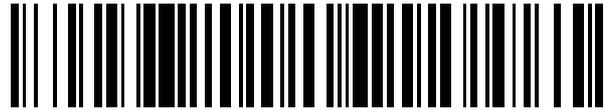


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 525 596**

51 Int. Cl.:

E04C 5/08 (2006.01)

E04G 23/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.06.2008 E 08767258 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.07.2014 EP 2171169**

54 Título: **Método para aplicar un material compuesto reforzado a un miembro estructural**

30 Prioridad:

27.06.2007 SE 0701574

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

26.12.2014

73 Titular/es:

**AL-EMRANI, MOHAMMAD (100.0%)
STUDIEGANGEN 10-209
416 81 GÖTEBORG, SE**

72 Inventor/es:

**KLIGER, ROBERT y
HAGHANI, REZA**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 525 596 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

Método para aplicar un material compuesto reforzado a un miembro estructural

5 CAMPO TÉCNICO

La presente invención se refiere a un método para aplicar un material compuesto reforzado, tal como un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) o un laminado de polímero reforzado con acero (SRP) o un compuesto de lechada reforzada con acero (SRG), a un miembro estructural, tal como una parte de un puente, edificio, vehículo o cualquier otro miembro estructural que necesite reforzarse o repararse.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

Un polímero reforzado con fibra (FRP) es un material compuesto que comprende una matriz de un polímero reforzado con fibras. Las fibras generalmente son de vidrio, carbón, aramida o fibras metálicas, tal como fibras de acero, mientras que la matriz generalmente es de epoxy, viniléster, nylon o de plástico de poliéster termoendurecible. Los FRP generalmente se organizan en una estructura laminada, de tal manera que cada lámina contenga un conjunto de fibras unidireccionales o telas de fibras tejidas embebidas en una fina capa de un material matriz de polímero ligero. Las fibras proporcionan fuerza y rigidez. La matriz une y protege las fibras de daños y transmite esfuerzos entre las fibras.

Los laminados de FRP tienen la capacidad de soportar una carga sin una excesiva deformación o fallo y debido a que responden de manera lineal y elástica a la tensión axial, es decir, cuando se libera a un laminado de FRP de la aplicación de una tensión axial volverá a su forma o longitud original. Los laminados de FRP tienen una elevada relación fuerza-peso, una elevada resistencia a la deformación por fluencia lenta, un elevado módulo de elasticidad (hasta 450 GPa por ejemplo), una elevada resistencia a la corrosión, pueden soportar entornos agresivos y realizarse con formas complicadas.

Se conoce que los beneficios de un laminado de FRP pueden aumentarse mediante el pretensado del laminado de FRP antes de unirlo a un miembro estructural. Concretamente, un laminado de FRP se pretensa y se une a un miembro estructural utilizando un adhesivo a la vez que se mantiene la fuerza de tensado. La fuerza de tensado se libera cuando el adhesivo se ha endurecido o curado. El pretensado de los laminados antes de su unión a miembros estructurales tiene diversas ventajas. Las ventajas de unir un laminado de FRP pretensado a una estructura de hormigón incluyen:

- reducir las deformaciones provocadas por cargas vivas y por tanto mejorar el rendimiento en el estado límite de servicio,
- reducir la profundidad de las grietas en la parte de tracción de la estructura y por consiguiente aumentar la durabilidad,
- proporcionar un momento negativo para cargas muertas y mayor capacidad de carga viva, y
- compensar la pérdida de pretensado en una estructura de hormigón pretensado (debida a la corrosión o al daño de los cables por ejemplo).

Las ventajas de unir un laminado de FRP a una estructura de acero incluyen mejorar la resistencia a la fatiga de la estructura de acero y prevenir la formación o propagación de grietas de fatiga en la estructura de acero.

Un problema al utilizar laminados de FRP pretensados unidos al reparar o reforzar un miembro estructural es que se pueden incrementar las elevadas tensiones de corte en los extremos del laminado de FRP en la capa de adhesivo que une el laminado de FRP al miembro estructural. Estas tensiones de corte normalmente son varias veces mayores que la resistencia de los adhesivos convencionales, tal como las resinas epoxy, que se utilizan para unir los laminados de FRP al miembro estructural. Las tensiones de corte de 100-150 MPa pueden surgir por ejemplo en los extremos de un laminado de FRP, mientras que los adhesivos convencionales pueden soportar únicamente tensiones de corte de 20-25 MPa. Las tensiones de corte pueden dar lugar al deslaminado o desunión de los laminados de FRP al miembro estructural, de tal manera que el deslaminado o desunión pueda iniciarse en los extremos del laminado de FRP y propagarse hacia el interior desde los extremos del laminado de FRP. La desunión limita la capacidad del sistema de refuerzo por debajo de su capacidad máxima de flexión y este modo de fallo puede caracterizarse por una repentina separación del laminado de FRP del miembro estructural en lugar de por la capacidad máxima de flexión de la sección transversal de la estructura reforzada.

Los anclajes mecánicos generalmente se utilizan para solucionar el problema de elevadas tensiones de corte en los extremos de los laminados de FRP. No obstante, existen diversos problemas asociados a la utilización de un sistema de anclaje mecánico. En muchos casos los anclajes mecánicos son bastante complicados, requieren mucho tiempo y son caros de fabricar, instalar e inspeccionar. Generalmente necesitan fabricarse con tolerancias dimensionales muy cercanas para el miembro estructural específico que se va a reforzar. El miembro estructural en el que se montan generalmente tiene que modificarse (puede que deba cortarse y retirarse una parte del miembro estructural y puede que deba perforarse y fijarse pernos en el miembro estructural utilizando un adhesivo o junta de

mortero, por ejemplo). Los anclajes mecánicos pueden ser susceptibles a la humedad y a la acumulación de polvo, lo que puede provocar la corrosión del sistema de anclaje. Asimismo, puede darse una corrosión galvánica cuando se utilizan los anclajes metálicos para reparar o reforzar una estructura que comprende un metal diferente. Además, la perforación de las estructuras de acero para instalar los anclajes mecánicos es inevitable. En algunos casos, cuando la intención al utilizar laminados pretensados es aumentar la resistencia a la fatiga, perforar orificios en una estructura, que normalmente se sitúan en un área con un momento elevado, podrían provocar nuevos puntos propensos a la fatiga en la estructura.

