

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 680 620**

51 Int. Cl.:

B32B 5/12 (2006.01)

B32B 5/26 (2006.01)

B32B 5/28 (2006.01)

B29C 70/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **12.10.2011 PCT/US2011/056035**

87 Fecha y número de publicación internacional: **19.07.2012 WO12096696**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.10.2011 E 11779268 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 2663450**

54 Título: **Estructuras laminadas de material compuesto y métodos de fabricación y uso de las mismas**

30 Prioridad:

12.01.2011 US 201161432011 P

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

10.09.2018

73 Titular/es:

COMPANIE CHOMARAT (50.0%)

18 Boulevard Montmartre

75009 Paris, FR y

**THE BOARD OF TRUSTEES OF THE LELAND
STANFORD JUNIOR UNIVERSITY (50.0%)**

72 Inventor/es:

TSAI, STEPHEN, W.;

COGNET, MICHEL y

SANIAL, PHILIPPE

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 680 620 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

Estructuras laminadas de material compuesto y métodos de fabricación y uso de las mismas

5 Antecedentes

Campo de la invención

10 La presente invención se refiere, en general, a un módulo sublaminado para su uso en la formación de una estructura laminada de material compuesto, en particular, en aquellas que contienen capas orientadas en ángulo para obtener las deseadas propiedades físicas mejoradas, junto con métodos de fabricación de tales estructuras.

Descripción de la técnica relacionada

15 Las estructuras laminadas de material compuesto convencionales, en general, están diseñadas para emular las características de resistencia de los materiales convencionales laminados a base de metal y, como tal, están limitadas a diseños que tienen estratos de capas que son tanto simétricos como equilibrados. Tales estructuras convencionales cuando están así limitadas y contienen estratos de al menos tres capas formadas a partir de fibras de carbono negro, normalmente se denominan en la técnica, "aluminio negro" debido a la combinación de carbono en su constitución y de sus características que emulan el metal.

20 Los laminados simétricos implican una equivalencia reflexiva o especular de la orientación de las capas en torno a la mitad de su plano, mientras que los laminados equilibrados implican un número igual de capas orientadas positivamente (+) y negativamente (-) en su totalidad. Tales limitaciones, tradicionalmente, no se han abordado debido a la preocupación de que las estructuras laminadas de material compuesto convencionales se alabeen indeseablemente al enfriarse desde una temperatura de curado o al aumento de la tensión residual cuando cambia la temperatura operativa.

25 Tradicionalmente, los laminados simétricos se han formado apilando los múltiples estratos de diversas capas unidireccionales y de tela tejida de tal manera que el laminado de material compuesto presente una imagen especular de sí mismo en torno a la mitad del plano de la estructura. Tales procedimientos de laminación generalmente demandan mucho tiempo y mano de obra intensiva además de ser propensos a errores, al requerir un orden preciso de los respectivos estratos de material compuesto y, como resultado, pueden tener un número de capas innecesarias, lo que puede contribuir a un exceso de desechos y costes de producción. Aun así, históricamente, los laminados simétricos han demostrado ser voluminosos cuando se buscaba ahusar la superficie exterior de una estructura, debido, al menos en parte, al deseo de mantener la simetría a lo largo de la misma, incluso cuando se rebajan estratos de capas para formar el ahusamiento. Además, a medida que la capa individual o par de capas simétricas con sustancialmente la misma orientación se rebajan para formar un ahusamiento, la secuencia de apilamiento del laminado y, por tanto, las características de resistencia del material se alteran.

30 Los laminados equilibrados, al igual que los simétricos descritos anteriormente, tradicionalmente se forman apilando múltiples estratos de diversas capas unidireccionales en una pluralidad de orientaciones precisas con ángulos relativamente grandes entre sí. Por ejemplo, cada capa fuera de eje, tal que una capa a +45° típicamente está emparejada y reflejada por una capa a -45°. Además, una práctica común consistía en tener orientaciones de cuatro-capas que incorporaban ángulos de -45°, 0°, +45° y 90°. Las orientaciones alternativas de tres capas también eran comunes, tal como configuraciones a 0°, ±45°. Era crítico que el número de capas orientadas en sentido positivo (+) y negativo (-) permaneciera igual.

35 Los laminados equilibrados y simétricos de esta naturaleza, históricamente, han planteado dificultades cuando se ha intentado minimizar el espesor del laminado, lo que requiere capas cada vez más finas como única opción. También se han producido complejidades del ahusado en estas estructuras, dado que el rebajado de capas particulares o grupos de las mismas no debe alterar la simetría y el equilibrio deseados. Además, los laminados equilibrados son ortotrópicos, donde la deflexión y rotación resultantes de los momentos de flexión y torsión están desacopladas. Esta respuesta estructural es análoga a la de materiales isotrópicos como el metal.

40 Aunque no es lo acostumbrado en la técnica, los momentos de flexión y torsión acoplados pueden proporcionar las deseadas características de deformación, en particular, permitiendo que los diseñadores puedan predecir con fiabilidad la flexión frente a la torsión y hacer que las dos trabajen la una contra la otra, lo que conlleva un grado reducido de deflexión y/o rotación que no es posible con materiales ortotrópicos e isotrópicos. Esto puede resultar ventajoso para estructuras largas y finas, tal como, por ejemplo, las palas de una turbina eólica, las palas del rotor de un helicóptero, alas y colas de aeronaves y similares, donde la deflexión de la punta se puede reducir en una dirección recurriendo a este acoplamiento flexión-torsión de un laminado no equilibrado, pero también puede proporcionar ventajas en muchas otras aplicaciones.

45 50 55 60 65 Las estructuras laminadas de material compuesto convencionales, históricamente, presentan características de estática y fatiga que pueden permitir que se forme y exista cierto grado de micro fisuras en la estructura antes de

que la estructura falle en última instancia. Esto se debe, al menos en parte, al diferencial de tensiones entre el fallo de la primera capa (FPF) y el fallo de la última capa (LPF), tal y como se conocen y se denominan habitualmente en la materia y como se describirán con más detalle más adelante. En muchas aplicaciones tales micro fisuras son tolerables, haciendo que las estructuras laminadas de material compuesto convencionales sean adecuadas, al menos en este sentido. Determinadas aplicaciones, sin embargo, no pueden tolerar micro fisuras, por lo que requieren estructuras con diseños alternativos que minimicen el diferencial de tensión entre el FPF y el LPF. Por supuesto, al menos con las limitaciones de simetría y equilibrio descritas previamente, las estructuras laminadas de material compuesto convencionales con cuatro o más ángulos de capa, en general, no son adecuadas para tales aplicaciones.

Por consiguiente, existe la necesidad de proporcionar estructuras laminadas y métodos de fabricación y uso de las mismas, que minimicen las diversas deficiencias y limitaciones mencionadas anteriormente de las estructuras simétricas laminadas, minimicen las micro fisuras y expandan la envolvente del fallo de la primera capa, todo ello sin sacrificar las propiedades físicas.

Breve resumen

Brevemente, diversas realizaciones de la presente invención abordan las necesidades anteriores y obtienen otras ventajas proporcionando un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto que comprende orientaciones innovadoras de capas en ángulo para obtener propiedades físicas mejoradas y facilitar los procedimientos de fabricación.

De conformidad con los objetivos de las diversas realizaciones, tal y como se describen en el presente documento, se proporciona un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto. El módulo sublaminado comprende: un eje longitudinal primario; un conjunto de capas que consiste en: una primera capa que comprende fibras que se extienden en una primera orientación; comprendiendo las fibras de la primera capa una pluralidad de haces dispersos que están dispuestos adyacentes entre sí en una configuración sin ondulaciones; y una segunda capa que comprende fibras que se extienden en una segunda orientación, comprendiendo las fibras de la segunda capa una pluralidad de haces dispersos dispuestos adyacentes entre sí en una configuración sin ondulaciones; y un ángulo agudo definido por el desplazamiento relativo entre la primera orientación y la segunda orientación, siendo el ángulo agudo inferior a 90° y definiendo una estructura no equilibrada del módulo sublaminado, en donde la primera orientación y la segunda orientación están, además, orientadas con respecto al eje longitudinal primario del módulo sublaminado de tal manera que un desplazamiento axial de la primera orientación con respecto al eje longitudinal primario sea diferente que un desplazamiento axial de la segunda orientación con respecto al eje longitudinal primario; la primera capa y la segunda capa se sujetan a la una con respecto a la otra mediante una pluralidad de puntadas orientadas transversalmente, configuradas para definir al menos en parte la configuración sin ondulaciones de la pluralidad de haces dispersos de las capas primera y segunda; y el eje longitudinal primario corresponde a la dirección de la máquina en la que se ha formado el módulo sublaminado.

De conformidad con los objetivos de las diversas realizaciones, tal y como se describen en el presente documento, se proporciona otro módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto, en donde un módulo sublaminado como el descrito previamente se ha doblado por la mitad sobre sí mismo, con respecto a un eje que se extiende en la segunda orientación, de manera que: la primera capa forme un primer y un cuarto estrato de capa; y la segunda capa forma un segundo y un tercer estrato de capa; en donde el tercer estrato de capa comprende fibras que se extienden en la segunda orientación y el cuarto estrato de capa comprende fibras que se extienden en una tercera orientación, siendo la tercera orientación opuesta a la primera orientación con respecto a la segunda orientación.

De conformidad con los objetivos de las diversas realizaciones, tal y como se describen en el presente documento, se proporciona una estructura laminada de material compuesto. La estructura laminada de material compuesto comprende una pluralidad de módulos sublaminados, como se ha descrito previamente.

De conformidad con los objetivos de las diversas realizaciones, tal y como se describen en el presente documento, se proporciona un método de fabricación de un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto. El método comprende las etapas de: dispersar un primer haz que comprende una pluralidad de fibras para formar un primer estrato de capa; dispersar un segundo haz que comprende una pluralidad de fibras para formar un segundo estrato de capa; posicionar la pluralidad de fibras del primer haz en una primera orientación; posicionar la pluralidad de fibras del segundo haz en una segunda orientación, definiendo la primera y la segunda orientaciones un ángulo agudo entre ambas, siendo el ángulo agudo inferior a 90° y definiendo una estructura no equilibrada del módulo sublaminado, en donde la primera orientación y la segunda orientación están, además, orientadas con respecto al eje longitudinal primario del módulo sublaminado de tal manera que un desplazamiento axial de la primera orientación con respecto al eje longitudinal primario sea diferente que un desplazamiento axial de la segunda orientación con respecto al eje longitudinal primario; correspondiendo el eje longitudinal primario a una dirección de la máquina en la que se ha formado el módulo sublaminado; apilar el segundo estrato de capa y el

primer estrato de capa adyacentes entre sí; y coser el primer estrato de capa y el segundo estrato de capa el uno con respecto al otro en una configuración sin ondulaciones.

5 De conformidad con los objetivos de las diversas realizaciones, tal y como se describen en el presente documento, se proporciona otro método de fabricación de un módulo sublaminao para su uso en la formación de un laminado de material compuesto. El método comprende las etapas de: formar una pluralidad de módulos sublaminaos como se ha descrito previamente; apilar la pluralidad de módulos sublaminaos adyacentes entre sí; sujetar los estratos respectivos de la pluralidad de estratos sublaminaos el uno con respecto al otro en una configuración sustancialmente sin ondulaciones; y superponer secuencialmente la pluralidad de estratos sublaminaos respectivamente sujetos para formar la estructura laminada de material compuesto.

Breve descripción de las diversas vistas de los dibujos

15 Habiendo descrito así diversas realizaciones de la invención en términos generales, ahora se hará referencia a los dibujos adjuntos, que no están dibujados necesariamente a escala y en los que:

la Figura 1 ilustra una estructura laminada simétrica, de acuerdo con la técnica anterior;
la Figura 2 ilustra una estructura laminada 10, asimétrica y no equilibrada, de acuerdo con diversas realizaciones;
20 la Figura 3 ilustra un ejemplo de formación de la estructura laminada de la Figura 2 a partir de al menos dos módulos sublaminaos 15.
la Figura 4 ilustra un grado de homogeneización obtenible mediante estructuras laminadas configuradas de manera similar a las de la Figura 2;
la Figura 5 es un gráfico que ilustra un grado reducido de alabeo entre el laminado 1 de la Figura 1 y la estructura laminada 10 de la Figura 2;
25 la Figura 6A ilustra un laminado no equilibrado de acuerdo con diversas realizaciones que se encuentra con una fuerza de flexión y torsión;
la Figura 6B es un gráfico que ilustra una variedad de valores de acoplamiento flexión-torsión, con respecto a un ángulo desequilibrado de al menos una capa de la estructura laminada asimétrica de la Figura 1;
30 la Figura 7 es un gráfico que ilustra un ejemplo de panel no equilibrado en voladizo que tendrá como resultado valores mínimos de deflexión, incluso de cero, con diversas relaciones de combinaciones de movimientos aplicados de torsión y flexión;
la Figura 8 es un par de gráficos que ilustran un ejemplo de una zona con micro fisuras en una estructura laminada simétrica de acuerdo con la técnica anterior, junto con un ejemplo de zona libre de micro fisuras en la estructura laminada 10 no equilibrada de la Figura 2 de acuerdo con diversas realizaciones de la invención;
35 la Figura 9 ilustra un procedimiento de costura de un estrato de tejido sin ondulaciones de la estructura sublaminao asimétrica de acuerdo con diversas realizaciones; y
la Figura 10 ilustra una máquina modificada para fabricar la estructura laminada asimétrica de la Figura 1.

