

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 700 832**

51 Int. Cl.:

**F41A 21/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.12.2014 PCT/US2014/069403**

87 Fecha y número de publicación internacional: **03.09.2015 WO15130379**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.12.2014 E 14883548 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.09.2018 EP 3080543**

54 Título: **Sistema de bobinado de fibra para estructura de cañón de proyectiles compuesto**

30 Prioridad:

**09.12.2013 US 201361913825 P**

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

**19.02.2019**

73 Titular/es:

**PROOF RESEARCH, INC. (100.0%)  
10 Western Village LN  
Columbia Falls, MT 59912, US**

72 Inventor/es:

**LINCOLN, JASON E. y  
CURLISS, DAVID B.**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 700 832 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

Sistema de bobinado de fibra para estructura de cañón de proyectiles compuesto

Antecedentes de la invención

5 Los usuarios han deseado por mucho tiempo sistemas de pistolas más livianas que sean duraderas y precisas de manera fiable. Se sabe que con materiales relativamente fuertes pero livianos, como polímeros no reforzados y reforzados, fibra de vidrio continua o compuestos de fibra de carbono, se sustituyen diversas porciones de las pistolas fabricadas comúnmente de acero, aluminio u otros metales. La atención se ha centrado en los cañones de las pistolas, que constituyen un gran porcentaje del peso de una pistola. Se conoce, por ejemplo, la fabricación de un cañón de pistola que tiene un revestimiento interno, típicamente 10 una aleación de acero, rodeado por una cubierta externa compuesta de matriz de polímero reforzado con fibra de carbono continua. Con la elección adecuada de materiales y la ingeniería adecuada, esta combinación aligera la pistola al tiempo que conserva una buena resistencia y rigidez del cañón.

15 Las fibras de carbono utilizadas en la cubierta exterior pueden ser de cualquier tipo que proporcionen la rigidez, resistencia y conductividad térmica deseadas. Típicamente, para aplicaciones de cañón de pistola, se usan fibras de carbono con precursores de poliácridonitrilo ("PAN") o con precursores de alquitrán. La fibra de carbono se puede aplicar en una operación de bobinado de filamento húmedo, en donde las hebras o tiras de fibra de carbono secas se combinan con una resina en un proceso de bandeja de inmersión "húmeda", luego se bobinan alrededor del revestimiento interior y se procesan. Alternativamente, la cubierta puede fabricarse a partir de haz de fibra de carbono, cinta unidireccional o tela que previamente se haya impregnado con resina en un proceso separado ("impregnación en haz" o "preimpregnación"), o una preforma textil en la que la resina se infunde en la preforma trenzada, luego se aplica al revestimiento interior en un proceso que cura la preimpregnación en una matriz dura y térmicamente estable y, simultáneamente, une la cubierta exterior al revestimiento interior del cañón. Ya sea que se aplique mediante el bobinado de filamento húmedo, la infusión de resina en una preforma seca o la aplicación de materiales preimpregnados, la resina de matriz suele ser un epoxi entrecruzable, pero la resina puede ser un polímero como poliamida, bismaleimida, éster de cianato, polímero inorgánico, polímero termoplástico, o algún otro material como los inventores lo describieron en la solicitud de patente PCT/US14/53194 (Curliss). El aglutinante de matriz puede no ser una resina de polímero orgánico, sino un polímero inorgánico, un metal, una cerámica, alótropos de carbono o un mineral. El cañón compuesto puede entonces curarse (cuando sea relevante), terminarse y unirse a un receptor y culata. Tales compuestos reforzados con fibra de carbono pueden proporcionar un equilibrio adecuado de propiedades térmicas, propiedades mecánicas y características de procesamiento para muchas aplicaciones comunes en armas de fuego. Otras fibras conocidas por los expertos en la técnica, que incluyen fibras de vidrio continuas, fibras cerámicas continuas, fibras metálicas continuas, fibras de grafito continuas, fibras minerales continuas, fibras poliméricas continuas y/o combinaciones de las mismas, también se pueden usar como fase de refuerzo. 20 25 30 35

40 Sin embargo, tales cañones de pistola compuestos pueden plantear problemas que no se encuentran con los cañones de acero tradicionales. Primero, el compuesto debe construirse de una manera y cantidad alrededor y a lo largo del revestimiento para asegurar que el cañón no explote al disparar, para lograr una resistencia y rigidez satisfactorias en las direcciones principales (por ejemplo, axialmente y en torsión), para proporcionar una durabilidad ambiental adecuada, y para amortiguar la onda de choque que se propaga cuando se dispara el proyectil. Por ejemplo, la amortiguación de la onda de choque a través de la reflexión, la refracción y la interacción en materiales no homogéneos variará dependiendo de las propiedades del material, como el diámetro de la fibra y la orientación geométrica, y la fracción de volumen de las fibras continuas dentro de la matriz. 45

50 La mayoría de los problemas anteriores se pueden resolver con bobinados adicionales, por ejemplo, más "cubiertas en aro" circunferenciales para mejorar la resistencia al estallido y más bobinados helicoidales orientados axialmente para mejorar la resistencia a la tracción y la flexión axiales. La rigidez en torsión es un importante factor de diseño importante en cañones de calibre mediano y grande que tengan rayado. Sin embargo, agregar más capas de bobinado puede ocasionar complicaciones en la fabricación y el curado, un mayor gasto de material, más peso y un perfil de cañón más voluminoso que el deseado. La selección de fibra también puede abordar estos problemas en cierta medida. Generalmente se prefieren fibras de densidad más baja, más fuertes y más rígidas siempre que no presenten otras características indeseables, tales como una mala adhesión de resina.

55 En segundo lugar, el manejo térmico es una preocupación importante, ya que las cubiertas exteriores de compuesto de fibra continua ("CFC") más comunes son conductores relativamente pobres del calor generado por los gases calientes dentro del revestimiento. Capas adicionales de bobinados de CFC exacerbaban el problema de la eliminación de calor. Durante la operación, el cañón se calentará. En el caso de que la fase de matriz sea un polímero orgánico, si la resina curada dentro del CFC alcanza su temperatura de transición vítrea,  $T_g$ , el CFC se ablanda significativamente y la integridad mecánica del cañón compuesto se ve comprometida. A medida que el cañón se calienta a temperaturas aun más altas, 60

se produce una descomposición térmica irreversible de la matriz curada y la integridad estructural del cañón se ve comprometida aun más. El documento US 6.889.464 (Degerness) agregó un material térmicamente conductor a la mezcla de resina para mejorar la conductividad térmica y la disipación de calor. Curliss, supra, (PCT/US14/53194) reveló un nuevo método para fabricar cañones de pistola utilizando resinas que soportan temperaturas más altas, y reveló el uso de pequeñas partículas de metal como el aluminio como aditivo conductor térmico.

Un tercer problema se relaciona con las tensiones dentro del cañón que surgen de las diferencias de expansión térmica entre el compuesto y el revestimiento interior del cañón compuesto. A medida que el revestimiento interno de acero se calienta durante la operación, se expande tanto radial como longitudinalmente. Las estructuras compuestas en la técnica anterior tienen un coeficiente de expansión térmica promedio (CTE) efectivo sustancialmente más bajo en la dirección longitudinal que el acero y, por lo tanto, cuando se calientan, la cubierta externa de CFC se expande sustancialmente menos que el revestimiento de acero. Esto puede hacer aumentar o disminuir las tensiones térmicas en el cañón dependiendo del estado de las tensiones residuales térmicas del procesamiento. El punto es que a medida que la temperatura cambia en el cañón, debido a la operación o al medio ambiente, el estado de tensión residual en el cañón también cambia. Por ejemplo, el CTE de acero inoxidable de grado 416, una aleación comúnmente utilizada en los cañones de acero para pistola, es de aproximadamente 9.99 partes por millón por grado Celsius ( $9.99 \text{ ppm}/^\circ \text{C}$ , o  $9.99 \times 10^{-6}/^\circ \text{C}$ ) ( $5.55$  partes por millón por grado Fahrenheit  $-5.55 \text{ ppm}/^\circ \text{F}$ , o  $5.55 \times 10^{-6}/^\circ \text{F}$ ), mientras que el CTE efectivo promedio longitudinal para una cubierta externa de CFC típica que emplea fibra de carbono con precursores de PAN y una resina epoxi termoestable es inferior a aproximadamente  $5.4 \text{ ppm}/^\circ \text{C}$  ( $3 \text{ ppm}/^\circ \text{F}$ ). Cuando un revestimiento de acero inoxidable del tipo 416 y un CFC típico se someten a calentamiento durante el funcionamiento, la expansión desigual puede producir tensiones térmicas en la interfaz del revestimiento de CFC, lo que posiblemente cause la separación del CFC de partes del revestimiento o fracturas dentro de la cubierta del CFC. Incluso si no se produce una separación, pequeñas variaciones en el CFC o las propiedades del revestimiento metálico, o una variación geométrica, pueden promover tensiones térmicas desiguales en la interfaz entre el cañón y el CFC, lo que puede resultar en una deformación o desplazamiento no lineal del cañón de su eje original. Incluso un desplazamiento muy leve puede degradar significativamente la precisión. Además, incluso si el cañón y el revestimiento permanecen perfectamente alineados, las distintas capas de bobinados dentro del CFC pueden tener diferentes CTE, especialmente de forma longitudinal. Cuando se someten a temperaturas de operación elevadas, las diferencias en la expansión térmica de las capas de bobina adyacentes dentro de los CFC pueden resultar en altos niveles de esfuerzo de corte interlaminar e incluso de deslaminación.

El documento US 5.692.334 (Christensen) describe la eliminación de cualquier unión o adhesión entre el revestimiento interior y el CFC. Desafortunadamente, este enfoque elimina virtualmente cualquier contribución de la cubierta externa a la rigidez axial, la rigidez en torsión o el refuerzo circunferencial. El mismo inventor en el documento US 5.804.756 reconoció que el acero y la cubierta compuesta tienen diferentes CTE, pero intentó igualar la expansión térmica solo en la dirección radial. De hecho, un objeto de la patente '756 es "tener casi coeficiente de expansión térmica 0 en la dirección axial". La patente '756 enseña expresamente que reducir la expansión de CFC a cero en la dirección axial mejora la precisión. '756 patente col. 2, línea 23; columna. 6 línea 11.