La Patente de Estados Unidos N° 6464811 desvela un método para reforzar una estructura con tiras de plástico laminado reforzado con fibras. Las tiras laminadas se pretensan con un dispositivo de tensado, se tratan con un adhesivo en un estado pretensado y luego se trasladan a la parte de la construcción que se va a tratar junto con un dispositivo de tensión. El dispositivo de tensión se fija provisionalmente a la parte de la construcción con dispositivos de fijación desplazables. A continuación, las tiras laminadas se presionan contra la construcción mediante una bolsa de aire o un tubo de aire hasta que el adhesivo se endurece. Esta patente desvela que las tiras pueden pretensarse en diferentes medidas pretensando una primera parte de la tira mediante una primera tensión y adhiriendo dicha primera parte de la tira a la estructura, y luego, una vez que el adhesivo se ha curado, pretensando la segunda parte de la tira mediante una segunda tensión y adhiriendo luego dicha segunda parte de la tira a la estructura. No obstante este método es bastante largo y complejo, especialmente si se utilizan tiras de larga longitud y si se refuerza una estructura ya existente, tal como un puente, este podría estar fuera de servicio durante un periodo de tiempo considerable.

SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es proporcionar un método mejorado para aplicar un material compuesto reforzado, tal como un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) o polímero reforzado con acero (SRP) o un compuesto de lechada reforzada con acero (SRG) (es decir, un compuesto que comprenda cables de acero formados por alambres de acero entretejidos embebidos en una matriz de resina de polímero o de lechada de cemento) a un miembro estructural, tal como al menos parte de un puente (tal como la arcada, una columna, un cable, una viga o un gancho), un edificio (tal como una pared, un pilar, un suelo o un techo), un vehículo o cualquier otra estructura monolítica o polilítica para reparar o reforzar el miembro estructural.

Este objetivo se logra mediante un método que comprende las etapas de aplicar un adhesivo curable, tal como una resina epoxy o cualquier otro adhesivo curable adecuado, a una superficie del miembro estructural y/o una superficie del material compuesto reforzado, poniendo las superficies en contacto y aplicando de manera directa o indirecta una fuerza de pretensado, P_{max} al material compuesto reforzado. La fuerza de pretensado puede aplicarse utilizando una unidad de cilindro de pistón operada de manera hidráulica o mecánica o por medio de un accionador de conexión a rosca o simplemente mediante un tornillo, por ejemplo. La fuerza de pretensado, P_{max} , a la que se somete un tramo en tratamiento, L_T , del material compuesto reforzado, se disminuye a continuación para que el material compuesto reforzado a lo largo del tramo en tratamiento, L_T , esté menos pretensado que el material compuesto reforzado adyacente al tramo en tratamiento, L_T , cuando el adhesivo se haya curado.

Este método permite que los materiales compuestos reforzados pretensados que tienen un pretensado no uniforme se utilicen para el refuerzo interno y/o externo de estructuras ya existentes o para reforzar estructuras en construcción sin tener que utilizar anclajes mecánicos permanentes y evitando así los problemas anteriormente mencionados asociados a los anclajes mecánicos permanentes. El proceso de pretensado es simple, fiable, rentable y requiere poco tiempo, lo que limita las interrupciones y los retrasos mientras tiene lugar el trabajo de reparación o refuerzo, tal como interrupciones y retrasos en el flujo de tráfico por ejemplo en un puente muy transitado, lo cual, de no ser así, presentaría un problema importante al utilizar métodos convencionales.

Pueden aplicarse fuerzas de pretensado muy elevadas (hasta 1500 MPa) al material compuesto reforzado sin concentrar tensiones de interfase a lo largo de la capa de adhesivo entre el miembro estructural y el material compuesto reforzado en los extremos del material compuesto reforzado. El miembro estructural reforzado será menos propenso a las deformaciones por deslizamiento y a los ataques medioambientales, debido al menor estado de tensión de la capa adhesiva, lo que mejora la seguridad y el rendimiento del sistema de refuerzo y aumenta su vida útil.

El análisis por elementos finitos de este método ha confirmado que la magnitud de la tensión de corte y de desprendimiento críticas en los extremos de un material compuesto reforzado pretensado puede reducirse por un factor de diez en comparación con los métodos convencionales en los que el material compuesto reforzado se adhiere a un miembro estructural en un estado pretensado uniforme. Las tensiones de corte y de desprendimiento en los extremos de un material compuesto reforzado pretensado, de hecho pueden eliminarse totalmente dejando parte del extremo del laminado sin tensar.

Deberá tenerse en cuenta que la expresión "laminado de material compuesto reforzado" pretende incluir cualquier tipo de estructura laminada, tal como una estructura de tipo lámina o tira de cualquier forma, tamaño y grosor o una estructura de tipo cable que tenga cualquier forma transversal y que comprenda cualquier tipo de fibra y matriz.

5 De acuerdo con una realización de la invención, el método comprende la etapa de disminuir la fuerza de pretensado, P_{max} , a la que se somete un tramo en tratamiento L_T , del material compuesto reforzado de manera continua o escalonada, de tal manera que el material compuesto reforzado a lo largo del tramo en tratamiento, L_T , comprenderá una pluralidad de secciones del tramo longitud, teniendo cada una un estado de pretensado diferente cuando el adhesivo se haya curado.

10 De acuerdo otra realización de la invención el tramo en tratamiento L_T del método, es un tramo en un extremo del material compuesto reforzado, es decir, el tramo en tratamiento L_T continua hasta el extremo final de un material compuesto reforzado o se acaba justo antes del extremo del material compuesto reforzado.

