

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 595 369**

51 Int. Cl.:

**A61B 17/62** (2006.01)

**A61B 17/66** (2006.01)

**A61B 90/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.03.2010 PCT/US2010/000712**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.09.2010 WO10104567**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.03.2010 E 10710693 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.07.2016 EP 2405834**

54 Título: **Sistema de fijación externa**

30 Prioridad:

**10.03.2009 US 209677 P**

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

**29.12.2016**

73 Titular/es:

**STRYKER EUROPEAN HOLDINGS I, LLC (100.0%)  
2825 Airview Boulevard  
Kalamazoo, MI 49002, US**

72 Inventor/es:

**EDELHAUSER, ADAM, JOHN y  
TOMASHESKI, RICHARD, J.**

74 Agente/Representante:

**ROEB DÍAZ-ÁLVAREZ, María**

ES 2 595 369 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 fijación externa

5 **Antecedentes de la invención**

10 El mercado de la fijación externa puede dividirse en dos segmentos principales: trauma agudo y reconstructivo. Los clientes, productos y necesidades de cada segmento son claramente diferentes. El segmento de trauma está dominado por fijadores modulares. Estos armazones se caracterizan por unos componentes limitados y una aplicación muy rápida. Por consiguiente, se conocen por ser productos realmente simples. La mayoría de estos armazones se usan para una fijación temporal y bastante a menudo solo están en el paciente durante horas o días.

15 El segmento reconstructivo se inclina mucho hacia la fijación de anillo, pero los armazones unilaterales también disfrutaban de una cuota de mercado apreciable. Los fijadores de anillo, tales como el bien conocido armazón Ilizarov son claramente los fijadores externos más estables y capaces. Tales armazones se muestra en las patentes de EE.UU. con n.º 4.365.624; 4.615.338; 4.978.348; 5.702.389; y 5.971.984 así como los documentos US 2005/015087 A1, US 2005/251136 A1, US 5.087.285 A y US 2008/021451. Su uso de una combinación de pasadores y alambres para lograr una variedad de uniones poliaxiales de pasador/alambre crea esta estabilidad. Estos pueden lograr seis ejes completos de corrección de deformidad y, cuando se aplican y gestionan bien, pueden corregir deformidades primarias sin crear a la vez deformidades secundarias. Las deformidades rotativas son el único dominio del fijador de anillo. Sin embargo, la maestría de las técnicas y los propios productos es un proceso largo y abrumador que no es atractivo para muchos usuarios.

25 La presente invención se refiere a un método para usar un fijador externo ortopédico mejorado que incluye un mecanismo que permite que dos elementos o porciones de hueso se fijen en relación con la otra mientras se permite una recolocación completa de los dos elementos o porciones de hueso en relación con la otra.

30 Es a menudo necesario alinear, recolocar y/o sostener con seguridad dos elementos de hueso en relación uno con otro. Por ejemplo, en la práctica de la medicina, los fragmentos de hueso y similares deben a veces alinearse o volver a alinearse y recolocarse para restaurar la continuidad de los huesos y la función esquelética. En ocasiones, esto puede lograrse mediante una maniobra repentina, normalmente seguida de la estabilización esquelética con escayola, placas y tornillos, dispositivos intramedulares o fijadores esqueléticos externos.

35 Un fragmento de hueso puede moverse, en general, desde su posición original tal como en una no unión o una mala unión o desde su posición prevista como en deformidades congénitas a lo largo de seis ejes separados, una combinación de tres ejes ortogonales de traslación (por ejemplo, típicos ejes "X", "Y" y "Z") y tres ejes rotativos ortogonales (por ejemplo, rotación en torno a tales ejes típicos "X", "Y" y "Z").

40 Los dispositivos de fijación externa se unen al esqueleto óseo con pasadores roscados y/o lisos y/o alambres roscados y/o lisos y/o rebordeados. Tales construcciones se denominan comúnmente fijadores externos ortopédicos o fijadores esqueléticos externos. Los fijadores externos pueden utilizarse para tratar fracturas agudas del esqueleto, lesiones de tejido blando, unión retrasada del esqueleto cuando los huesos tardan en curarse, desunión del esqueleto cuando los huesos no se han curado, una mala unión por la que los huesos rotos o fracturados se han curado en una mala posición, deformidades congénitas por lo que los huesos desarrollan una mala posición y alargamiento, ensanchamiento o retorcimiento de los huesos.

50 Un sistema de fijador externo circunferencial se divulgó gracias a G. A. Ilizarov durante el inicio de los años cincuenta. El sistema Ilizarov incluye al menos dos anillos o "halos" que rodean un miembro del cuerpo de un paciente (por ejemplo, la pierna de un paciente), varillas de conexión que se extienden entre los dos anillos, pasadores de traspaso que se extienden a través de la estructura ósea del paciente y conectores para conectar los pasadores de traspaso a los anillos. El uso del sistema Ilizarov para solucionar la angulación, traslado y rotación se divulga en "*Basic Ilizarov Techniques, Techniques in Orthopaedics*®, Volumen 5, N.º 4, Diciembre de 1990, págs. 55-59.

55 Los fijadores externos ortopédicos de la técnica anterior se diferencian en su capacidad para mover o ajustar un fragmento de hueso con respecto al otro de una manera gradual. Algunos permiten un traslado gradual y otros permiten una rotación gradual en torno a dos ejes. El sistema Ilizarov puede proporcionar un dispositivo de fijación externa que podría proporcionar una corrección gradual a lo largo y alrededor de seis ejes. Sin embargo, tal dispositivo necesitaría muchas piezas y sería relativamente complicado de construir y usar en una situación clínica.

60 A menudo, los fijadores externos ortopédicos tales como los fijadores Ilizarov deben recolocarse después de su aplicación inicial. Tal modificación puede ser necesaria para la conversión desde un eje correccional a otro o para la conversión desde un fijador de tipo de ajuste inicial a un fijador de tipo de soporte de peso, no siendo algunas de las configuraciones correccionales lo suficientemente estables para el soporte de peso.

65

Una "plataforma Stewart" es un mecanismo totalmente paralelo usado en simuladores de vuelo y automoción, efectores terminales robóticos y otras aplicaciones que necesitan mecanismos espaciales con alta rigidez estructural e incluyen una plataforma de base, una plataforma superior y seis extremidades variables que se extienden entre la base y las plataformas superiores. Véase S.V. Sreenivasan *et al.*, "Closed-Form Direct Displacement Analysis of a 6-6 Stewart Platform," *Mech. Mach. Theory*, Volumen 29, N.º 6, págs. 855-864, 1994.

La patente de Estados Unidos de Taylor *et al.* con N.º 5.702.389 se refiere a un fijador que puede ajustarse en seis ejes cambiando longitudes de riostra únicamente, sin necesitar que las articulaciones se aflojen, etc. Esta patente incluye un primer miembro de anillo o placa inclinada para la unión relativa a un primer elemento de hueso; y un segundo miembro de anillo o placa de inclinación para la unión relativa a un segundo elemento de hueso. Se proporcionan seis riostras de longitud ajustable que tienen primeros extremos que pueden moverse unidos al primer miembro y segundos extremos que pueden moverse unidos al segundo miembro. Los primeros extremos de las primeras y segundas riostras se unen en relación entre sí para que el movimiento del primer extremo de una de las primeras y segundas riostras provoque un movimiento correspondiente del primer extremo de la otra riostra, con los primeros extremos de las terceras y cuartas riostras unidos en relación entre sí para que el movimiento del primer extremo de una de las terceras y cuartas riostras provoque un movimiento correspondiente del primer extremo de la otra riostra. Las terceras y cuartas riostras y quintas y sextas riostras se unen de manera similar. Los segundos extremos de las primeras y sextas riostras se unen en relación entre sí para que el movimiento del segundo extremo de una de las quintas y sextas riostras provoque un movimiento correspondiente del segundo extremo de la otra riostra. Los segundos extremos de las segundas y terceras riostras y cuartas y quintas riostras se forman de manera similar. De esta manera, cambiando la longitud de las riostras se efectúa una recolocación de los segmentos de hueso.

#### Breve sumario de la invención

Un robot paralelo se define como un manipulador que consiste en una base fija y un efector terminal con 6 grados de libertad (DOF) que se vinculan entre sí mediante al menos dos cadenas cinemáticas independientes. El accionamiento de tal dispositivo tiene lugar a través de 6 accionadores simples. Es importante apreciar que el número de accionadores es igual al número de grados de libertad; un robot de 6 DOF necesitará seis accionadores. Además, cada cadena de conexión también debe tener 6 grados de libertad. Cada DOF viene con una articulación que conecta dos cuerpos rígidos dentro de la cadena. Las articulaciones más comúnmente usadas en robots paralelos son la de rótula (R), prismática (P), universal (U) y esférica (S). Las articulaciones R y P conceden un DOF, las articulaciones U conceden dos y las articulaciones S conceden tres. Las articulaciones universales consisten en dos articulaciones de rótula cuyos ejes de rotación se cruzan, y algunas veces se tratan como dos articulaciones en lugar de una.

La nomenclatura general para describir la configuración paralela de un robot es enumerar el número de riostras seguido por la configuración de articulación, con las articulaciones accionadas enfatizadas. El presente dispositivo es de una configuración de 3-USR (o 3-RRSR). La unidad de ajuste de base (BAU) es una articulación U modificada; uno de los ejes de rotación se controla a través de la interfaz de transmisión de tornillo sinfín, y la otra está libre. La riostra conecta la BAU con la unidad deslizante por medio de una articulación esférica libre, y la unidad deslizante gira alrededor del anillo superior mediante otra interfaz de transmisión de tornillo sinfín. Esto conduce a una cadena cinemática con 2 DOF x 3 cadenas = 6 DOF.

