uniones mecánicas, al contrario de por ejemplo las uniones pegadas o soldadas, son uniones que pueden ser desmontables.

15 Un método generalmente utilizado para realizar uniones mecánicas entre paneles o estructuras compuestas consiste en usar varias piezas metálicas de interfaz, cada una fijada en el material compuesto de manera discontinua, y utilizar medios de fijación mecánica como tornillos, remaches, pernos u otros.

Aunque pueda parecer que estas soluciones están optimizadas, en realidad no lo están, ya que no permiten garantizar un paso homogéneo del esfuerzo por toda la pared de la estructura de material compuesto.

20 Ello genera unos sobreflujos locales que conllevan un riesgo de ruptura progresiva que se inicia en las zonas con mayor presión, un fenómeno conocido como “desabrochado”.

25 Además, a nivel del análisis mecánico, estos sobreflujos locales son difíciles de cuantificar, lo cual penaliza la fiabilidad y la optimización de la estructura, por lo cual la unión realizada de este modo es difícil de garantizar.

Actualmente, se diseñan unos aerogeneradores cuyas aspas miden varias decenas de metros. Estas aspas plantean obviamente numerosos problemas técnicos, pero también logísticos, ya que transportar tales estructuras no resulta nada fácil, en particular por tierra.

30 Las aspas de aerogeneradores se fabrican con materiales compuestos que permiten que estas piezas en movimiento conserven una masa reducida, lo cual reduce los esfuerzos de fijación que se deben realizar.

35 Estas aspas generalmente se construyen en varios segmentos para simplificar su transporte y, en particular, su transporte en camiones.

Así pues, se plantea el problema del ensamblaje mecánico de las piezas de material compuesto en una perspectiva de solución mecánicamente optimizada en términos de masa, en particular en el caso en el que los esfuerzos a los que se somete la unión son muy importantes y complejos, ya que la unión debe resistir esfuerzos mecánicos, de fatiga y de entorno importantes con una fiabilidad muy elevada.

40 Los documentos EP 1 584 817, EP 1 878 915 y WO 01/48378 describen unas uniones de segmentos de aspas de aerogeneradores aseguradas con varias piezas metálicas.

45 En el caso del documento EP 1 878 915, la unión se realiza con unas varillas metálicas insertadas en las paredes del cajón central pegadas en posición.

En el documento WO 01/48378, las uniones están repartidas a lo largo de la piel del aspa y en el documento EP 1 584 817 se fijan conjuntamente unas sujeciones separadas, solidarias con los cajones centrales de los segmentos, unidas con unos elementos de cobertura del intersticio entre aspas.

50 Estos ejemplos de realización se basan en unos medios de fijación mecánica discontinuos.

55 Por otra parte, para el cálculo de las uniones remachadas metal/material compuesto, se conocen algunos métodos, aunque estos cálculos son bastante complejos por todos los fenómenos que se deben considerar y, en especial: la transferencia de esfuerzos entre el material compuesto y los remaches, el cizallamiento en los remaches, el mateado del material compuesto, la resistencia a la tracción del material compuesto y/o del metal y el gramillado.

60 Es importante destacar que los métodos conocidos para el cálculo de las transferencias de esfuerzo son muy aproximados, porque simplifican la geometría del ensamblaje representándolo en forma de simple cizallamiento, permitiendo así utilizar el método de cálculo de los cizallamientos conocido con el nombre de “método de Huth”.

Debido a esta aproximación, los métodos clásicos no permiten realmente llevar a cabo una configuración exhaustiva de las uniones.

65

En particular, el modelo de Huth no permite estudiar las uniones de geometría no simétrica, lo cual limita su campo de uso.

5 Además, las fórmulas de cálculo asociadas a este modelo, en particular para el cálculo del cizallamiento en los remaches, plantean dificultades de generalización en el caso del multicizallamiento, para el cual este modelo resulta completamente inadecuado.

10 El documento FR 2 675 563 describe un procedimiento de unión entre un tubo de material compuesto y una pieza metálica tubular.

15 En este procedimiento, la pieza metálica se fija al material compuesto mediante pegado y con fijaciones mecánicas a la vez, lo cual provoca que los flujos mecánicos que pueden pasar sean mayores. Este procedimiento, para el cual la optimización de la unión remachada depende de la orientación de los hilos de bobinado, es sin embargo específico para los tubos bobinados y, por consiguiente, para un procedimiento particular de fabricación del material compuesto.

20 Este concepto no se aplica directamente a piezas compuestas como los segmentos de las aspas de aerogeneradores, que en general no se fabrican mediante bobinado y cuyas fibras se orientan en función de las restricciones de uso de estas aspas.

25 La presente invención tiene por objeto definir una unión metálica de piezas estructurales y, en particular, una unión metal/material compuesto que sea fiable, optimizada mecánicamente y en términos de masa, en particular para ser usada en segmentos de aspas de aerogeneradores.

La unión obtenida debe en particular ser desmontable, minimizar los sobreflujos locales que el material compuesto sería susceptible de sufrir, estar optimizada mecánicamente y ser compatible con las exigencias aerodinámicas de las aspas de los aerogeneradores.

30 A este efecto, la presente invención propone un dispositivo de ensamblaje de segmentos de aspas de aerogeneradores provistos de cajones que incluyan al menos una sujeción formada por una primera parte y una segunda parte, donde la primera parte es una parte de ensamblaje con un cajón de un primer segmento y la segunda parte una parte de montaje con una sujeción complementaria colocada en un cajón de un segundo segmento, caracterizado por incluir la primera parte al menos una unión de material compuesto/metal de cizallamiento provista de un elemento de herraje continuo en al menos una cara del cajón en el cual se recibe un extremo de dicha cara del cajón, provista de remaches de fijación que atraviesan el herraje y el extremo de la cara.

40 Según la invención, la unión de material compuesto/metal es al menos de doble cizallamiento y está provista además de un elemento de contra-herraje, y el extremo de dicha cara del cajón se recibe entre el herraje y el contra-herraje, los remaches de fijación atraviesan el herraje, el extremo de la cara y el contra-herraje, y la unión está provista entre otras cosas de medios de sujeción del contra-herraje en el herraje.