15 De acuerdo con otra realización de la invención, el método comprende las etapas de: afianzar al menos una parte del material compuesto reforzado (su centro o uno o ambos extremos del mismo, por ejemplo), al miembro estructural o en un dispositivo de pretensado, por ejemplo y aplicar una fuerza de pretensado al material compuesto reforzado. A continuación se proporciona un medio para dificultar/evitar que al menos un tramo de la sección del material compuesto reforzado se desplace en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado.

20 El medio para dificultar/evitar que el al menos un tramo de la sección del material compuesto reforzado se desplace en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado puede proporcionarse por medio de: la unión de al menos un saliente, tal como al menos un tope o al menos una serie de topes, al material compuesto reforzado, de tal manera que cuando se utilice una pluralidad de bloques, estos se separen a una distancia predeterminada, por ejemplo por adhesión, antes o después de que el material compuesto reforzado se haya afianzado y/o antes o después de que se haya aplicado la fuerza de pretensado. A continuación se proporciona un medio de limitación del desplazamiento para evitar que el al menos un saliente se desplace más allá de una distancia predeterminada en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado mientras se disminuye la fuerza de pretensado. El al menos un saliente puede unirse al material compuesto reforzado cerca de al menos uno de sus extremos.

30 De acuerdo con una realización de la invención, el medio de limitación del desplazamiento comprende un molde con al menos un rebaje que tiene una pared lateral, de tal manera que el al menos un rebaje esté colocado para recibir el al menos un saliente y el al menos un saliente esté colocado para desplazarse en el rebaje en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado hasta que alcanza la pared lateral, mientras se disminuye la fuerza de pretensado. De acuerdo con una realización de la invención, el molde comprende una pluralidad de rebajes, tal como de tres a diez rebajes, o de tres a diez pares de rebajes, de tal manera que la anchura de cada rebaje aumente en la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado.

40 De acuerdo con otra realización de la invención, el molde es una estructura polilítica que permite que al menos una pared lateral se pueda sujetar de manera liberable o no liberable en más de una posición a lo largo del molde. Esto significa que la anchura de los rebajes del molde puede ajustarse dependiendo del tipo de laminado y de la fuerza de pretensado utilizada en una aplicación particular. Dicho molde puede por supuesto utilizarse en un método de acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención.

45 De acuerdo con una realización alternativa de la invención, dicho medio de limitación del desplazamiento se utiliza para aplicar de manera indirecta una fuerza de pretensado al material compuesto reforzado, de tal manera que al menos una parte del medio de limitación del desplazamiento (y no el material compuesto reforzado) se afiance por ejemplo en un dispositivo de pretensado, y se aplica una fuerza de pretensado al medio de limitación del desplazamiento, de tal manera que el estado pretensado del medio de limitación del desplazamiento se transfiera por consiguiente al material compuesto reforzado.

50 La presente invención también se refiere a un método para aplicar un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) a un miembro estructural, que comprende las etapas de: someter un material compuesto reforzado a un pretensado no uniforme y adherir el material compuesto reforzado al miembro estructural en un estado pretensado, de tal manera que la fuerza de pretensado a la que se somete un tramo, L_C , del material compuesto reforzado se aumente de tal manera que el material compuesto reforzado a lo largo de ese tramo, L_C , estará más pretensado que el material compuesto reforzado a lo largo de una sección del tramo, L_T , adyacente a dicho tramo L_C cuando el adhesivo se haya curado.

60 De acuerdo con otra realización de la invención, el método comprende la etapa de aumentar la fuerza de pretensado a la que se somete un tramo, L_C , del material compuesto reforzado de manera continua o escalonada, de tal manera que el material compuesto reforzado a lo largo de dicho tramo, L_C , comprenderá una pluralidad de secciones del tramo, teniendo cada una un estado de pretensado diferente cuando el adhesivo se haya curado.

65 De acuerdo con otra realización de la invención, el tramo, L_C , es un tramo en el centro del material compuesto reforzado.

De acuerdo con otra realización más de la invención, el método comprende la etapa de: aplicar de manera indirecta una fuerza de pretensado, P_{max} al material compuesto reforzado uniendo al menos un saliente, tal como al menos un tope o al menos una serie de topes, al material compuesto reforzado, por ejemplo por adhesión. Se dispone un molde que comprende al menos un rebaje que tiene una pared lateral, de tal manera que el al menos un rebaje se coloque para recibir el al menos un saliente y la pared lateral del al menos un rebaje se coloque para ponerse en contacto con el al menos un saliente en algún momento durante la aplicación de la fuerza de pretensado, es decir, antes de que se aplique la fuerza de pretensado o mientras se esté aplicando la fuerza de pretensado, y a continuación se aplica una fuerza de pretensado al molde. La fuerza de pretensado se transfiere de esta forma al material compuesto reforzado mediante la acción de la pared o paredes laterales del al menos un rebaje del molde en el al menos un saliente.

De acuerdo con una realización de la invención, el molde comprende una pluralidad de rebajes, tal como de tres a diez rebajes, de tal manera que la anchura de cada rebaje disminuya en la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado.

La presente invención también se refiere a un método para aplicar un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) a un miembro estructural, que comprende las etapas de: someter un miembro estructural a un pretensado no uniforme a lo largo de un tramo, L_{total} , y adherir el material compuesto reforzado al miembro estructural en un estado no tensado.

De acuerdo con una realización de la invención, el miembro estructural se somete a un pretensado no uniforme a lo largo de un tramo, L_{total} , por medio de: la instalación de al menos un montante mecánico en el miembro estructural, que conecta una barra de pretensado u otro medio de pretensado, al al menos un montante mecánico, y la aplicación de una fuerza de pretensado al al menos un montante mecánico.

De acuerdo con una realización de la invención, el material compuesto reforzado es un polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP) en un laminado de tela, preimpregnado o precurado, por ejemplo. Las características favorables de los laminados de CFRP han hecho que aumente rápidamente la cantidad y calidad de materiales de CFRP que se producen y por lo tanto se prevé una reducción del coste de los materiales de CFRP.