El documento US 5.600.912 (Smith) enseña la compresión mecánica de la cubierta exterior compuesta de fibra de carbono longitudinalmente después de curarse para mejorar la rigidez del cañón, cuya compresión también podría ayudar a compensar una expansión térmica de CFC más baja cuando el cañón se calienta durante el funcionamiento. Sin embargo, al comprimir mecánicamente los CFC, se pueden producir daños, por ejemplo, al apretar en exceso y, en cualquier caso, la cantidad "adecuada" de compresión residual fría que se aplicará variará dependiendo de la temperatura de operación del cañón, así como de las características estructurales, como la longitud del cañón y el perfil del revestimiento. Al igual que Smith, el documento US 6.189.431 (Danner) también ejerce mecánicamente una compresión fría residual en el CFC, pero se logra mediante bridas de acero en los extremos del revestimiento que comprimen el CFC, ya que el revestimiento de acero se contrae más que el CFC durante la fase de enfriamiento del proceso de curado. Al igual que Smith, Danner no aborda el problema subyacente de los CTE no coincidentes, y parece aceptar que un revestimiento de acero tiene inherentemente un CTE más alto que un compuesto de fibra continua. Además, Danner continúa la técnica anterior de alternar abruptamente los ángulos de bobinado entre capas.

[0009] Otra disposición conocida se describe en el documento US2,847,786 (Hartley).

La producción de un cañón compuesto optimizado debe equilibrar las consideraciones de competencia. Lo que se necesita es un cañón de proyectil compuesto de fibra de carbono que emplee materiales a precios razonables, que proporcionen una resistencia y rigidez axial y en torsión superiores, al tiempo que minimiza el peso y el volumen radial, que minimiza el esfuerzo interlaminar y que no se deforma cuando se calienta debido a los CTE axiales desajustados entre el revestimiento y la cubierta exterior.

Breve resumen de la invención.

De acuerdo con un aspecto de la invención, se proporciona un cañón para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable de acuerdo con la reivindicación 1. Se describe un cañón de proyectil compuesto que comprende una novedosa cubierta exterior compuesta de fibra continua que ofrece una resistencia axial y rigidez en torsión superior, minimiza el peso y el volumen radial, y no se distorsiona cuando se calienta debido a los CTE axiales no coincidentes entre el revestimiento interior y la cubierta exterior de CFC. En una realización, la invención comprende un cañón para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable que incluye un revestimiento interior que define un orificio axial y que tiene un coeficiente de expansión térmica, y una cubierta externa de CFC que rodea a y está en contacto directo con el revestimiento interior, en donde el CTE axial promedio efectivo del CFC es aproximadamente igual al CTE axial del revestimiento interno.

5

- 10 Debe entenderse que la invención puede ponerse en práctica con cañones de proyectil de prácticamente cualquier longitud, contorno o calibre con una eficacia comparable, y en otras estructuras donde la fibra se combina con una resina y se bobina o se construye de otro modo a lo largo de un eje alargado. Por ejemplo, la invención es igualmente adecuada para cañones de pistola de cortos, pistolas deportivas de calibre pequeño y armas militares, así como cañones de armas militares de calibre medio y grande, como cañones para el Bushmaster M242 de 25 mm, o el cañón principal de diámetro uniforme M256A1 de 120 mm del tanque Abrams M1A2.
- 15

De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un método para fabricar un cañón para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable de acuerdo con la reivindicación 14.

Breve descripción de las varias vistas de las figuras

- 20 Estas y otras características y ventajas de la presente invención se apreciarán más fácilmente cuando se consideren en relación con la siguiente descripción detallada y los dibujos adjuntos, en donde:

La figura 1 ilustra un rifle equipado con un cañón compuesto;

La figura 1A es un corte de una parte del cañón compuesto que se muestra en la figura 1;

La figura 2 ilustra un sistema de bobinado de haces;

- 25 La figura 3 ilustra un sistema de bobinado impregnación en haz seco;

La figura 4 es una vista lateral que muestra una sección del revestimiento interior envuelta en un ángulo de envoltura sustancialmente constante;

La Figura 5 es un gráfico que muestra la relación entre el ángulo de envoltura de CFC, el efecto de ángulo en la rigidez axial y el efecto de ángulo en CTE axial;

- 30 La figura 6 es una vista de extremo de un cañón compuesto de ejemplo que muestra el espesor radial de las regiones compuestas; y

La Figura 7 es una sección de la ilustración recortada que muestra una realización de un cañón compuesto.

Descripción detallada de la invención

- 35 Con referencia a las figuras, en las que los números similares indican partes similares o correspondientes en las distintas vistas, la Figura 1 muestra un rifle 10 de cerrojo equipado con un receptor 12, culata, gatillo, cañón 14 y otras características familiares. En la realización mostrada, el cañón 14 se engancha de manera segura con el receptor 12 por medio de roscas 16. En funcionamiento, se inserta un cartucho de municiones en el receptor. El cartucho tiene una parte de base que contiene una carga de pólvora y proyectil descargable, es decir, una bala. Cuando un tirador tira del gatillo, un percutor golpea la base del cartucho,
- 40 enciende la carga de pólvora y hace que la bala se descargue a través del orificio 24 axial y salga de la boca del cañón 18.

- 45 Como se muestra en la Fig. 1A, el cañón 14 se compone de un revestimiento 22 interior y una cubierta 20 exterior. El revestimiento puede fabricarse de cualquier metal o material refractario comúnmente usado y conocido por ser útil para cañones de armas de fuego o una combinación de los anteriores. Un revestimiento 22 interno de aleación de acero, como el acero inoxidable AISI tipo 416, tiene buenas propiedades de mecanizado, facilitando con precisión el taladrado y las estrías a lo largo del orificio 24 axial, así como las roscas en la boca y/o los extremos de la recámara del cañón. Otras aleaciones de acero, incluyendo otras aleaciones en las clases AISI 400 y 4000, han demostrado un buen desempeño como revestimientos interiores de cañón de pistola. La cubierta 20 exterior es un compuesto de fibra continua (CFC). Para los fines de la especificación y las reivindicaciones, "CFC" significa un compuesto que comprende fibras continuas tales como fibras continuas de PAN y alquitrán, fibras continuas de vidrio, fibras cerámicas continuas, fibras metálicas continuas, fibras continuas de grafito, fibras minerales continuas, fibras poliméricas continuas, y combinaciones de los mismos; y un material aglutinante de matriz tal como un polímero orgánico, un polímero inorgánico, un metal, una cerámica, alótropos de carbono o un mineral. El
- 50 revestimiento 22 interior no necesita ser uniformemente cilíndrico. Por ejemplo, el revestimiento 22 interior
- 55

## ES 2 700 832 T3

5 puede expandirse radialmente en el extremo de la recámara para acomodar el corte de las roscas 16 para su inserción en el receptor 12, estrecharse hacia afuera en la boca 18, o incluir otras configuraciones tales como una mangueta de bloque de gas dependiendo de las características deseadas de la pistola. La cubierta 20 exterior también puede incluir características no cilíndricas o ser discontinua en la longitud del cañón 14.

10 La cubierta 20 exterior está en contacto directo con el revestimiento 22 interior en la interfaz 26. Puede ser deseable promover la adhesión o inhibir la corrosión entre el revestimiento 22 interior y la cubierta 20 externa de CFC en la interfaz 26. Para los fines de esta especificación y de las reivindicaciones, "contacto directo" significa que la superficie exterior del revestimiento 22 interior en la interfaz 26 puede incluir un tratamiento de superficie que se aplica antes de que la cubierta 20 exterior se fabrique sobre el revestimiento 22 interno. Por ejemplo, una cubierta 20 externa de CFC está en "contacto directo" con un revestimiento 22 interior de acero en la interfaz 26, incluso si la superficie del revestimiento de acero está galvanizada, anodizada o recubierta con un compuesto o mezcla química, como pintura, resina, vidrio caliente u otra sustancia.

15 La figura 2 muestra un sistema 30 de bobinado de haz simplificado útil para fabricar un cañón 14 de pistola compuesto que tiene una cubierta 20 exterior de CFC. En una realización, la cubierta 20 exterior comprende filamento continuo de fibra, o haz, 34, suministrado desde el carrete 32 de haz. En otra realización (no mostrada), la fibra podría estar en forma de tela o tejido. Las fibras de carbono son típicamente ventajosas de usar para cañones de pistola de CFC debido a su alta rigidez, alta resistencia y baja densidad. El término "fibra de carbono" se utiliza para describir genéricamente fibras de carbono y de grafito independientemente de su proceso de fabricación o de sus materiales precursores, e incluye específicamente las fibras de carbono tanto precursoras de PAN como precursoras de alquitrán. El término fibra continua, como es conocido por los expertos en la técnica, diferencia dicha fibra esencialmente sin fin de las fibras discontinuas, por ejemplo, Fibras de carbono picadas o molidas. En una realización, el haz 34 es un haz de filamento de fibra de carbono PAN de módulo intermedio, tal como HexTow IM2A disponible de Hexcel Corporation, Stamford Connecticut. IM2A tiene un módulo de 40 Msi (276 GPa). Para los fines de esta memoria descriptiva y reivindicaciones, "módulo intermedio" significa un módulo de elasticidad entre aproximadamente 38 y 46 Msi (aproximadamente 265-320 GPa). Sin embargo, el haz 34 también podría ser una fibra de carbono de alquitrán, como GRANOOC CN-60-A2S, disponible de Nippon Graphite Fiber Corporation, Tokio, Japón, o cualquier fibra adecuada para la fabricación de compuestos como Kevlar, vidrio, cuarzo, cerámica, mineral, etc. Carbono, metal, grafito o hibridaciones de fibras formadas mediante la combinación de diferentes tipos de fibras para obtener características que no se pueden obtener con una sola fibra de refuerzo.