40 Descripción detallada de diversas realizaciones

A continuación, de aquí en adelante, se describen diversas realizaciones de la presente invención de manera más exhaustiva con referencia a los dibujos adjuntos, en los que se muestran algunas, pero no todas las realizaciones de la invención. En efecto, las realizaciones de la invención pueden realizarse de muchas formas diferentes y no deberá interpretarse que esta está limitada a las realizaciones que se presentan en este documento. En su lugar, estas realizaciones se proporcionan de manera que esta divulgación satisfaga los requisitos legales aplicables. El término "o" se usa en el presente documento tanto en el sentido alternativo como en el conjuntivo, a no ser que se indique lo contrario. Los números de referencia similares se refieren a elementos similares a lo largo de toda la memoria.

50 Sumario

En general, diversas realizaciones de la presente invención prescinden de una o más de las limitaciones tradicionalmente aceptadas que rigen las estructuras laminadas y los métodos de fabricación de las mismas. Tales limitaciones, como se mostrará, con frecuencia comprometen la integridad y ventajas de los materiales compuestos, a la vez que también hacen que sea extremadamente difícil predecir la resistencia del laminado, en el mejor de los casos. Las limitaciones típicas incluyen, pero no se limitan a: la simetría, el equilibrio, el número de capas, los ángulos relativamente grandes entre capas y la norma del diez por ciento (10 %), como se describirá mejor más adelante.

60 En términos generales, la "simetría" requiere que la composición estratificada de una estructura laminada parezca exactamente igual cuando se voltea o gira sobre un eje en la mitad del plano de la estructura laminada. De esta manera, las estructuras laminadas simétricas aparecen como un reflejo o, imagen especular, de sí mismas, con respecto al eje de la mitad del plano. El "equilibrio", si bien está relacionado al menos tangencialmente con la simetría, requiere además que, para cualquier número de orientaciones de estrato individual dentro de la estructura laminada, las orientaciones siempre deban producirse en pares de estratos orientados positivamente (+) y

negativamente (-). En otras palabras, para que exista un equilibrio, el número de estratos orientados positivamente siempre debe permanecer igual al número de estratos orientados negativamente.

Es más, el requisito de equilibrio dentro de las estructuras laminadas, si bien es deseable en la técnica anterior, solo es válido para un único conjunto predefinido de ejes de referencia; no para cualesquiera otros ejes (por ejemplo, no es invariable). No obstante, las estructuras laminadas equilibradas siguen siendo beneficiosas para determinadas aplicaciones, tales como las que experimentarán una carga totalmente reversible (por ejemplo, fuselajes de aeronaves, dado que, por ejemplo, la aeronave debe ser igualmente capaz de hacer giros tanto a la izquierda como a la derecha), en las que se desea tener una deflexión y/o rotación uniforme al menos en dos direcciones opuestas. En efecto, dado que el equilibrio se requiere de manera inherente para una carga de cizallamiento y un momento de torsión totalmente reversible, las orientaciones de las capas pueden manipularse y seleccionarse de tal manera que se satisfaga el criterio de diseño particular en este sentido. Sin embargo, en otras diversas aplicaciones, puede que solo se quiera minimizar la deflexión y/o rotación en una dirección particular para no eliminar otras características potencialmente deseables (por ejemplo, la sustentación y similares). En tales aplicaciones alternativas, las estructuras laminadas no equilibradas podrían ser preferibles.

La limitación en cuanto al "número de capas" surgió como resultado de las preocupaciones descritas anteriormente con la simetría y equilibrio, dado que para lograr ambos se requiere un mayor número de capas que las se podían haber usado de lo contrario. Considérese, por ejemplo, cuando se usan orientaciones de cuatro capas cuando se construye una estructura laminada de material compuesto, al menos cuatro estratos de capa se elegirían entonces para mantener el equilibrio, mientras que al menos ocho estratos de capa serían necesarios para lograr la simetría. Junto con tales limitaciones en cuanto al número de capas, las estructuras laminadas convencionales siguen estando además limitadas por la norma del diez por ciento (10 %). Según la definición común y como se denomina en la técnica, esta norma requiere que cada orientación de capa deba comprender al menos un diez por ciento del total de la estructura laminada. A modo de ejemplo no limitativo, una estructura laminada $[0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ]$ así limitada puede comprender veinte (20) capas, de las cuales, dieciséis (16) están orientadas a $\pm 45^\circ$. Para que esta estructura laminada cumpla con la norma del 10 %, precisamente, dos de las cuatro capas restantes deben estar orientadas a 0° , con las dos aún restantes a 90° . De este modo, tal laminado sería 10 % a 0° , 80 % a $\pm 45^\circ$ y 10 % a 90° . Como se puede observar, la norma del 10 % por sí sola influye significativamente en el espesor o calibre mínimo de tales estructuras laminadas, junto con su número mínimo de capas necesarias para obtener un equilibrio y/o simetría. Tal calibre mínimo, con frecuencia, vendrá dictado no solo por el requisito anticipado de carga soportada, sino también por consideraciones de manipulación, rigidez efectiva u otros requisitos no estructurales, que sean adecuados para una aplicación particular.

En una variedad de aplicaciones y, en particular, para aplicaciones estructurales con cargas elevadas, donde el peso, el espesor y la integridad de las estructuras laminadas son factores de diseño invariablemente críticos, las limitaciones convencionales, como las identificadas y descritas anteriormente, a menudo resultan gravosas. En respuesta, diversas realizaciones de la presente invención prescinden de una o más de estas limitaciones, comprendiendo en su lugar características estructurales asimétricas y no equilibradas que pueden resultar en un grado de acoplamiento flexión-torsión, al menos con respecto a módulos sublaminados individuales, como se definirá mejor más adelante. El acoplamiento flexión-torsión proporciona un mecanismo fiable y predecible para controlar la deflexión manifestada por una estructura en respuesta a fuerzas combinadas de flexión y torsión.

Debido a la naturaleza asimétrica y no equilibrada anteriormente mencionada, determinadas realizaciones además tienen como resultado una mejor homogeneización con menos capas, a menudo, crítica cuando se busca minimizar el peso y el espesor sin sacrificar la integridad estructural. Una mejor homogeneización, tal y como se describirá con más detalle más adelante, facilita un cálculo conveniente del efecto combinado de la resistencia de la estructura laminada y mantiene constantes las propiedades del material cuando se ahúsa. En esta y otras diversas realizaciones más, el número de orientaciones de capa se minimiza dentro de la estructura laminada mediante una disposición conforme a los requisitos convencionales tales como los cuatro ángulos de capa y la norma del diez por ciento (10 %). Como resultado, estas y otras realizaciones proporcionan un procedimiento de formación de laminados más rápido, más eficiente y menos propenso a los errores, a menudo utilizando módulos sublaminados, que a su vez mejoran aún más el diseño y los procedimientos de apilamiento de estructuras ahusadas.

Tales módulos sublaminados, tal y como se describirá con más detalle más adelante, generalmente, comprenden un conjunto o grupo predefinido de estratos de capa individuales que tienen múltiples orientaciones de capa. Los módulos sublaminados pueden suministrarse en forma seca o, como alternativa, en una forma preimpregnada, como se describirá mejor más adelante. Cada módulo sublaminado, aunque implica múltiples orientaciones de capa unitarias, se trata como una única unidad a efectos de ensamblado del producto laminado terminado. De esta manera, tal y como se describirá con más detalle más adelante, los módulos sublaminados actúan como bloques básicos de construcción para el ensamblado de productos laminados terminados. Los módulos sublaminados comprenden cualquiera de una variedad de números de estratos de capa deseados, siempre que contengan múltiples orientaciones de capa. Sin embargo, es deseable minimizar el número de estratos de capa dentro de los respectivos módulos sublaminados, tal y como se describirá con más detalle más adelante.

Diversas realizaciones de la presente invención también pueden comprender características estructurales no equilibradas. En esta y otras realizaciones, que pueden incorporar o no determinadas características como las descritas anteriormente, la selección de un ángulo particular de orientaciones de capa favorece la rigidez y resistencia estructural. Mejora la previsibilidad de tales parámetros, ya que al menos determinadas realizaciones seleccionan una orientación de capa en la que las deformaciones resultantes a partir de la combinación de los momentos impuestos de flexión y torsión son controlables, una característica no presente en estructuras equilibradas (por ejemplo, ortótropas e/o isotrópicas).

Cada una de estas características, junto con sus respectivas ventajas, se describirá con más detalle más adelante, con referencia a las figuras representativas, según las necesidades.

Características Estructurales Asimétricas

Volviendo inicialmente a la Figura 1, se ilustra una estructura laminada 1 simétrica de acuerdo con la técnica anterior. Como se entenderá mejor a partir de esta figura, la estructura laminada 1 simétrica generalmente está construida al menos con una orientación de cuatro capas, incorporando orientaciones de -45° , 0° , $+45^\circ$ y 90° . La orientación de cuatro capas de la estructura ilustrada 1 se realiza mediante las orientaciones relativas de estratos de capa 2a, 2b, 2c y 2d secuenciales. Esta secuencia de capas, al menos en el ejemplo de realización ilustrado, se repite tres veces por encima y por debajo de la mitad del plano 6, tal y como se describirá con más detalle más adelante. Como alternativa, también son comunes las orientaciones de tres capas y estas generalmente prescinden de las orientaciones a 90° en favor de una configuración orientada a 0° , $+45^\circ$, -45° . Aunque de manera notable, tales configuraciones siempre mantienen un equilibrio con un número igual de capas orientadas positivamente (+) y negativamente (-) y como tal sigue siendo una práctica común en la industria. Tales configuraciones además mantienen una simetría apilando los estratos de capa 2a, 2b, 2c y 2d en dos orientaciones 7a, 7b de grupos de capas, cada una centrada en torno a un eje de la mitad del plano 6 de la estructura formada 1. De esta manera, cuando están totalmente formados, los estratos de capa aparecen como imágenes especulares entre sí, con respecto al eje de la mitad del plano 6, manteniendo de este modo una simetría, como se ha descrito previamente. Para determinadas aplicaciones, los módulos sublaminados 5, del tipo descrito previamente en el presente documento, pueden incorporarse dentro de la estructura laminada 1 simétrica, incluyendo, cada uno, en general, al menos cuatro estratos de capa, concretamente 2a, 2b, 2c y 2d. Por supuesto, se debe entender que otras configuraciones de la técnica anterior (no mostradas), con frecuencia, incluyen módulos sublaminados que tienen de ocho (8) a diez (10) o más, estratos de capa, según sea necesario para obtener no solo un equilibrio, sino también una simetría. Tales limitaciones, como cabría esperar, a menudo resultan en estructuras laminadas relativamente espesas con un espesor innecesariamente alto para soportar la carga.

Volviendo ahora a la Figura 2, se ilustra una estructura laminada 10, asimétrica y no equilibrada de acuerdo con diversas realizaciones. Como se entenderá mejor a partir de esta figura, la estructura laminada 10 puede, en determinadas realizaciones, comprender una pluralidad de primeros estratos de capa 12a, una pluralidad de segundos estratos de capa 12b, una primera orientación 13 (véase también la Figura 3) y una segunda orientación 14 (véase también la Figura 3). La pluralidad de primeros estratos de capa 12a están, de acuerdo con determinadas realizaciones, separados por los respectivos estratos de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b. Cada uno de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b está representado en la Figura 1 sin marca alguna, para distinguirlos de las marcas orientadas en diagonal en cada uno de la pluralidad de primeros estratos de capa 12a.

Cada uno de la pluralidad de primeros estratos de capa 12a de la Figura 2 puede estar, de acuerdo con diversas realizaciones, orientado en la primera orientación 13 (véase también la Figura 3) con respecto a cada uno de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b. Cada uno de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b puede estar, a su vez, orientado en la segunda orientación 14, como se describirá con más detalle a continuación, con referencia al menos a la Figura 3. De esta manera, un ángulo de capa 19 (véase la Figura 3) se puede formar entre las respectivas orientaciones de los primeros y segundos estratos de capa, de manera que el ángulo de capa se corresponda con un giro angular entre los mismos. Al menos en las realizaciones ilustradas, el ángulo de capa 19 es de 25° , mientras que en las otras realizaciones el ángulo de capa 19 puede estar en un intervalo de aproximadamente 10° a 40° , según resulte deseable para una aplicación particular. En otras realizaciones, el intervalo puede ser de aproximadamente 15° a 30° , dependiendo de un resultado deseado para el acoplamiento flexión-torsión, tal y como se describirá con más detalle más adelante. El componente de acoplamiento de cizallamiento del acoplamiento flexión-torsión, generalmente, alcanza un valor máximo en torno a un ángulo de capa de 30° . En otras realizaciones adicionales, se debe entender que el ángulo de capa 19 puede ser cualquiera de una variedad de ángulos agudos (por ejemplo, inferiores a 90°), como se describirá con más detalle a continuación, con respecto a diversas características estructurales no equilibradas y equilibradas de la estructura laminada 10. Es más, de acuerdo con diversas realizaciones, el ángulo de capa 19 puede ser una variable continua, lo que significa que los valores del ángulo de capa no están limitados a ser valores enteros discretos.