El diseño mostrado en la solicitud provisional con n.º 61/209.677 presentada el 10 de marzo de 2009 tiene 6 DOF mientras que usa únicamente tres riostras. Sin embargo, tiene una configuración de articulación alternativa. La BAU se conectó con el segundo anillo por medio de un conjunto que permitió que oscilara libremente, y la conexión de la riostra con la unidad deslizante se realizó por medio de una articulación universal libre en lugar de una articulación esférica. Esto condujo a una configuración de 3-RUUR (o 3-RRRRRR). De nuevo, ambas configuraciones satisfacen las condiciones necesarias para considerarse un robot paralelo.

Las articulaciones U proximales de la solicitud provisional con n.º 61/209.677 se sustituyen por una articulación articulada (o articulación esférica) y la unidad de ajuste de base (BAU) ya no es libre para girar alrededor del eje que la conecta con el segundo anillo.

Una realización del sistema de fijación externa actualmente divulgado tiene primeros y segundos elementos de anillo planos y al menos en parte circulares. Los centros de los primeros y segundos elementos de anillo están separados a lo largo de un eje. El primer elemento de anillo tiene una corredera circunferencial que se extiende a lo largo de la circunferencia en parte circular del mismo. Se proporcionan tres riostras de longitud variable, cada una con primeros y segundos extremos. Las riostras de longitud variable pueden bloquearse en una longitud deseada después de la colocación inicial del elemento de anillo. El primer extremo de cada riostra se acopla mediante un primer conector al primer anillo y el segundo extremo de cada riostra se acopla a un segundo anillo mediante un segundo conector. La riostra del segundo conector se acopla de manera fija al segundo anillo de manera que evita la rotación del conector en torno a un eje perpendicular al plano del segundo anillo. El segundo conector tiene una articulación U que tiene un primer eje que permite la rotación en un plano paralelo al plano del segundo anillo. La articulación U tiene un segundo eje que permite la rotación en torno al primer eje. Tres lanzaderas se montan en la corredera del primer

anillo para el movimiento allí con una lanzadera acoplada al primer extremo de cada riostra por medio del primer conector. Se proporcionan unos medios para controlar la posición rotativa y angular del segundo extremo de cada riostra y medios para controlar la posición de cada lanzadera a lo largo de la corredera circunferencial en el primer anillo.

5 Los primeros y segundos anillos pueden ser círculos completos o medios círculos y pueden tener otras formas geométricas, tales como cuadradas o rectangulares. La lanzadera conectada a los primeros extremos de la riostra puede separarse 120° alrededor de una circunferencia del primer anillo. Sin embargo, las tres lanzaderas montadas en el primer anillo son móviles y pueden moverse a lo largo de un arco limitado únicamente mediante la posición de la lanzadera adyacente. De esta manera, los primeros extremos de las tres riostras pueden moverse a través de una porción grande de la circunferencia del primer anillo.

15 Preferentemente, cada lanzadera o unidad deslizante puede moverse a lo largo de la corredera del primer anillo en, por ejemplo, incrementos de uno a cinco grados y la ubicación angular del segundo extremo de la riostra con respecto al segundo anillo puede estar en incrementos de cinco a diez grados. En este caso, existirían entre 36 y 72 orificios igualmente separados a lo largo del anillo inferior para montar el segundo conector. El movimiento angular de la lanzadera con respecto al primer anillo también puede ser variable de manera infinita.

20 Cada primer extremo de riostra tiene un conector con una articulación esférica que acopla la riostra a la lanzadera montada en el primer anillo y un conector con una articulación U estándar que acopla cada segundo extremo de riostra al segundo anillo. La articulación U tiene un sistema de transmisión que controla el movimiento de la articulación en torno a un eje de la articulación U. Preferentemente, el eje de transmisión es paralelo al plano del segundo anillo. El sistema de transmisión comprende preferentemente un motor paso a paso o servomotor controlado por ordenador y un sistema de transmisión de engranaje.

25 El sistema de fijación externa tiene primeros y segundos elementos de anillo, teniendo el primer anillo tres lanzaderas montadas en el elemento de anillo para el movimiento controlado en torno a una circunferencia del anillo. Existen tres conectores fijados al segundo anillo con tres riostras que tienen primeros extremos conectados a una lanzadera respectiva mediante conectores que tienen una articulación esférica o de bola y un segundo extremo conectado a un conector respectivo en el segundo anillo mediante una articulación U estándar que puede rotar en torno a un primer y segundo eje y que puede rotar de una manera controlada en torno a un segundo eje que es perpendicular al primer eje. El primer eje se extiende preferentemente paralelo al plano del anillo y el conector se fija en el anillo de manera que se evita la rotación alrededor del eje del orificio de montaje. Un controlador programable o microprocesador se proporciona para controlar el movimiento de la lanzadera alrededor de la circunferencia del primer anillo y para controlar el movimiento del segundo extremo de la riostra alrededor del primer eje del conector en el segundo anillo. Esto también puede ajustarse manualmente.

35 Una realización del sistema de fijación externa actualmente divulgado incorpora tres riostras de longitud variable que pueden ajustarse en longitud y después bloquearse. Una vez bloqueadas, las riostras pueden manipular la posición relativa de los fragmentos de hueso entre sí. El sistema es capaz de moverse en seis grados de libertad (DOF). Para el movimiento, se incorporará bien el dispositivo de calibración divulgado en la patente de EE.UU. n.º 6.017.534, o seis servomotores o motores paso a paso dedicados respectivamente acoplados a las lanzaderas y segundos extremos de cada riostra. El dispositivo de calibración o los servomotores/motores paso a paso se controlan mediante software. El software es la interfaz que usará el cirujano o el usuario para determinar los ajustes diarios del conjunto de armazón. El sistema incorpora sensores de posición tales como potenciómetros y/o codificadores ópticos y/u otros sensores de posición en los puntos de movimiento a lo largo del armazón, no solo para determinar la posición inicial, para la entrada/configuración de software, sino también para proporcionar realimentación para asegurar que los ajustes diarios se realizan apropiadamente.

40 Una realización del sistema de fijación externa actualmente divulgado tiene dos anillos y tres riostras de longitud que puede fijarse con articulaciones esféricas en un primer conector en el primer anillo y articulaciones U estándar que tienen dos ejes de rotación. La articulación U tiene controlado el primero de los dos ejes de rotación (no puede moverse libremente) mediante un tornillo sinfín y una transmisión de tornillo sinfín. El otro eje del segundo conector se mueve libremente alrededor de un eje perpendicular al primer eje.

55 El movimiento de la riostra fija alrededor del primer eje y el tercer eje es de movimiento libre. El movimiento alrededor del segundo eje se controla mediante la interacción de la transmisión de tornillo sinfín y un tornillo sinfín situado en el segundo anillo, tornillo sinfín que se extiende en paralelo a la transmisión del tornillo sinfín.

60 La conexión de transmisión del tornillo sinfín con la "herramienta inteligente" descrita en la patente de Estados Unidos n.º 6.017.354 o servomotor/motor paso a paso será una conexión de inglete y bisel (donde el tornillo sinfín tiene un engranaje cónico en un extremo y la herramienta/motor tiene un engranaje de inglete en su respectivo extremo). Esta relación permitirá que el engranaje de inglete del motor accione el engranaje cónico de tornillo sinfín que a su vez acciona el tornillo sinfín en la transmisión del tornillo sinfín. Esta acción controla uno de los ejes de rotación que afecta al ángulo de su respectiva riostra (en relación con el segundo anillo).

65

El primer conector acopla las riostras al primer anillo mediante una unidad de lanzadera deslizante, que se desliza a lo largo de dos hendiduras circunferenciales a cada lado del primer anillo. Las hendiduras están separadas radialmente hacia dentro de la superficie circunferencial exterior dentada del primer anillo. El movimiento de la unidad deslizante se controla mediante la interacción de los dientes de transmisión de tornillo sinfín (en el exterior del primer anillo) y un tornillo sinfín. Cada unidad deslizante puede moverse alrededor de la circunferencia del anillo móvil de manera independiente. El tornillo sinfín debe accionarse mediante una "herramienta inteligente" o un servomotor/motor paso a paso dedicado o una herramienta manual. La conexión de transmisión del tornillo sinfín con la herramienta o el motor es preferentemente una conexión de inglete y engranaje cónico donde el tornillo sinfín tiene un engranaje cónico en un extremo y la herramienta inteligente/motor tiene un engranaje de inglete en su respectivo extremo. Cualquier caja de engranajes y motor podrían usarse para accionar las unidades deslizantes.

Con seis puntos de ajuste, el sistema tendrá el control completo (en seis ejes de rotación) sobre la posición relativa de los dos anillos sin cambiar la longitud de la riostra.

En una realización alternativa, el sistema de fijación externa incluye una primera plataforma, una segunda plataforma y una pluralidad de cadenas cinemáticas no prismáticas. "No prismática", se refiere a que los eslabones de la cadena cinemática no se extienden en longitud durante el accionamiento. Cada cadena cinemática conecta la primera plataforma con la segunda plataforma e incluye al menos dos articulaciones accionadas. Al menos una articulación accionada se configura para moverse a lo largo de un perímetro de la primera plataforma. Esta realización incluye además un medio para el accionamiento de las articulaciones accionadas.

Tal como se usa en el presente documento cuando se refiere a huesos u otras partes del cuerpo, el término "proximal" significa cerca del corazón y el término "distal" significa más lejos del corazón. El término "inferior" significa hacia los pies y el término "superior" significa hacia la cabeza. El término "anterior" significa hacia la parte delantera o la cara y el término "posterior" significa hacia la parte trasera del cuerpo. El término "intermedio" significa hacia la línea media del cuerpo y el término "lateral" significa lejos de la línea media del cuerpo.

Aunque el sistema se ha sido descrito para el uso en un sistema de anillo de fijación externa, las estructuras y principios idénticos podrían usarse en cualquier aplicación donde se manipulen plataformas, tales como una plataforma Stewart.

### Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista isométrica del anillo de fijación externa usado en el sistema de fijación externa de la presente invención;  
 la Figura 2 es una vista isométrica de un par de anillos mostrados conectados mediante tres riostras;  
 la Figura 3A es una vista isométrica de una articulación accionada conectada al anillo;  
 la Figura 3B es una vista isométrica en sección transversal de la articulación accionada conectada al anillo;  
 la Figura 3C es una vista en sección transversal en alzado de la articulación accionada conectada al anillo;  
 la Figura 4A es una vista isométrica de una lanzadera o unidad deslizante montada en el anillo superior de la presente invención;  
 la Figura 4B es una vista en alzado del árbol y la articulación universal y el conector de la Figura 4A;  
 las Figuras 4C a 4E son vistas secuenciales del montaje de la lanzadera o unidad deslizante de la presente invención en el anillo superior mostrado en la Figura 4A;  
 la Figura 4F muestra un sistema de transmisión para la lanzadera o unidad deslizante de la presente invención cuando se monta en el anillo de la Figura 4A;  
 las Figuras 4G a 4J muestran el engranaje de tornillo sinfín contenido en una lanzadera o unidad deslizante en una posición desacoplada y una posición acoplada con los dientes en la circunferencia exterior del anillo de la Figura 4A;  
 la Figura 5 es una representación de un sistema de coordenadas x, y, z incluyendo diversos puntos del segundo anillo donde las riostras se unen al mismo;  
 la Figura 6 es una pluralidad de superficies esféricas que muestran el movimiento del extremo de una de las tres riostras mostradas en la Figura 1;  
 la Figura 7 es una representación geométrica de la riostra y unida al primer anillo superior en su extremo superior y el segundo anillo inferior en su origen;  
 la Figura 8 es una vista isométrica de un fijador externo alternativo que no forma parte del sistema de fijación externa de la presente invención;  
 la Figura 9 es una vista en alzado de una primera porción de riostra y un conector de anillo de la realización alternativa de la presente invención;  
 la Figura 10 es una vista en sección transversal del elemento de riostra de la Figura 9 a lo largo de las líneas 10-10;  
 la Figura 11 es una vista en alzado de la riostra;  
 la Figura 12 es una vista isométrica del extremo de la riostra de la Figura 11;  
 la Figura 13 es una vista en alzado del mecanismo de extensión de la riostra de una realización alternativa de la Figura 8;  
 la Figura 14 es una vista isométrica de una realización alternativa del sistema de fijación externa de la presente

invención;

la Figura 15 es una vista isométrica de un anillo o plataforma del sistema de fijación externa mostrado en la Figura 14;

5 las Figuras 16 y 17 son vistas isométricas de una cadena cinemática del sistema de fijación externa mostrado en la Figura 14;

la Figura 18 es una vista en sección transversal de la cadena cinemática mostrada en las Figuras 16 y 17;

la Figura 19 es una vista en sección transversal despiezada de la cadena cinemática representada en las Figuras 16 y 17;

10 la Figura 20 es una vista isométrica de una porción de engranaje, una horquilla y un pasador de la cadena cinemática mostradas en las Figuras 16 y 17;

la Figura 21 es una vista despiezada de la porción de engranaje, la horquilla y el pasador representado en la Figura 20;

la Figura 22 es una vista isométrica de una unidad deslizante del sistema de fijación externa mostrado en la Figura 14;

15 la Figura 23 es una vista despiezada de la unidad deslizante mostrada en la Figura 22;

la Figura 24 es una vista isométrica de un dispositivo de medición unido a la realización del sistema de fijación externa mostrado en la Figura 14;

la Figura 25 es una vista isométrica de un dispositivo de medición para determinar la distancia entre el sitio de osteotomía y un anillo o plataforma del sistema de fijación externa;

20 la Figura 26 es una vista isométrica de un sistema de fijación externa de seis riostras que no forma parte de la presente invención;

la Figura 27 es otra vista isométrica del sistema de fijación externa de seis riostras mostrado en la Figura 1;

la Figura 28 es una vista lateral de una unidad de lanzadera conectada con un anillo superior;

la Figura 29 es una vista lateral del sistema de fijación externa mostrado en la Figura 26;

25 la Figura 30 es una vista isométrica del sistema de fijación externa de la Figura 26, que muestra los anillos inferior y superior orientados en una primera posición angular;

la Figura 31 es una vista isométrica de la fijación externa con los anillos inferiores y superiores orientados sustancialmente en paralelo entre sí;

30 la Figura 32 es una vista isométrica del sistema de fijación externa de la Figura 26 con los anillos inferiores y superiores orientados en una segunda posición angular;

la Figura 33 es un diagrama esquemático del sistema de fijación externa de seis (6) grados de libertad con cadenas cinemáticas RRUS, en el que "R" significa articulación de rótula, "U" significa articulación universal y "S" significa articulación esférica;

35 la Figura 34 es un diagrama de modelo de vector de un sistema de fijación externa de seis riostras que muestra centros O y C; y

la Figura 35 es un modelo vectorial de un círculo en un sistema de coordenadas cartesianas.

### Descripción detallada

40 En referencia a las Figuras 1 y 2, se muestra el sistema de fijación externa de la presente invención indicado generalmente con 10. El sistema de fijación externa 10 puede utilizarse con cualquier hueso largo, en particular, la tibia y el fémur.

45 Tal como se muestra en las Figuras 1 y 2, el sistema de fijación externa 10 incluye un primer anillo 14 y un segundo anillo 16. En algunas realizaciones, ambos anillos 14, 16 son idénticos. Cada anillo 14 incluye una transmisión de tornillo sinfín 15 formada alrededor de su circunferencia exterior. Dos hendiduras 17 se forman en las superficies superior e inferior del anillo 14 alrededor de su circunferencia adyacente a la transmisión del tornillo sinfín 15. Tal como se muestra en la Figura 1, el anillo 14 (o 16) puede incluir una configuración de múltiples niveles con las superficies superiores e inferiores teniendo escalones alternativos incluyendo orificios pasantes 24. Tal anillo de fijación externa (sin la transmisión de tornillo sinfín circunferencial) se describe en la solicitud de patente de EE.UU. 12/157.612 presentada el 11 de junio. En determinadas realizaciones, los anillos 14, 16 se conectan mediante tres riostras 18 de longitud variable. Las tres riostras 18 tienen primeros extremos 28 montados en el primer anillo 14 por medio de un conector 25 acoplado a una unidad deslizante o lanzadera 26, que puede moverse circunferencialmente alrededor del anillo 14 tal como se describe a continuación. En varias realizaciones, los primeros extremos 28 se conectan a unidades deslizantes o a un conector 26 mediante un conector 25 que tiene una articulación de bola o esférica. Como es normal, los anillos se conectan a la tibia 12 mediante una pluralidad de pasadores o alambres de hueso (no se muestran). En algunas realizaciones, los pasadores o alambres se conectan a cada anillo 14, 16 mediante elementos de conexión, que se ubican en uno o más de múltiples orificios 24 alrededor de la circunferencia de los primeros y segundos anillos 14 y 16. Aunque se muestran los orificios 24, cualquier estructura que ubique los pasadores o alambres con respecto a la circunferencia de los anillos 14 y 16 puede utilizarse. Los extremos inferiores 34 de las riostras 18 se conectan al anillo inferior 16 mediante articulaciones universales 35 estándar, lo que permite una libre rotación alrededor de solo dos ejes en lugar de los tres ejes de la articulación esférica en el primer extremo 28 de la riostra.

65 El anillo 14 puede acoplarse a un primer elemento de hueso por medio de pasadores o alambres, y de manera similar, el anillo 16 se acopla a un segundo elemento de hueso mediante pasadores o alambres similares. La unidad

de lanzadera 26 puede deslizarse alrededor del anillo 14 en una corredera y se acciona preferentemente mediante un servomotor. Un segundo conector 29 entre la riostra 18 y el segundo anillo inferior 16 tiene una articulación universal 35 estándar, que permite que la riostra rote libremente alrededor de los primeros y segundos ejes A y B (véase la Figura 3A). El primer eje A se orienta en perpendicular con respecto al segundo eje B. La articulación universal 35 también puede recibir energía mediante servomotores independientemente conectados a un engranaje que puede rotar alrededor de un pasador de pivote axialmente a lo largo del eje A de la articulación universal. 35. De esta manera, cada una de las tres unidades de lanzadera deslizantes 26 puede controlarse independientemente y los tres conectores 29 en el segundo anillo 16 pueden controlarse independientemente, por lo que el anillo 14, y por tanto el elemento de hueso unido al anillo 14, pueden colocarse en una alineación apropiada con el anillo 16 y el elemento de hueso unido al anillo 16. Los anillos 14 y 16 pueden volver a colocarse después de su alineación inicial según desee el cirujano. Además, el movimiento puede programarse en un medio informático, que puede incrementar automáticamente el movimiento, por ejemplo, diariamente. La riostra 18 es de longitud variable pero puede bloquearse en una longitud deseada después de que el cirujano establezca inicialmente la ubicación de inicio del sistema.

En referencia a las Figuras 3A y 3B, se muestra una articulación universal 35 que acopla un segundo extremo 34 de la varilla 18 con el segundo anillo 16. Preferentemente, el extremo 34 se bifurca y tiene una perforación para recibir un pasador de pivote. Un conector 36 se conecta de manera no rotativa al segundo anillo 16 a través de uno de los múltiples orificios pasantes 24 en su interior. El conector 36 incluye un par de bujes 38 a través de los que el pasador de pivote 40 se recibe para la rotación alrededor del eje A. El pasador de pivote 40 se acciona mediante una porción de engranaje o transmisión de tornillo sinfín 42 que, en una realización, es integral con ella. En la realización preferente, la porción de engranaje 42 se acciona mediante un servomotor que tiene un sistema de engranaje con un conector de transmisión o tornillo sinfín 43 para acoplarse a los dientes de engranaje 44 de la porción de engranaje 42. El pasador 40 tiene una perforación a través del mismo para recibir un pasador 45 que acopla de manera pivotante el extremo del árbol o varilla 18 con el mismo para la rotación alrededor del eje B. La perforación en el pasador 40 recibe el pasador 45, que se monta en un par de bujes 50 en la porción terminal 34 bifurcada. En referencia a la Figura 3B, se muestra un alojamiento 60 en el que el engranaje de inglete 43 se monta de manera retráctil. El engranaje de inglete 43 se monta en árboles 52 y 54, que a su vez se reciben dentro de los elementos de montaje 56 y 58 cargados por resorte. El alojamiento 60 tiene una pared exterior 60 cilíndrica tal como se ve mejor en la Figura 3A. Los elementos de montaje 56 y 58 se desvían hacia dentro mediante resortes 62 y 64, lo que obliga al engranaje de inglete 43 a acoplarse con los dientes 44 de la porción de engranaje 42. Cuando un usuario mueve los elementos de montaje 56 y 58 hacia afuera a lo largo de los árboles 52 y 54, respectivamente, contra las fuerzas de los resortes 62 y 64, el engranaje de inglete 43 puede moverse hacia abajo en las Figuras 3A y 3B en acoplamiento con los dientes 44. Los resortes 62 y 64 bloquean entonces los elementos de montaje 56 y 58 en esta posición para que el árbol 18 pueda pivotar libremente alrededor del eje A de la Figura 3A.