35 El haz 34 es arrastrado desde el carrete 32 de haz bajo tensión girando el revestimiento 22 interior que funciona como un mandril. El revestimiento 22 interior se coloca entre los mandriles 47 y gira alrededor del orificio 24 axial. El revestimiento 22 interior giratorio tira del haz 34 a través de una mezcla 36 de resina, sumergiéndolo alrededor de una serie de rodillos 38 sumergidos en el baño 35 de resina, con los rodillos 38 ayudando a presionar la mezcla 36 de resina en el haz 34. Los expertos en la técnica apreciarán que existen múltiples formas de aplicar resina al haz. En otra realización (no mostrada), el haz 34 podría ser arrastrado a través de la superficie superior de un tambor giratorio semisumergido humedecido con resina.

45 El movimiento activo del haz 34 a través de la mezcla 36 de resina y alrededor de los rodillos 38 crea corrientes y turbulencias que ayudan a mantener los sólidos de resina y otras partículas en suspensión dentro de la mezcla 36 de resina. Opcionalmente, un agitador (no mostrado) colocado en el baño 35 de resina puede ser utilizado para facilitar la mezcla y viscosidad uniformes de la resina, el solvente y cualquier partícula agregada u otros materiales térmicamente conductores agregados como sólidos a la mezcla 36 de resina. El agitador puede ser una paleta mecánica accionada por un motor, un sistema de recirculación de mezcla de resina impulsado por una bomba, un agitador ultrasónico u otros medios para mantener sólidos y partículas en suspensión.

50 Después de que el filamento se impregna con la mezcla 36 de resina, el exceso de mezcla de resina se elimina del haz. El exceso de mezcla de resina puede eliminarse del haz por medio de rodillos 40 de presión que tienen un ajuste de espacio apropiado, raspadores (no mostrados), troqueles de tamaño apropiado (no mostrados) y/u otros medios conocidos en la técnica, individualmente o en combinación.

55 El haz 42 infundido en resina sale del baño 35 de resina y se extrae a través de un orificio 46 de guía de filamento controlado por la estructura 44 de guía de filamento. Opcionalmente, uno o más elementos 48 de calentamiento pueden desprenderse de los volátiles de la primera etapa presentes en la mezcla 36 de resina después de que el haz 42 infundido en resina sale del baño 35 de resina por medio de una unidad 48 de calor. Las unidades de calentamiento causan la volatilización de algunos o incluso la mayoría de los disolventes presentes en el haz 42 infundido con resina. Los elementos 48 de calentamiento pueden colocarse en cualquier lugar del recorrido del haz 42 infundido con resina, incluido el calentamiento del propio revestimiento 22 interior del mandril. Los elementos calentadores pueden ser calentadores radiantes, hornos/calentadores de tubo, calentadores de convección u otros medios para calentar el haz 42 infundido en resina, incluidos diversos tipos de elementos calefactores en combinación.

## ES 2 700 832 T3

Una vez que el exceso de la mezcla 36 de resina se retira mecánicamente y se somete opcionalmente a calentamiento, el haz 42 infundido en resina se bobina alrededor del cañón interior en el patrón helicoidal deseado y hasta el diámetro deseado. La estructura 44 de guía de filamento incluye un mecanismo para traducir lateralmente el orificio 46 de guía de filamento generalmente paralelo al orificio 24 axial, guiando así el haz 42 infundido en resina hacia adelante y hacia atrás a lo largo del revestimiento 22 interior giratorio, de modo que el haz 42 infundido en resina se aplica al revestimiento interior en forma de un patrón helicoidal sinuoso. El propio orificio 46 de guía de filamento también puede girar o desplazarse en relación con la estructura 44 de guía de filamento.

Se apreciará que si el revestimiento 22 interior gira a una velocidad constante, el movimiento lateral más rápido de la estructura 44 de guía de filamento dará como resultado un patrón de bobinado helicoidal del haz 42 infundido con resina caracterizado por ángulos de bobinado más pequeños en relación con el orificio 24 axial. Una velocidad lateral activa, el ángulo de bobinado helicoidal del haz infundido con resina será pequeño, casi longitudinal en relación con el orificio 24 axial. A la inversa, un movimiento lateral más lento de la estructura 44 de guía de filamento dará como resultado ángulos de bobinado helicoidales más grandes con respecto al orificio 24 axial. A velocidades laterales muy lentas, los ángulos de bobinado de haz 42 infundido en resina pueden ser aros casi circunferenciales, casi 90 grados. Para los fines de las reivindicaciones y esta especificación, tales aros casi circunferenciales son, sin embargo, "helicoidales". El sistema 30 de bobinado de haz puede ser controlado por un procesador de ordenador, de modo que la velocidad de rotación del revestimiento 22 interior, el movimiento lateral de la estructura 44 de guía de filamento, los movimientos del orificio 46 de guía de filamento, la tensión aplicada al haz 34 y otros aspectos pueden ser programados por un usuario para producir patrones deseados y secuencias de ángulos de bobinado, número de capas y profundidades de las capas. Tales sistemas están disponibles en, por ejemplo, McLean Anderson, 300 Ross Avenue, Schofield, Wisconsin 54476.

La mezcla 36 de resina puede comprender una variedad de resinas termoestables o termoplásticas, que incluyen, pero no se limitan a, resinas epoxi, bismaleimida, fenólicas y poliimidas. En una realización, la mezcla 36 de resina comprende una resina epoxi termoestable. En otra realización, la mezcla 36 de resina comprende una resina de poliimida termoestable de tipo reactivo de monómero polimerizable (PMR). La mezcla 36 de resina se puede calentar o solvatar para reducir la viscosidad y asegurar una impregnación satisfactoria del haz 34. El baño 35 de resina se puede configurar para calentar la mezcla 36 de resina usando técnicas conocidas por los expertos en la técnica, como hacer circular un fluido caliente, como agua, a través de una camisa que rodea el baño 35 de resina, o aplicando elementos de calentamiento al fondo o los lados del baño 35 de resina, o mediante un serpentín de calentamiento sumergido en la mezcla 36 de resina. Se pueden utilizar muchos disolventes para hacer que la resina sea menos viscosa, incluidos alcoholes como metanol o etanol, disolventes apróticos y mezclas de los mismos. La resina de poliimida termoestable de tipo PMR incluirá típicamente un correactivo de alcohol que actúa como un disolvente. Un solvente que tiene un punto de ebullición más bajo (es decir, una mayor volatilidad) es generalmente más deseable porque se puede evaporar más fácilmente del haz 42 infundido en resina con unidades de calentamiento como una unidad 48 de calor.

Volviendo a la composición de la fibra de carbono, el haz 34 está compuesto por hebras de fibra de carbono que se recogen preferiblemente en un haz plano. En una realización, las hebras de fibra de carbono individuales son fibras de carbono con precursores PAN, cada una con un diámetro de aproximadamente 7  $\mu\text{m}$  (micras), y cada haz 34 comprende aproximadamente 12000 hebras de fibra de carbono individuales. En una realización, el haz 34 es un filamento de fibra de carbono Hextow IM2A disponible de Hexcel Corporation. IM2A es una fibra de carbono PAN de grado aeroespacial que tiene un módulo de elasticidad intermedio. Esta fibra de carbono PAN exhibe buena resistencia y rigidez, buena conductividad térmica, pero su costo es asequible para fines de fabricación comercial.

Debe entenderse que la cubierta 20 exterior completa podría comprender más de un tipo de fibra de carbono. Se podría bobinar simultáneamente una pluralidad de haces que tienen características diferentes, por ejemplo, dos hilos de haces de fibra de carbono que tienen características complementarias, como PAN y alquitrán, o que el tipo de fibra en el haz 34 podría cambiarse mientras se bobina la cubierta 20 exterior, tal como utilizando fibra PAN para aros y luego cambiando a haces de fibra de alquitrán para algunos o todos los bobinados orientados longitudinalmente, sin alterar el significado pretendido de la invención reivindicada. De manera similar, aunque el método de fabricación citado en las reivindicaciones cita "el haz de fibra", se pretende que se pueda usar una pluralidad de haces dentro de la cubierta 20 exterior sin apartarse del alcance de la invención reivindicada, por ejemplo, utilizar un tipo de fibra diferente, dependiendo de la región, o combinar una pluralidad de haces.

Para aumentar la resistencia al estallido del cañón, se sabe que es ventajoso bobinar haces 34 circunferencialmente alrededor del revestimiento 22 interior en aros helicoidales, por ejemplo,  $\pm 85^\circ$  (más o menos aproximadamente  $5^\circ$ ) con respecto al eje longitudinal del cañón. Para la resistencia axial y la rigidez, para minimizar la flexión del cañón 14 debido a las ondas de choque que surgen de la descarga de una bala, por ejemplo, es preferible tener más cubiertas helicoidales longitudinales, por ejemplo,  $\pm 25^\circ$  (nuevamente, más o menos aproximadamente  $5^\circ$ ) medido en relación con el eje longitudinal del cañón 14. Para promover la máxima rigidez axial con el menor número de haces, es preferible ubicar las cubiertas

helicoidales longitudinales en o cerca de la región exterior de la cubierta 20 exterior. Sin embargo, la superficie de la cubierta 20 exterior puede ser más duradera al desgaste, si la región exterior de la cubierta 20 exterior está envuelta en un ángulo menos agudo, por ejemplo 45 °.