La estructura laminada 10, como las estructuras laminadas 1 de la técnica anterior, puede comprender, además, de acuerdo con diversas realizaciones, un eje en la mitad del plano 16. En determinadas realizaciones, como se ilustra al menos en la Figura 2, no es necesario que los primeros y segundos estratos de capa 12a, 12b apilados sean asimétricos en torno al eje de la mitad del plano 16. En otras palabras, como se ha indicado antes, la pluralidad de

5 primeros estratos de capa 12a están, cada uno, separados por los estratos respectivos de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b, por toda la estructura laminada 10. En contrapartida, como se entenderá mejor comparando las Figuras 1 y 2, al menos dos de la pluralidad de estratos de capa 2d están posicionados adyacentes entre sí (por ejemplo, no separados por ninguno de los estratos de capa 2a, 2b y/o 2c restantes). De esta manera, los primeros y segundos estratos de capa 12, 12b apilados, generalmente, están configurados de acuerdo con diversas realizaciones en una configuración asimétrica.

10 Volviendo a la figura 2, la estructura laminada 10 de acuerdo con diversas realizaciones puede estar apilada en una única orientación 17. En comparación con la estructura laminada 1 heterogénea de la técnica anterior, al menos la de la Figura 1, en la que los estratos de capa deben estar apilados en dos orientaciones 7a, 7b de manera que permanezca centrada en torno al eje de la mitad del plano 6, los estratos de capa 12a, 12b de la estructura laminada 10 pueden estar apilados en orden secuencial sin importar su orientación o posicionamiento con respecto al eje de la mitad del plano 16. En determinadas realizaciones, tal y como se describirá con más detalle más adelante, mientras que los estratos de capa pueden no estar apilados individualmente de manera secuencial, los módulos sublamina-
15 dos (véase la Figura 2 y la última descripción en el presente documento), comprendiendo, cada uno, dos o más estratos de capa están ellos mismos apilados secuencialmente. Dado que los módulos sublamina-
20 dos individuales se pueden apilar secuencialmente en este sentido, tal configuración proporciona una significativa ventaja económica, en comparación con el procedimiento intensivo tanto en tiempo como en mano de obra requerido para la configuración simétrica de la técnica anterior y crea una estructura homogeneizada. La capacidad de apilar secuencialmente los estratos de capa (o módulos sublamina-
25 dos, como se describe más adelante) minimiza, asimismo, el riesgo de errores cuando se disponen las propias capas, a la vez que también facilita los procedimientos mucho más sencillos de ahusado y rebajado de capas, como también se describirá mejor más adelante.

30 Contribuyendo todavía más a las ventajas económicas, la estructura laminada 10, de acuerdo con diversas realizaciones, puede comprender, además, una pluralidad de módulos sublamina-
35 dos 15, como se ha descrito y definido previamente en el presente documento. Cada uno de los módulos sublamina-
40 dos 15, como se ha representado al menos en la Figura 2, puede comprender, en general, al menos un primer estrato de capa 12a y un segundo estrato de capa 12b, teniendo, cada uno, en general, una orientación diferente, como se ha descrito en otras partes del presente documento. En determinadas realizaciones, los módulos sublamina-
45 dos 15 forman los bloques básicos de construcción para formar la estructura laminada 10 y en general se tratan, de esta manera, como unidades singulares durante el proceso de fabricación. En otras palabras, como bloques de construcción, los módulos sublamina-
50 dos 15, de acuerdo con diversas realizaciones, pueden estar preensamblados, lo que permite apilarlos el uno directamente encima del otro mediante un procedimiento de "superposición de un eje" que puede
55 minimizar sustancialmente las reconfiguraciones.

Al menos en aquellas realizaciones que comprenden módulos sublamina-
60 dos 15, como se describe en la Figura 2, la "superposición en un eje" puede ser hasta siete (7) veces más rápida que la superposición convencional de cuatro ejes empleada con las estructuras laminadas 1 de la técnica anterior, aunque se debe entender que se pueden
65 efectuar diversos grados de eficiencia mejorada, según se desee para una aplicación particular. Unas realizaciones alternativas, tal y como se describirá con más detalle más adelante, pueden implicar la rotación (por ejemplo, volteo o plegado) de módulos sublamina-
70 dos 15 alternos para formar un laminado equilibrado (por ejemplo, una configuración de $[0^\circ \pm \text{ángulo de capa } 19/0^\circ]$), que logre una carga de cizallamiento momento de torsión totalmente reversible (por ejemplo, con magnitudes de -1 a +1), según resulte deseable para una aplicación particular. De esta
75 manera el bloque de construcción básico, concretamente, cada módulo sublamina-
80 dos 15 se puede usar de acuerdo con determinadas realizaciones, no solo para formar estructuras laminadas no equilibradas, como se muestra en la Figura 2, sino también estructuras laminadas equilibradas, ambas mediante un procedimiento de superposición en un eje. En otras realizaciones adicionales, cuando el ángulo de capa 19 es de 45° , como en el módulo sublamina-
85 dos [0/45], el módulo sublamina-
90 dos 5 puede voltearse y rotarse a una configuración de $[-45/90]$. Al apilar estos dos sublamina-
95 dos (uno rotado y el otro no) de acuerdo con diversas realizaciones, se puede obtener una estructura laminada casi isotrópica de $[0^\circ \pm 45/90^\circ]$. Tal configuración se puede formar, de acuerdo con determinadas realizaciones, mediante una "superposición de dos ejes" dado que al menos uno de los módulos sublamina-
100 dos se rota a 90° grados. Se debe entender, sin embargo, que en cualquiera de estas y otras realizaciones más, dichos procedimientos de superposición obtienen unas eficiencias relativamente comparables y deseables evitando al
105 menos en parte "superposiciones fuera del eje" (por ejemplo, superposiciones a orientaciones a $+\text{ángulo de capa } 19$ o $-\text{ángulo de capa } 19$).

Con particular referencia a la Figura 3, se ilustra la formación, de acuerdo con varias realizaciones, de un ejemplo de estructura laminada 10 a partir de al menos dos módulos sublamina-
110 dos 15. A la izquierda de la Figura 3 se ilustra, un primer módulo 15, que comprende un único primer estrato de capa 12a y un único segundo estrato de capa 12b. Una máquina 1000, tal como generalmente se entiende al menos a partir de la Figura 10 que tiene una dirección de máquina 17, puede estar alineada con un eje general del módulo sublamina-
115 dos 15. En determinadas realizaciones, la dirección de máquina 17 puede ser a lo largo de un eje de 0° correspondiente a un eje de al menos un estrato de capa (por ejemplo, el segundo estrato de capa 12b de la Figura 3), que además mejora las ventajas de coste y eficiencia de tales módulos 15. Tal dirección de máquina 17 típicamente resultará en una configuración de máquina
120 [0/25] para aquellas realizaciones que tienen un ángulo de capa 19 de 25° . Se debe entender, sin embargo, que en

5 otras realizaciones, la dirección de máquina 17 no necesita estar orientada a lo largo de un eje a 0° , según resulte deseable para una aplicación particular. A modo de ejemplo no limitativo, la dirección de máquina 17 puede estar configurada a lo largo de un eje a 60° , lo que resulta en una configuración de máquina de [60/85] para aquellas realizaciones que tienen un ángulo de capa de 25° . De manera más notable, se debe entender que la diferencia entre los ángulos de configuración, independientemente de sus valores respectivos, de acuerdo con diversas realizaciones se correlaciona sustancialmente con el ángulo de capa 19 deseado.

10 Como también se puede entender a partir de la figura 3, el primer módulo 15 puede combinarse con un segundo módulo 15, que comprende asimismo un primer y segundo estratos únicos de capa 12a, 12b. La estructura laminada 10 resultante puede formarse así, de acuerdo con determinadas realizaciones, apilando secuencialmente los módulos 15 respectivos, teniendo, cada uno, al menos un eje común alineado con la dirección de marcha 17. Aunque al menos los módulos 15 ilustrados comprenden dos estratos de capa distintos, en otras realizaciones, se podría contemplar que los módulos puedan comprender dos o más estratos de capa de capa 12a, 12b respectivo. Sin embargo, se debe entender que el espesor de los módulos 15 generalmente debería minimizarse y aquellos que comprenden dos estratos de capa 12a, 12b distintos proporcionan el grado más alto de flexibilidad y eficiencia durante todo el procedimiento de superposición (por ejemplo, apilamiento), tal y como se describirá con más detalle más adelante.

20 En diversas realizaciones los módulos sublaminaados 15 pueden, como se ha expuesto previamente estar preformados (por ejemplo, cosidos) y comprender al menos un primer y un segundo estrato de capa 12a, 12b. Como se puede entender adicionalmente al menos a partir de la figura 3, una ventaja adicional de tales módulos 15 es su capacidad para ser rotados (por ejemplo, volteados y/o plegados) en torno a su al menos un eje común alineado con la dirección de marcha 17 (como se ha ilustrado, el eje del segundo estrato de capa 12b, que es, a modo de ejemplo no limitativo, un eje a 0°). De esta manera, para aquellas realizaciones que buscan mantener un equilibrio, tal y como se describirá con más detalle más adelante, se pueden voltear los módulos sublaminaados 15 o como alternativa, plegarse meramente con respecto a este eje de manera que los ejes de los primeros estratos de capa 12a respectivos se orienten positivamente (+) y negativamente (-), respectivamente. Como ejemplo no limitativo en el que los primeros estratos de capa 12a están orientados a un ángulo de 25° , al plegar o rotar una lámina de sublaminaado sobre sí misma se obtendría como resultado un primer estrato de capa orientado a un ángulo de -25° , preservando de ese modo el equilibrio general de una estructura laminada 10 formada posteriormente con una configuración de [0/+25°/-25°/0], según resulte deseable para una aplicación particular.

35 Se debe entender que en algunas de estas realizaciones que tienen módulos rotados, cualquier costura de estratos de capa dentro de los módulos (como se describirá más adelante) se puede producir antes de uno cualquiera de dicho volteo o plegado de una lámina, realizándose después cualquier costura necesaria de los dos módulos rotados. Por supuesto, también debería entenderse que determinadas realizaciones podrían no requerir un equilibrio, en cuyo caso solo se pueden utilizar estratos de capa 12a orientados positivamente (+) (o, como alternativa, solo negativamente (-)). Como tal, la rotación (por ejemplo, el volteo o plegado) de los módulos sublaminaados 15 podría, al menos en estas realizaciones, ser innecesario o incluso indeseable. Es más, en otras realizaciones más, podría ser deseable para la mayoría de los módulos sublaminaados 15 permanecer no equilibrados, mientras que la estructura laminada general formada de este modo está, en conjunto, equilibrada, rotando (por ejemplo, plegando o volteando) un porcentaje determinado de los módulos, como se ha descrito previamente en el presente documento.

45 Cabe destacar que de acuerdo con estas diversas realizaciones que comprenden los módulos sublaminaados 15, los beneficios de la superposición descrita anteriormente (por ejemplo, apilamiento) se aplican de manera similar cuando se busca crear superficies ahusadas en una estructura laminada 10 formada posteriormente. Con referencia a la Figura 1, se puede ver que crear una superficie ahusada en la estructura laminada 1 de la técnica anterior, que tiene sus múltiples estratos de capa, múltiples orientaciones de estrato y una simetría por la mitad del plano, no solo implicaría tiempo y mano de obra intensiva, sino que además es extremadamente propensa a los errores. En particular, si se rebajara un estrato de capa "superior", también sería necesario rebajar un estrato de capa "inferior" para mantener la simetría; ya que si no se rebajara nada más se obtendría como resultado una estructura no equilibrada. Es más, no rebajar nada más alteraría inherentemente la composición estructural de la estructura laminada 1, influyendo potencialmente de manera adversa en las características de resistencia asociadas con la misma. Como tal, sería necesario rebajar estratos de capa adicionales, con frecuencia limitando la longitud y el grado de ahusado que se pueden obtener.

60 Otras consideraciones adicionales son también necesarias cuando se ahúsan estructuras convencionales, en particular, con respecto al orden relativo en el que se rebajan las respectivas capas, junto con la distancia que se debe mantener entre rebajes sucesivos. En contrapartida, se pueden formar superficies ahusadas en determinadas realizaciones de la estructura laminada 10 meramente rebajando sucesivos módulos sublaminaados 15, individualmente o en múltiples, según resulte deseable para una aplicación particular. Al estar homogeneizado, como se describirá mejor más adelante, los rebajes del módulo sublaminaado 15 pueden estar situados en el exterior, en el lado de la herramienta o en el interior del laminado, sin tener en cuenta la simetría. Para aquellas estructuras que tienen al menos dieciséis (16) módulos sublaminaados 15 (como se describe mejor más adelante), cada módulo se puede rebajar en etapas de 0,125 milímetros, siendo la distancia total entre rebajes sucesivos de 1,0 milímetros.

Los rebajes de ahusamiento en estas y otras realizaciones además pueden ser lineales, no lineales, uni o bidimensionales y/o con las esquinas cuadradas, contribuyendo, cada uno de ellos, al menos en parte, a una reducción del grado de desecho de capa que de otra manera se tiene convencionalmente con los rebajes de capas orientadas angularmente.

Es más, independientemente de la ubicación o del número de módulos sublaminados 15 rebajados, la composición estructural de la estructura laminada 10 sigue siendo igual por todo el proceso. Para un laminado heterogéneo como el de la Figura 1, en oposición a un laminado homogéneo (como se describirá más adelante) como el de la Figura 2, cada rebaje de capa, por ejemplo, la eliminación de la capa más externa de -45° , cambiará la composición inherente de la estructura laminada general. A medida que se rebajan las capas individuales según avanza el ahusado, el espesor del laminado y sus propiedades cambiarán. Los diseños de laminado homogéneos convencionales como el de la Figura 1, en general, evitan cambiar las características del laminado rebajando múltiples estratos de capa en una sucesión precisa sobre longitudes precisas de haces de capas, todo lo cual tiene como resultado procedimientos de ahusado muy poco óptimos. En contrapartida, cuando una estructura laminada 10 de acuerdo con diversas realizaciones, como se ilustra al menos en la Figura 2, está ahusada, cada rebaje de capa sucesivo puede producirse en cualquier ubicación, permaneciendo el resto de la estructura laminada estructuralmente invariable. En otras palabras, al menos en determinadas realizaciones, las características estructurales globales de los laminados no varían a lo largo de una longitud de capa, incluso sin los complejos procedimientos convencionalmente necesarios de ahusado.