De acuerdo con otra realización de la invención, el método comprende la etapa de curar rápidamente el adhesivo entre el material compuesto reforzado y el miembro estructural, por ejemplo calentando el adhesivo. Alternativamente, el método comprende la etapa de curar el adhesivo entre el material compuesto reforzado y el miembro estructural a temperatura ambiente.

Los métodos de acuerdo con cualquier realización de la invención se han concebido para su uso en particular, pero no exclusivo, en la industria aeroespacial, automotriz, marina y de la construcción. El método puede utilizarse para aumentar la carga de trabajo de una estructura o para alterar su forma estructural retirando elementos de soporte, tal como pilares, o reduciendo la función de soporte de dichos elementos. Puede utilizarse para reforzar elementos en riesgo debido a la tensión de fatiga, el aumento de rigidez, para compensar daños al sistema de soporte de una estructura o para renovar una construcción ya existente, o para ejercer refuerzos posteriores a la construcción en caso de cálculos o ejecuciones erróneas de una construcción en particular.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La presente invención se explicará a continuación por medio de ejemplos no limitativos con referencia a las figuras esquemáticas adjuntas en las que:

La Figura 1 muestra un miembro estructural al que se aplica un laminado de FRP utilizando un método de acuerdo con una primera realización de la invención;

La Figura 2 muestra ejemplos de dos moldes que pueden utilizarse en el método de la Figura 1;

La Figura 3 muestra un miembro estructural al que se aplica un laminado de FRP utilizando un método de acuerdo con una segunda realización de la invención;

La Figura 4 muestra un miembro estructural al que se aplica un laminado de FRP utilizando un método de acuerdo con una tercera realización de la invención; y

La Figura 5 muestra la fuerza axial y la tensión de corte en comparación con la distancia desde el extremo de un laminado de FRP.

Deberá tenerse en cuenta que los dibujos no se han dibujado a escala y que las dimensiones de ciertas características se han exagerado para una mayor claridad.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LAS REALIZACIONES

- La Figura 1 muestra un miembro estructural 10 en forma de viga que constituye parte de la arcada de un puente, por ejemplo. Se ha aplicado un laminado de FRP 12 en forma de tira laminar, tal como un laminado de CFRP precurado, al miembro estructural recubriendo una superficie del miembro estructural 10 con una capa continua o discontinua de adhesivo curable 14 y presionando el laminado de FRP 12 contra la superficie recubierta con adhesivo. El laminado de FRP 12 se aplica a la superficie inferior del miembro estructural 10 de tal manera que sus fibras estén paralelas al eje longitudinal del miembro estructural.
- A continuación se aplica una fuerza de pretensado P_{max} en cada extremo del laminado de FRP 12 utilizando un dispositivo de pretensado 16 que comprende dos unidades bloqueables situadas cerca de los extremos del laminado de FRP 12 y unidas al miembro estructural 10, por ejemplo. El grado exacto de pretensado puede medirse con galgas extensiométricas situadas en el laminado de FRP 12, o mediante un dispositivo de medición de fuerza integral, alojado en el dispositivo de pretensado 16. Dos series de topes 18 se pegan al laminado de FRP 12 a una distancia predeterminada de los extremos del laminado de FRP 12.
- La fuerza de pretensado, P_{max} , se disminuye a continuación gradualmente de manera continua o escalonada. Mientras se disminuye la fuerza de pretensado, se colocan de forma fija dos moldes 20 que comprenden una pluralidad de rebajes 22 de tal manera que eviten que los topes 18 se desplacen más allá de una distancia predeterminada en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado, P_{max} . Cada rebaje 22 del molde 20 está colocado concretamente para recibir un tope 18. Mientras se disminuye la fuerza de pretensado, los topes 18 en el lado derecho de la Figura 1 se desplazan a la izquierda hacia el centro C del laminado de FRP 12 y los topes 18 del lado izquierdo de la Figura 1 se desplazan a la derecha, hacia el centro C del laminado de FRP 12, hasta que la pared lateral 24 más cercana al centro de cada rebaje 22, evita que se siga moviendo un tope 18 correspondiente hacia el centro C del laminado de FRP 12. Un tramo en tratamiento L_T , de cada extremo del laminado de FRP 12 estará por tanto menos pretensado que la sección del laminado de FRP 12 del centro C una vez que el adhesivo 14 se haya curado.
- Tras el curado del adhesivo 14, el dispositivo de pretensado 16 se separa del miembro estructural 10 y preferentemente se retiran los moldes 20 y los topes 18. Al utilizar este método se crea una fuerza axial no uniforme a lo largo del tramo en tratamiento L_T de cada extremo del laminado de FRP 12, que disminuye en la dirección que va desde el centro C del laminado de FRP hacia sus extremos, lo que provoca una reducción significativa de la tensión de corte justo en los extremos del laminado de FRP 12.
- Un molde 20, que es adecuado para su uso en el método ilustrado en la Figura 1, se muestra en mayor detalle en la Figura 2A. El molde 20 ilustrado comprende cuatro rebajes 22a-22d de diferentes anchuras, D a D +3d, de tal manera que el molde 20, cuando está en uso, se coloca para que la anchura de cada rebaje 22a-22d aumente en la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado. El molde 20 puede situarse en el extremo derecho del laminado de FRP 12 de la Figura 1, cuando cuatro topes 18a-18d, teniendo cada uno una anchura D, se hayan pegado al laminado de FRP12. El tope 18a más cercano al centro se recibirá en el rebaje 22a más cercano al centro, que también tiene una anchura, y así se evitará que se siga moviendo hacia el centro C del laminado de FRP 12. Se evitará que el segundo tope 18b se siga moviendo hacia el centro C del laminado de FRP 12 una vez que el extremo del laminado de FRP 12 se haya movido una distancia d hacia el centro del laminado de FRP 12, etc. El laminado de FRP 12 por lo tanto se pretensará de manera escalonada a lo largo del tramo en tratamiento L_T . Deberá tenerse en cuenta que el número, la ubicación y las dimensiones de los rebajes 22a-22d a lo largo del molde 20 y el número, la ubicación y las dimensiones de los topes 18 a lo largo del laminado de FRP 12 dependerán por supuesto del perfil de pretensado que se desee obtener a lo largo del laminado de FRP 12, que a su vez depende de la aplicación particular.
- La Figura 2A muestra un molde 20 sólido que puede utilizarse para un tipo específico de laminado cuando se aplica una fuerza de pretensado específica. De manera alternativa, se puede utilizar un molde polilítico en un método de acuerdo con una realización de la invención. El molde 20 mostrado en la Figura 2B comprende bloques 18 móviles que pueden sujetarse de manera liberable o no liberable, por ejemplo mediante pernos 23, en cualquier posición por toda la longitud del molde 20. La separación 22 entre los bloques 18 puede ajustarse por tanto, dependiendo del tipo de laminado y de la fuerza de pretensado que se utilice en una aplicación particular.
- La Figura 3 muestra esquemáticamente un método alternativo para aplicar un laminado de FRP 12 a un miembro estructural 10 que es similar al método descrito en conjunción con las Figuras 1 y 2, pero en el que los extremos del molde 20 (y no los extremos del laminado de FRP 12) se afianzan en un dispositivo de pretensado 16, por ejemplo. El molde del lado derecho de la Figura 3 está situado en la dirección opuesta a la mostrada en la Figura 2, mientras que el molde del lado izquierdo de la Figura 3 está situado tal y como se muestra en la Figura 2. Se aplica una fuerza de pretensado, P_{max} , al molde 20 de tal manera que el estado pretensado del molde 20 se transfiera por consiguiente al laminado de FRP 12. A continuación, la fuerza de pretensado, P_{max} , se disminuye gradualmente de manera continua o escalonada. En esta realización de la invención, el molde 20 actúa así como medio de limitación del desplazamiento y como medio para aplicar indirectamente una fuerza de pretensado al laminado de FRP 12.