5 A menos que el contexto indique lo contrario, la referencia en la especificación y las reivindicaciones a "ángulo de bobinado" o "ángulo de envoltura" incluye los ángulos de fibra medidos positivos y negativos en  
relación con el eje longitudinal del cañón. Esto se ilustra en la Figura 4, que muestra una sección del  
revestimiento 22 interior en la etapa inicial de envolverse con el haz 34. (En la práctica, el haz 34 tiene un  
perfil ancho y plano. Su perfil está "engordado" en la Figura 4 para ilustrar mejor la colocación del haz.) El  
10 haz 34 está bobinado helicoidalmente alrededor del revestimiento 22 interior cuando la guía del filamento  
44 se traslada lateralmente con respecto al revestimiento 22 interior giratorio. El primer paso lateral (de  
izquierda a derecha) bobina un primer segmento de haz 64. Cuando la guía del filamento completa su  
trasladar y llegar al final del revestimiento 22 interior, invierte y bobina helicoidalmente el haz en dirección  
opuesta, colocando el segundo segmento de haz 65. El siguiente paso bobina el tercer segmento de haz  
15 66, y el siguiente paso bobina el cuarto segmento 67 de haz. El ángulo de bobinado para los cuatro  
segmentos en la Figura 4 es el mismo, aunque los ángulos alternan entre positivo y negativo con cada paso,  
medidos en relación con el orificio 24 axial. Para los fines de las reivindicaciones y especificaciones, el  
ángulo  $\theta$  que se muestra en la Figura 4 con respecto al primer segmento de haz 64 es el "mismo ángulo de  
bobinado" que  $\theta'$  que se muestra en la Figura 4 con respecto al cuarto segmento 67 de haz. En otras  
20 palabras, el ángulo de bobinado que se muestra en la Figura 4 es constante. La referencia en la  
especificación y las reivindicaciones a "helicoidal" significa sustancialmente helicoidal, por ejemplo, las  
porciones del revestimiento 22 interior pueden no ser estrictamente cilíndricas.

Como se señaló, la rigidez axial varía con el ángulo de bobinado del haz 34. La figura 5 muestra los números  
de rigidez calculados según la teoría clásica de laminados, suponiendo una fibra de carbono PAN de módulo  
intermedio a una fracción de volumen de fibra del 60% en un compuesto de matriz de resina polimérica.  
25 Los primeros datos en la tabla muestran el efecto del ángulo de envoltura sobre la rigidez de la cubierta  
exterior en la dirección axial, medida en millones de libras por pulgada cuadrada (Msi). A cero grados con  
respecto al eje del cañón (es decir, paralelo al orificio 24 axial), el módulo elástico  $E_x$  es de casi 24 Msi, que  
se aproxima al acero inoxidable de tipo AISI 416 (UNS S41600) que tiene un  $E_x$  de 29 Msi. A medida que  
aumenta el ángulo de bobinado en relación con el eje del cañón, la rigidez disminuye bruscamente. Con un  
30 ángulo de bobinado de  $\pm 45^\circ$ ,  $E_x$  cae a aproximadamente 2.4 Msi. Para los bobinados de "aro" casi  
perpendiculares, su contribución a la rigidez axial es pequeña, cayendo a menos de 2 Msi.

La figura 5 también muestra el efecto del ángulo de bobinado en CTE lineal a través del CFC. Los ángulos  
de bobinado más bajos (es decir, más alineados axialmente) tienen un CTE  $\alpha$  mucho más bajo. Los ángulos  
de bobinado casi perpendiculares (aros) tienen un CTE longitudinal relativamente alto, aproximadamente  
35 27 ppm/° C (15 ppm/° F). El CTE del revestimiento 22 interior puede variar considerablemente dependiendo  
de la composición. Por ejemplo, un revestimiento interior de cerámica o compuesto de cerámica puede  
tener un CTE que es considerablemente menor que el acero. El acero AISI 4140 tiene un CTE de  
aproximadamente 12.2 ppm/° C (6.8 ppm/° F). Como se mencionó anteriormente, el acero inoxidable AISI  
40 416 tiene un CTE de aproximadamente 9.99 ppm/° C (5.55 ppm/° F). Con referencia a la Figura 5, si la  
cubierta externa completa 20 pudiera envolverse a un ángulo constante de aproximadamente 48 °, los CTE  
longitudinales promedio efectivos de la cubierta externa 20 y el revestimiento 22 interior de acero inoxidable  
tipo 416 coincidirían aproximadamente, resolviendo teóricamente muchos de los problemas que surgen de  
CTE no coincidentes. Sin embargo, no es práctico envolver toda la cubierta 20 exterior en ese ángulo, al  
45 menos en parte porque una cubierta uniforme de 48 ° no proporcionaría suficiente rigidez axial o resistencia  
al estallido sin bobinados excesivos.

El CTE longitudinal promedio efectivo de la cubierta 20 exterior de CFC variará dependiendo no solo del  
ángulo de envoltura, sino de una variedad de otros factores que incluyen la composición de la matriz (por  
ejemplo, resina contra cerámica o metal, tipo de resina, etc.) , presencia de aditivos de matriz como aditivos  
de disipación de calor térmicamente conductores, tipo de fibra, tensión de arrastre durante la cubierta,  
50 secuencia de ángulo de envoltura de región y espesores de ángulo de envoltura de región. Todos estos  
factores deben considerarse al tratar de hacer coincidir el CTE longitudinal promedio efectivo de la cubierta  
exterior de CFC con el CTE del revestimiento de acero. Es posible diseñar y fabricar una cubierta externa  
de CFC que tenga un CTE longitudinal efectivo promedio deseado fabricado a partir de materiales distintos  
a los haces continuos de fibra de carbono unidireccionales, que incluyen, por ejemplo, fibra de carbono  
55 preimpregnada de material textil y manguitos trenzados de fibra de carbono. También se pueden usar  
materiales no carbonosos, tales como cerámica, vidrio, mineral, polímero o fibras metálicas, o mezclas de  
los mismos.

Más específicamente, los inventores han descubierto que es posible hacer coincidir el CTE axial promedio  
efectivo de una cubierta 20 exterior de CFC con el CTE de un revestimiento 22 interior utilizando una  
60 pluralidad de regiones de envoltura, al mismo tiempo que proporcionan excelentes características axiales,  
radiales, y de resistencia a la torsión y rigidez, pero manteniendo el volumen y el peso al mínimo. Usando  
datos conocidos de CTE y técnicas de envoltura familiares para los expertos en la técnica de laminados de  
fibra, por ejemplo. En las relaciones ilustradas en la Figura 5, es posible diseñar una cubierta 20 exterior de

## ES 2 700 832 T3

CFC laminada que tenga buenas propiedades estructurales y un CTE efectivo promedio deseado envolviendo una pluralidad de regiones, teniendo cada región sustancialmente el mismo ángulo de bobinado y cada una con un grosor radial relativo al espesor radial del CFC.

5 Con referencia a las Figuras 1A y 6, la cubierta 20 exterior de CFC rodea y está en contacto directo con el  
revestimiento 22 interior. Para los fines de las reivindicaciones y esta especificación, "rodeando el  
revestimiento interior" significa que la cubierta 20 exterior rodea y está en contacto directo con el  
revestimiento 22 interior a lo largo de al menos una porción de la longitud axial del cañón 14; las partes del  
10 revestimiento interno 22 pueden estar expuestas, por ejemplo, en la boca 18, las roscas 16, un bloque de  
gas (no mostrado) o cualquier otra ubicación deseada en el cañón 14. La cubierta 20 exterior está  
estructurada en regiones sucesivas, teniendo cada región sustancialmente el mismo ángulo de bobinado.  
El grosor radial de cada región como porcentaje del radio de CFC varía. En la realización de ejemplo que  
se muestra en la Figura 6, el revestimiento 22 interior tiene una profundidad radial  $r_s$ , la región 50 interna  
tiene una profundidad radial  $r_1$ , la primera región 52 intermedia tiene una profundidad radial  $r_2$ , la segunda  
región 54 intermedia tiene una profundidad radial  $r_3$  y la región 56 exterior tiene una profundidad radial  $r_4$ .  
15 La suma de los espesores radiales de las regiones en la cubierta 20 exterior de CFC 20 ( $r_1 + r_2 + r_3 + r_4$ ) es  
igual al espesor radial de la cubierta 20 exterior de CFC. Por lo tanto, el espesor de cada región se puede  
expresar como un porcentaje del espesor radial de la cubierta 20 exterior.

Se puede usar la teoría de laminados clásica conocida para diseñar una cubierta 20 exterior de CFC que  
tiene una amplia gama de CTE longitudinales efectivas promedio utilizando una pluralidad de regiones de  
20 envolturas en capas. El promedio de CTE efectivo de la cubierta 20 exterior compuesta se ajusta variando  
los ángulos de envoltura de la pluralidad de regiones, los espesores radiales de las regiones y el número y  
la secuencia de las regiones. El CTE también se puede variar cambiando la composición de la  
resina/aglutinante, el tipo de fibra y la tensión a la que se envuelve el haz 34 de fibra en el revestimiento  
22. Por ejemplo, una realización en la que coincide aproximadamente el CTE del revestimiento 22 interno  
25 de acero inoxidable tipo 416 con el CTE de la cubierta 20 CFC exterior comprende fibras de carbono con  
precursores de PAN de módulo intermedio y resina epoxi termoestable. Esta realización no solo elimina  
virtualmente las tensiones térmicas debidas a la falta de coincidencia de CTE que puede conducir a la  
deformación y el desplazamiento, sino que también proporciona un rendimiento superior, durabilidad, con  
un volumen y peso relativamente bajos, a un precio comercialmente viable para los materiales. Las  
30 "coincidencias aproximadas" para los fines de esta especificación y las reivindicaciones significan que el  
CTE longitudinal del revestimiento interior está dentro de 1.8 ppm/° C (1 ppm/° F) del CTE longitudinal  
promedio efectivo asociado con la cubierta externa de CFC.