Volviendo ahora a la Figura 4, haciendo todavía referencia a la Figura 1, se ilustra una ventaja adicional relacionada con las estructuras laminadas 10 asimétricas, en concreto la homogeneización, que entre otras cosas, facilita los procedimientos de ahusado descritos previamente. En particular, diversas realizaciones de estructuras laminadas 10, 110 de dos y tres ángulos, se ilustran en la Figura 4, sustancialmente adyacentes a las estructuras 1, 210 laminadas de la técnica anterior. Las estructuras laminadas 110 de tres ángulos, pueden configurarse sustancialmente de la misma manera que se ha descrito previamente en el presente documento con respecto a las estructuras laminadas 10 de dos ángulos, pero con la distinción de que las estructuras 110, de acuerdo con diversas realizaciones, incorporan la "configuración plegada" previamente descrita del módulo 15, para mantener el equilibrio, cuando esto resulte deseable. Sin embargo, se debe entender que en otras realizaciones adicionales, las estructuras laminadas 110 de tres ángulos se pueden configurar sustancialmente diferentes parcial o totalmente, en comparación con las estructuras 10.

Volviendo a la figura 4, a modo de ejemplo no limitativo, la comparación de la estructura 110 con respecto a la estructura 1, revela que la primera ha mejorado su homogeneización cuando se observa en conjunto. En efecto, de acuerdo con determinadas realizaciones, una alternación repetida de los estratos de capa 12a, 12b se acerca a una homogeneización completa. Desde una perspectiva práctica, una homogeneización completa significa que las características de resistencia de la estructura, entre otras propiedades, se pueden predecir, manipular y calcular con respecto a la estructura laminada en su conjunto. En contrapartida, para las estructuras heterogéneas de la técnica anterior, tales características tenían que tratarse con un planteamiento capa a capa, lo que daba como resultado, no solo errores y una falta de eficiencia, sino también un potencial compromiso de la integridad estructural, como se ha descrito previamente con respecto a los procedimientos de ahusamiento de la técnica anterior.

La realización de dos ángulos de la Figura 4, se aproxima a la homogeneización completa con tan solo treinta y dos (32) repeticiones (por ejemplo, 32 estratos de capa individuales). En estas realizaciones que comprenden módulos sublaminados 15, se puede obtener una homogeneización con tan solo dieciséis (16) módulos (de manera notable, siguen siendo 32 estratos de capa individuales). Se debe entender, sin embargo, que otras realizaciones adicionales se puede contemplar con cualquier número de repeticiones necesarias para la homogeneización, siempre que estas permanezcan relativamente finas y económicamente rentables con relación a las estructuras laminadas 1 de la técnica anterior. En este aspecto, se debe entender que diversas realizaciones de la presente invención, basadas al menos en parte en sus módulos sublaminados y en configuraciones no equilibradas de dos ángulos, logran una homogeneización completa con estructuras laminadas mucho más finas que las disponibles de otra manera en la técnica anterior debido, al menos, a las limitaciones descritas previamente.

Como se describirá con más detalle a continuación, en la parte que describe tejidos sin ondulaciones, los estratos de capa 12a, 12b, de acuerdo con diversas realizaciones, pueden formarse a partir de una variedad de materiales y de una variedad de maneras. Sin embargo, al menos en determinadas realizaciones, los estratos de capa 12a, 12b pueden tener un espesor que sea al menos inferior al de los estratos de capa de las estructuras laminadas 1 convencionales (por ejemplo, 2a, 2b, 2c, 2d), aunque tales distinciones en espesor no están ilustradas específicamente en las diversas figuras. Tal fineza de los estratos de capa 12a, 12b además permite que la estructura 110 logre una homogeneidad con las repeticiones del número de módulo y/o estrato de capa, como se ha descrito anteriormente.

A modo de ejemplo no limitativo y como se describirá con más detalle más adelante, los estratos de capa 12a, 12b pueden tener, cada uno, un espesor de aproximadamente 0,0625 milímetros, lo que además les da un peso de aproximadamente 75 g/m². Por supuesto, se pueden contemplar estratos de capa 12a, 12b más finos o espesos y/o

más pesados o ligeros en otras realizaciones adicionales, dependiendo de cualquiera de entre una variedad de consideraciones, tal como la homogeneidad, según resulte deseable para una aplicación particular.

Volviendo ahora a la Figura 5, se ilustra otra ventaja más de las estructuras laminadas 10, 110 asimétricas y, de manera más particular, de la homogeneización de las mismas. En particular, diversas realizaciones de estructuras laminadas 10, 110 de dos y tres ángulos, presentan un menor grado de tensión de flexión (por ejemplo, alabeo), debido en gran medida al curado a lo largo del tiempo, que el que presentan las estructuras laminadas 1 de la técnica anterior, como también se ha ilustrado. Como antecedentes iniciales, la estructura laminada 1 de la técnica anterior se ha denotado como $[0/\pm 45^\circ]$, la cual según las limitaciones descritas anteriormente requiere orientaciones de capa a 0° , $+45^\circ$ y -45° . La estructura laminada 110 de tres ángulos se ha denotado como $[0/\pm 25^\circ/0]$, la cual mantiene de manera similar un equilibrio de capas a $+25^\circ$ y -25° . La estructura laminada 10 de dos ángulos se ha denotado como $[0/25^\circ]$, lo que da como resultado características no equilibradas, como se ha descrito previamente en el presente documento.

El algunas de esta y otras realizaciones adicionales, el grado de tensión de flexión o alabeo, a largo plazo se aproxima a cero cuando una estructura laminada contiene un número suficiente de estratos de capa. Esta relación está además vinculada al grado de homogeneización, que se corresponde a grandes trazos con la tensión o alabeo que se aproxima a cero. Como se entiende mejor a partir de la columna de la izquierda del todo de la Figura 5, se sabe que la estructura laminada 1 de la técnica anterior presenta un alabeo mínimo con al menos 72 estratos de capa que tienen un espesor total de 4,5 milímetros. La estructura laminada 100 de tres ángulos (columna central de la Figura 5) presenta características mejoradas, logrando un alabeo mínimo con aproximadamente 64 estratos de capa que tienen un espesor total de 4,0 milímetros. En contrapartida, la estructura laminada 10, como se ilustra en la columna de la derecha del todo de la Figura 5, logra características comparables a las de los laminados de la técnica anterior y a los de tres ángulos, pero únicamente con 32 estratos de capa (o, como alternativa, 16 estratos de módulo sublaminado) y un espesor global de aproximadamente 2,0 milímetros. De este modo, un número menor de ángulos de capa y/o capas más finas en sublaminados de acuerdo con diversas realizaciones permiten la homogeneización de una estructura laminada con un espesor total menor que el que se obtenía anteriormente.

Además, considerando la homogeneización, las estructuras laminadas 1 de la técnica anterior requieren, en comparación, muchos más estratos de capa, hasta 72 capas, para eliminar sustancialmente el alabeo. Estos recuentos tan elevados de capas se deben principalmente a las limitaciones previamente descritas de simetría, equilibrio y a la norma del 10 por ciento, que requieren que tales laminados tengan módulos sublaminados de seis o más capas cada uno (por ejemplo, dos o más cada uno de 0° , $+45^\circ$ y -45°). Dado que se minimiza la tensión de flexión o el alabeo con el ejemplo de aproximadamente doce (12) módulos sublaminados, esto da como resultado las 72 capas individuales mencionadas anteriormente. La estructura laminada 10 supera las deficiencias en este sentido reduciendo el tamaño de sus módulos sublaminados 15 a dos (frente a seis) estratos de capa, lo que resulta en una tensión de flexión o alabeo mínima con tan solo 16 módulos sublaminados o 32 estratos de capa. De esta manera, la estructura laminada 10 puede, de acuerdo con diversas realizaciones, tener un espesor total inferior a la mitad de las estructuras laminadas 1 convencionales. Al menos en la realización ilustrada, los espesores relativos son de aproximadamente 2,0 milímetros y 4,5 milímetros, aunque en otras realizaciones adicionales, se pueden contemplar diversos espesores relativos. Sin tales módulos sublaminados de seis o más capas, tales espesores relativamente finos de estructura laminada son factibles en esta y en otras realizaciones adicionales, utilizando una forma de tejido sin ondulaciones, que en determinadas realizaciones a su vez se dispersa y afina aún más, mediante, por ejemplo, procedimientos mecánicos, tal y como se describirá con más detalle más adelante.

Características estructurales no equilibradas

Como se puede entender al menos a partir de la Figura 3, cada uno de la pluralidad de primeros estratos de capa 12b puede estar, de acuerdo con diversas realizaciones, orientado en dirección a la primera orientación 13 con respecto a cada uno de la pluralidad de segundos estratos de capa 12b, que se pueden orientar en dirección a la segunda orientación 14. De esta manera, las orientaciones relativas del primer y segundo estratos de capa 12a, 12b definen un ángulo de capa 19, que puede variar, como se describirá más adelante en el presente documento para obtener ciertas características estructurales deseables. Tal manipulación del ángulo de capa 19 puede, de acuerdo con diversas realizaciones, minimizar sustancialmente los riesgos a largo plazo de deflexión, rotación y deformación de materiales compuestos formados a partir de estratos sublaminados 110 formados a partir de tales estratos de capa 12a, 12b.

Volviendo un momento a la Figura 2, para este contexto, se debe entender que en las estructuras laminadas 1 convencionales, el mantener un equilibrio de estratos de capa, orientados positivamente (+) y negativamente (-) o en su lugar un número igual de ángulos capa 19 positivos y negativos, se consideraba crucial. Tales configuraciones, tal y como se conocen y entienden habitualmente en la materia, crean estructuras ortotrópicas y/o isotrópicas, cada una de las cuales presenta deformaciones de flexión y torsión inherentemente "desacopladas". Las estructuras laminadas que tiene un desacoplamiento de flexión-torsión, si bien son preferibles por sus propiedades análogas a las de los metales usados previamente (por ejemplo, el aluminio), sustancialmente no se aprovechan de la relación dinámica que existe entre los movimientos de flexión y torsión que pueden experimentar tales estructuras. La relación dinámica, con frecuencia, se denomina "acoplamiento flexión-torsión" en una variedad de aplicaciones o

“diseño aeroelástico” al menos en aplicaciones aeroespaciales y relacionadas con turbinas eólicas. En cualquiera de estas y otras realizaciones, se debe apreciar que al menos el componente de acoplamiento de cizallamiento del acoplamiento flexión-torsión, generalmente, alcanza un valor máximo en torno a un ángulo de capa de 30°.

5 A modo de ejemplo no limitativo de la torsión “no acoplada” de las estructuras laminadas convencionalmente “equilibradas”, se debe considerar la estructura laminada 1 del tipo ilustrado al menos en la Figura 1. Tal y como puede entenderse, al menos en parte, a partir de la Figura 6A, si la estructura 1 fuera objeto de una fuerza de flexión (por ejemplo, P), la estructura solo presentará un comportamiento de flexión. No se introduciría ningún ángulo de torsión (por ejemplo, comportamiento de torsión), aunque este actúa en estructuras “no equilibradas” para minimizar el grado de deflexión impuesto por la flexión por sí sola o incluso por una combinación de flexión y torsión, tal y como se describirá con más detalle más adelante. Asimismo, someter a la estructura laminada 1 a una fuerza enteramente de torsión (por ejemplo, T), como también se puede entender al menos en parte a partir de la Figura 6A, resultará solo en un comportamiento de torsión debido al “desacoplamiento” o ausencia de relación torsión-flexión que podría haber amortiguado de otro modo o al menos compensado parcialmente el cizallamiento impuesto.

15 En marcado contraste con tales configuraciones equilibradas de las estructuras laminadas 1 convencionales, la estructura laminada 110, de acuerdo con diversas realizaciones es de naturaleza intencionadamente no equilibrada para aprovecharse de la relación dinámica, mencionada anteriormente, entre los movimientos de flexión y torsión de la estructura laminada. En determinadas realizaciones, se debe entender que como alternativa, al menos los módulos sublaminados 15 (véase la Figura 3) están de este modo no equilibrados intencionadamente para lograr estas ventajas, la estructura laminada 110 puede estar equilibrada, según se desee para una aplicación particular, como se ha descrito previamente en el presente documento. Al menos en estas realizaciones no equilibradas o equilibradas, la estructura laminada 110 puede incorporar al menos un ángulo de capa 19 agudo. En determinadas realizaciones, el ángulo de capa 19 agudo puede ser aproximadamente de + o - 25°, mientras que en otras realizaciones el ángulo de capa 19 puede estar en un intervalo de aproximadamente 10° a 40° o, como alternativa, de aproximadamente 15° a 30°, según resulte deseable para una aplicación particular. Al menos en estas realizaciones no equilibradas, el ángulo de capa 19 agudo puede ser cualquiera de una variedad de ángulos de entre 0° y 90°, mientras que al menos en estas realizaciones equilibradas, el ángulo de capa agudo generalmente es inferior a 45°.