De acuerdo con una realización alternativa de la invención, un laminado de FRP 12 puede someterse a un pretensado no uniforme y adherirse al miembro estructural 10 en un estado pretensado no uniforme. Concretamente, puede utilizarse un molde 20 para aplicar una fuerza de pretensado en aumento a un tramo, L_C , del laminado de FRP 12, de tal manera que el laminado de FRP 12 a lo largo del tramo, L_C , estará más pretensado que el laminado de FRP 12 a lo largo de una sección del tramo, L_T , adyacente a dicho tramo L_C , cuando el adhesivo 14 se haya curado.

La Figura 4 muestra un miembro estructural 10 al que se aplica el laminado de FRP 12 utilizando un método de acuerdo con una tercera realización de la invención. El método comprende las etapas de someter un miembro estructural 10 a un pretensado no uniforme a lo largo de un tramo L_{total} , y adherir el laminado de FRP 12 al miembro estructural en un estado no tensado. El pretensado no uniforme del miembro estructural 10 puede llevarse a cabo instalando una pluralidad de pares de montantes mecánicos 26 en posiciones predeterminadas cerca de la superficie del miembro estructural 10, de tal manera que los dos montantes mecánicos 26 de cada par se sitúen uno en cada extremo del miembro estructural 10, y conectando entre sí los montantes mecánicos 26 con una barra de pretensado 28 u otro medio de pretensado. Por ejemplo se pueden cortar ranuras en el miembro estructural y los montantes mecánicos 26 se pueden ajustar mecánicamente y/o por adhesión dentro de cada ranura.

El pretensado en este procedimiento se lleva a cabo en diversas etapas. En la primera etapa se aplica la fuerza de pretensado total, P_{max} , al miembro estructural 10. Se aprietan dos tuercas de dos montantes mecánicos 26a de tal manera que la barra de pretensado 28 entre los dos montantes mecánicos 26a interiores se mantenga en la fuerza de pretensado total, P_{max} . A continuación se reduce la fuerza de pretensado en una cantidad predeterminada, tal como un 20 % y las dos tuercas de los montantes mecánicos 26b adyacentes se aprietan de tal manera que la barra de pretensado 28 entre esos dos montantes mecánicos 26b se mantenga a esa fuerza de pretensado reducida. Se continúa con este procedimiento hacia los extremos del miembro estructural 10. Una vez que se ha completado el procedimiento, se aplica un adhesivo curable 14 a la superficie inferior del miembro estructural 10 y a continuación se aplica un laminado de FRP 12 a esa superficie en un estado no tensado. Una vez que se ha curado el adhesivo se libera la fuerza de pretensado aflojando las tuercas de cada par de montantes mecánicos 26, comenzando con los montantes mecánicos 26 situados más cerca de los extremos del miembro estructural 10 y trabajando hacia dentro, hacia el centro C. La fuerza de pretensado se transfiere así del miembro estructural 10 al laminado de FRP 12. Aunque el miembro estructural 10 tenga que modificarse en cierta medida para instalar los montantes mecánicos 26, una ventaja de este método es que no son necesarios ni un dispositivo de pretensado ni un molde.

La Figura 5 muestra la fuerza axial y la tensión de corte en comparación con la distancia desde el extremo (0) de un laminado de FRP 12 hacia su centro antes de su tratamiento, es decir, cuando se adhiere un laminado de FRP pretensado a un miembro estructural no pretensado (véase las líneas continuas en la Figura 5), y después de su tratamiento, es decir, cuando se ha utilizado un método de acuerdo con una realización de la invención para aplicar un laminado de FRP a un miembro estructural (véanse las líneas discontinuas de la Figura 5). Utilizando un método de acuerdo con cualquiera de las realizaciones de la invención se reduce la inclinación de la curva de fuerza axial en los extremos del laminado de FRP a lo largo del tramo en tratamiento L_T . La Figura 5 muestra que el tramo en tratamiento L_T se divide en diversas etapas. La magnitud de la fuerza axial es constante en cada etapa. La acumulación de tensión de corte se evita así mediante estos intervalos de fuerza constante, es decir las etapas rompen la elevada curva de tensión de corte y la distribuyen a lo largo del tramo en tratamiento, L_T , del laminado de FRP.