45 Según un modo de realización particular, la unión de material compuesto/metal es una unión de multicizallamiento encima de las fijaciones que integra en el material compuesto al menos un doblador metálico adaptado para hacer transitar los esfuerzos entre la parte de material compuesto y el herraje metálico.

50 La presente invención propone un aspa de aerogenerador formada al menos por dos segmentos, cada uno provisto de un cajón caracterizado por ensamblarse los segmentos mediante un dispositivo de ensamblaje según la invención.

Favorablemente, el extremo de dicha cara termina con una estructura monolítica de refuerzo.

Preferiblemente, la estructura monolítica de refuerzo está principalmente reforzada con unas capas de carbono.

55 Favorablemente, dicho cajón central incluye una estructura de material compuesto reemplazada progresivamente por la estructura monolítica a nivel de la terminación del segmento.

60 Según un modo de realización favorable, dicha unión de material compuesto/metal incluye un refuerzo local del extremo de la cara del cajón en forma de pliegues de material compuesto.

Según un modo de realización particular del invento, el elemento de herraje está constituido por un marco continuo y cerrado que recibe las caras y las aristas del extremo del cajón.

65 Según una variante, el aspa incluye dos de las sujeciones mencionadas cuyas piezas de ensamblaje están constituidas por una placa que recibe una cara del extremo del cajón.

Según esta variante, dichas fijaciones están favorablemente dispuestas en las caras superior e inferior de los cajones situados en el extradós y el intradós del segmento del aspa.

5 En este caso, los extremos de las caras de los cajones situadas entre las caras superior e inferior reciben preferiblemente unas escuadras de unión.

Favorablemente, el aspa de la invención es de tal forma que los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con retorno a la piel.

10 Los extremos de los rostros de los cajones pueden además incluir una terminación con refuerzo del retorno a la piel.

Según un modo de realización alternativo, los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con un relleno de nido de abeja y/o nido de abeja densificado.

15 Según un modo de realización preferencial del aspa, las partes de montaje de las sujeciones con las sujeciones complementarias conllevan unas caras adaptadas a una fijación por unión axial mediante unos pernos que trabajan en tracción.

20 De manera favorable, las sujeciones están dispuestas dentro del perfil aerodinámico del aspa.

Otras características y ventajas de la invención se harán evidentes con la lectura de la siguiente descripción de un ejemplo de realización no limitativo en referencia a los dibujos que representan:

25 en la figura 1: vista esquemática en perspectiva de un fragmento de segmento de aspa de aerogenerador;

en la figura 2: vista esquemática en sección de un primer modo de realización de un dispositivo según la invención fijado en un elemento de segmento de un aspa de aerogenerador;

30 en la figura 3: vista esquemática en perspectiva del dispositivo de la figura 2;

en la figura 4: vista en perspectiva de un segundo modo de realización del dispositivo de la invención;

35 en la figura 5: vista en perspectiva de una variante de realización del dispositivo de la figura 2;

en las figuras 6A a 6D: vistas laterales en sección de variantes de realización del dispositivo de la figura 2;

en la figura 7: variante de realización de la fijación de la figura 2;

40 en las figuras 8A a 8D: vistas laterales en sección de detalles de ejemplos de realización de refuerzos de extremos de elementos de segmentos de aspas;

en la figura 9: vista superior de refuerzos en forma de pliegues de material compuesto;

45 en las figuras 10A a 10C: vistas en sección de fijaciones complementarias del dispositivo de la invención;

en las figuras 11A y 11B: vistas en sección de fijaciones alternativas a las fijaciones de las figuras 10A a 10C;

50 en la figura 12: vista de un detalle del dispositivo de fijación de dos segmentos de aspas de aerogeneradores según la invención.

El dispositivo de ensamblaje de la presente invención se refiere por ejemplo a aspas de aerogeneradores de las cuales se esquematiza un ejemplo de segmento 1 en la figura 1.

55 Este segmento incluye una piel que forma el extradós 21 y el intradós 22 del aspa e incluye un cajón central 2 que garantiza la resistencia mecánica del aspa.

60 Existen varios tipos de construcciones, conociéndose las construcciones con cajón integral en que se incluye una viga que integra unos largueros de refuerzo y en el cual se enfunda el perfil del aspa y las construcciones con un cajón formado por unos largueros de refuerzo integrados en la piel realizando el perfil del aspa y los travesaños o almas correspondientes.

El dispositivo de la invención se puede aplicar a ambos tipos de construcciones.

Incluye al menos una sujeción de la cual un primer ejemplo de realización en forma de sujeción plana 3 se representa en la figura 3 y del cual un segundo ejemplo de realización se representa en la figura 4 en forma de sujeción en forma de marco 30.

5 La sujeción 3 se detalla en la figura 2 en sección, la cual incluye una primera parte 3a de ensamblaje con el cajón 2 y una segunda parte 3b de montaje con una sujeción complementaria soportada por un cajón de un segundo fragmento.

La primera parte 3a incluye al menos una unión de material compuesto/metal.

10 Según la figura 2, esta unión es una unión de doble cizallamiento provista de un elemento de herraje 4 continuo sobre al menos una cara 2a del cajón 2, provista de un elemento de contra-herraje 5, entre los cuales se recibe un extremo de dicha cara del cajón, provista de remaches de fijación 6 que atraviesan el herraje, el extremo de la cara y del contra-herraje, estando provisto de medios 7 de sujeción del contra-herraje sobre el herraje.

15 El término "remache de fijación" agrupa varios tipos de fijaciones como tornillos, remaches, roblones u otros medios de atravesamiento.

20 Según la invención, las uniones de metal y material compuesto están constituidas por un herraje y un contra-herraje o doblador para garantizar un ensamblaje por doble cizallamiento mecánico encima de las fijaciones de unión, una solución más eficaz que una unión por cizallamiento simple con un herraje en un solo lado.