En referencia a la Figura 3C, se muestra una vista en alzado y sección transversal del conector de las Figuras 3A y 3B. Esta figura es útil para mostrar el desacoplamiento del tornillo sinfín 43 respecto a los dientes 44 de la transmisión de tornillo sinfín 42. Los elementos de montaje 56 y 58 se montan de manera deslizante en placas terminales 72 y 74 circulares respectivamente. Las placas terminales 72 y 74 se acoplan de manera fija con encajes de transmisión 76, 78, que a su vez se conectan integralmente con extremos 52 y 54 del tornillo sinfín 43. De esta manera, cuando una herramienta de transmisión se une a otro elemento de transmisión 76 o 78 y rota, el tornillo sinfín 43 rotará y se acoplará con los dientes 44, haciendo rotar la transmisión de tornillo sinfín 42 alrededor del eje A. Esto también puede lograrse mediante un servomotor.

Para desacoplar el tornillo sinfín 43 de los dientes 44, los elementos de montaje 56 y 58 se mueven hacia fuera, comprimiendo por tanto los resortes 62 y 64 hasta que los chaflanes 80 y 82 se acoplan con los extremos 84 y 86 del alojamiento 60. En este punto, el tornillo sinfín 43 puede moverse hacia abajo en la Figura 3C y fuera del acoplamiento con los dientes 44 de la transmisión de tornillo sinfín 42. Para asegurar que el tornillo sinfín 43 mantiene su ubicación central dentro del alojamiento 60, cuatro pasadores 88 se montan en el alojamiento 60, tal como se muestra en la Figura 3A, y se acoplan en las hendiduras circunferenciales 90 y 92 en el tornillo sinfín 43. Las hendiduras 90 y 92 tienen suficiente profundidad para permitir que el tornillo sinfín 43 se mueva dentro y fuera del acoplamiento con los dientes 44 de la transmisión de tornillo sinfín 42 sin desacoplarse de los pasadores 88.

El sistema de conexión mostrado en las Figuras 3A a 3C permite que el conector 29 (Figura 2) y, por consiguiente, el árbol 18, roten alrededor del eje C del elemento 36 y el eje B de la articulación universal 35 libremente. La libre rotación alrededor del eje A solo es posible cuando el tornillo sinfín 43 se desacopla de los dientes 44 como se ha descrito antes. De lo contrario, la rotación se controla mediante el accionamiento de la entrada 76 o 78, rotando por tanto la transmisión de tornillo sinfín 43 mientras está en acoplamiento con los dientes 44.

En referencia a las Figuras 4A a 4J, se muestra el sistema de acoplamiento para conectar el árbol 18 con el primer anillo 14.

En referencia a la Figura 4B, se muestra el árbol 18 conectado mediante una articulación universal 100 que permite la rotación alrededor de tres ejes D, E y F. El conector 26 se acopla al árbol 18 e incluye un tornillo sinfín 106, que se acopla a dientes 15 del anillo 14. Este acoplamiento se ve en las Figuras 4C a 4E en las que el conector 26 se

muestra conectado al anillo 14 y bloqueado sobre el mismo.

En referencia a las Figuras 4C a 4J, se muestra el anillo 14 que tiene un par de hendiduras 17, que se extienden alrededor de la circunferencia de los dientes 15 adyacentes al anillo. El conector 26 incluye un alojamiento o cuerpo 108, que recibe de manera rotativa el tornillo sinfín 106 que tiene un primer par de pasadores 110 montados en un brazo 112 del alojamiento 108. Cada uno de los pasadores 110 incluye una cabeza 114 adaptada para insertarse en la hendidura 17 del anillo 14. El conector 26 también incluye un elemento móvil 116, que puede deslizarse hacia y lejos del alojamiento 108 mediante la acción de la palanca 118, que incluye un elemento de leva 120. La palanca 118 puede rotar alrededor del pasador de pivote 122, que se monta en el elemento móvil 116. El elemento móvil 116 también incluye un segundo par de pasadores 124, cada uno con una cabeza 126, que, al igual que la cabeza 114 del pasador 110, puede acoplarse a la hendidura 17 del anillo 14. Los pasadores 124 se fijan en el elemento móvil 116.

Tal como puede verse en las figuras, la palanca 118 puede rotar a una posición en la que un elemento de resorte (no se muestra) mueve el elemento móvil 116 lejos del acoplamiento con el cuerpo 108 del conector 26 y por consiguiente mueve los pasadores 124 hacia arriba en las figuras, lo que permite que el conector 26 se mueva lateralmente en acoplamiento con el anillo 14. Tal como se muestra en la Figura 4D, una vez que el conector 26 se coloca apropiadamente con respecto a la hendidura 17, la palanca 118 puede entonces rotar tal como se muestra en la Figura 4E, de manera que la leva 120, que rota alrededor del pasador de pivote 122, que está fijo con respecto al cuerpo 108, obliga al elemento móvil 116 a ir hacia abajo de manera que los pasadores 124 se acoplan en la hendidura superior 17 y los pasadores 110 se acoplan en la hendidura inferior 17. Las cabezas 114 y 126 de los pasadores 110 y 124 están dimensionadas con respecto a la hendidura 17 de manera que el conector 26 puede deslizarse alrededor de la circunferencia del anillo 14. Los pasadores 110 y 124 están separados de manera que son capaces de acoplarse a las hendiduras 17 de anillos de múltiples diámetros. Tal como se muestra en las Figuras 4G y 4I, el tornillo sinfín 106 del conector 26 puede moverse dentro y fuera de acoplamiento con los dientes 15 del anillo 14 mientras que el conector 26 se monta en la hendidura 17 del anillo 14. Esto puede realizarse tal como se muestra en las Figuras 4H y 4J en las que los elementos 130 y 132 pueden moverse con respecto a las porciones 134 y 136 del eje impulsor para el tornillo sinfín 106. Los elementos 130 y 132, en la realización preferente, son idénticos a los elementos 56 y 58 descritos con respecto a las Figuras 3A y 3C. Los otros elementos de los sistemas, incluyendo resortes 62 y 64 también son idénticos. De esta manera, las Figuras 4G y 4H muestran el tornillo sinfín 106 en una posición que está fuera de acoplamiento con los dientes 15 del anillo 14 con las Figuras 4I y 4J mostrando el tornillo sinfín 106 movido a una posición donde el tornillo sinfín 106 se acopla a los dientes 15 del anillo 14.

En referencia a la Figura 4F, se muestra un sistema de transmisión alternativo para la lanzadera o unidad deslizante 26 de la presente invención. Al igual que con el conector mostrado en las Figuras 3A a 3C, la unidad 26 se acciona alrededor de la circunferencia del anillo 14 rotando los elementos de transmisión 140 y 142. Esto puede realizarse bien con una herramienta manual o una herramienta eléctrica. Tal como puede verse a partir de la Figura 4G, el accionamiento es preferentemente un elemento de transmisión cuadrado macho o hembra. El sistema alternativo mostrado en la Figura 4F incluye un engranaje cónico 138 montado de manera fija bien en la porción de árbol 134 o 136 del tornillo sinfín 106. Un eje impulsor 140 se extiende generalmente perpendicular al eje de las porciones de árbol 134 y 136, árbol 140 que incluye un engranaje de transmisión 142 que también puede usarse para accionar el tornillo sinfín 106.

En referencia a la Figura 4A, se muestra una vista ampliada de un anillo 14 alternativo, que incluye una lanzadera o unidad deslizante 26 montada en un anillo 14. La unidad de lanzadera 26 se acopla a un primer extremo 28 de cada riostra 18. La unidad de lanzadera 26 incluye un sistema de transmisión para mover la lanzadera alrededor de la circunferencia del anillo 14. El sistema de transmisión incluye un servomotor o motor paso a paso que se controla mediante software en un ordenador, lo que determina los ajustes en la ubicación de la lanzadera 26 alrededor de la circunferencia del anillo 14 durante el uso del sistema de fijación externa. Estos ajustes se realizan diariamente. El software del sistema informático incorpora las diversas articulaciones en el sistema de fijación externa para determinar tanto la posición inicial del sistema, así como para confirmar que los ajustes diarios se han realizado apropiadamente.

Los extremos 28 de la riostra 18 se conectan con la lanzadera 26 por medio de un conector de tipo articulación universal estándar. Tal como se muestra en las Figuras 4A, 4B, un pasador de pivote 30 montado dentro de un par de bujes 32 en el eje de rotación de la articulación universal con un eje adicional de rotación coaxial con el eje longitudinal de cada equipo de apuntalamiento y un tercer eje similar al eje 30 forman de esta manera una articulación universal típica.