30 Volviendo de nuevo a las Figuras 6A y 6B, el acoplamiento flexión-torsión se puede entender aún mejor, o como se denomina generalmente coeficiente Z. El coeficiente Z de acuerdo con diversas realizaciones se puede definir y medir analíticamente por el cambio incremental en un ángulo de torsión con respecto a un ángulo de flexión, cada uno de los cuales puede entenderse observando las tres ilustraciones secuenciales de la Figura 6A. En efecto, a modo de ejemplo no limitativo ilustrado al menos por la ilustración de la derecha del todo de la Figura 6A, la aplicación tanto de una fuerza de flexión P como una fuerza de torsión T sobre la estructura laminada 110, puede, de acuerdo con determinadas realizaciones, resultar en un grado mínimo de deflexión, incluso de 0°, dependiendo del ángulo de capa 19 inherente y del material estructural de la estructura 110, tal y como se describirá con más detalle más adelante. En cualquiera de estas y otras realizaciones, el componente de acoplamiento de cizallamiento del acoplamiento flexión-torsión, generalmente, alcanza un valor máximo en torno a un ángulo de capa de 30°.

45 Con referencia particular a la Figura 6B, se debe entender que de acuerdo con determinadas realizaciones de la estructura laminada 110, a medida que el ángulo de capa 19 “no equilibrada” (por ejemplo, como se ha descrito previamente en el presente documento) se aproxima a un ángulo relativamente estrecho menor o igual a 25°, el efecto del coeficiente Z de acoplamiento de flexión-torsión se puede desarrollar más. En otras palabras, el grado de deflexión combinada, creada tanto por los movimientos de flexión como de torsión impuestos sobre la estructura 110 pueden manipularse para compensarse sustancialmente entre sí (por ejemplo, “anularse”), según resulte deseable para una aplicación particular. En otras realizaciones, se debe entender que podrían ser deseables unos ángulos de capa 19 alternativos y aunque todavía relativamente estrechos (por ejemplo, los ejemplos no limitativos de 10° a 40° o de 15° a 30°), aunque no implican fuerzas que se compensen completamente. Sin embargo, en determinadas realizaciones, tales ángulos de capa 19 podrían demostrar ser ventajosos al proporcionar un grado predecible y fiable de deflexión o rotación, ya que podrían ser beneficiosos para una aplicación particular.

55 Volviendo ahora a la Figura 7, a efectos de un ejemplo no limitativo, se puede observar que ciertos ángulos de capa 19 estrechos y no equilibrados minimizan el grado de deflexión 50 experimentado por la estructura laminada 110 en respuesta a las fuerzas de flexión y torsión aplicadas. Como se puede observar, a medida que el ángulo de capa 19 se aproxima a aproximadamente 25°, se minimiza la deflexión 50. La previsibilidad matemática de tal comportamiento, mediante la preselección de ángulos de capa 19 particulares podría demostrar ser crucial en determinadas aplicaciones, tales como, por ejemplo, la fabricación y construcción de estructuras laminadas 110 para su uso en aplicaciones estructurales largas y finas, tales como las palas de una turbina eólica, las palas del rotor de un helicóptero, superficies alares de un avión o similares. A modo de ejemplo no limitativo, el minimizar la deflexión puede permitir que tales palas “largas y finas” operen más cerca de las torres sobre las que se erigen, ahorrando costes materiales, obteniéndose una mayor velocidad y contribuyendo a aumentar los megavatios producidos por la turbina. A modo de otro ejemplo no limitativo, minimizar y/o variar el grado de deflexión 50 de la “punta” podría ser crucial en aplicaciones aeroespaciales y de turbinas eólicas, en donde una deflexión precisa del ala de una nave podría influir y/o alterar de manera significativa las fuerzas de sustentación, las fuerzas de resistencia al avance y/o

las cargas globales experimentadas por el ala. Podría existir cualquiera de una variedad de otras aplicaciones, incluyendo los ejemplos no limitativos de rotores u otros productos aerodinámicos.

Volviendo ahora a la Figura 8, un par de gráficos complementarios ilustran ejemplos de zonas con micro fisuras 510, 610, en una estructura laminada de material compuesto 501 convencional (análoga a la estructura 1, como la que se ha descrito previamente en el presente documento) y una estructura laminada 601 asimétrica, no equilibrada (análoga a las estructuras 10, 110, como las que se han descrito previamente en el presente documento). Los gráficos ilustran las respectivas zonas 525, 625 de fallo de la primera capa (FPF), que, tal y como se conocen y entienden habitualmente en la materia, representan el máximo grado de tensión impuesta con el que la primera de la pluralidad de capas de dentro de la estructura laminada experimenta por primera vez un episodio de fallo (por ejemplo, ruptura, deslaminación, etc.). Los gráficos además ilustran las zonas 520, 620 respectivas de fallo de la última capa (LPF), que, tal y como se conocen y entienden habitualmente en la materia, representan el grado máximo de tensión impuesta con el que la última de la pluralidad de capas de dentro de la estructura laminada experimenta un episodio de fallo.

Como se puede observar en la Figura 8, las capas de una estructura 501 convencional experimentan un fallo de la primera capa (FPF) 525 con una tensión máxima impuesta σ_1 de aproximadamente 400 MPa, mientras que el fallo de la última capa (LPF), en general, no se produce hasta que se aplica una tensión σ_1 impuesta de aproximadamente 750 MPa. Como tal, las estructuras convencionales como la 501 (véase también la 1 de la Figura 1) pueden encontrarse con un grado extensivo de micro fisuras de la matriz mientras dura cualquier imposición de fuerza entre el fallo de la primera capa y el fallo de la última capa. En contrapartida, como se puede observar con referencia a la estructura 601 laminada (análoga a las 10 y 110, tal y como se han descrito previamente), el FPF y el LPF se producen casi simultáneamente, prácticamente a 1350 MPa. De este modo, no solo mejoran mucho la integridad y la resistencia estructural de las estructuras laminadas tales como la 601, sino que el diferencial reducido y, en algunos casos eliminado, entre el FPF y el LPF minimiza significativamente las micro fisuras. Esto también se puede ver gráficamente en la Figura 8 con referencia a la diferencia en las áreas relativas de la zona 510 y la zona 610, la última de las cuales elimina esencialmente la posibilidad de micro fisuras prolongadas, mejorando de este modo la resistencia estructural. Mientras que algunos diseñadores son tolerantes con las micro fisuras y no consideran que sea un fallo del laminado de material compuesto, otros diseñadores creen que no se debería tolerar ninguna micro fisura. Con las realizaciones de la presente invención, el FPF y el LPF se vuelven casi coextensivos, eliminando así las micro fisuras y volviendo irrelevante el debate sobre si las micro fisuras son aceptables o no.

Tejido sin ondulaciones

De acuerdo con diversas realizaciones, la estructura laminada 10 se puede construir principalmente a partir de una tela sin ondulaciones (NCF, por sus siglas en inglés), de la que generalmente se conoce y entiende en la materia que proporciona un equilibrio factible entre coste, manipulación y rendimiento. El NCF es una clase de material compuesto, que está hecho con una pluralidad de estratos de capas unidireccionales, cada uno orientado de manera diferente y sustancialmente unidos entre sí por un procedimiento de costura transversal, como se ilustra, en general, al menos en la Figura 9. La costura transversal, tal y como se aplica en general, sujeta los respectivos estratos de capa entre sí, a la vez que permite un grado mínimo de libertad entre capas inmediatamente adyacentes. En contraste particular con otras diversas telas tejidas conocidas y de uso común, la costura del NCF elimina sustancialmente la ondulación del tejido de carbono (por ejemplo, convirtiéndola en una configuración sin ondulaciones), la cual reduce las propiedades mecánicas y crea una falta de eficiencia debido a malas alineaciones y similares. Aunque se ha descrito un procedimiento de costura transversal, se pueden utilizar diversos procedimientos alternativos para unir las capas individuales entre sí. A modo de ejemplos no limitativos, las capas se pueden unir entre sí mediante otras técnicas, tales como adhesión.

En diversas realizaciones que comprenden un procedimiento de costura transversal, tal y como se ha descrito previamente, se puede usar una variedad de tipos de hilo, dependiendo de la aplicación deseada. En determinadas realizaciones, podría resultar beneficioso coser el hilo con la menor cantidad de pespunte posible. En estas y otras realizaciones adicionales, el hilo puede comprender un hilo PES de 33 decitex con un calibre de pespunte E5 y un punto de cadeneta de 3,4 milímetros de longitud. En tales realizaciones, el peso de la zona de costura es de aproximadamente 2,0 g/m². En otras realizaciones, se puede usar cualquiera de una variedad de hilos a base de poliamida o de poliamida resistente a altas temperaturas. En otras realizaciones adicionales, se puede usar cualquiera de una variedad de combinaciones de calibres de pespunte, materiales de hilo y similares, según resulte deseable para una aplicación particular dentro del ámbito de la presente invención.

En diversas realizaciones de la estructura laminada 10 que incorpora NCF, los respectivos estratos de capas unidireccionales pueden comprender capas unidireccionales de fibra de carbono y capas a +25°. Como se ha descrito previamente en el presente documento, se pueden formar módulos sublaminados 15, comprendiendo cada uno, al menos en tales realizaciones, una única capa unidireccional de fibra de carbono y una única capa a +25°, facilitando de este modo una "superposición de un eje" o, como alternativa una "superposición de dos ejes" plegada para una carga normal biaxial, eliminando, cada uno, la necesidad de disponer estratos de capa fuera del eje. Como alternativa, otras realizaciones adicionales pueden estar configuradas con diversos materiales (por ejemplo, fibra de vidrio o un conductor eléctrico tal como alambre de cobre) y/o con orientaciones o ángulos relativamente estrechos

(por ejemplo, como los que se conocen y entienden habitualmente en la materia como análogos), siempre que se sigan satisfaciendo las limitaciones y parámetros descritos previamente en el presente documento. A modo de ejemplo no limitativo, en el contexto de las palas de turbinas eólicas, la estructura laminada 10 puede, incorporar capas de fibra de vidrio en lugar de capas de fibra de carbono, según resulte deseable debido a su coste u otras consideraciones, dependiendo del caso. En otras realizaciones adicionales, podría ser deseable una hibridación, que conlleve una mezcla de cualquier variedad de combinaciones de fibra de carbono, fibra de vidrio y/o un conductor eléctrico espaciado periódicamente (por ejemplo, alambre de cobre, como protección contra rayos) u otros materiales adicionales como estratos de capa.

Se debe entender, además, que de acuerdo con diversas realizaciones, los estratos de capa 12a, 12b de la estructura laminada 10 pueden formarse dispersando haces de fibra de carbono adicionales o haces análogos de cualquier material deseable, dado que se trata de una práctica común que se conoce y entiende en la materia, al menos con respecto a laminados equilibrados y simétricos. Al menos la Publicación de la Solicitud de patente de los EE. UU. n.º 2006/0093802 describe diversas prácticas de dispersión de haces y queda incorporada en su totalidad al presente documento por referencia. La dispersión de haces de esta manera permite que determinadas realizaciones de la estructura laminada 10 comprendan estratos de capa 12a, 12b extremadamente finos, cada uno con un espesor de aproximadamente 0,0625 milímetros y un peso de aproximadamente 75 g/m². En estas y otras realizaciones con estratos de capa de semejante espesor, se puede obtener una homogeneidad, tal y como se ha descrito previamente en el presente documento, con una estructura laminada 10 que tiene un espesor total de aproximadamente 2,0 milímetros. Sin embargo, se debe entender que se puede contemplar cualquiera de una variedad de espesores para cada estrato de capa y, por tanto, para cada estructura laminada, siempre que este sea generalmente inferior que y al menos más estrecho que la fibra unidireccional convencional, que tiene un espesor típico de aproximadamente 0,25 milímetros.

En más realizaciones adicionales, los estratos de capa 12a, 12b de la estructura laminada 10, independientemente del material que la conforme, pueden además variar en espesor, según resulte deseable para una aplicación particular. A modo de ejemplo no limitativo, los respectivos estratos de capa en determinadas realizaciones pueden variar entre cualquier valor de aproximadamente 0,02 milímetros a 0,08 milímetros, aunque en otras realizaciones, el espesor de la capa puede variar incluso hasta 0,12 milímetros, según resulte deseable para una aplicación particular.

Ejemplos de construcción

Las estructuras laminadas 10 de acuerdo con diversas realizaciones, tal y como se han descrito en el presente documento, se pueden usar en una variedad de aplicaciones. A modo de ejemplos no limitativos, estas pueden incluir al menos palas giratorias (por ejemplo, en una turbina eólica, el rotor de un helicóptero, etc.), superficies de aeronaves tales como alas y fuselajes y en cualquiera de una variedad de superficies aeroespaciales. En cualquiera de estas aplicaciones, no solo podría ser deseable una configuración asimétrica y/o no equilibrada, como se describe en el presente documento, sino que una hibridación adicional de las mismas podría ser útil. En otras palabras, aunque se han descrito orientaciones de 10° a aproximadamente 40° (o de aproximadamente 15° a 25° o incluso cualquier ángulo agudo inferior a 90°, según sea el caso), determinadas realizaciones pueden incorporar una o más orientaciones, dependiendo de una variedad de factores tales como el posicionamiento en una superficie.