Deberá tenerse en cuenta que un laminado de FRP 12 no tiene por qué aplicarse necesariamente en una orientación sustancialmente horizontal al lado inferior de una estructura, tal como un puente, sino que puede aplicarse en cualquier posición u orientación sobre una superficie interior (tal como el interior de una tubería) o una superficie exterior de una estructura en la que se necesite un refuerzo. Además, un laminado de FRP 12 no tiene por qué tener un grosor uniforme, tal como se muestra en las figuras, no tiene por qué aplicarse a una superficie plana y puede ser de cualquier forma, longitud y tamaño.

Otras modificaciones de la invención dentro del alcance de las reivindicaciones resultarán evidentes para el experto en la materia. Por ejemplo, para el experto en la materia resultaría evidente que podría aplicarse una pluralidad de laminados de FRP con sus fibras alineadas en diferentes direcciones, a un miembro estructural utilizando un método de acuerdo con una realización de la invención para proporcionar el refuerzo deseado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para aplicar un material compuesto reforzado (12), tal como un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP), tal como un polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP), o un laminado de polímero reforzado con acero (SRP) o un compuesto de lechada reforzada con acero (SRG), a un miembro estructural (10), que comprende las etapas de:
- 10 • aplicar un adhesivo curable (14) a una superficie del miembro estructural (10) y/o a una superficie del material compuesto reforzado (12) y poner dichas superficies en contacto; y
- 15 • aplicar de manera directa o indirecta una fuerza de pretensado, P_{max} al material compuesto reforzado (12), caracterizado por que el método comprende la etapa de:
- disminuir la fuerza de pretensado, P_{max} , a la que se somete un tramo en tratamiento, L_T , del material compuesto reforzado (12), de tal manera que el material compuesto reforzado (12) a lo largo del tramo en tratamiento, L_T , estará menos pretensado que el material compuesto reforzado (12) adyacente al tramo en tratamiento, L_T , cuando el adhesivo se haya curado.
- 20 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por que comprende la etapa de disminuir la fuerza de pretensado, P_{max} , a la que se somete un tramo en tratamiento, L_T , del material compuesto reforzado (12) de manera continua o escalonada, de tal manera que el material compuesto reforzado (12) a lo largo del tramo en tratamiento, L_T , preferentemente un tramo en un extremo de dicho material compuesto reforzado (12), comprenderá una pluralidad de secciones del tramo, teniendo cada una un estado de pretensado diferente cuando el adhesivo se haya curado.
- 25 3. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que comprende las etapas de:
- aplicar directamente una fuerza de pretensado al material compuesto reforzado (12); y
- proporcionar un medio para dificultar/evitar que al menos un tramo de la sección del material compuesto reforzado (12) se desplace en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado cuando se disminuye la fuerza de pretensado.
- 30 4. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado por que comprende las etapas de:
- aplicar de manera indirecta una fuerza de pretensado al material compuesto reforzado (12) aplicando la fuerza de pretensado, P_{max} , a dicho medio (20) para dificultar/evitar que al menos una sección del tramo del material compuesto reforzado (12) se desplace más allá de una distancia predeterminada en una dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado, de tal manera que el estado pretensado del medio de limitación del desplazamiento (20) se transfiera al material compuesto reforzado (12).
- 35 5. Método de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, caracterizado por que dicho medio (20) para dificultar/evitar que al menos una sección del tramo del material compuesto reforzado (12) se desplace más allá de una distancia predeterminada en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado, que se proporcionan por medio de:
- 40 • la unión de al menos un saliente (18), tal como al menos un tope o al menos una serie de topes, al material compuesto reforzado (12), preferentemente cerca de al menos uno de sus extremos, por adhesión, por ejemplo, antes o después de que se haya afianzado el material compuesto reforzado (12) y/o antes o después de que se haya aplicado la fuerza de pretensado; y
- 45 • el suministro de un medio de limitación del desplazamiento (20) para evitar que dicho al menos un saliente (18) se desplace más allá de una distancia predeterminada en dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado mientras se disminuye la fuerza de pretensado.
- 50 6. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3-5, caracterizado por que dicho medio de limitación del desplazamiento comprende un molde (20) con al menos un rebaje (22) que tiene una pared lateral (24), de tal manera que dicho al menos un rebaje (22) esté colocado para recibir dicho al menos un saliente (18) y dicho al menos un saliente (18) esté colocado para desplazarse en el rebaje (22) en una dirección opuesta a la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado hasta que alcanza dicha pared lateral (24), mientras se disminuye la fuerza de pretensado, teniendo preferentemente dicho molde (20) una pluralidad de dichos rebajes (22), tal como de tres a diez rebajes, de tal manera que la anchura de cada rebaje disminuya en la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado.
- 55 7. Método de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que dicho molde (20) es una estructura polilítica que permite que al menos una pared lateral (24) se sujete de manera liberable o no liberable en más de una posición a lo largo del molde (20).
- 60 65

8. Método para aplicar un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) (12), tal como un polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP), a un miembro estructural (10), que comprende las etapas de:

- someter un material compuesto reforzado (12) a un pretensado no uniforme aumentando la fuerza de pretensado a la que se somete un tramo, L_C , del material compuesto reforzado (12), de tal manera que el material compuesto reforzado (12) a lo largo de dicho tramo, L_C , estará más pretensado que el material compuesto reforzado (12) a lo largo de una sección del tramo, L_T , adyacente a dicho tramo, L_C , cuando el adhesivo se haya curado; y
- adherir el material compuesto reforzado (12) al miembro estructural (10) en un estado pretensado.

9. Método de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que comprende la etapa de:

- aumentar la fuerza de pretensado a la que se somete un tramo, L_C , del material compuesto reforzado (12) de manera continua o escalonada, de tal manera que el material compuesto reforzado (12) comprenderá una pluralidad de secciones del tramo, teniendo cada una un estado pretensado diferente cuando el adhesivo se haya curado.