La optimización de la unión de metal con material compuesto se realiza a partir de elementos de cálculo, cuyo principio se describe más adelante.

25 Esta optimización permite definir la repartición y la forma del empalme metálico, del herraje y del doblador, la geometría, el diámetro y la naturaleza, el material de las fijaciones en cada hilera, el paso óptimo por hilera y entre hileras de unión.

30 En el ejemplo de la figura 7, la unión de material compuesto/metal es una unión de multicizallamiento 12 encima de las fijaciones integrando en el material compuesto al menos un doblador metálico 13, además del contra-herraje 5, adaptado para hacer transitar los esfuerzos entre la parte de material compuesto y el herraje metálico.

35 Una solución de ensamblaje con multicizallamiento encima de las fijaciones integrando en el material compuesto dobladores metálicos permite adaptar el número de dobladores en función de la repartición del cizallamiento contemplado en las fijaciones.

40 Así, cuantos más dobladores hay, más importante es el esfuerzo a nivel de cada fijación para hacer transitar los esfuerzos entre la parte de material compuesto y su herraje metálico.

Esto permite limitar el diámetro de los pernos y aportar una mejor contribución de la estructura de material compuesto.

45 Para la fijación del contra-herraje en el herraje, se prevén varias soluciones de medios de sujeción, como los representados en las figuras 6A a 6D.

La figura 6A corresponde a un sistema para el cual se realiza un encaje 8 entre el contra-herraje y el herraje para mantener el contra-herraje.

50 La figura 6B corresponde a un sistema en el cual los remaches o tornillos 9 fijan el contra-herraje en el herraje.

La figura 6C corresponde a un sistema en el cual un calzo 10 bloquea el contra-herraje en el herraje.

55 La figura 6D corresponde a un sistema en el cual un dispositivo con tornillo 11 bloquea el contra-herraje en el herraje.

60 La invención se aplica a un aspa de aerogenerador o a otro *spar* que conlleve como mínimo dos segmentos (1), cada uno provisto de un cajón (2), caracterizado por ensamblarse los segmentos mediante un par de dispositivos de ensamblaje según la reivindicación 1 ó 2.

Las aspas de aerogenerador se diseñan actualmente con una viga central estructural en forma de cajón llamada *spar* según la terminología anglosajona que recibe todos los esfuerzos y una piel aerodinámica.

65 En este caso, la unión se debe garantizar a nivel de esta viga dentro del cajón.

En el marco de la invención se ha trabajado, entre otras cosas, en el extremo del cajón que recibe la unión de material compuesto/metal.

5 Según un primer método representado en la figura 2, el extremo de la cara 2a del cajón que recibe el herraje termina en una estructura monolítica de refuerzo 14 y la estructura de material compuesto es reemplazada progresivamente por la estructura monolítica de refuerzo a nivel de la terminación del segmento.

Esta estructura monolítica de refuerzo 14 está principalmente reforzada con capas de carbono.

10 Según las figuras 8A a 8D y las figuras 9, la unión de material compuesto/metal incluye un refuerzo local del extremo de la cara del cajón en forma de pliegues de material compuesto 15 colocados sobre los pliegues de la piel 23.

Según estos ejemplos, se realiza un refuerzo local de la pieza de material compuesto en la zona de unión mediante pliegues de material compuesto que se polimerizan.

15 Como se representa en la figura 9, las capas de refuerzo de la pared se orientan y disponen de manera que la unión mecánica sea óptima en función de la recepción del esfuerzo por las hileras de fijación, de la resistencia máxima en mateado y en tracción neta del material compuesto y metálico.

20 Esta orientación de los pliegues de refuerzo tiene en cuenta la disposición de las fijaciones en hileras.

Los pliegues de refuerzo se pueden disponer de múltiples maneras:

25 Según la figura 8A, los pliegues se disponen unos encima de otros, quedando el refuerzo completamente por fuera. La transferencia de esfuerzo entre parte corriente/refuerzo no es óptima, existe un cambio brusco de rigidez y una sobrecarga en el borde puede provocar un deslaminado.

30 Según la figura 8B, los pliegues están escalonados en pendiente. El refuerzo sigue estando completamente por fuera, y la transferencia de esfuerzo parte corriente/refuerzo no es óptima.

El deslaminado del primer refuerzo sigue siendo un problema importante y no hay transmisión en el refuerzo.

Según la figura 8C, los pliegues se apilan y cada pliegue vuelve a la superficie del cajón.

35 La transferencia de los esfuerzos es correcta, el refuerzo está completamente por fuera, la transferencia de esfuerzo parte corriente/refuerzo no es óptima.

Según este ejemplo, la transferencia capa a capa mejora y el paso de los esfuerzos se optimiza en cada capa.

40 Esta solución permite transferir los esfuerzos incluso en caso de deslaminado en una capa.

La figura 8D, en la que los pliegues de refuerzo y los pliegues del larguero están superpuestos, corresponde a una solución óptima en la cual la transferencia se realiza por multicizallamiento.

45 Esta solución está optimizada a nivel de la transferencia y es apta para garantizar la transferencia de esfuerzos a pesar de un deslaminado en una o varias capas.

50 Volviendo al ejemplo de la figura 3, los herrajes son herrajes continuos y adaptados a cada lado de la pared que trabaja en el cajón del segmento de aspa y, en particular, en las dos paredes más solicitadas mecánicamente; es decir, las paredes 2a, 2b lado piel 21, 22.

En este caso, las caras internas 2c, 2d que sólo participan débilmente en la recepción de los esfuerzos sólo pueden unirse mediante dispositivos en forma de escuadras como los representados en las figuras 10A a 11 B.

55 En el ejemplo de la figura 4, el dispositivo se realiza en forma de marco interno continuo que se ajusta en las 4 caras de la viga del aspa, en cuyo caso el elemento de herraje está formado por un marco continuo y cerrado 30 que retoma las caras y las aristas del extremo del cajón 2.

60 En el caso de la figura 5 variante de la figura 3, las piezas de ensamblaje están constituidas por una placa 31 que retoma una cara del extremo del cajón.