A modo de ejemplo no limitativo, una estructura de tipo alar puede tener un recubrimiento superior e inferior con una orientación de [0/25°], con una región solapada en los bordes de ataque y/o fuga de la misma con una orientación de [0/±25°/0] (que corresponde, por ejemplo, a configuraciones de rotación del módulo sublaminado (por ejemplo, volteado o plegado), descritas previamente en el presente documento). Tales diseños en forma de "raspa de pez", como se denominan normalmente, también se pueden considerar en largueros en forma de canales o secciones con combinaciones de [0/25°] en las mallas y raspa de pez en las tapas (o viceversa), según resulte deseable para una aplicación particular. Es más, para estructuras cilíndricas como tuberías, recipientes, fuselajes, diversas realizaciones pueden comprender una orientación de capa con una configuración "±ángulo helicoidal", cuyo ángulo exacto depende del material de capa utilizado y las diversas condiciones de carga, como se describe en el presente documento.

Es más, se debe entender que las contribuciones tradicionales independientes de subestructura (por ejemplo, estratos de capa y/o módulos sublaminados) y recubrimientos para las respectivas partes de un panel rigidificado (por ejemplo, una parte de la superficie de un ala o pala), de acuerdo con varias realizaciones, puede sustituirse completamente por componentes anisotrópicos totalmente acoplados (por ejemplo, el laminado 10), como se ha descrito en el presente documento. En determinadas realizaciones, la totalidad de la estructura laminada 10 puede configurarse de manera que esté totalmente acoplada u sea anisotrópica, mientras que en otras realizaciones, los componentes individuales (por ejemplo, estratos de capa y/o módulos sublaminados 15 (por ejemplo, estratos de capa y/o módulos sublaminados 15) pueden estar configurados cada uno como totalmente acoplados y anisotrópicos, aunque la totalidad del panel rigidificado de ese modo no lo sea. Se pueden contemplar diversas combinaciones y alternativas dentro del ámbito de las diversas realizaciones descritas en el presente documento.

5 También existen diversas opciones de consolidación de una estructura laminada (por ejemplo, estratos de capa y/o módulos sublaminados), tales como las que se conocen y entienden habitualmente en la técnica. Se pueden suministrar tejidos dentro de los estratos de capa y/o los módulos sublaminados a modo de fibras secas o preimpregnadas con resina (por ejemplo, prepreg). Ejemplos no limitativos de cada uno, también tal y como se conocen y entienden habitualmente en la técnica, incluyen los ejemplos no limitativos de Moldeo por Transferencia de Resina, Moldeo por Transferencia de Resina al Vacío, Moldeo por Transferencia de Resina Asistido por Vacío y Calor, además de los Procedimientos por Autoclave e Infusión de Películas de Resina.

10 Además, aunque se han descrito previamente en el presente documento diversos procedimientos mejorados de ahusado, se debe entender que cualquiera de la variedad de procedimientos empleados, aparte de contribuir al menos en parte a mejorar la eficiencia basada en el tiempo, además reduce la cantidad de material de capa necesario para la fabricación de diversas estructuras laminadas con bordes cuadrados. Como ejemplo no limitativo, se debe considerar la estructura laminada 1 de la Figura 1, que contiene una pluralidad de capas, de las cuales al menos algunas están orientadas a +45° o - 45°. Cuando se aplican los complejos procedimientos de ahusado
15 convencionales, tales capas generalmente se rebajan individualmente, en oposición a los rebajes del módulo sublaminado mejorado descrito en el presente documento. Cuando se rebajan así, se desecha cualquier material de capa que sobresale del borde cuadrado de la ubicación del ahusado. De conformidad con los procedimientos de ahusamiento empleados con las estructuras laminadas 110, tal como la que se ilustra en la Figura 2, los rebajes de capa no son por estrato de capa individual, sino por módulo sublaminado. Y aunque tales módulos sublaminados, de acuerdo con determinadas realizaciones, implican alguna parte de capas anguladas (por ejemplo, de 10° a 40° o como alternativa a 25°), los módulos generalmente comprenden ángulos relativamente estrechos, que tienen como resultado un menor grado de desecho cuando se ahúsa una estructura laminada que tiene bordes cuadrados, en comparación con el grado de desecho que se genera convencionalmente.

25 Conclusión

Al experto en la materia a la que estas invenciones pertenecen se le ocurrirán muchas modificaciones y otras realizaciones de las invenciones expuestas en el presente documento, al haberse beneficiado de las enseñanzas presentadas en las descripciones anteriores y los dibujos correspondientes. Por lo tanto, se debe entender que las
30 invenciones no deben estar limitadas a las realizaciones específicas divulgadas y que se pretende que tanto las modificaciones como otras realizaciones estén incluidas dentro del ámbito de las reivindicaciones adjuntas. Aunque en el presente documento se emplean términos específicos, se usan únicamente en un sentido genérico y descriptivo y no a efectos de limitación.

REIVINDICACIONES

1. Un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto, comprendiendo el módulo sublaminado:

- 5 un eje longitudinal primario;
- un conjunto de capas que consisten en:
 - 10 una primera capa que comprende fibras que se extienden en una primera orientación, comprendiendo las fibras de la primera capa una pluralidad de haces dispersos que están dispuestos adyacentes entre sí en una configuración sin ondulaciones; y
 - una segunda capa que comprende fibras que se extienden en una segunda orientación, comprendiendo las fibras de la segunda capa una pluralidad de haces dispersos que yacen adyacentes entre sí en una configuración sin ondulaciones; y
 - 15 un ángulo agudo definido por el desplazamiento relativo entre la primera y la segunda orientaciones, siendo el ángulo agudo inferior a 90° y definiendo una estructura no equilibrada del módulo sublaminado,

en donde:

- 20 la primera orientación y la segunda orientación están además orientadas con respecto al eje longitudinal primario del módulo sublaminado de tal manera que un desplazamiento axial de la primera orientación con respecto al eje longitudinal primario sea diferente que un desplazamiento axial de la segunda orientación con respecto al eje longitudinal primario;
- 25 la primera capa y la segunda capa se sujetan la una con respecto a la otra mediante una pluralidad de puntadas orientadas transversalmente, configuradas para definir al menos en parte la configuración sin ondulaciones de la pluralidad de haces dispersos de las capas primera y segunda; y
- el eje longitudinal primario corresponde a la dirección de la máquina en la que se ha formado el módulo sublaminado.

30 2. Un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto, en donde el módulo sublaminado de la reivindicación 1 se ha doblado por la mitad sobre sí mismo, con respecto a un eje que se extiende en la segunda orientación, de manera que:

- 35 la primera capa forme un primer y un cuarto estrato de capa; y
- la segunda capa forme un segundo y un tercer estrato de capa,
- en donde el tercer estrato de capa comprende fibras que se extienden en la segunda orientación y el cuarto estrato de capa comprende fibras que se extienden en una tercera orientación, siendo la tercera orientación opuesta a la primera orientación con respecto a la segunda orientación.

40 3. Una estructura laminada de material compuesto, comprendiendo la estructura laminada de material compuesto: una pluralidad de módulos sublaminados de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 2.

45 4. La estructura laminada de material compuesto según la reivindicación 3, en donde la estructura comprende al menos dieciséis módulos sublaminados para formar un material compuesto homogéneo.

5. Un método de fabricación de un módulo sublaminado para su uso en la formación de un laminado de material compuesto, comprendiendo dicho método las etapas de:

- 50 dispersar un conjunto de haces que consisten en:
 - un primer haz que comprende una pluralidad de fibras para formar un primer estrato de capa; y
 - un segundo haz que comprende una pluralidad de fibras para formar un segundo estrato de capa;
- 55 posicionar la pluralidad de fibras del primer haz en una primera orientación;
- posicionar la pluralidad de fibras del segundo haz en una segunda orientación, definiendo la primera y la segunda orientaciones un ángulo agudo entre ambas, siendo el ángulo agudo inferior a 90° y definiendo una estructura no equilibrada del módulo sublaminado, en donde la primera orientación y la segunda orientación están, además, orientadas con respecto al eje longitudinal primario del módulo sublaminado de tal manera que
- 60 un desplazamiento axial de la primera orientación con respecto al eje longitudinal primario sea diferente que un desplazamiento axial de la segunda orientación con respecto al eje longitudinal primario; correspondiendo el eje longitudinal primario a la dirección de la máquina en la que se ha formado el módulo sublaminado;
- apilar el segundo estrato de capa y el primer estrato de capa adyacentes entre sí; y coser el primer estrato de capa y el segundo estrato de capa el uno con respecto al otro en una configuración sin ondulaciones.

65

6. El método según la reivindicación 5, en donde durante las etapas de posicionamiento:

la primera orientación es la dirección de la máquina; y
el ángulo agudo se encuentra dentro de un intervalo de 10° a 40° y, preferentemente de 25°.

5 7. Un método de fabricación de una estructura laminada de material compuesto, comprendiendo dicho método las etapas de:

10 formar una pluralidad de módulos sublaminados de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 5 a 6;
apilar la pluralidad de módulos sublaminados adyacentes entre sí;
sujetar los estratos respectivos de la pluralidad de estratos sublaminados el uno con respecto al otro en una configuración sustancialmente sin ondulaciones; y
15 superponer secuencialmente la pluralidad de estratos sublaminados respectivamente sujetos para formar la estructura laminada de material compuesto.

20 8. El método según la reivindicación 7, que además comprende, antes de la etapa de apilar cada uno de los módulos de la pluralidad de módulos sublaminados adyacentes entre sí, la etapa de: doblar cada uno de la pluralidad de módulos sublaminados por la mitad sobre sí mismo, con respecto a un eje que se extiende en la segunda orientación, de manera que:

25 la primera capa forme un primer y un cuarto estrato de capa; y la segunda capa forme un segundo y un tercer estrato de capa, en donde el tercer estrato de capa comprende fibras que se extienden en la segunda orientación, el cuarto estrato de capa comprende fibras que se extienden en una tercera orientación, siendo la tercera orientación opuesta a la primera orientación con respecto a la segunda orientación.

30 9. El método según la reivindicación 7, que además comprende, antes de la etapa de apilar cada uno de los módulos de la pluralidad de módulos sublaminados adyacentes entre sí, la etapa de rotar al menos un primer subconjunto de la pluralidad de módulos sublaminados 90 grados con respecto a la primera orientación.

35 10. El método según la reivindicación 7, que además comprende, después de la etapa de superponer secuencialmente la pluralidad de estratos sublaminados respectivamente sujetos para formar la estructura laminada de material compuesto, la etapa de:

rebajar secuencialmente uno o más de los módulos superpuestos respectivamente de la pluralidad de módulos sublaminados para formar una superficie ahusada en la estructura laminada de material compuesto, en donde el rebajado secuencial de uno o más módulos sublaminados no altera la composición material de la estructura laminada de material compuesto.