En algunas realizaciones, la unidad deslizante 26 en la porción de engranaje 42 se acciona mediante una transmisión de tornillo sinfín, que a su vez se acciona mediante un servomotor o motor paso a paso que tiene un árbol de salida con un engranaje cónico, que puede ser un engranaje de inglete. Como tal, existen tres riostras independientes que tienen primeros y segundos extremos móviles 28 y 34 conectados a los primeros y segundos anillos, respectivamente. Cada una de las tres riostras 18 puede moverse alrededor de la circunferencia del primer anillo 14 mediante servomotores reductores/motores paso a paso que accionan la unidad deslizante 26. Además, el segundo extremo 34 de la varilla 18, aunque circunferencialmente fijado en un único orificio 24 del anillo 16, puede rotar en planos perpendiculares al plano del anillo 16 mediante su servomotor o motor paso a paso dedicado. La

combinación de estos movimientos es capaz de orientar el anillo 16 y el anillo 14 en un infinito número de posiciones angulares con respecto entre sí. Este cambio en la orientación puede lograrse con riostras 18 de longitud fija.

5 El sistema de fijación externa de la presente invención se suministra normalmente como un kit con una pluralidad de anillos de diferentes diámetros, algunos de los cuales son anillos totalmente circulares o anillos parciales que permiten su colocación sobre la extremidad a tratar en una dirección intermedia-lateral. Además, las riostras 18 de diversas longitudes fijas pueden proporcionarse en el kit para producir diversas distancias axiales entre los centros de los primeros y segundos anillos 14, 16, respectivamente. Cada riostra 18 suministrada tiene primeros y segundos extremos 28, 34 capaces de conectarse a la unidad deslizante 26 y al conector del segundo anillo 29 como se ha descrito antes.

15 También se proporciona un controlador, que incluye microprocesadores programados para implementar las diversas entradas a estos seis servomotores o motores paso a paso del sistema. En referencia a las Figuras 5-7, lo siguiente es una descripción matemática del anillo superior (móvil) 14 y los puntos de base en el anillo inferior 16 de referencia (relativamente fijo). Se describirá el anillo superior como un círculo en un plano. Los tres puntos  $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  y  $P_{B3}$  representan los puntos de base fijos en el anillo inferior 16. Los dos anillos 14, 16 se conectan mediante tres riostras 18. Cada riostra 18 es capaz de rotar alrededor de su punto de base fijo ( $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  o  $P_{B3}$ ) y se conecta con el anillo superior 14 en sus respectivos puntos terminales ( $P1$ ,  $P2$  y  $P3$ ). Los puntos terminales ( $P1$ ,  $P2$  y  $P3$ ) pueden caer en cualquier lugar en el perímetro del anillo superior 14. El intervalo de movimiento del punto terminal de una riostra 18 ( $P1$ ,  $P2$  o  $P3$ ) puede considerarse como la superficie de una esfera cuyo centro es el punto de base de la riostra y cuyo radio ( $r$ ) es la longitud de la riostra. Esto se representa visualmente en la Figura 6. Los puntos de base se fijan y describen en la Figura 5.

25 La longitud entre los puntos de base ( $P_{B1}$ ,  $P_{B2}$  y  $P_{B3}$ ) es  $d$ .  
El anillo superior 14 tiene un radio  $R1$ .  
Cualquier punto en el espacio

30 
$$P(x, y, z)$$

$$X = r \text{ sen } (\Theta) \cos (\Phi)$$

$$Y = r \text{ sen } (\Theta) \text{ sen } (\Phi)$$

$$Z = r \cos (\Theta)$$

Los puntos en el extremo de las riostras  
Estos conforman los tres puntos coplanarios que conectarán las riostras con el anillo superior. Estos serán siempre coplanarios ya que están todos conectados con un anillo común.

Punto 1 ( $P_1$ ):

40 
$$X_1 = r \text{ sen } (\Theta) \cos (\Phi)$$

$$Y_1 = r \text{ sen } (\Theta) \text{ sen } (\Phi)$$

$$Z_1 = r \cos (\Theta)$$

Punto 2 ( $P_2$ ):

45 
$$X_2 = r \text{ sen } (\Theta) \cos (\Phi) + d \text{ sen } (15)$$

$$Y_2 = r \text{ sen } (\Theta) \text{ sen } (\Phi) + d \cos (15)$$

$$Z_3 = r \cos (\Theta)$$

Punto 3 ( $P_3$ ):

50 
$$X_3 = r \text{ sen } (\Theta) \cos (\Phi) + d \cos (15)$$

$$Y_3 = r \text{ sen } (\Theta) \text{ sen } (\Phi) + d \text{ sen } (15)$$

$$Z_3 = r \cos (\Theta)$$

55 Los vectores desde  $P1$  a  $P2$  y  $P1$  a  $P3$

Usando los tres puntos en el extremo de las riostras, pueden descubrirse dos vectores en el plano.

60 
$$P1P2 = \hat{a} = \langle (X2 - X1), (Y2 - Y1), (Z2 - Z1) \rangle$$

$$P1P3 = \hat{b} = \langle (X3 - X1), (Y3 - Y1), (Z3 - Z1) \rangle$$

El vector normal del plano 2 en el que se asientan los puntos  $P1$ ,  $P2$  y  $P3$ .

Usando los dos vectores en el plano, puede descubrirse el vector normal.

65

$$\begin{aligned}
 n &= \hat{a} \times \hat{b} = \\
 &((Y_2 - Y_1)(Z_3 - Z_1))i \\
 &+ \\
 &((Z_2 - Z_1)((X_3 - X_1))j \\
 5 &+ \\
 &((X_2 - X_1)(Y_3 - Y_1))k \\
 &- \\
 &((Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1))i \\
 &- \\
 10 &((X_2 - X_1)(Z_3 - Z_1))j \\
 &- \\
 &((Y_2 - Y_1)(X_3 - X_1))k \\
 &= \\
 &((Y_2 - Y_1)(Z_3 - Z_1) - (Z_2 - Z_1)(Y_3 - Y_1))i \\
 15 &+ \\
 &((Z_2 - Z_1)(X_3 - X_1) - (X_2 - X_1)(Z_3 - Z_1))j \\
 &+ \\
 &((X_2 - X_1)(Y_3 - Y_1) - (Y_2 - Y_1)(X_3 - X_1))k
 \end{aligned}$$

20 Por el bien de la simplicidad, se establecerá el vector "n" en:  $n = \langle a, b, c \rangle$

La ecuación del "Plano 2" en el que se asientan P1, P2 y P3

Lo siguiente describe el plano del anillo superior en cualquier momento determinado.

25 Ecuación general de un plano:  $AX + BY + CZ + D = 0$

Para solucionar la ecuación del plano deben hallarse A, B, C y D estableciendo el determinante de la matriz a continuación igual a cero

$$\begin{aligned}
 &x - x_1 \quad y - y_1 \quad z - z_1 \\
 \det & \begin{vmatrix} x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} \\
 35 & \\
 &= \\
 &X [y_3 (z_1 - z_2) + y_1 (z_2 - z_3) + y_2 (-z_1 + z_3)] \\
 &+ \\
 40 &Y [x_3 (-z_1 + z_2) + x_2 (z_1 - z_3) + x_1 (-z_2 + z_3)] \\
 &+ \\
 &Z [-x_2 y_1 + x_3 y_1 + x_1 y_2 - x_3 y_2 - x_1 y_3 + x_2 y_3] \\
 &+ \\
 45 &[x_3 y_2 z_1 + x_2 y_3 z_1 - x_3 y_1 z_2 + x_1 y_3 z_2 + x_2 y_1 z_3 - x_1 y_2 z_3] = 0
 \end{aligned}$$

Donde el coeficiente de X es A, el coeficiente de Y es B, el coeficiente de Z es C y el resto es la constante D.

Ecuación de esfera

50 Para solucionar el anillo superior debe hallarse la ecuación de una esfera. Esta esfera compartirá el punto central del anillo superior y el radio "R1". La esfera también tendrá P1, P2 y P3 en su superficie. El plano solucionado para lo anterior pasa a través del centro de la esfera y contiene P1, P2 y P3. Por tanto, la intersección de esta esfera y el plano describirá la ecuación del círculo que se soluciona en último lugar para representar el anillo superior.

55 Ya que P1, P2 y P3 están en la superficie de la esfera, la distancia desde estos puntos al centro de la esfera será igual. Establecer las tres siguientes ecuaciones permitirá solucionar el punto central (Xc, Yc, Zc).

Dados R1, P1, P2, P3 y la Ecuación General de una esfera:

$$60 \quad (X - X_{\text{centro}})^2 + (Y - Y_{\text{centro}})^2 + (Z - Z_{\text{centro}})^2 = R1^2$$

Se puede solucionar (Xc, Yc, Zc):

$$65 \quad (X1 - Xc)^2 + (Y1 - Yc)^2 + (Z1 - Zc)^2 = R1^2$$

$$\begin{aligned} & y \\ & (X_c - X_1)^2 + (Y_c - Y_1)^2 + (Z_c - Z_1)^2 = (X_c - X_2)^2 + (Y_c - Y_2)^2 + (Z_c - Z_2)^2 \\ & y \\ & (X_c - X_1)^2 + (Y_c - Y_1)^2 + (Z_c - Z_1)^2 = (X_c - X_3)^2 + (Y_c - Y_3)^2 + (Z_c - Z_3)^2 \end{aligned}$$

5

Se soluciona  $(X_c, Y_c, Z_c)$

La ecuación cartesiana del círculo

10

Dado el centro  $(X_c, Y_c, Z_c)$  (desde la anterior esfera), el vector normal  $n = \langle a, b, c \rangle$  (desde el plano) y los tres puntos  $P_1, P_2$  y  $P_3$  (en el círculo); la representación Cartesiana del círculo es:

$$(X - X_c)^2 + (Y - Y_c)^2 + (Z - Z_c)^2 = R_1^2$$

15

$$y \quad X [y_3 (z_1 - z_2) + y_1 (z_2 - z_3) + y_2 (-z_1 + z_3)]$$

$$+ \quad Y [x_3 (-z_1 + z_2) + x_2 (z_1 - z_3) + x_1 (-z_2 + z_3)]$$

20

$$+ \quad Z [-x_2 y_1 + x_3 y_1 + x_1 y_2 - x_3 y_2 - x_1 y_3 + x_2 y_3]$$

$$+ \quad [x_3 y_2 z_1 + x_2 y_3 z_1 - x_3 y_1 z_2 + x_1 y_3 z_2 + x_2 y_1 z_3 - x_1 y_2 z_3] = 0$$