Este perfil es adecuado para un cajón convexo, donde el dispositivo incluye dos de las sujeciones 3 mencionadas.

65 Las sujeciones en este caso están dispuestas en las caras superior 2a e inferior 2b de los cajones situados bajo el extradós 21 y el intradós 22 del segmento del aspa.

En el caso en que los extremos de las caras 2c, 2d del cajón situadas entre las caras superior e inferior reciben las escuadras de unión 16, los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con retorno a la piel 17, 18a, 18b como se representa en las figuras 10A a 10C.

5

En esta configuración, las pieles 23 que cubren el alma 24 coinciden en el extremo del cajón.

Según la figura 10A, el retorno a la piel 17 se realiza hacia el lado interno de la pared opuesta al lado que recibe la escuadra 16.

10

Además, los extremos de los cajones pueden incluir una terminación con refuerzo del retorno a la piel.

Según la figura 10B, el retorno a la piel 18a se realiza hacia el lado interno de la pared opuesta al lado que recibe la escuadra 16 y se realiza un refuerzo de la piel por el lado interno.

15

Según la figura 10C, el retorno a la piel 18b se realiza hacia el lado interno de la pared opuesta al lado que recibe la escuadra 16 y se realizan refuerzos de la piel por el lado interno y externo.

20

De manera alternativa, los extremos de los cajones que reciben las escuadras incluyen una terminación con relleno en nido de abeja 19a como se representa en la figura 11A. En el caso de la figura 11B, los extremos de los cajones están constituidos por un nido de abeja densificado 19b.

25

Por el lado de la unión entre las sujeciones, las piezas 3b de montaje de las sujeciones con las sujeciones complementarias incluyen como se representa en la figura 12 unas caras 33 adaptadas a una fijación por unión axial mediante pernos 34 que trabajan en tracción.

30

Se conocen numerosos dispositivos para obtener esto, pero en el marco de la invención se prefiere una fijación axial que permite una unión continua, que limita las irregularidades de flujo y que permite una unión en la continuidad de perfil y facilita la obtención del perfil aerodinámico en la unión.

35

El ensamblaje de los herrajes metálicos mediante medios de fijación como pernos sirve para la transferencia del esfuerzo por cizallamiento en las fijaciones y por mateado en las piezas metálicas y de material compuesto.

40

Estas sujeciones 3, 30 están dispuestas en el interior del perfil aerodinámico del aspa.

45

La solución de la invención se aplica a un aspa segmentada en dos partes, con una longitud de aspa del orden de 60 m, una masa del orden de 18 toneladas, siendo la construcción una construcción en fibras compuestas y una estructura con cajón central.

50

El aspa está formada clásicamente por dos pieles aerodinámicas, realizadas por separado mediante infusión al vacío en fibra de vidrio y/o de carbono asociada a una resina epoxi.

55

Según una primera versión, se coloca en el molde en forma de aspa un larguero fabricado por separado, ya sea en monobloque o mediante pegado de dos omegas.

60

La función de este larguero es aportar su rigidez longitudinal al aspa.

También está fabricado mediante infusión en fibra de vidrio y resina epoxi, pero puede contener una proporción de fibra de carbono, por una cuestión de ligereza.

65

Las dos pieles y el larguero posteriormente se ensamblan mediante pegado estructural a nivel del borde de ataque, del borde de fuga y del larguero.

Según una segunda versión, la parte central de la pared del aspa será en esta solución una estructura sándwich (alma de nido de abeja o espuma para tener el máximo de inercia local) reforzada en esta zona básicamente con refuerzos de carbono.

70

Como antes, esta parte de la estructura del aspa desempeña el papel de larguero y cumple la función de aportar rigidez longitudinal y recibir el conjunto de esfuerzos axiales a lo largo de la estructura.

75

Las paredes internas se integran entonces mediante pegado en el momento de acoplar las dos pieles.

En este caso en particular, es necesario un refuerzo local monolítico 14 a nivel de la unión de material compuesto y metal como se representa en la figura 2.

80

La pared sándwich del larguero de la media aspa es reemplazada progresivamente en su extremo de unión por la estructura monolítica principalmente reforzada por capas de carbono para garantizar la recepción de los esfuerzos en mateado y tracción/compresión de las fijaciones (pernos o remaches) del herraje y del doblador metálico.

5 El herraje y el doblador son piezas monobloque que se ajustan al perfil de la pared de los lados que trabajan del larguero.

10 El herraje que permite la unión entre segmentos de las dos medias aspas es un concepto llamado “de marco a capilla” que permite una unión axial en la que los pernos trabajan en tracción. Como recordatorio, se puede considerar una unión mediante pernos radiales con la implantación previa de tornillos imperdibles en la parte interna del herraje.

15 El método de dimensionado de una unión de material compuesto/metal de este tipo se aplica en el marco de una definición detallada del siguiente modo:

la transferencia de esfuerzo entre el material compuesto y los elementos metálicos se realiza mediante unas fijaciones con pernos dispuestos en 2 a 4 hileras, donde todos los pernos tienen el mismo diámetro; de hecho, por razones industriales, es más simple gestionar un mínimo de familias de pernos;

20 el grosor del material compuesto se mantiene constante, por razones de simplicidad de fabricación;

en cambio, las alas del herraje y del doblador tienen un grosor progresivo para repartir de forma equivalente los esfuerzos en cada hilera según el método de cálculo de multicizallamiento;

25 el doblador metálico está unido al herraje mediante fijaciones que transfieren los esfuerzos por cizallamiento simple.

30 Para la optimización mecánica de la unión por multicizallamiento, en lugar de hacer que el sistema a priori sea un sistema equivalente al que se pueda aplicar el método de Huth globalmente, se descompone el sistema en subconjuntos a los que se aplica rigurosamente el método de Huth.

En la práctica, el método consiste en describir cada cizallamiento mediante su rigidez, y en aplicar después las relaciones mecánicas clásicas y simples. Al final, se llega a un sistema de ecuaciones adaptado a una resolución en un ordenador.