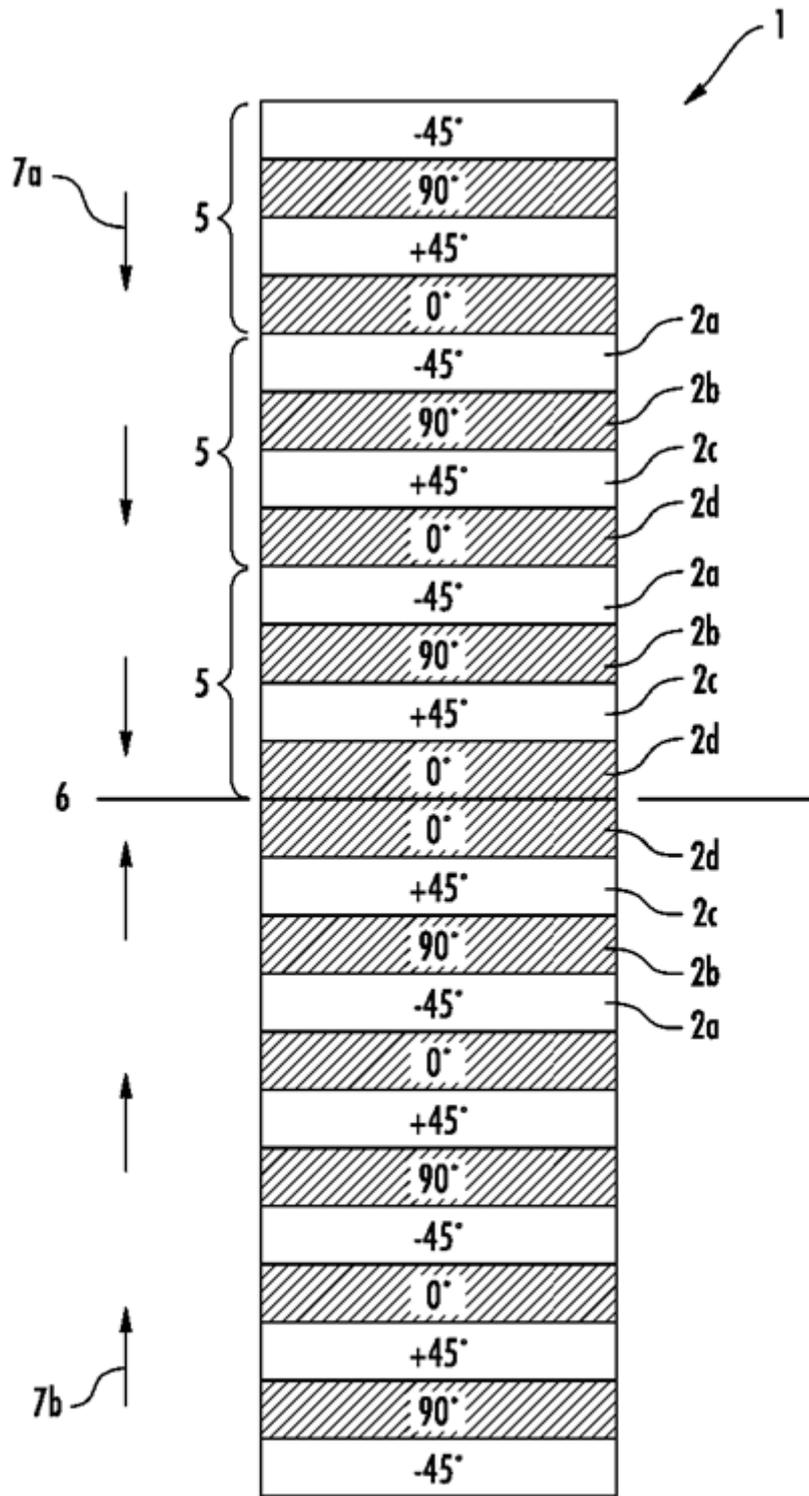


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

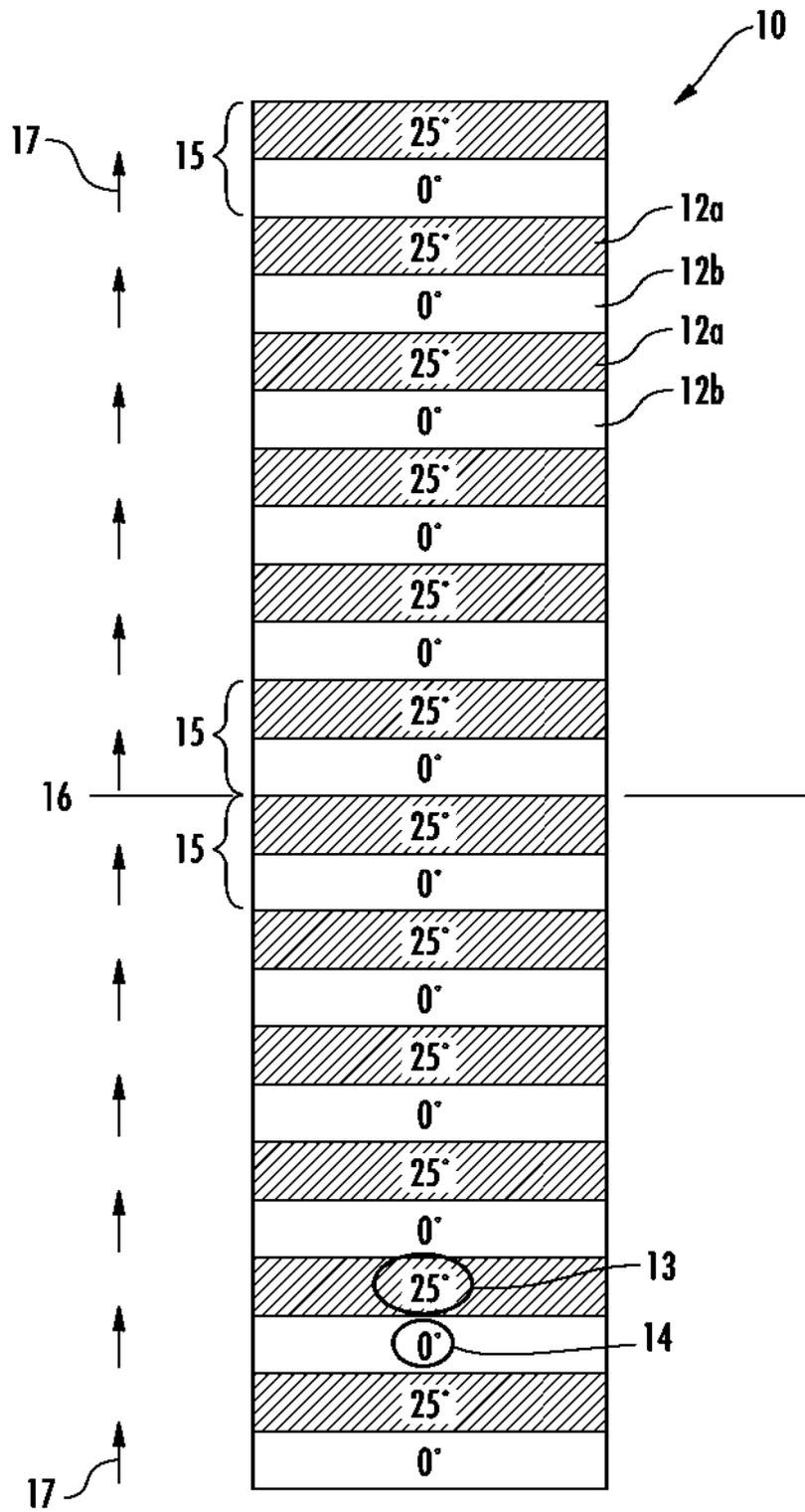


FIG. 2

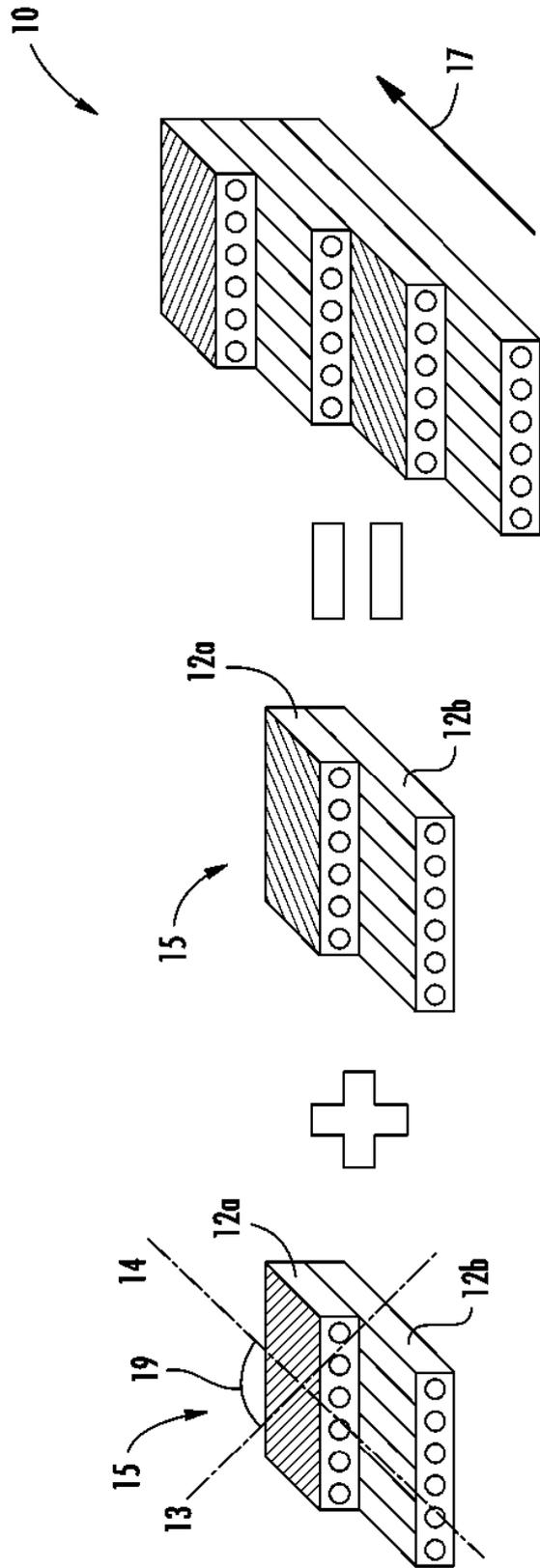


FIG. 3

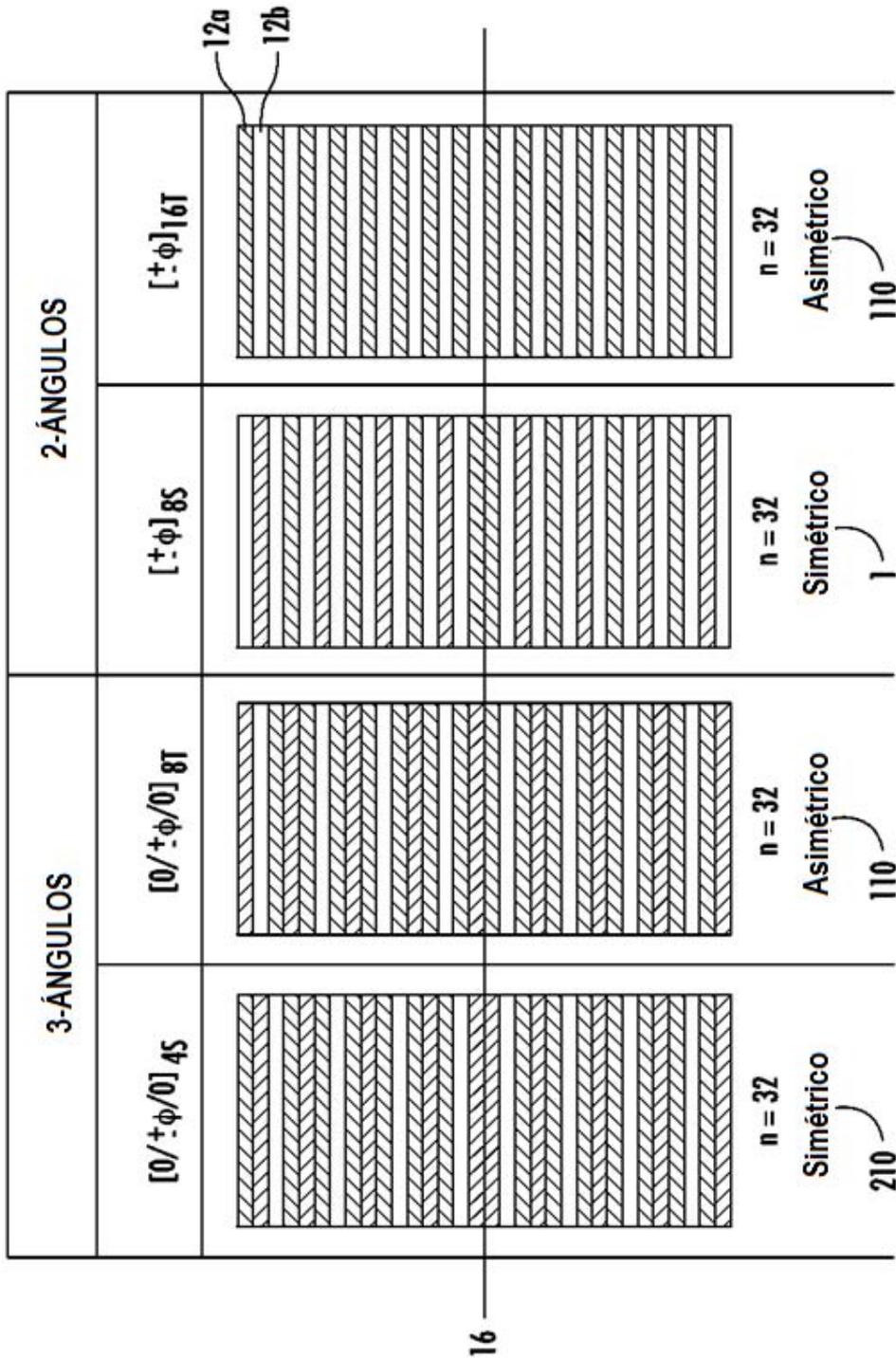


FIG. 4

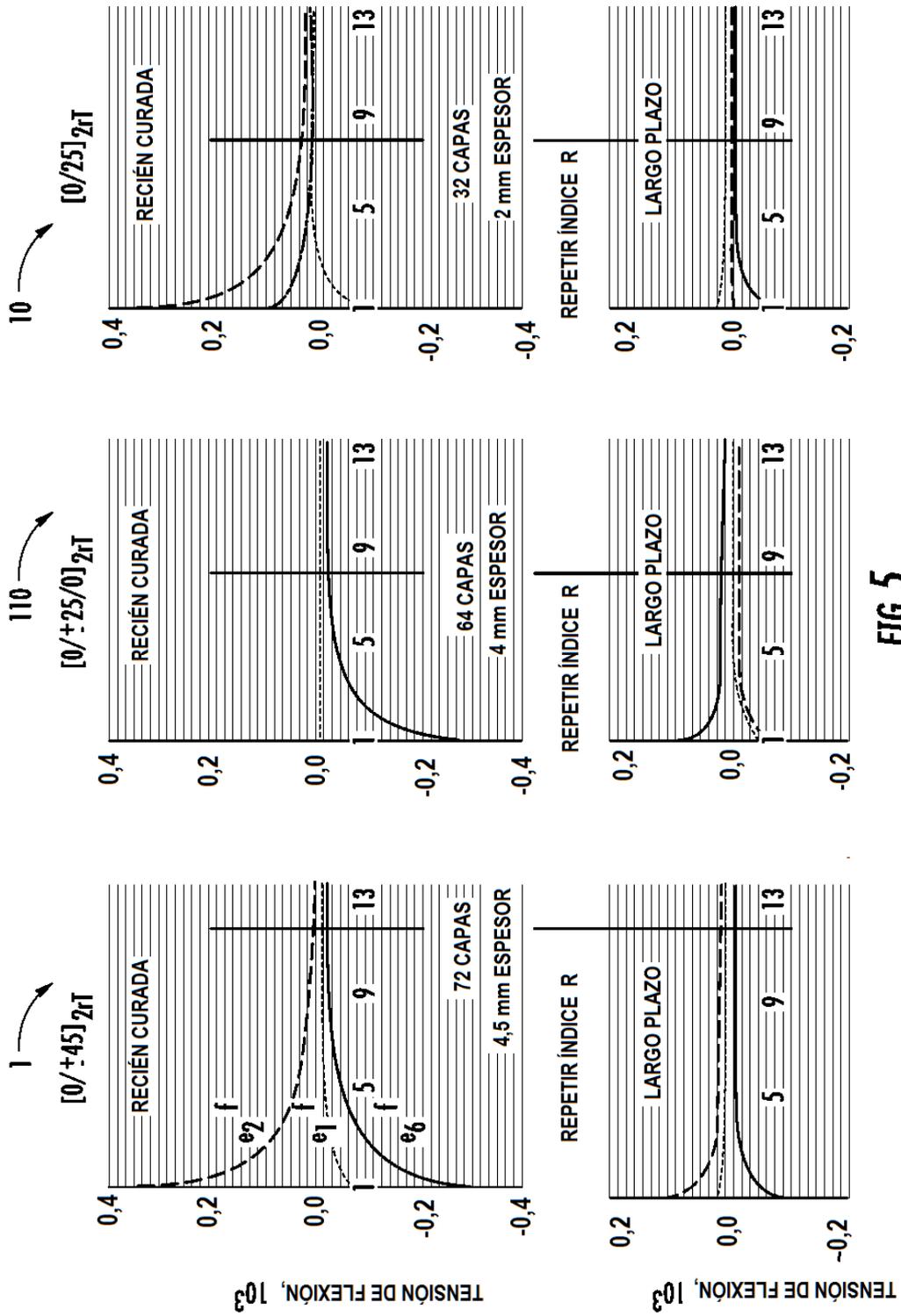