Ecuación paramétrica del círculo

25

Con el centro en  $(X_c, Y_c, Z_c)$  (desde la anterior esfera) y el vector normal siendo  $n = \langle a, b, c \rangle$  (desde el plano), la representación Paramétrica del anillo es:

$$X(t) = X_c + (a \cdot c \cdot R \cdot \cos(t) - b \cdot R \cdot \sin(t)) / (a^2 + b^2)^{1/2}$$

30

$$Y(t) = Y_c + (b \cdot c \cdot R \cdot \cos(t) + a \cdot R \cdot \sin(t)) / (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$Z(t) = Z_c - R \cdot \cos(t) \cdot (a^2 + b^2)^{1/2}$$

Donde:  $0 \leq t \leq 2\pi$

Ejemplo

35

De esta manera, para alinear un primer elemento de hueso con respecto a un segundo elemento de hueso, se utiliza el anterior modelo matemático para diseñar software. El software considerará primero la posición inicial de los anillos con respecto a los elementos de hueso. La posición final del armazón con los huesos alineados se determinará mediante el software, teniendo en cuenta el tamaño y posición de los anillos y las riostras. El software calculará la trayectoria más corta desde la inicial a la posición final del anillo móvil, generando las posiciones intermedias de los elementos móviles en el anillo, y las rotaciones angulares de las riostras en los extremos fijos, usando una forma de cinemática de anillo para conseguir los valores necesarios. La cinemática de anillo se derivará aplicando la fórmula matemática anterior para determinar las iteraciones requeridas para ir desde la posición inicial a la posición final. Estas iteraciones se generarán con un límite en la corrección posible máxima al día tal como defina el cirujano en términos del índice de distracción máxima.

45

En referencia a las Figuras 8-13, se muestra un fijador externo alternativo que no forma parte de la presente invención. En referencia a la Figura 8, se muestra un manipulador que tiene un par de anillos idénticos a los anillos 14 y 16 de la realización preferente. El anillo 14 incluye tres unidades deslizantes 26 que son idénticas a las mostradas en las Figuras 4B-4J. Se utilizan tres riostras 200 idénticas en la realización alternativa, riostras que tienen una longitud ajustable. En esta realización, las riostras se conectan a las unidades deslizantes 26 por medio de una horquilla 202, que se muestra en las Figuras 11 y 12 y que permite la rotación alrededor de un único eje G. El otro extremo de cada riostra 200 se conecta con el anillo 16 por medio de un elemento de acoplamiento expandible 204, que se inserta en uno de los orificios 24 en el anillo 16. Tal como se analizará a continuación, la horquilla 202 se une a una unidad deslizante 26 por medio de una articulación articulada. Tal como se muestra en las Figuras 9 y 10, el acoplamiento expandible 204 se conecta con un elemento de la riostra 200, que puede ser una varilla roscada 206 para permitir el ajuste de la longitud de la riostra 200. La conexión entre el elemento de acoplamiento 204 y la varilla roscada 206 es una articulación de bola 208 que permite la rotación alrededor de tres ejes. Ya que la varilla roscada 206 se recibe dentro de una perforación roscada (no se muestra) en la porción superior de la riostra 200, la rotación de la varilla 206 alrededor de la articulación de bola 208 a lo largo del eje longitudinal de la varilla 206 incrementa o disminuye la longitud de la riostra 200.

60

La unidad deslizante 26 funciona como se ha descrito antes en relación con la realización representada en la Figura 2 para mover los extremos superiores de las riostras 18 alrededor de la circunferencia del anillo 14. Cuando no se está accionando, la unidad deslizante 26 se fija firmemente en posición en el anillo 14. La unión del extremo superior de la horquilla 202 a la unidad deslizante 26 se realiza por medio de una articulación similar articulada como la

65

articulación articulada 208 que permitirá que la riostra y la unidad deslizante se articulen en relación una con otra alrededor de los tres ejes rotativos como una articulación esférica, permitiendo tres grados de libertad en la cadena cinemática. Como alternativa, la riostra 18 podría unirse a una pieza separada rotativamente fija, que formaría el encaje. Tal como se muestra en la Figura 10, para mantener la articulación esférica intacta mientras está

5 descargada, es aconsejable incluir una tapa separada 212, que se rosque sobre el extremo de la varilla 206 para asegurar que la bola no salga fuera del encaje.

Tal como se muestra en la Figura 13, la riostra 200 se forma, como se ha analizado antes, de dos piezas, siendo una la varilla roscada 206 y la sección superior que incluye una parte 203 con una perforación roscada que recibe la

10 varilla 206.

En referencia a la Figura 14, una realización alternativa del sistema de fijación externa actualmente divulgado se indica generalmente como 300. El sistema de fijación externa 300 incluye una primera plataforma o anillo 314, una segunda plataforma o anillo 316 y una pluralidad de cadenas cinemáticas no prismáticas o riostras 390 conectando

15 cada una la primera plataforma 314 con la segunda plataforma 316. Para los fines de la presente divulgación, el término "prismático" se refiere a un elemento o articulación con un grado de libertad de traslación. Normalmente, las cadenas cinemáticas prismáticas o riostras pueden extenderse y pueden, por tanto, variar sus longitudes a lo largo de sus ejes longitudinales durante el accionamiento. Al contrario, el término "no prismático" se refiere a una articulación o elemento incapaz de cambiar su longitud a lo largo de su eje longitudinal tras el accionamiento. De

20 esta manera, el término "cadena cinemática no prismática", tal como se usa en el presente documento, se refiere a una cadena cinemática que no varía su longitud a lo largo del eje longitudinal durante el accionamiento.

En la realización representada en la Figura 14, el sistema de fijación externa 300 incluye tres cadenas cinemáticas 390 no prismáticas, pero el sistema de fijación externa 300 puede tener más cadenas cinemáticas 390 no

25 prismáticas. Por ejemplo, determinadas realizaciones del sistema de fijación externa 300 pueden tener cuatro o incluso seis cadenas cinemáticas 390 no prismáticas. Independientemente del número específico de cadenas cinemáticas 390 no prismáticas, cada cadena cinemática 390 conecta la primera plataforma 314 con la segunda plataforma 316 y tiene una primera porción terminal 352 y una segunda porción terminal 354. Las primeras porciones terminales 352 de cada cadena cinemática 390 se conectan con la primera plataforma 314, mientras que

30 las segundas porciones terminales 354 de cada cadena cinemática 390 se conectan con la segunda plataforma 316. Como consecuencia, las cadenas cinemáticas 390 mantienen las primeras y segundas plataformas 314, 316 separadas entre sí. Sin embargo, la distancia y la orientación entre las primeras y segundas plataformas 314, 316 pueden variar a medida que una o más cadenas cinemáticas 390 se mueven en relación entre sí.

Las primeras y segundas plataformas 316, 314 son sustancialmente similares a los primeros y segundos anillos 14, 16, como se ha descrito antes, y entre sí. Sin embargo, las primeras y segundas plataformas 314, 316 pueden fabricarse de diferentes materiales. Por ejemplo, en determinadas realizaciones, la primera plataforma 314 se fabrica totalmente o parcialmente de aluminio, mientras que la segunda plataforma 316 se fabrica totalmente o parcialmente

35 de fibra de carbono radioluciente o un polímero reforzado tal como polieteretercetona (PEEK).

Tal como se ve en la Figura 15, la segunda plataforma 316 tiene un chaflán 319 que se extiende a lo largo de su circunferencia, además de orificios 324, una hendidura 317 y una transmisión de tornillo sinfín 315. Al igual que con el segundo anillo 16, la segunda plataforma 316 tiene hendiduras 317 en lados opuestos. Las hendiduras 317 se extienden a lo largo de la circunferencia o perímetro de la segunda plataforma 316. El chaflán 319 se ubica

45 radialmente hacia fuera con respecto de la hendidura 317 y facilita la conexión de las cadenas cinemáticas 390 con la segunda plataforma 316 tal como se analiza en detalle a continuación. En algunas realizaciones, la segunda plataforma 316 tiene una configuración plana y define un plano. En estas realizaciones, un eje J se extiende ortogonalmente en relación con el plano definido mediante la segunda plataforma 316. La primera plataforma 314 es sustancialmente similar a la segunda plataforma 316 y también incluye un chaflán 319 que se extiende a lo largo de

50 su circunferencia (véase la Figura 14).

En referencia a las Figuras 16-17, cada cadena cinemática 390 incluye un árbol 318 ubicado entre las primeras y segundas porciones terminales 352, 354, una articulación esférica 308 ubicada en la primera porción terminal 352, una articulación universal 335 y una unidad deslizante 326 ubicada en la segunda porción terminal 354. El árbol 318

55 tiene un primer extremo 328 y un segundo extremo 334 y conecta la articulación universal 335 con la articulación esférica 308. En particular, la articulación universal 335 se conecta con el primer extremo 328 del árbol 318, mientras que la articulación esférica 308 se acopla con el segundo extremo 334 del árbol 318. Tal como se muestra en las Figuras 18 y 19, el árbol 318 está hueco y tiene una perforación 341 que se extiende entre los primeros y segundos extremos 328, 334. El árbol 318 puede estar totalmente o parcialmente realizado de material radioluciente.

60 En algunas realizaciones, el árbol 318 se fabrica de una aleación de titanio (Ti6Al4V). El segundo extremo 334 del árbol 318 incluye un encaje 351, que es parte de la articulación esférica 308.