35 Así, se pueden tener en cuenta todas las especificidades de cada cizallamiento (material, módulo, grosor) y calcular por tanto de forma precisa en cada punto el estado de tensión.

40 Esto permite dimensionar cada zona de la mejor manera posible mediante un proceso iterativo (cuando en una iteración se encuentra una tensión demasiado elevada, se añade material; o a la inversa, si hay poca tensión se puede quitar material).

Para ello, se descompone el sistema real en tantos sistemas de Huth como interfaces de cizallamiento simple haya.

45 A modo de ejemplo, en el caso de una unión de cizallamiento de tipo 4 (2 alas de material compuesto y 2 alas de metal) formada por 3 hileras de remaches, se obtiene un conjunto de 8 subsistemas de Huth “malla”. Estos subconjuntos están representados por conjuntos de 4 muelles, donde cada muelle es representativo de la rigidez del material solicitado.

50 Según el método, dos mallas adyacentes están unidas por un “muelle”, lo cual traduce el hecho de que un mismo material está solicitado por dos zonas de cizallamiento diferentes: de hecho, es lo que el modelo de Huth anterior no era capaz de hacer.

55 Para dimensionar las uniones, se debe por tanto calcular las diferentes rigideces, en función de las propiedades de los materiales en cuestión, de la geometría de las piezas utilizadas y, por supuesto, de los esfuerzos a los que se someterá la unión.

60 Un caso particular de aplicación tiene que ver con un aspa de aerogenerador en el que se utiliza una unión de doble cizallamiento según se describe anteriormente en relación con la figura 3, en el caso de un cajón de lados rectos, o la figura 5, en el caso de cajones curvados.

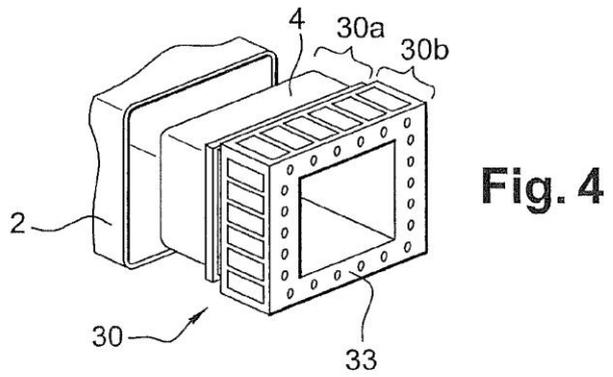
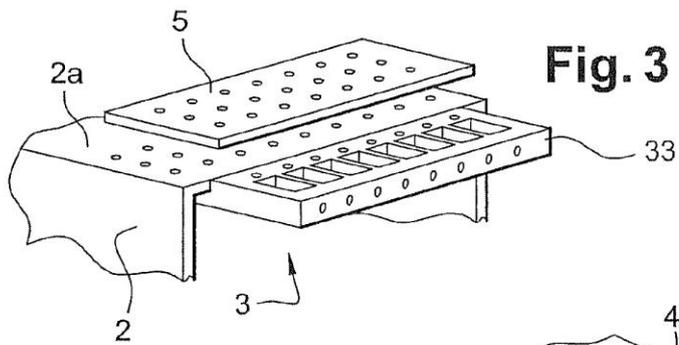
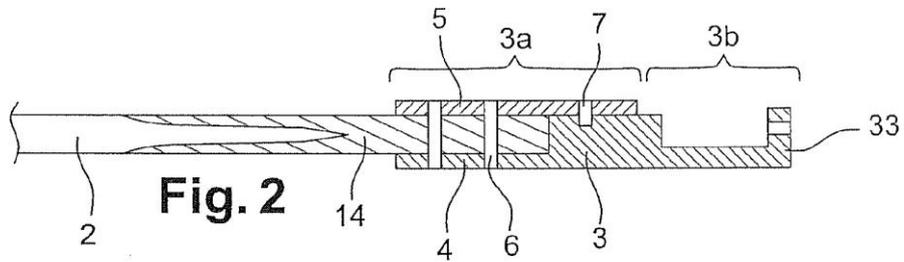
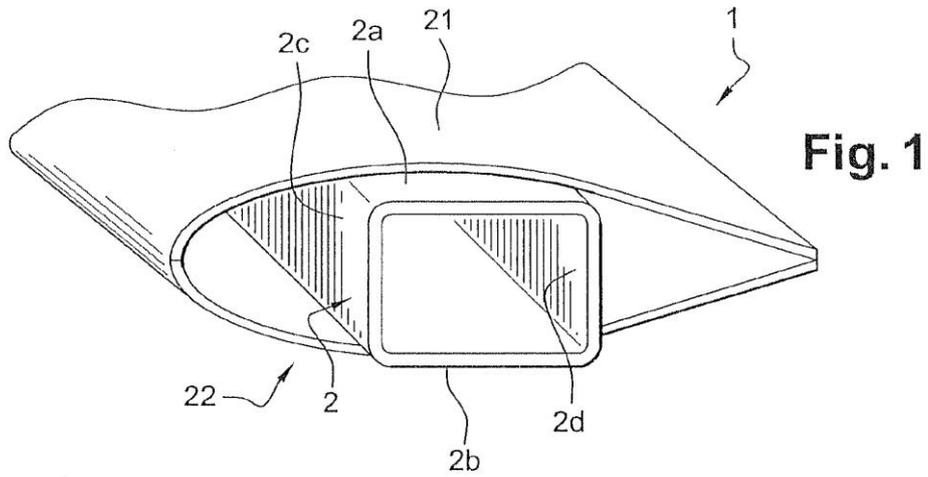
65 Para un aspa de este tipo, la fijación de los dobladores se realiza según el ejemplo descrito anteriormente con referencia a la figura 6B, la unión utiliza capillas continuas y refuerzos de las partes en material compuesto según el ejemplo descrito en referencia con las figuras 8C u 8D, respectivamente capas de refuerzo 15 colocadas con un recubrimiento y un retorno a la piel 23 de cada una de las capas o capas de refuerzo 15 insertadas entre las capas 23 de los largueros.