10. Método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, caracterizado por que dicho tramo, L_C , es un tramo en el centro (C) de dicho material compuesto reforzado (12).

11. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8-10, caracterizado por que el método comprende la etapa de:

- aplicar de manera indirecta una fuerza de pretensado al material compuesto reforzado (12) uniendo al menos un saliente (18), tal como al menos un tope o al menos una serie de topes, al material compuesto reforzado (12), por ejemplo por adhesión;
- proporcionar un molde (20) que comprende al menos un rebaje (22) que tiene una pared lateral (24), de tal manera que dicho al menos un rebaje (22) esté colocado para recibir dicho al menos un saliente (18) y la pared lateral (24) de dicho al menos un rebaje (22) esté colocada para ponerse en contacto con dicho al menos un saliente (18) en alguna etapa durante la aplicación de la fuerza de pretensado; y
- aplicar una fuerza de pretensado al molde (20) de tal manera que la fuerza de pretensado se transfiera al material compuesto reforzado (12) por la acción de la pared o paredes laterales (24) de dicho al menos un rebaje (22) del molde (20) en dicho al menos un saliente (18).

12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizado por que dicho molde (20) comprende una pluralidad de rebajes (22), tal como de tres a diez rebajes, de tal manera que la anchura de cada rebaje (22) aumente en la dirección de aplicación de la fuerza de pretensado.

13. Método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 o 12, caracterizado por que dicho molde (20) es una estructura polilítica que permite que al menos una pared lateral (24) se sujete de manera liberable o no liberable en más de una posición a lo largo del molde (20).

14. Método para aplicar un laminado de polímero reforzado con fibra (FRP) (12), tal como un polímero reforzado con fibra de carbono (CFRP), a un miembro estructural (10), caracterizado por que comprende las etapas de:

- someter un miembro estructural (10) a un pretensado no uniforme a lo largo de un tramo L_{total} , y
- adherir el material compuesto reforzado (12) al miembro estructural (10) en un estado no tensado.

15. Método de acuerdo con la reivindicación 14, caracterizado por que dicho miembro estructural (10) se somete a un pretensado no uniforme a lo largo de un tramo L_{total} por medio de:

- la instalación de al menos un montante mecánico (26) en el miembro estructural (10);
- la conexión de un medio de barras de pretensado (28) a dicho al menos un montante mecánico (26); y
- la aplicación de una fuerza de pretensado a dicho al menos un montante mecánico (26).