En referencia a las Figuras 18-19, la articulación esférica 308 incluye un encaje 351 formado dentro del segundo extremo 334 del árbol 318 y una bola 353 dimensionada para recibirse en el encaje 351. Durante el funcionamiento,

65 la articulación esférica 308 proporciona tres grados de libertad de rotación y facilita el movimiento de la cadena cinemática 390 con respecto a la primera plataforma 314. Una tapa 355 se coloca alrededor del segundo extremo

334 del árbol 318 y se acopla a la bola 353, manteniendo por tanto una porción de la bola 353 dentro del encaje 351 sin inhibir el movimiento de la bola 351. Un miembro de conexión 357 se extiende desde la bola 351 y se dimensiona para recibirse dentro de un orificio 324 de la primera plataforma 314 o la segunda plataforma 316. El miembro de conexión 357 incluye una porción terminal 359 roscada (Figura 16) adaptada para coincidir con una tuerca 361 (véase la Figura 14) y una porción terminal de base 363 que tiene una superficie plana 365. Cuando la articulación esférica 308 se conecta con la primera plataforma 314, la superficie plana 365 de la porción terminal de base 363 se acopla con un lado de la primera plataforma 314, mientras que la tuerca 361 se acopla con otro lado de la primera plataforma 314. Para conectar la articulación esférica 308 con la primera plataforma 314, el miembro de conexión 357 se inserta a través de uno de los orificios 324 de la primera plataforma 314 hasta que la superficie plana 365 de la porción terminal de base 363 se acopla con un lado de la primera plataforma 314. Después, la tuerca 361 se enrosca sobre la porción terminal 359 roscada. Después de roscar la tuerca 361 sobre la porción terminal 359 roscada del miembro de conexión 357, la tuerca 361 sujeta la articulación esférica 308 a la primera plataforma 314, tal como se ve en la Figura 14.

De nuevo en referencia a las Figuras 16-19, la unidad deslizante 326 incluye una primera articulación de rótula 395 y una articulación universal 335, que por sí misma incluye segundas y terceras articulaciones de rótula 337, 339. La articulación universal 335 es sustancialmente similar a la articulación universal 35 (Figura 3A). Las segundas y terceras articulaciones de rótula 337, 339 proporcionan a la articulación universal 335 dos grados de libertad de rotación. La segunda articulación de rótula 337 se configura para rotar alrededor del eje H, mientras que la tercera articulación de rótula 339 se adapta para rotar alrededor del eje I. El eje H se orienta sustancialmente ortogonal al eje I. Una horquilla o alojamiento 350 conecta la articulación universal 335 al primer extremo 328 del árbol 318 y sujeta un pasador de pivote 345 axialmente alineado a lo largo del eje H.

En referencia a las Figuras 20 y 21, la horquilla 350 incluye dos patas 371 orientadas sustancialmente en paralelo entre sí. Cada pata 371 incluye una perforación 373 longitudinalmente alineada con el eje H y dimensionada para recibir el pasador de pivote 345. El pasador de pivote 345 se extiende a través de perforaciones 373 de la horquilla 350 y acopla de manera pivotante una porción de engranaje o transmisión de tornillo sinfín 342 de la articulación universal 335 con la horquilla 350. La porción de engranaje 342 es sustancialmente similar a la porción de engranaje 42 (Figura 3A) e incluye una sección de accionamiento 375 y una sección de conexión 377 que se extiende desde la sección de accionamiento 375. La sección de conexión 377 se dimensiona para recibirse entre las patas 371 de la horquilla 350 y tiene una perforación (no se muestra) sustancialmente alineada con el eje H y dimensionada para recibir el pasador de pivote 345. Cuando se ensambla, el pasador de pivote 345 se extiende a través de perforaciones 373 de la horquilla 350 y la perforación de la sección de accionamiento 375 alineada con el eje H, acoplado por tanto de manera pivotante la porción de engranaje 342 con la horquilla 350. Como resultado de esta disposición mecánica, la segunda articulación de rótula 337 puede rotar alrededor del pasador de pivote 345, que se coloca sustancialmente en paralelo al eje H.

En referencia continuada a las Figuras 20 y 21, la porción de engranaje 342 de la articulación universal 335 ayuda en la rotación de la tercera articulación de rótula 339. Para ello, la sección de conexión 377 de la porción de engranaje 342 tiene una perforación 379 axialmente alineada con el eje I (véase la Figura 16). Tal como se analiza en detalle a continuación, la perforación 379 se dimensiona para recibir el pasador de pivote 340. Aparte de la perforación 379, la porción de engranaje 342 incluye dientes de engranaje 344 formados a lo largo de un perímetro de la sección de accionamiento 375. En la realización representada, la sección de accionamiento 375 tiene una forma semicircular, pero la sección de accionamiento 375 puede tener cualquier otra forma o configuración adecuada. La sección de accionamiento 375 de la porción de engranaje 342 incluye además marcas que indican la angulación del árbol 318 con respecto a la unidad deslizante 326 (Figura 14).

De nuevo en referencia a las Figuras 16 a 19, los dientes de engranaje 344 de la porción de engranaje 342 se configuran para acoplarse con los dientes del conector de transmisión o tornillo sinfín 343. El conector de transmisión 343 es sustancialmente similar al tornillo sinfín 43. El tornillo sinfín 343 y la porción de engranaje 342 forman colectivamente un sistema de accionamiento de transmisión de tornillo sinfín y son parte de la tercera articulación de rótula 339. Tal como se ha analizado antes, la tercera articulación de rótula 339 puede hacer rotar el pasador de pivote 340, que se alinea axialmente con el eje I. El pasador de pivote 340 se dimensiona para recibirse en la perforación 379 (Figura 21) de la porción de engranaje 342 y conecta de manera pivotante la porción de engranaje 342 con un cuerpo de abrazadera 383 de la unidad deslizante 326.

El cuerpo de abrazadera 383 de la unidad deslizante 326 sujeta partes de la tercera articulación de rótula 339, es decir, la porción de engranaje 342 y el tornillo sinfín 343. El tornillo sinfín 343 se configura para acoplarse a la porción de engranaje 342. Como resultado, la porción de engranaje 342 pivota alrededor del eje I tras la rotación del tornillo sinfín 343 alrededor del eje K cuando la porción de engranaje 342 y el tornillo sinfín 343 se acoplan entre sí. Tal como se ha analizado con respecto al conector de transmisión 43, el conector de transmisión 343 puede accionarse mediante cualquier herramienta o medio mecánico o electromecánico adecuado. Por ejemplo, el tornillo sinfín 343 puede accionarse mediante una "herramienta inteligente" tal como se ha descrito en la patente de EE.UU. N.º 6.017.354, un servomotor/motor paso a paso dedicado o una herramienta manual. Ya que la tercera articulación de rótula 339 puede pivotar alrededor del pasador de pivote 340 mediante el accionamiento del tornillo sinfín 343, la tercera articulación de rótula 339 se considera una articulación accionada. Para los fines de la presente divulgación,

una "articulación accionada" significa cualquier articulación capaz de accionarse o activarse mediante una herramienta mecánica o electromecánica. En la realización ilustrada en la Figura 16, la rotación del tornillo sinfín 343 alrededor del eje K provoca el movimiento pivotante de la tercera articulación de rótula 339 alrededor del pasador de pivote 340. El pasador de pivote 340 acopla de manera pivotante la porción de engranaje 343 con el cuerpo de abrazadera 383.

En referencia a las Figuras 22 y 23, el cuerpo de abrazadera 383 de la unidad deslizante 326 tiene un primer extremo 381 y un segundo extremo 385 e incluye un par de patas 387 que se extienden hacia el primer extremo 381. Las patas 387 se orientan sustancialmente en paralelo entre sí y definen un espacio 391 entre ellas dimensionado para recibir la porción de engranaje 342 (Figura 16). Cada pata 387 incluye una perforación 389 dimensionada para recibir el pasador de pivote 340. Las perforaciones 389 están axialmente alineadas con el eje I (Figura 16). El pasador de pivote 340 (Figura 16) se extiende a través de las perforaciones 389 del cuerpo de abrazadera 383 y la perforación 379 de la porción de engranaje 342 (Figura 21), conectando el cuerpo de abrazadera 383 con la porción de engranaje 342. El espacio 391 conduce a una abertura 393 dimensionada para recibir el tornillo sinfín 343. El tornillo sinfín 343 se monta de manera retráctil dentro de la abertura 393. Por consiguiente, el tornillo sinfín 343 se configura para moverse entre una posición acoplada en relación con la porción de engranaje 342 y una posición desacoplada con respecto a la porción de engranaje 342. En la posición acoplada, el tornillo sinfín 343 coincide con la porción de engranaje 342 y, por consiguiente, el tornillo sinfín 343 puede accionar la porción de engranaje 342 cuando rota alrededor del eje K. En la posición desacoplada, el tornillo sinfín 343 no coincide con la porción de engranaje 342 y, por tanto, no puede accionar la porción de engranaje 342.

La estructura y el funcionamiento que permiten el movimiento del tornillo sinfín 343 entre las posiciones acoplada y desacoplada son idénticos a la estructura y el funcionamiento del tornillo sinfín 43 (véanse las Figuras 3B y 3C). Por ejemplo, el tornillo sinfín 343 se monta en árboles (no se muestran), que a su vez se reciben dentro de elementos de montaje 356 y 358 cargados por resorte. Los elementos de montaje 356 y 358 son idénticos a los elementos de montaje 56 y 58. Además, los elementos de montaje 356 y 358 están se desvían hacia dentro mediante resortes (no se muestran), lo que obliga al tornillo sinfín 343 a acoplarse con los dientes 344 de la porción de engranaje 342. Cuando un usuario mueve los elementos de montaje 356 y 358 hacia fuera a lo largo de los árboles contra la fuerza de los resortes, el tornillo sinfín 343 puede moverse hacia la porción de engranaje 342 y en acoplamiento con los dientes 344. Los resortes bloquean entonces los elementos de montaje 356, 358 en la posición acoplada por lo que el árbol 318 puede pivotar libremente alrededor del eje I (Figura 16). Además, el tornillo sinfín 343 incluye elementos de transmisión 376, 378 conectados integralmente en sus extremos. Los elementos de transmisión 376, 378 son idénticos a los elementos de transmisión 76, 78. Durante el funcionamiento, los elementos de transmisión 376, 378 facilitan la unión de una herramienta de accionamiento con el tornillo sinfín 343. De esta manera, cuando una herramienta de accionamiento se une al elemento de transmisión 376 o 378 y rota, el tornillo sinfín 343 rota alrededor del eje K y se acopla a los dientes 344, rotando por tanto la porción de engranaje 342 alrededor del eje I (Figura 16).