Además de hacer coincidir el CTE longitudinal promedio efectivo de la cubierta 20 exterior con el  
revestimiento 22 interior, un diseño de cañón superior también exhibe alta resistencia y rigidez axial, baja  
35 tensión de corte interlaminar durante la operación y alta resistencia del aro. Las capas de ángulo bajo (por  
ejemplo,  $\pm 25^\circ$ ) proporcionan más rigidez axial que los ángulos más altos. Además, cuanto más lejos se  
encuentre una masa dada de capas longitudinales del revestimiento de acero, mayor será su contribución  
a la rigidez axial. Sin embargo, la colocación de capas longitudinales de ángulo bajo en el exterior del cañón  
40 14 compromete la durabilidad, ya que es más probable que se deslaminen o sufran una falla interlaminar,  
tal como sucede cuando se frotran contra una superficie rugosa. La colocación de capas de mayor ángulo  
en las regiones externas mejora la durabilidad. Preferiblemente, la cubierta 20 exterior tendrá una rigidez  
axial de al menos 5,5 Msi y un módulo en el plano radial (el plano radial que contiene el ángulo  $\epsilon$  en la  
Figura 7) de al menos 10 Msi. La resistencia a la torsión y la rigidez se vuelven factores más críticos en los  
cañones de armas de fuego de calibre medio y grande donde la masa y el diámetro del proyectil se vuelven  
45 significativos en relación con el diámetro exterior del cañón, lo que imparte una fuerza de torsión significativa  
en el cañón.

En una realización encontrada para equilibrar satisfactoriamente las consideraciones anteriores, un haz 34  
de fibra de carbono PAN de módulo intermedio de cadena 12K es arrastrado a través de una mezcla 36 de  
50 resina termoendurecible epoxi húmeda a aproximadamente cinco libras de tensión, mientras se bobina  
sobre el revestimiento 22 interior de acero inoxidable tipo 416 que gira alrededor de su orificio 24 axial  
longitudinal. La mezcla de resina comprende 1,0% de fibra de carbono de alquitrán picada Thermalgraph®  
en peso con respecto a la mezcla de resina. El haz 34 es bobinado helicoidalmente en una pluralidad de  
regiones en capas o "capas" que se extienden radialmente hacia afuera desde la superficie del  
revestimiento, que comprende una región 50 interna, una pluralidad de regiones intermedias y una región  
55 56 externa. Los haces dentro de la región interna comprenden aros circunferenciales con un ángulo de  
envoltura de  $\pm 85^\circ$  (todos los ángulos más/menos aproximadamente cinco grados y medidos en relación  
con el eje del cañón). Al menos una región tiene ángulos de envoltura helicoidales longitudinales de  $\pm 25^\circ$ .  
Como se discutió anteriormente, la tensión de corte interlaminar puede surgir entre las regiones adyacentes  
durante la operación debido al calor, la vibración, las fuerzas de explosión y los CTE no coincidentes entre  
60 las regiones, lo que podría generar fuerzas indeseables dentro de la cubierta 20 exterior o la separación o  
deslaminación entre regiones adyacentes. Los inventores han determinado que la tensión interlaminar es  
manejeable si el diferencial de ángulo de envoltura entre regiones adyacentes se limita a menos de  $25^\circ$ , y  
más preferiblemente si el diferencial de ángulo de envoltura se limita a aproximadamente  $20^\circ$ .

En otra realización, la cubierta 20 exterior comprende una pluralidad de regiones en capas, con una región 50 interna compuesta de aros circunferenciales casi perpendiculares de haces 34 de fibra de carbono de módulo intermedio con precursor PAN envueltos en húmedo sobre el revestimiento 22 interior con un epoxi termoestable que tiene un ángulo de bobinado de  $\pm 85^\circ$ , luego una primera región 52 intermedia con un ángulo de bobinado de  $\pm 75^\circ$ , luego una segunda región 54 intermedia con un ángulo de bobinado de  $\pm 65^\circ$ , luego una tercera región intermedia de  $\pm 45^\circ$ , una cuarta región intermedia de cubiertas helicoidales longitudinales de  $\pm 25^\circ$ , una quinta región intermedia de  $\pm 35^\circ$ , y finalmente una región 56 exterior que tiene un ángulo de envoltura de  $\pm 45^\circ$ . Cualquiera o todos estos ángulos podrían ser alterados por más/menos  $5^\circ$  y aún proporcionar un rendimiento comparable con un revestimiento interior de acero inoxidable tipo 416. Además, como se mencionó anteriormente, otros tipos de fibra de carbono, solos o en combinación con la fibra de carbono PAN, podrían usarse con resultados similares.

La Figura 7 muestra un cañón 14 de ejemplo producido por el sistema de bobinado descrito, que comprende una cubierta 20 externa de CFC cortada progresivamente para revelar una pluralidad de regiones de bobinado creadas por el bobinado 42 infundido en resina (o impregnación en haz 43 calentado) alrededor del revestimiento 22 interior. En la realización ilustrada, cada región tiene un ángulo de envoltura helicoidal sustancialmente diferente. La región 50 interna tiene un primer ángulo 58 de envoltura, la primera región 52 intermedia tiene un segundo ángulo 60 de envoltura, y la segunda región 54 intermedia tiene un tercer ángulo 62 de envoltura. Nuevamente, dependiendo del promedio de CTE longitudinal efectivo y otras propiedades mecánicas deseadas, el número de regiones puede ser cualquier número, y los ángulos de bobinado y la profundidad de cada capa también pueden variar.

El grosor relativo de cada región/capa afecta al CTE efectivo promedio de la cubierta exterior de CFC. En la realización discutida inmediatamente arriba, las regiones descritas anteriormente varían significativamente en el espesor radial, expresado como un porcentaje de la distancia radial desde la superficie del revestimiento 22 interior de acero hasta la superficie exterior de la cubierta 20 exterior terminada. En la realización mostrada en la Figura 7, las regiones tienen espesores como se indica a continuación, donde las medidas de los ángulos son más/menos  $5^\circ$ , y el porcentaje del grosor radial es más/menos 5%:

región	Ángulo de envoltura	espesor (% de radio CFC)
interior	$\pm 85$	40 ( $\pm 5\%$ )
1ª intermedia	$\pm 75$	7 ( $\pm 5\%$ )
2ª intermedia	$\pm 65$	6 ( $\pm 5\%$ )
3ª intermedia	$\pm 45$	7 ( $\pm 5\%$ )
4ª intermedia	$\pm 25$	21 ( $\pm 5\%$ )
5ª intermedia	$\pm 35$	6 ( $\pm 5\%$ )
exterior	$\pm 45$	13 ( $\pm 5\%$ )

Después del curado completo utilizando técnicas conocidas en el arte, el cañón 14 rectificado hasta un diámetro deseado en un torno, por ejemplo, con abrasivos de diamante, luego pulido y terminado como es sabido por los expertos en la técnica. Luego se puede adjuntar a un receptor y culata, a un vehículo blindado, a un lanzador de casquillos fijo o portátil, etc.

Las técnicas de fibra y envoltura descritas en el presente documento pueden emplearse con una amplia variedad de materiales de revestimiento interno que tienen diversos CTE, incluidos metales tales como aleaciones de acero, así como materiales refractarios, materiales cerámicos y revestimientos internos que comprenden una combinación de los materiales anteriores. La invención da como resultado un cañón ligero, rígido y fuerte que tiene una mayor resistencia al estallido que la técnica anterior, lo que permite revestimientos de cañón más finos y ligeros. El cañón terminado es duradero, más resistente a la separación laminar e interlaminar, y resiste mejor el comportamiento impredecible, como la deformación y/o separación en la interfaz de CFC-acero debido a los CTE coincidentes.

**REIVINDICACIONES**

1. Un cañón para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable, que comprende:  
un revestimiento (22) interior que define un orificio (24) axial, teniendo el revestimiento (22) interior un coeficiente de expansión térmica (CTE) a lo largo del orificio (24) axial; y
- 5 una cubierta (20) externa que rodea y está en contacto directo con el revestimiento (22) interior, fabricada la cubierta (20) externa a partir de fibra (34) continua en una matriz que crea un compuesto de fibra continua (CFC) y que tiene un promedio de CTE efectivo en la dirección axial, en donde la cubierta exterior comprende:
- 10 a. haz (34) de fibra bobinado helicoidalmente alrededor del revestimiento (22) interior en un primer ángulo ( $\theta$ ) de bobinado sustancialmente constante para formar una región interior (50);
- b. haz (34) de fibra bobinado helicoidalmente alrededor de dicha región (50) interna en un segundo ángulo de bobinado ( $\theta$ ) sustancialmente constante que difiere sustancialmente del primer ángulo de bobinado ( $\theta$ ) para formar una primera región (52) intermedia;
- 15 c. haz (34) de fibra bobinado helicoidalmente alrededor de la región (52) intermedia anterior a un ángulo de bobinado sustancialmente constante ( $\theta$ ) que difiere sustancialmente del ángulo de bobinado ( $\theta$ ) que caracteriza la región (52) intermedia anterior;
- d. haz (34) de fibra bobinado helicoidalmente alrededor de las regiones (52) intermedias anteriores tantas veces como se desee para proporcionar regiones (52) intermedias adicionales hasta que se forme una región intermedia final; y
- 20 e. una región (56) exterior que comprende un haz (36) de fibra bobinado helicoidalmente alrededor de la región intermedia final en un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) sustancialmente constante que difiere sustancialmente del ángulo de bobinado que caracteriza la región intermedia final;
- 25 caracterizado porque el CTE axial promedio efectivo de la cubierta (20) exterior coincide aproximadamente con el CTE axial del revestimiento (22) interior, de manera que el CTE axial del revestimiento (22) interior está dentro de 1.8 ppm/° C (1 ppm/° F) de la CTE axial efectiva promedio de la cubierta (20) exterior, y en donde los ángulos de bobinado ( $\theta$ ) en regiones adyacentes difieren en menos de 25 °.
2. El cañón de la reivindicación 1, en donde la matriz comprende un material seleccionado de un polímero, un metal, una cerámica, un mineral o un alótropo de carbono.
- 30 3. El cañón de la reivindicación 2, en donde el CFC comprende una mezcla (36) de resina que tiene un aditivo térmicamente conductor.
4. El cañón de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en donde el revestimiento (22) interior está compuesto por un material seleccionado de una cerámica o un metal.
- 35 5. El cañón de la reivindicación 4, en donde el revestimiento (22) interior es acero inoxidable del grupo AISI 400 y el CTE axial promedio efectivo de la cubierta (20) externa está entre 8.1 y 11.7 ppm/° C (4.5 y 6.5 ppm/F).
6. El cañón de la reivindicación 4, en donde el revestimiento (22) interior es una aleación de acero del grupo AISI 4000 y el CTE axial promedio efectivo de la cubierta (20) externa está entre 10.4 y 14 ppm/° C (5.8 y 7.8 ppm/F).
- 40 7. El cañón de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde las fibras son carbono, cerámica, vidrio, metal, mineral o polímero.
8. El cañón de la reivindicación 7, en donde el haz de fibra comprende fibras de carbono, y en donde cada región (50, 52, 54, 56) en capas tiene un espesor radial ( $r_2$ ).
9. El cañón de la reivindicación 8, en donde al menos una de dichas regiones (50, 52, 54, 56) en capas comprende fibras de carbono con precursores PAN.
- 45 10. El cañón de la reivindicación 9, en donde las fibras tienen un módulo de elasticidad en el intervalo 265-320 GPa.
11. El cañón de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en donde al menos una de dichas regiones (50, 52, 54, 56) en capas comprende fibras de carbono con precursores alquitrán.
- 50 12. El cañón de una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11 que comprende regiones ordenadas como sigue:

## ES 2 700 832 T3

una región (50) interna que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 80^\circ$  y  $90^\circ$  y un espesor radial ( $r_2$ ) entre 35% y 45% del espesor radial de CFC;

una primera región (52) intermedia que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 70^\circ$  y  $80^\circ$  y un espesor radial ( $r_2$ ) entre 2% y 12% del espesor radial de CFC;

- 5 una segunda región (54) intermedia que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 60^\circ$  y  $70^\circ$  y un espesor radial ( $r_2$ ) entre 1% y 11% del espesor radial de CFC;

una tercera región intermedia que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 40^\circ$  y  $50^\circ$  y un espesor radial entre 2% y 12% del espesor radial de CFC;

- 10 una cuarta región intermedia que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 20^\circ$  y  $30^\circ$  y un espesor radial entre 16% y 26% del espesor radial de CFC;

una quinta región intermedia que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 30^\circ$  y  $40^\circ$  y un espesor radial entre 1% y 11% del espesor radial de CFC; y

una región (56) exterior que tiene un ángulo de bobinado ( $\theta$ ) entre  $\pm 40^\circ$  y  $50^\circ$  y un espesor radial entre 8% y 18% del espesor radial de CFC.

- 15 13. Un arma (11) de fuego que comprende un receptor (12), una culata conectada al receptor (12) y un cañón (14) de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12 conectado al receptor (12), en donde el revestimiento (22) interior comprende un revestimiento (22) interior de metal.

14. Un método para fabricar un cañón (14) para dirigir la trayectoria de un proyectil descargable, que comprende los pasos de:

- 20 proporcionar un revestimiento (22) interior que define un orificio (24) axial y que tiene un coeficiente axial de expansión térmica (CTE);

fabricar una cubierta 20 exterior de material compuesto de fibra continua (CFC) radialmente regionalizada alrededor del revestimiento (22) interior, teniendo la cubierta (20) externa una CTE axial promedio efectiva, comprendiendo dicha fabricación los pasos de:

- 25 a. bobinar helicoidalmente un haz (34) de fibra alrededor del revestimiento (22) interior en un primer ángulo de bobinado ( $\theta$ ) sustancialmente constante para formar una región interior (50);

b. bobinar helicoidalmente el haz (34) de fibra alrededor de dicha región (50) interna en un segundo ángulo ( $\theta$ ) de bobinado sustancialmente constante que difiere sustancialmente del primer ángulo de bobinado ( $\theta$ ) para formar una primera región (52) intermedia;

- 30 c. bobinar helicoidalmente el haz (34) de fibra alrededor de la región (52) intermedia anterior a un ángulo de bobinado sustancialmente constante ( $\theta$ ) que difiere sustancialmente del ángulo de bobinado ( $\theta$ ) que caracteriza la región (52) intermedia anterior;

d. repetir la etapa c tantas veces como se desee hasta que se forme una región intermedia final;

- 35 e. formar una región (56) exterior bobinando helicoidalmente el haz (36) de fibra alrededor de la región intermedia final en un ángulo de bobinado sustancialmente constante ( $\theta$ ) que difiere sustancialmente del ángulo de bobinado que caracteriza la región intermedia final;

en donde los ángulos ( $\theta$ ) de bobinado en las regiones adyacentes difieren en menos de  $25^\circ$ , y en donde el revestimiento (22) interior CTE axial está dentro de  $1.8 \text{ ppm}/^\circ \text{ C}$  ( $1 \text{ ppm}/^\circ \text{ F}$ ) del promedio efectivo de la cubierta (20) exterior CTE axial.

- 40 15. El método de la reivindicación 14, en donde el haz (34) de fibra comprende una fibra de carbono con precursores de PAN y/o en donde el revestimiento (22) interior está compuesto de una aleación de acero inoxidable.