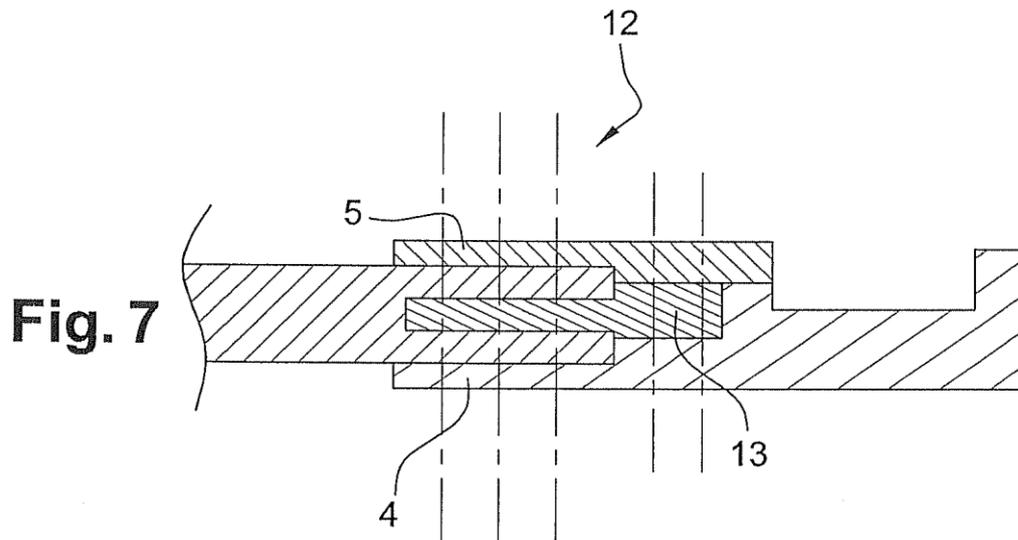
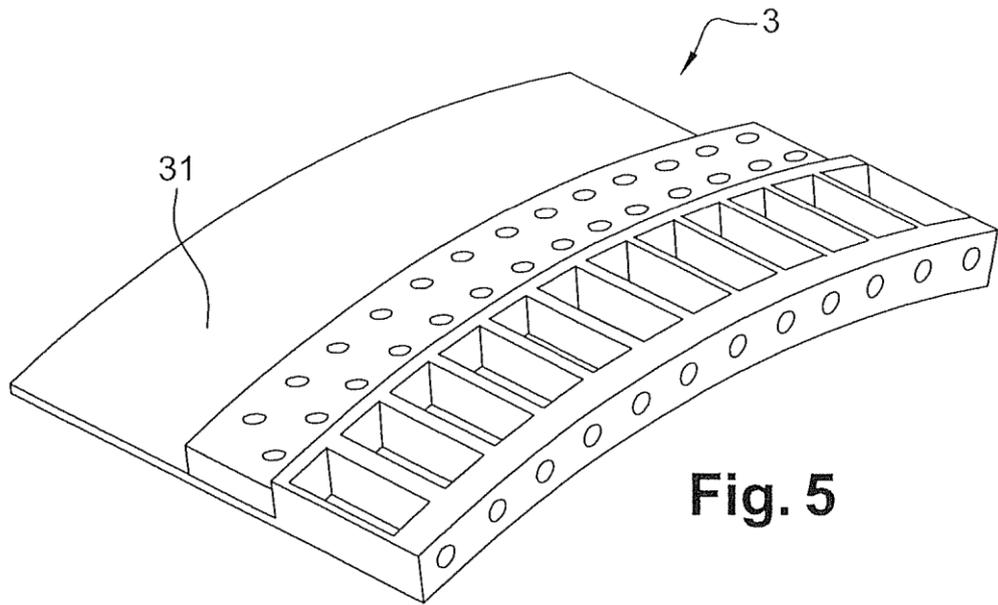
Finalmente, siguiendo en este caso particular, se utilizan unas simples escuadras, como en particular en el ejemplo relacionado con la figura 10C, para unir los travesaños que unen el larguero de intradós y el larguero de extradós.

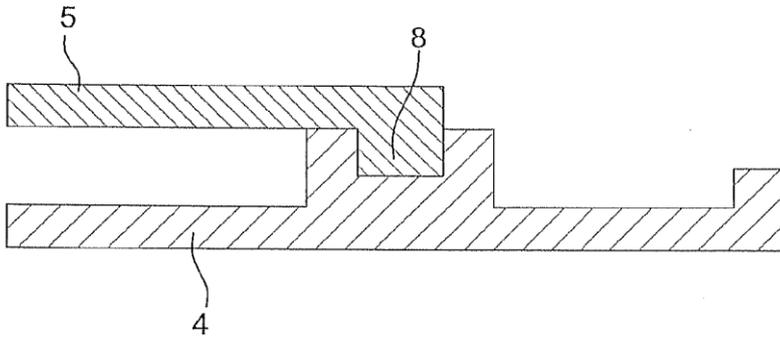
- 5 La invención no se limita a los ejemplos representados y a priori se puede tener en cuenta de forma independiente cada remache, cada material, lo cual aporta una gran libertad de elección de soluciones que se pueden optimizar.