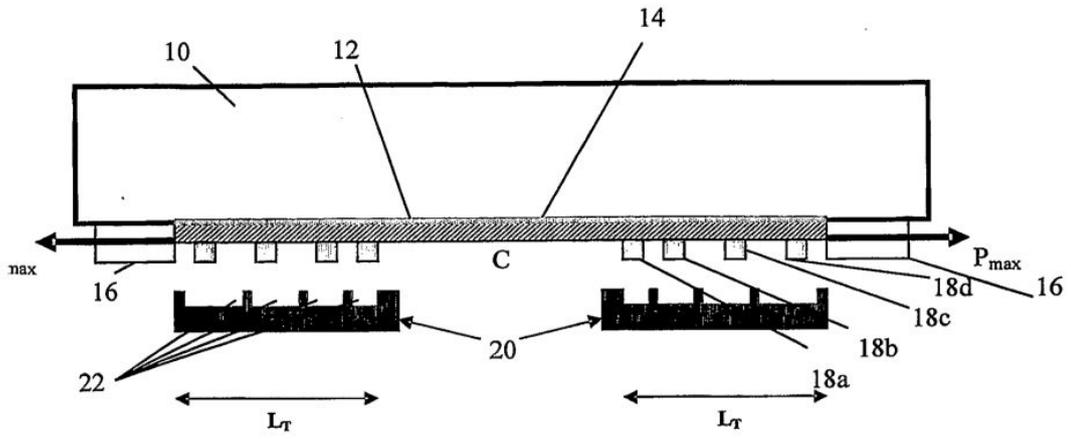


Fig. 1

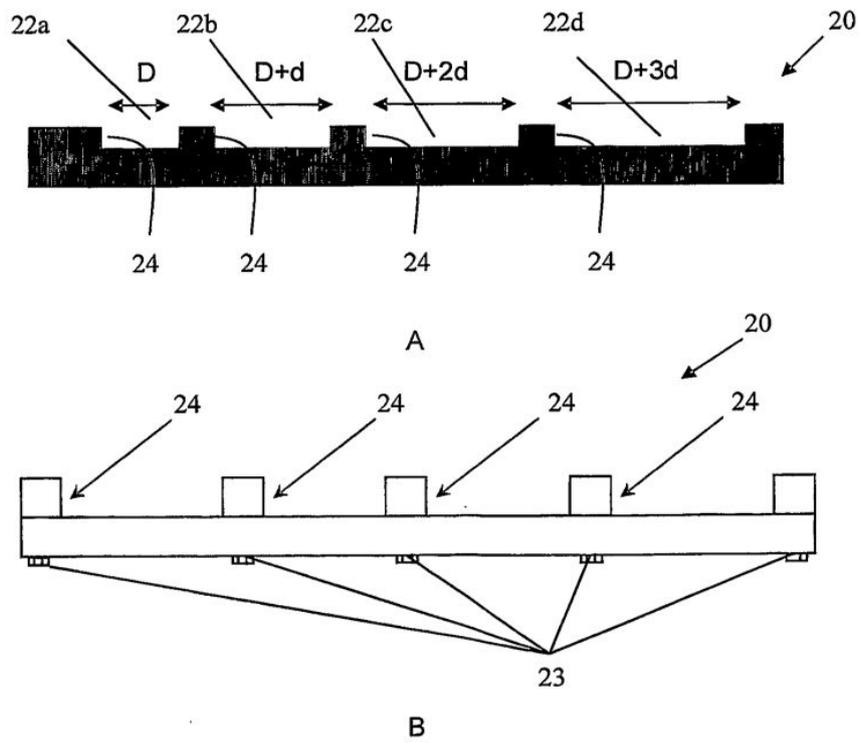


Fig. 2

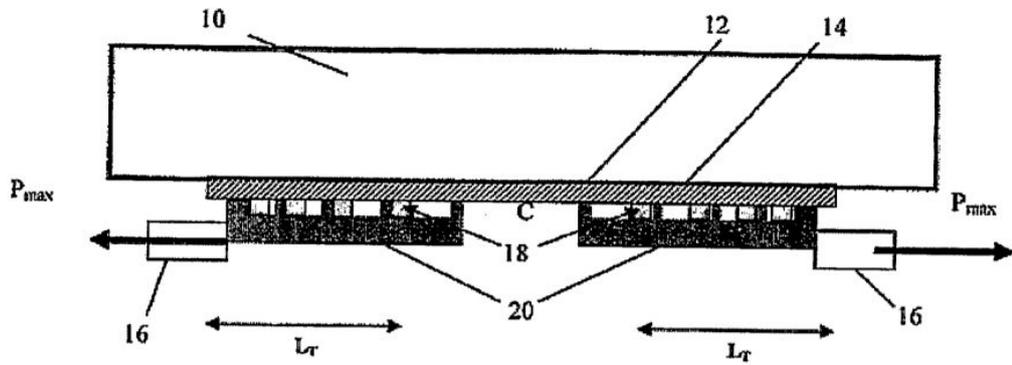


Fig. 3

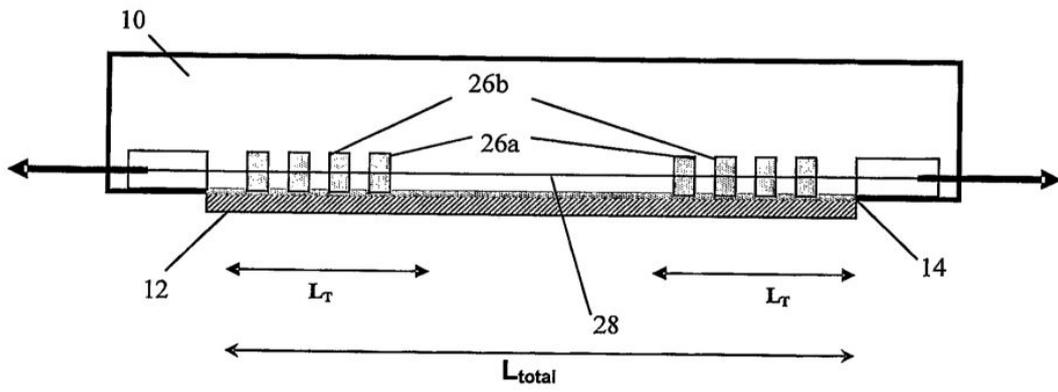


Fig. 4

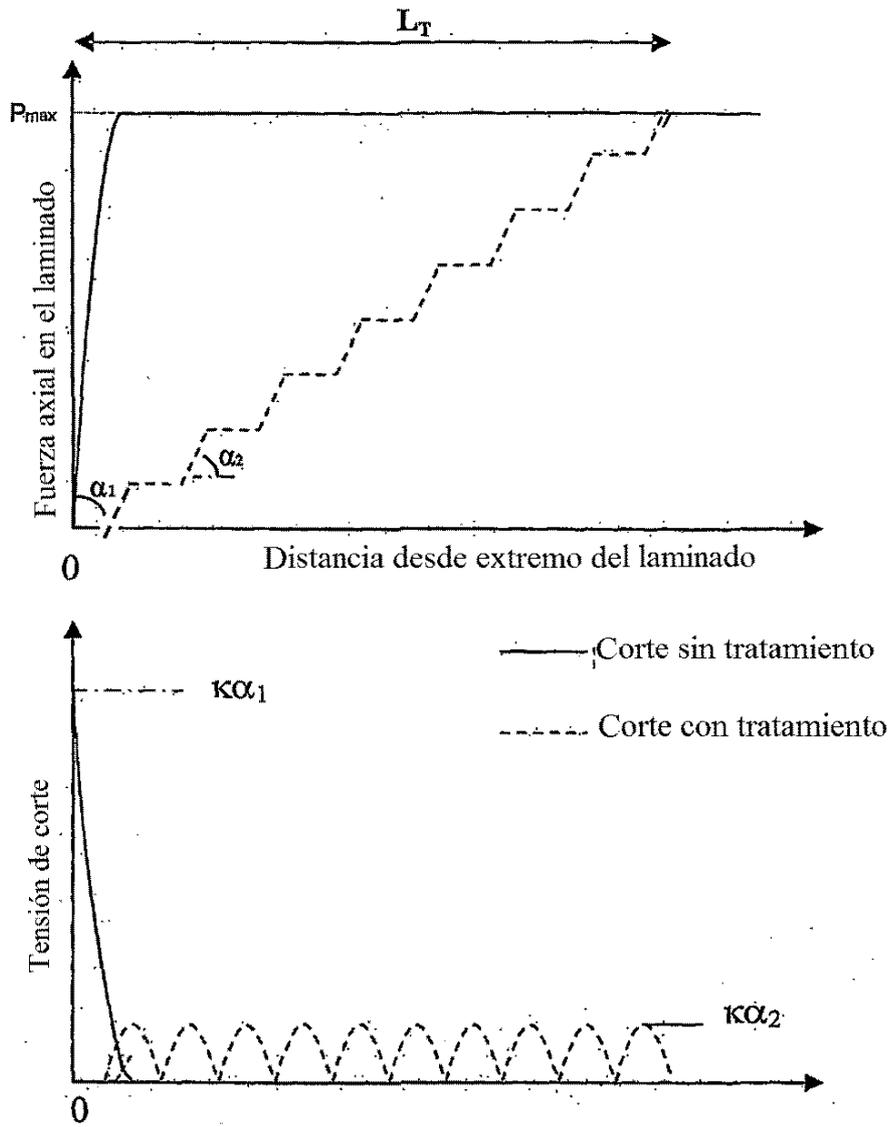


Fig. 5