FIG. 5

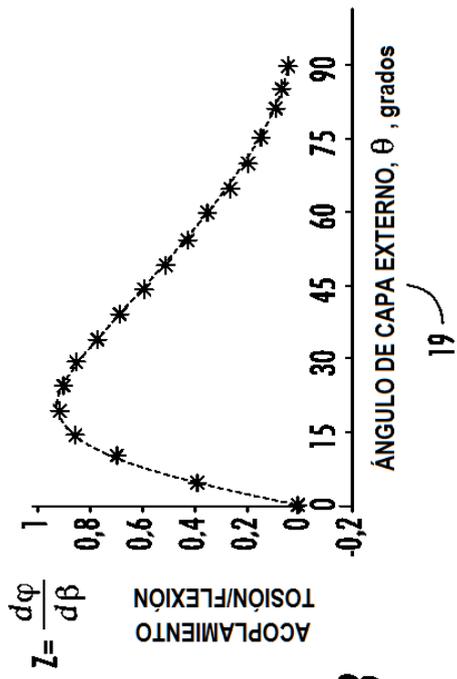


FIG. 6B

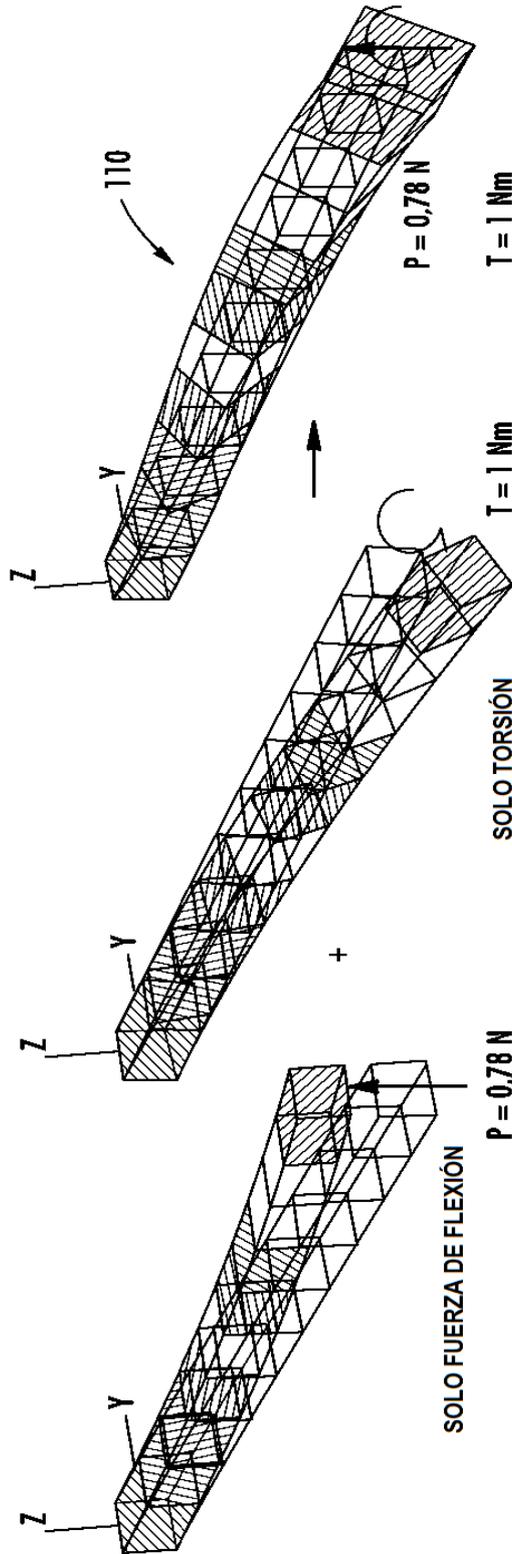


FIG. 6A

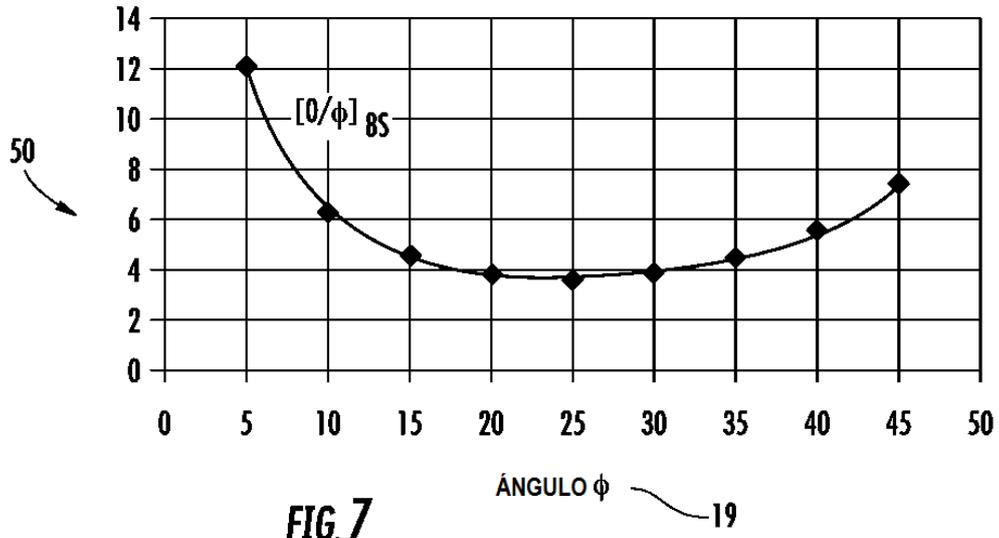


FIG. 7

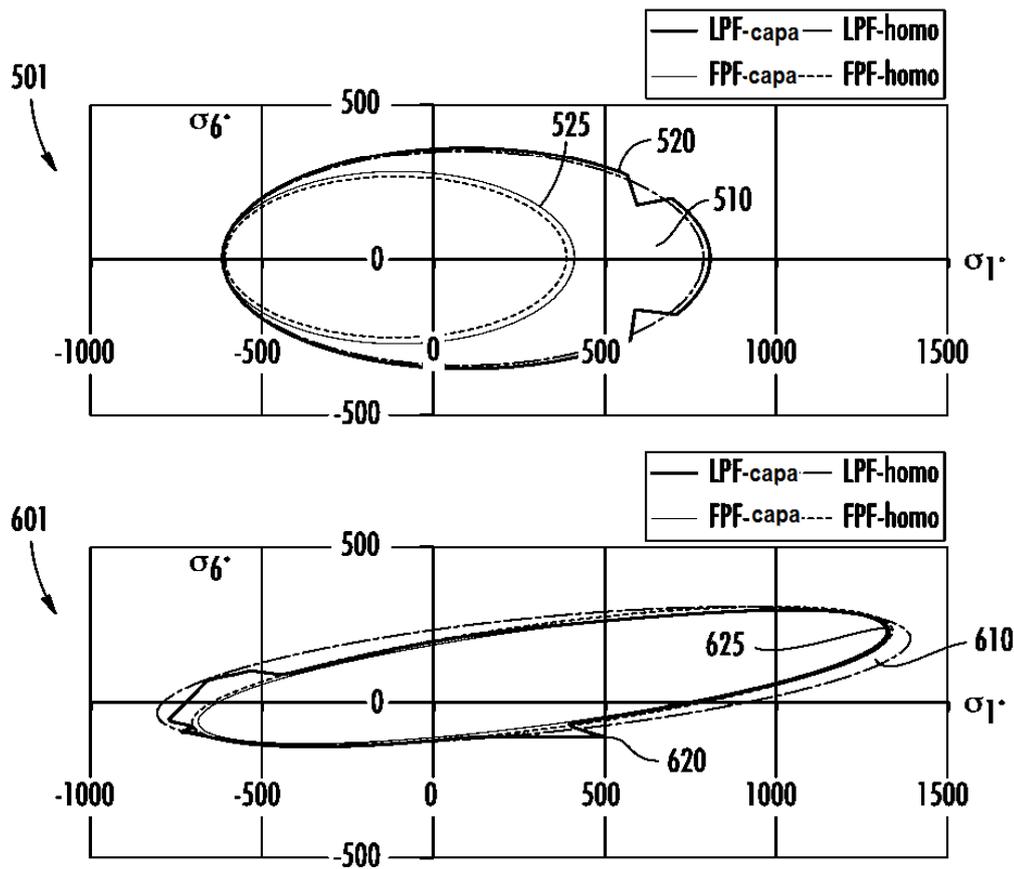


FIG. 8

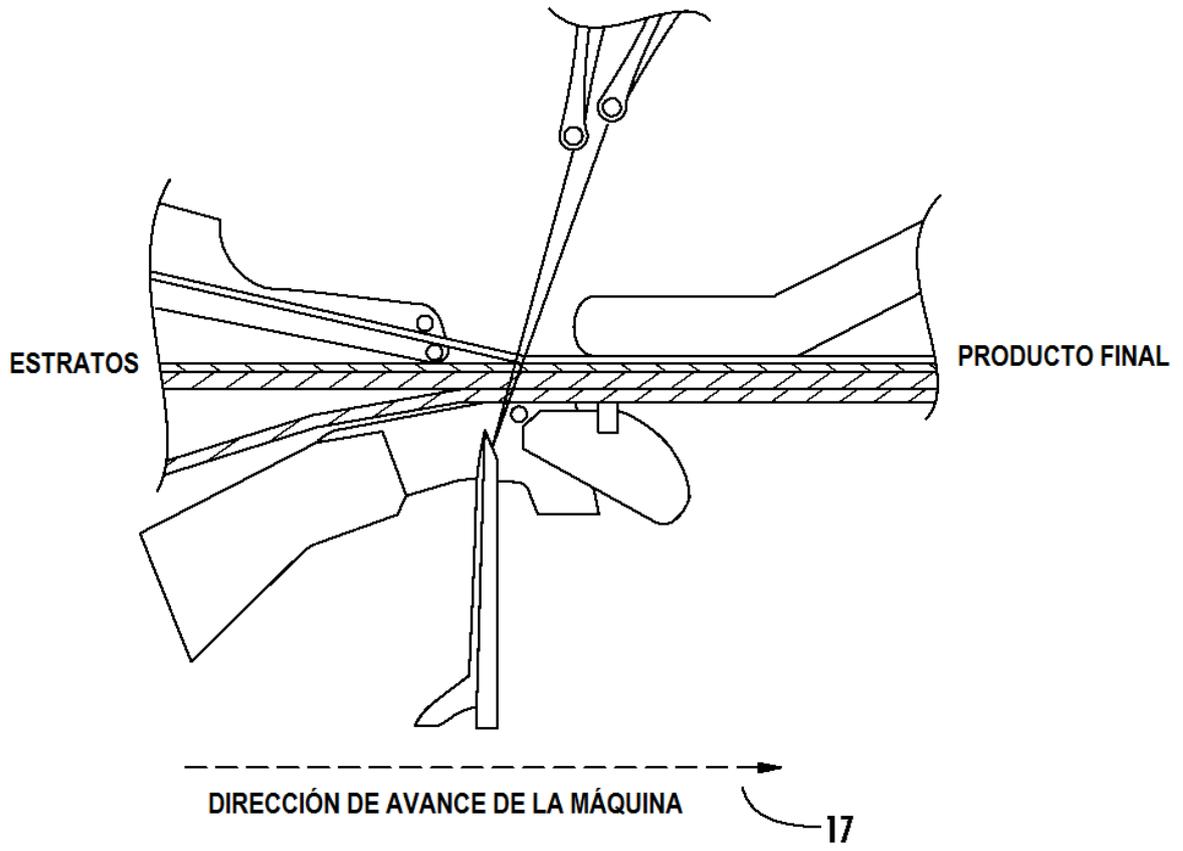


FIG. 9