**REIVINDICACIONES**

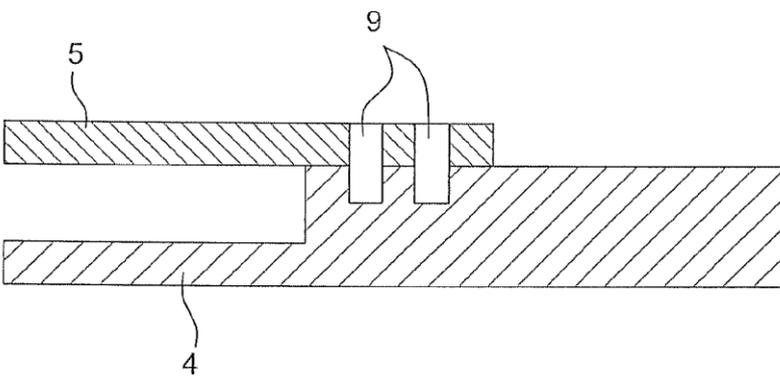
- 5 1. Aspa de aerogenerador que incluye como mínimo dos segmentos (1), cada uno provisto de un cajón (2), en la cual los segmentos están ensamblados mediante un par de dispositivos de ensamblaje que incluyen al menos una sujeción (3, 30) que conlleva una primera parte (3a, 30a) y una segunda parte (3b, 30b), siendo la primera parte una pieza de ensamblaje con un cajón (2) de un primer segmento y la segunda parte una pieza de montaje con una sujeción complementaria soportada por el cajón de un segundo segmento, caracterizado por el hecho de que la primera parte (3a) incluye al menos una unión de material compuesto/metal de cizallamiento provista de un elemento de herraje (4) continuo en al menos una cara (2a) del cajón (2) en el que se recibe un extremo de dicha cara del cajón, estando la primera parte provista de remaches de fijación (6) que atraviesan el herraje y el extremo de la cara, siendo la unión de material compuesto/metal al menos de doble cizallamiento y estando provista además de un elemento de contra-herraje (5), estando el extremo de dicha cara del cajón recibido entre el herraje y el contra-herraje, donde los remaches de fijación (6) atraviesan el herraje, el extremo de la cara y el contra-herraje, estando la unión además provista de medios (7, 8, 9, 10, 11) de sujeción del contra-herraje en el herraje.
- 15 2. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 1 en la que la unión de material compuesto/metal es una unión multicizallamiento (12) encima de las fijaciones integrando en el material compuesto al menos un doblador metálico (13) adaptado para hacer transitar los esfuerzos entre la parte de material compuesto y el herraje metálico.
- 20 3. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 1 ó 2, caracterizada por el hecho de que el extremo de dicha cara (2a) termina con una estructura monolítica de refuerzo de material compuesto (14).
- 25 4. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 3, caracterizada por el hecho de que la estructura monolítica de refuerzo de material compuesto (14) se refuerza principalmente con capas de carbono.
5. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 3 ó 4, en la cual dicho cajón central (2) incluye una estructura de material compuesto sustituida progresivamente por la estructura monolítica de refuerzo de material compuesto a nivel de la terminación del segmento.
- 30 6. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones de 1 a 5 en la cual dicha unión de material compuesto/metal incluye un refuerzo local del extremo de la cara del cajón en forma de pliegues de material compuesto (15).
- 35 7. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 en la cual el elemento de herraje está formado por un marco continuo y cerrado (30) que recibe las caras y las aristas del extremo del cajón (2).
- 40 8. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 caracterizada por incluir dos de las mencionadas sujeciones (3) cuyas partes de ensamblaje están constituidas por una placa (31) que recibe una cara del extremo del cajón.
- 45 9. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 8 en la cual las mencionadas sujeciones están dispuestas en las caras superior (2a) e inferior (2b) de los cajones situados bajo el extradós (21) y el intradós (22) del segmento del aspa.
- 50 10. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 9 en la cual los extremos de las caras (2c, 2d) del cajón situadas entre las caras superior e inferior reciben unas escuadras de unión (16).
- 55 11. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en la cual los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con retorno a la piel (17, 18a, 18b).
12. Aspa de aerogenerador según la reivindicación 11 en la cual los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con refuerzo del retorno a la piel (18a, 18b).
- 60 13. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en la cual los extremos de las caras de los cajones incluyen una terminación con relleno en nido de abeja (19a) y/o nido de abeja densificado (19b).
14. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 13 en la cual las partes (3b) de montaje de las sujeciones con las sujeciones complementarias incluyen unas caras (33) adaptadas a una fijación por unión axial mediante pernos (34) que trabajan en tracción.
15. Aspa de aerogenerador según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 14 en la cual las sujeciones (3, 30) están dispuestas en el interior del perfil aerodinámico del aspa.