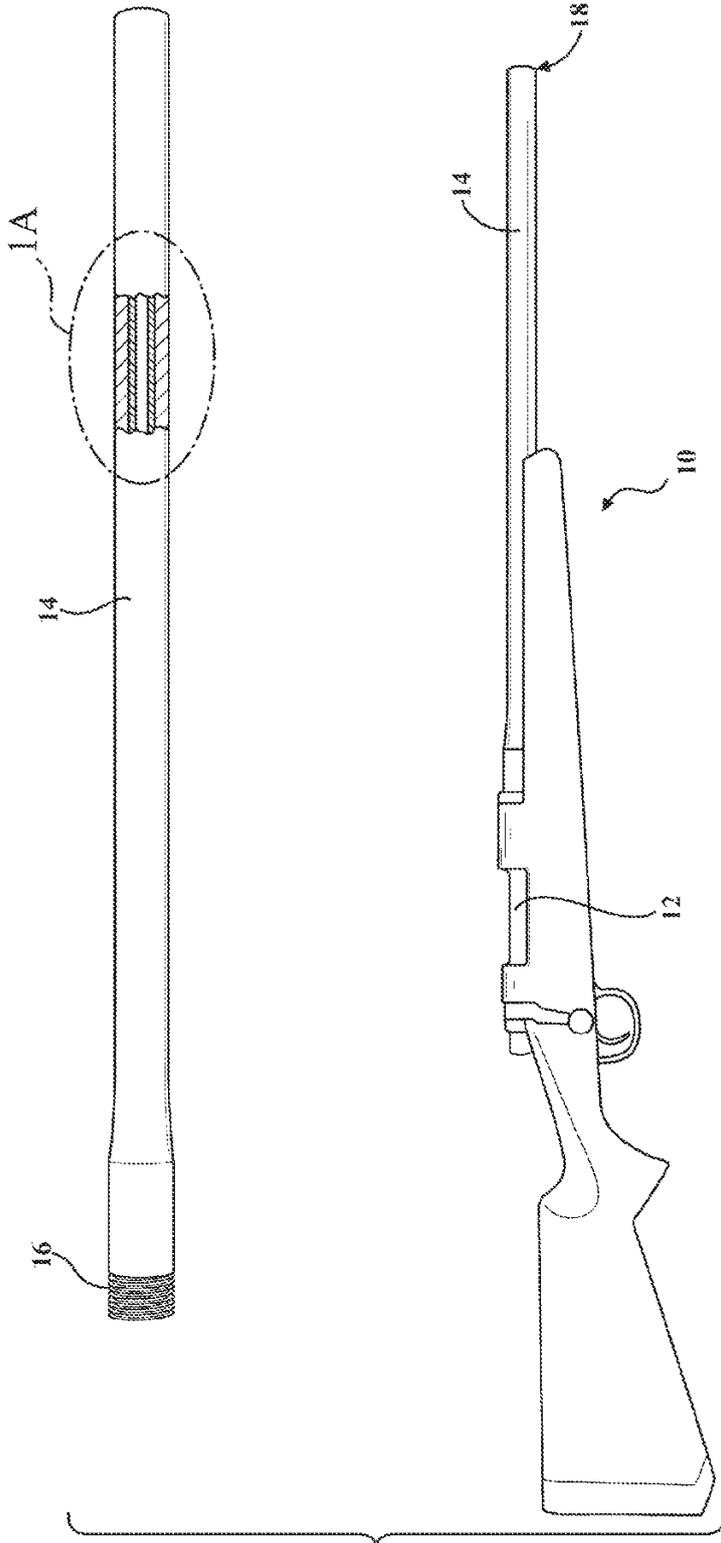


FIG. 1

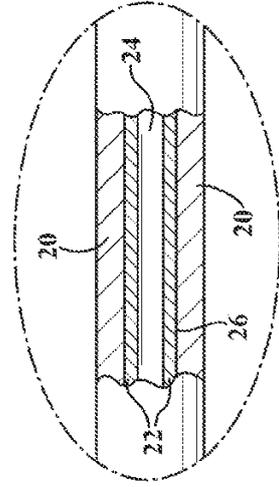


FIG. 1A

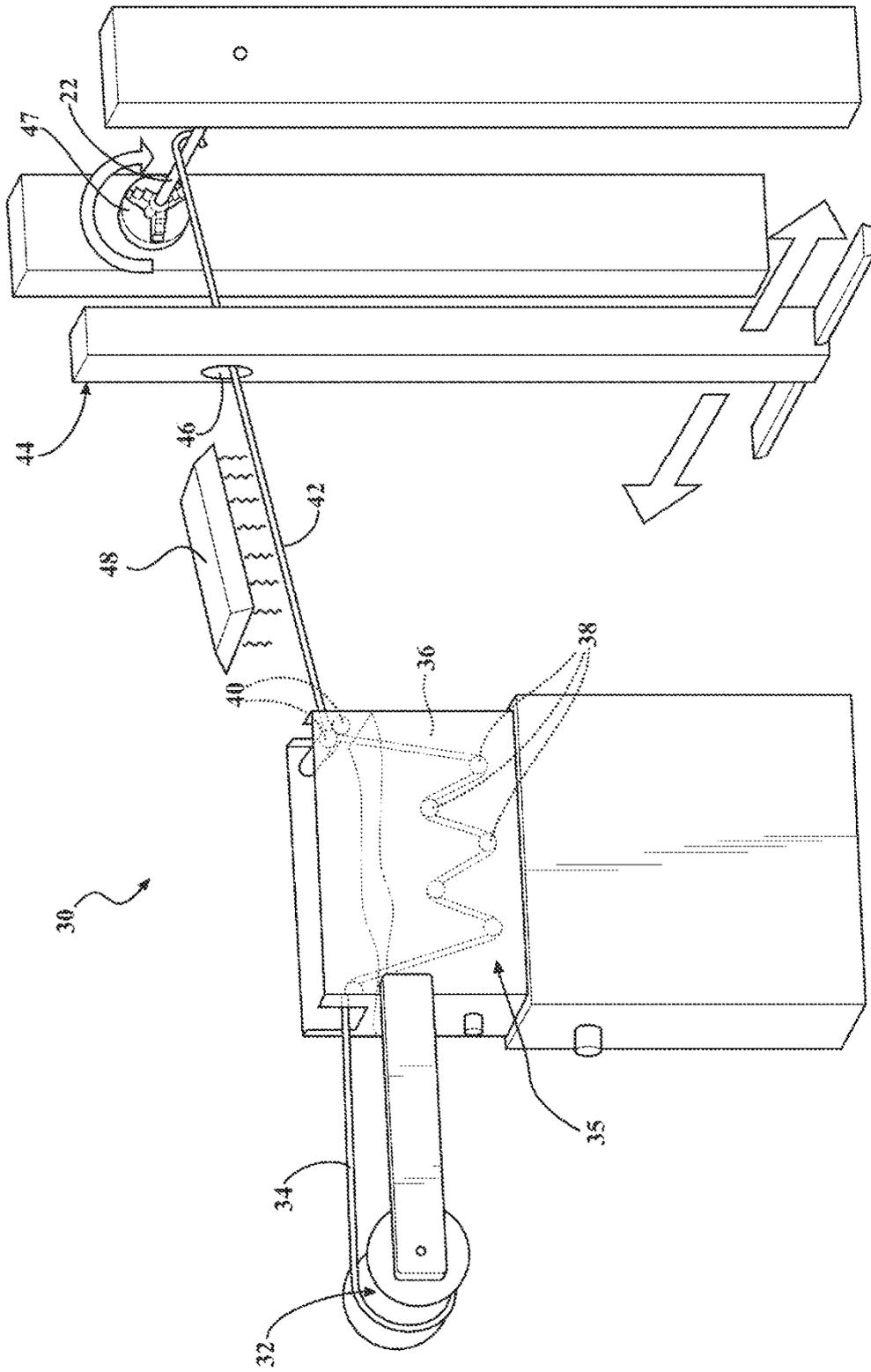


FIG. 2

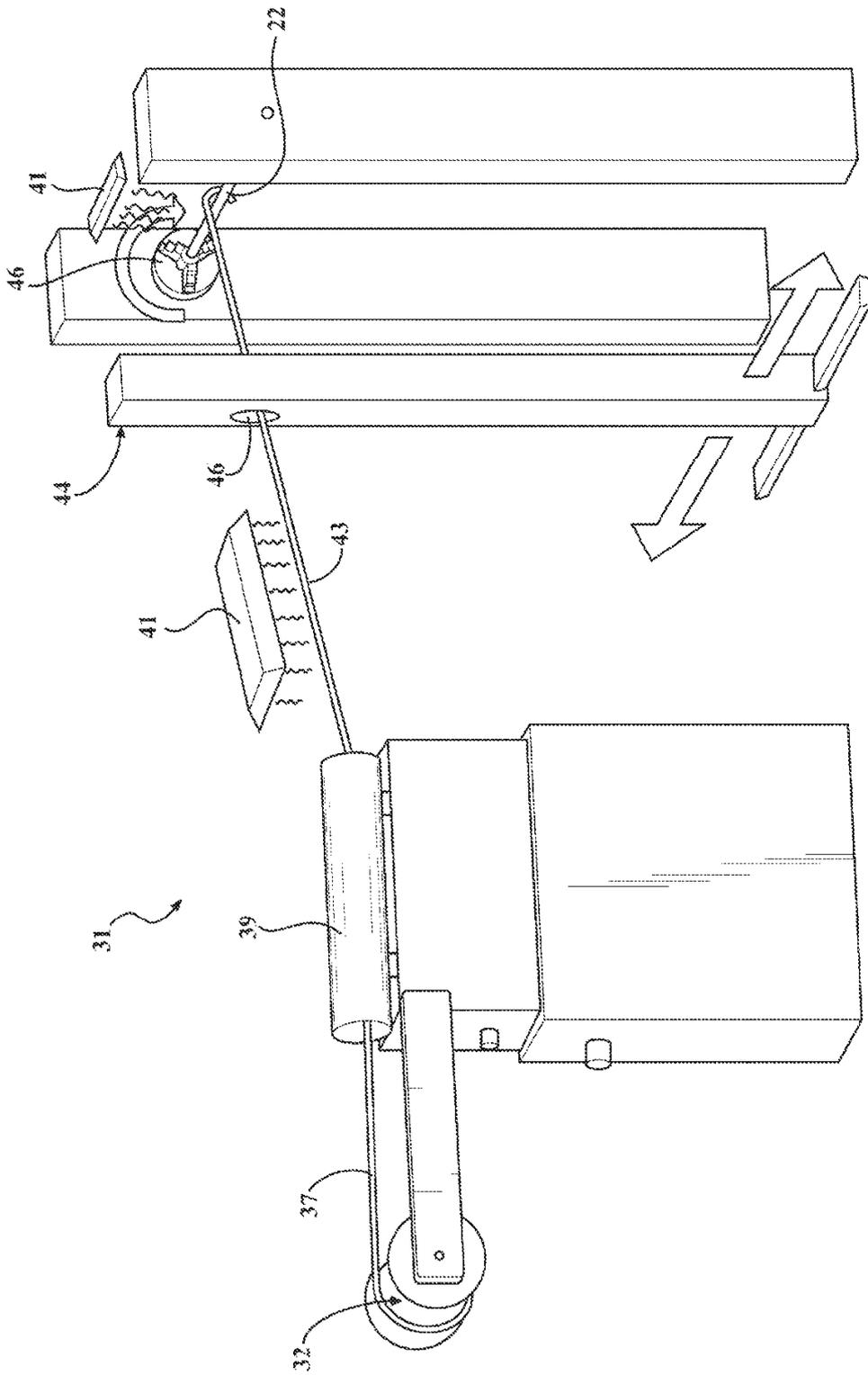


FIG. 3

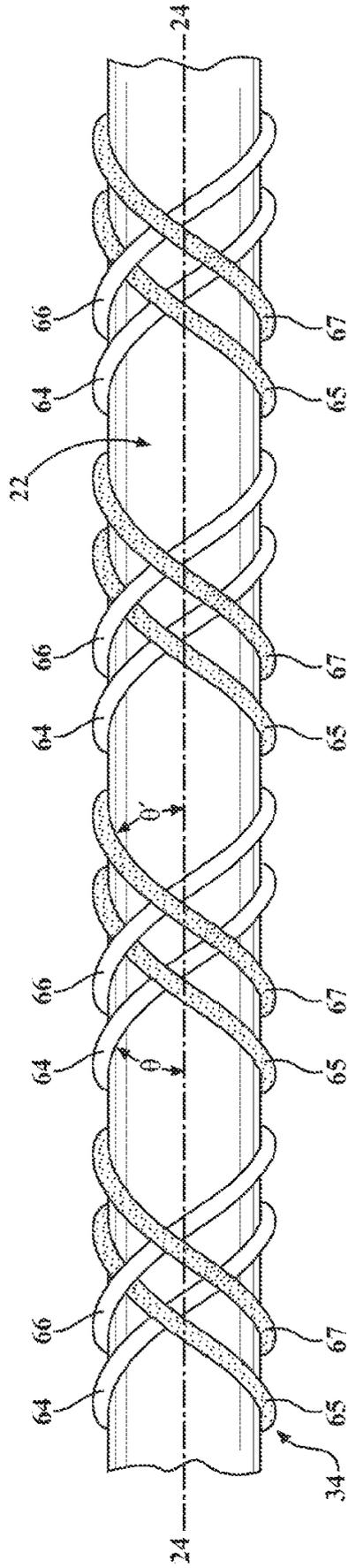
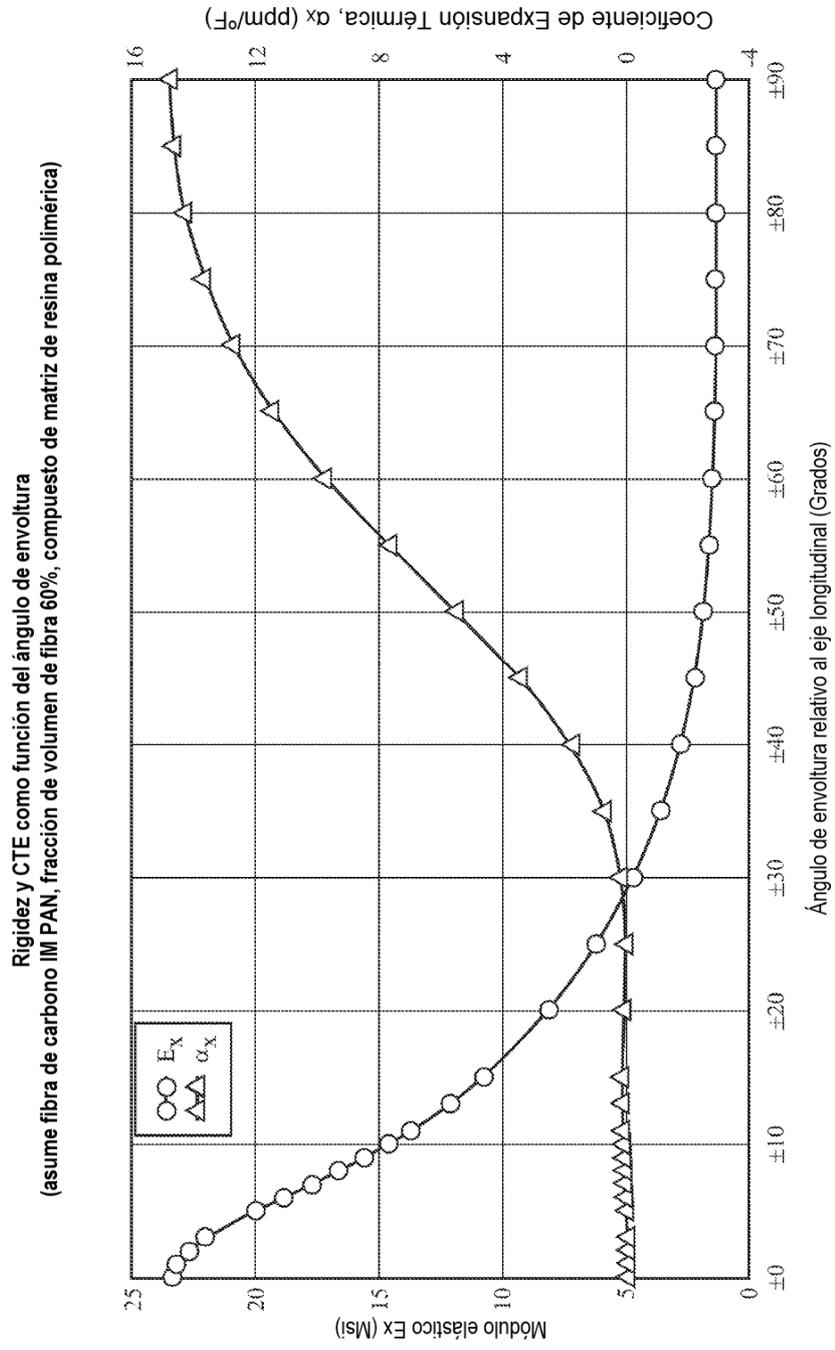
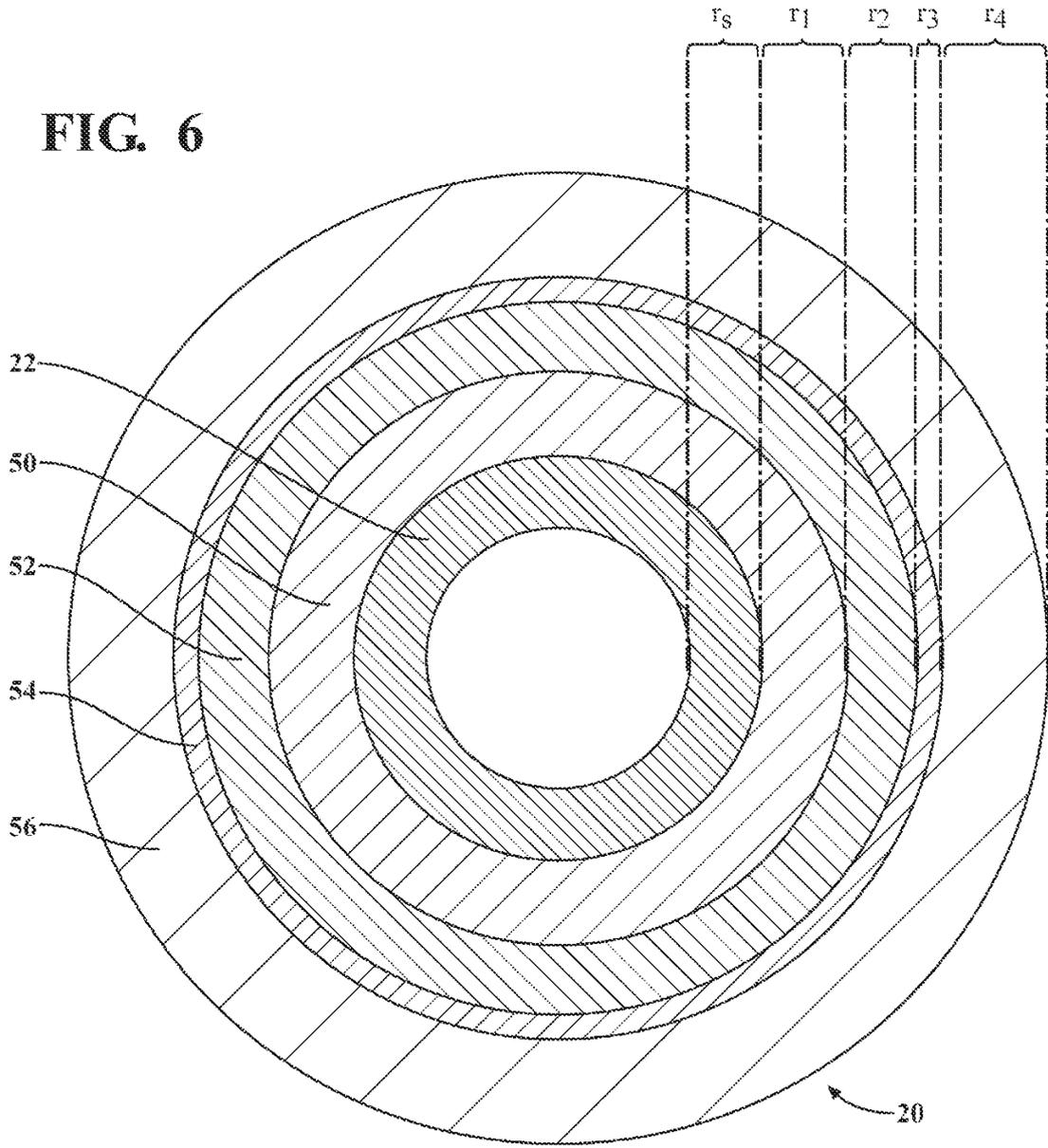


FIG. 4



**FIG. 5**

**FIG. 6**



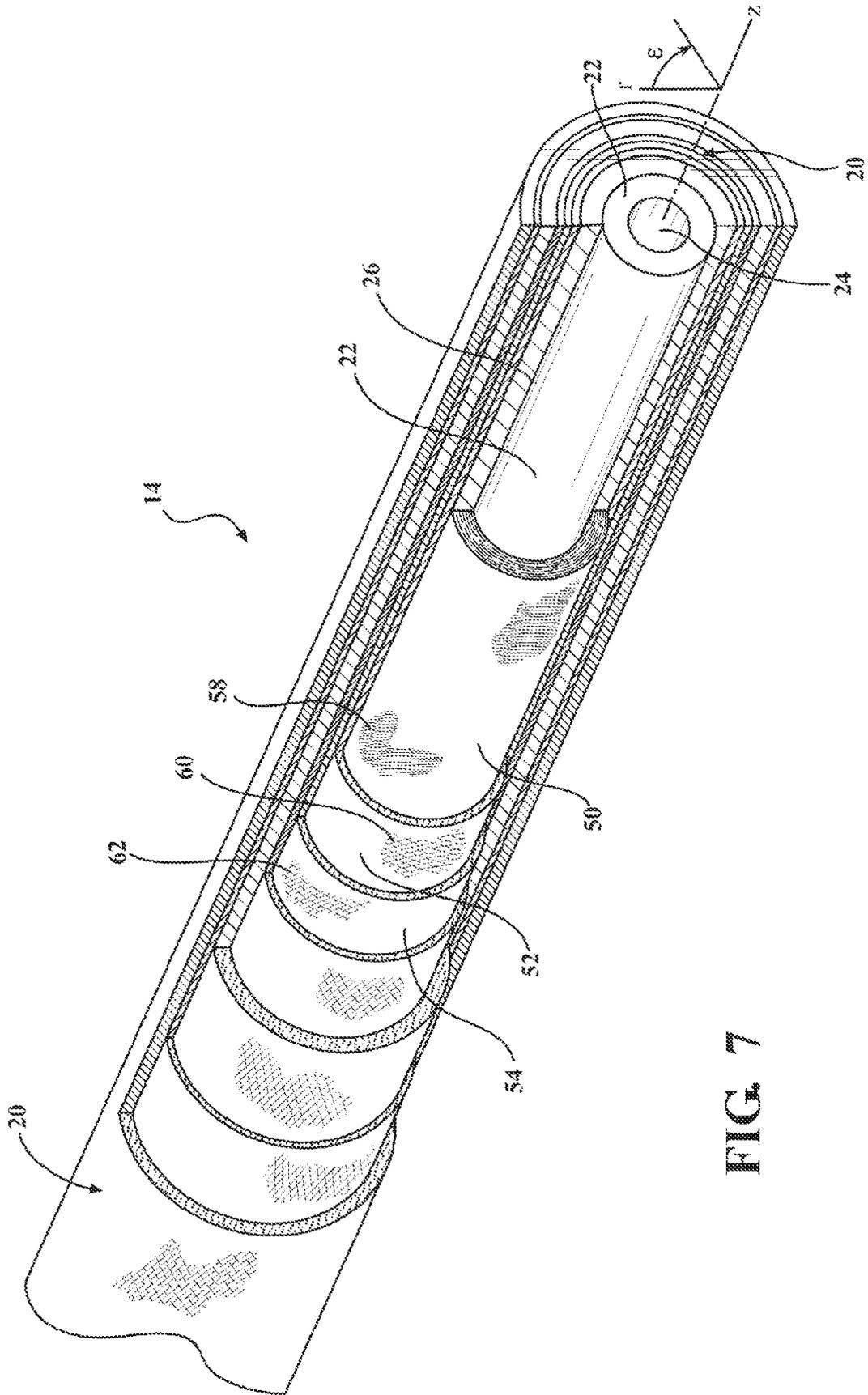


FIG. 7