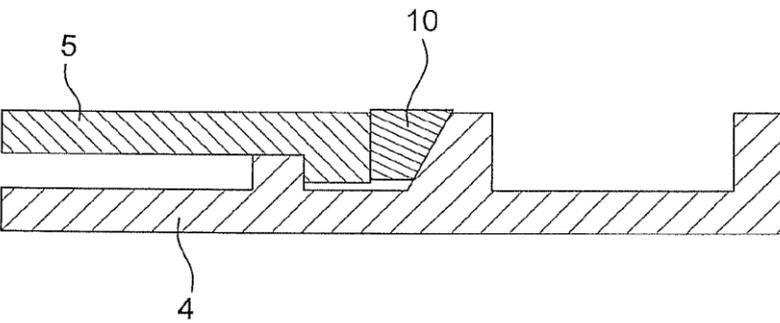




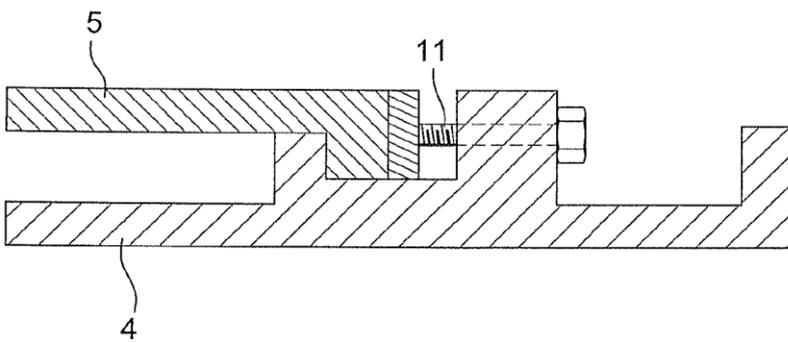
**Fig. 6A**



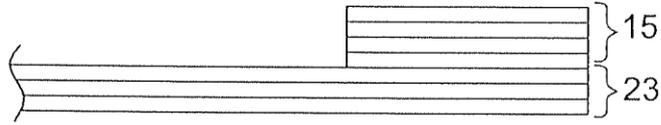
**Fig. 6B**



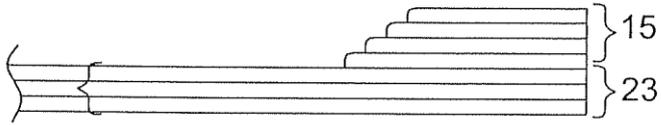
**Fig. 6C**



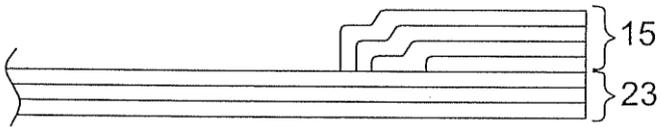
**Fig. 6D**



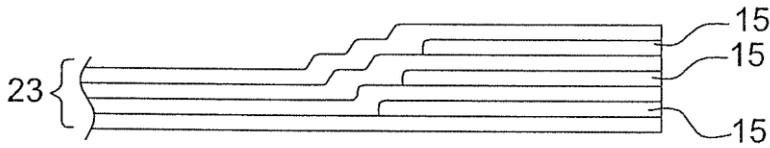
**Fig. 8A**



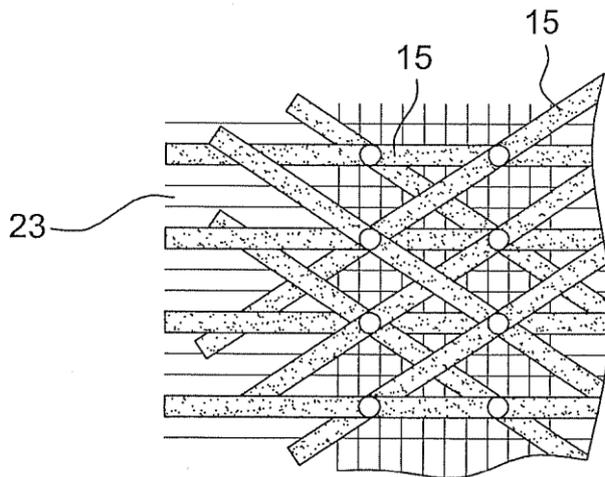
**Fig. 8B**



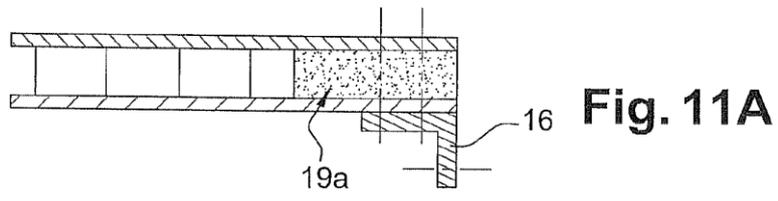
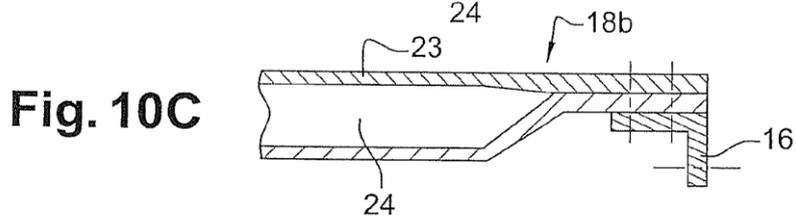
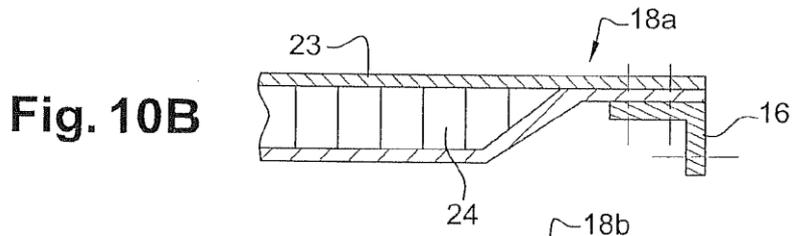
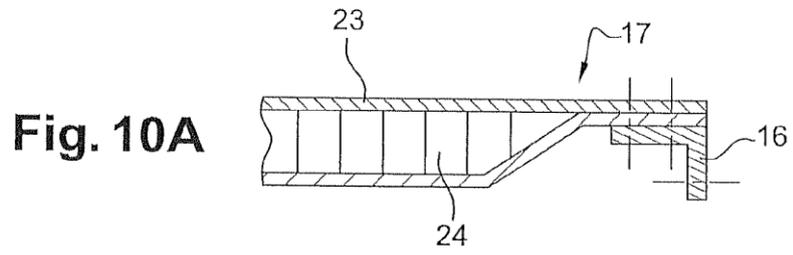
**Fig. 8C**



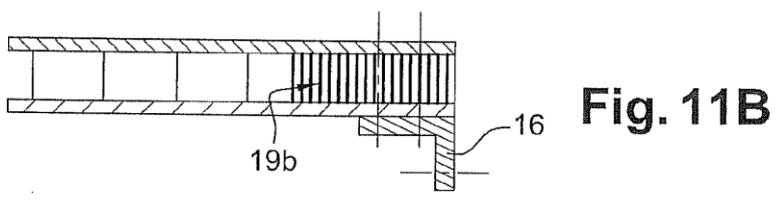
**Fig. 8D**



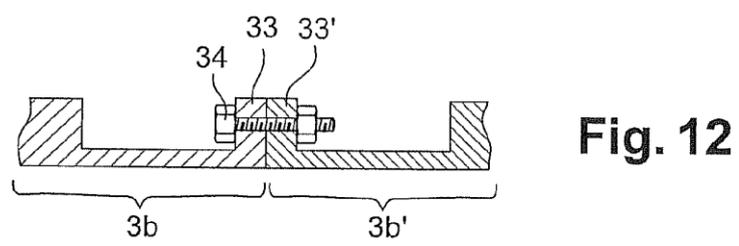
**Fig. 9**



**Fig. 11A**



**Fig. 11B**



**Fig. 12**