En referencia de nuevo a las Figuras 16-19, cada cadena cinética 390 incluye una tercera articulación de rótula 395 capaz de rotar alrededor de un perímetro o circunferencia de la segunda plataforma 316. La tercera articulación de rótula 395 es parte de la unidad deslizante 326 e incluye un tornillo sinfín 406 que es idéntico al tornillo sinfín 106 (Figura 4H).

En referencia a las Figuras 22 y 23, el tornillo sinfín se monta de manera retráctil en una abertura 493 formada adyacente al segundo extremo 385 de la unidad deslizante 326. El tornillo sinfín 406 puede moverse entre posiciones acopladas y desacopladas en relación con la transmisión de tornillo sinfín 315 de la segunda plataforma 316 (Figura 14). En la posición acoplada, el tornillo sinfín 406 coincide con la transmisión de tornillo sinfín 315 de la segunda plataforma 316, mientras que, en la posición desacoplada, el tornillo sinfín 406 no coincide con la transmisión de tornillo sinfín 315 de la segunda plataforma 315. El tornillo sinfín 406 incluye elementos de montaje 456 y 458 cargados por resorte para facilitar el acoplamiento y desacoplamiento con la transmisión de tornillo sinfín 315 de la segunda plataforma 316. La estructura y funcionamiento de los elementos de montaje 456 y 458 son idénticos a la estructura y funcionamiento de los elementos de montaje 356 y 358. Para mover el tornillo sinfín 406 entre las posiciones acopladas y desacopladas, el usuario debería seguir el procedimiento antes analizado con respecto al tornillo sinfín 343. En el caso del tornillo sinfín 406, sin embargo, el usuario mueve el tornillo sinfín 406 hacia o lejos de la transmisión de tornillo sinfín 315 después de mover los elementos de montaje 456 y 458 hacia fuera para desacoplar o acoplar el tornillo sinfín 406 con la transmisión de tornillo sinfín 315. Además, el tornillo sinfín 406 incluye elementos de transmisión 476, 478 integralmente conectados en sus extremos. Los elementos de transmisión 476, 478 son idénticos a los elementos de transmisión 376, 378 y facilitan la unión de una herramienta de accionamiento con el tornillo sinfín 406.

Cuando el tornillo sinfín 406 se ubica en la posición acoplada en relación con la transmisión de tornillo sinfín 315, el tornillo sinfín 406 puede girar a lo largo del perímetro o circunferencia de la segunda plataforma 316 tras la rotación del tornillo sinfín 315 alrededor del eje L. El tornillo sin 406 puede accionarse (es decir, rotar alrededor del eje L) con cualquiera de una herramienta o medio mecánico o electromecánico adecuado o tal como "una herramienta inteligente", un servomotor/motor paso a paso dedicado o una herramienta manual. Dado que la primera articulación de rótula 395 puede accionarse a través de la rotación del tornillo sinfín 406 alrededor del eje L, la primera

articulación de rótula 395 se considera una articulación accionada. Tal como se ha analizado antes, la tercera articulación de rótula 339 también se considera una articulación accionada. Las articulaciones esféricas 308 no se consideran articulaciones accionadas por que estas articulaciones no se accionan ni activan. Por tanto, cada cadena cinemática 390 de la realización mostrada en la Figura 4 incluye al menos dos articulaciones accionadas. Cada  
5 cadena cinemática 390, sin embargo, puede incluir más articulaciones accionadas.

En referencia continuada a las Figuras 22 y 23, la unidad deslizante 326 incluye una base 412, un brazo móvil 416 adaptado para moverse hacia y lejos de la base 412, un primer par de pasadores 410 montados en la base 412 y un  
10 segundo par de pasadores 424 montados en el brazo móvil 416. Un área o espacio abierto se define entre el brazo móvil 416 y la base 416 y se dimensiona para recibir una primera o segunda plataforma 314, 316. Este espacio permite que un usuario ajuste la unidad deslizante 326, bien sobre la primera plataforma 314 o la segunda plataforma 316. El primer y segundo par de pasadores 410, 424 también ayudan en la conexión entre la unidad deslizante 426 y la primera plataforma 314 o la segunda plataforma 316.

15 La estructura y funcionamiento de los pasadores 410 son idénticos a la estructura y funcionamiento de los pasadores 110 (véanse las Figuras 4C-4E), y la estructura y funcionamiento de los pasadores 424 son idénticos a la estructura y funcionamiento de los pasadores 124 (véanse las Figuras 4C-4E). En resumen, cada pasador 410 tiene una cabeza 414 adaptada para acoplarse a la hendidura 317, ya sea de la primera plataforma 314 o la segunda  
20 plataforma 316. De igual manera, cada pasador 424 tiene una cabeza 426 configurada para acoplarse a la hendidura 317 de la primera plataforma 314 o la segunda plataforma 316. Durante el funcionamiento, las cabezas 414 de los pasadores 410 se deslizan a lo largo de una hendidura 317, mientras que las cabezas 424 de los pasadores 424 se deslizan a lo largo de otra hendidura 317 de la misma plataforma (314 o 316) a medida que la unidad deslizante 326 gira alrededor de la circunferencia de dicha plataforma (314 o 316).

25 La unidad deslizante 326 incluye adicionalmente una primera lámina 450 montada en la base 412 para mantener la posición del primer par de pasadores 410, y una segunda lámina 452 montada en el, brazo móvil 416 para mantener la posición del segundo par de pasadores 424.

30 Tal como se ha analizado antes, el brazo móvil 416 puede moverse hacia y lejos de la base 412. En algunas realizaciones, un perno 418, o cualquier otro aparato adecuado, controla el movimiento del brazo móvil 416 en relación con la base 412 y ayuda a sujetar la unidad deslizante 426 en la segunda plataforma 416. El cuerpo de abrazadera 383 incluye un orificio roscado 460 colocado y dimensionado para recibir y acoplarse al perno 418. El perno 418 puede sujetar el brazo móvil 416 al cuerpo de abrazadera 383 cuando se recibe de manera segura dentro  
35 del orificio roscado 460. Un usuario puede mover el brazo móvil 416 hacia o lejos de la base 412 atornillando o desatornillando el perno 418 del orificio roscado 460.

En referencia a la Figura 24, un dispositivo de medición se indica generalmente como 500. El dispositivo de medición 500 es efectivamente una cinta de medición que tiene un primer extremo 502 y un segundo extremo 504. El primer extremo 502 incluye un componente magnético 506 adaptado para conectarse a elementos de transmisión  
40 476 o 478 del tornillo sinfín 406 a través de magnetismo. El componente magnético 506 incluye dos o más eslabones 508 o cualquier otro mecanismo de articulación adecuado. Los eslabones 508 permiten que el componente magnético 506 se articule en relación con el segundo extremo 504. Durante el funcionamiento, un usuario utiliza el dispositivo de medición 500 para medir la distancia entre un extremo de un tornillo sinfín 406 ubicado en una cadena cinemática 390 y una articulación esférica 308 ubicada en otra cadena cinemática 390. En el  
45 caso de un sistema de fijación externa con tres cadenas cinemáticas 390, el usuario debería medir esta distancia tres veces. Cada vez, el usuario debería medir tal distancia entre un par diferente de cadenas cinemáticas 390. Cada medición representa en efecto la longitud de una "riostra fantasma" de un hexápodo, haciendo que los cálculos para el software sean mucho más simples.

50 La Figura 25 muestra otro aparato de medición 600 para medir la distancia entre el lugar de osteotomía y la segunda plataforma 316. El lugar de osteotomía se refiere a la ubicación donde el cirujano corta el hueso en dos segmentos antes de fijar los dos segmentos de hueso resultantes con un sistema de fijación externa. El aparato de medición 600 puede acoplarse a un componente magnético 506 del dispositivo de medición 500 a través de magnetismo, e incluye una porción plana 602 configurada para alinearse con el lugar de osteotomía durante la medición, una  
55 porción de acoplamiento 604 y un mango 606 ubicado entre la porción plana 602 y la porción de acoplamiento 604. Durante el uso, el componente magnético 506 del dispositivo de medición 500 se sujeta inicialmente a la porción de acoplamiento 604 del aparato de medición 600. Después, el usuario alinea la porción plana 602 con el lugar de osteotomía y posteriormente mide la distancia entre el lugar de la osteotomía y la segunda plataforma 316.

60 Durante el uso, un médico puede emplear el sistema de fijación externa 300 así como las realizaciones alternativas para realizar una osteotomía. La osteotomía puede realizarse en cualquier hueso largo, tal como la tibia y el fémur. En un método ejemplar, el médico une la primera plataforma a un primer segmento de hueso con cualquier aparato adecuado, tal como alambres o pasadores. Después, el médico une la segunda plataforma a un segundo segmento  
65 de hueso con alambres o pasadores. Después de sujetar la primera y segunda plataformas a diferentes segmentos de hueso, el médico debería determinar la posición relativa y apropiada del primer segmento de hueso con respecto al segundo segmento de hueso (es decir, una posición predeterminada). Usando el software antes descrito, el

médico usa entonces una correlación matemática de la posición relativa de la primera plataforma con respecto a la segunda plataforma para determinar las nuevas ubicaciones para las articulaciones accionadas requeridas para recolocar el primer segmento de hueso en la posición predeterminada con respecto al segundo segmento de hueso. A continuación, el médico acciona las articulaciones accionadas para mover dichas articulaciones accionadas a las nuevas ubicaciones determinadas. Se conciben otros métodos de utilización del sistema de fijación externa divulgado. Independientemente de los métodos empleados, el sistema de fijación externa actualmente divulgado proporcionar al menos seis grados de libertad.

Estos componentes se unen para permitir que todo el conjunto tenga seis grados de libertad: tres de traslación (x, y, z), y tres de rotación (cabeceo, alabeo, guiñada). Merece la pena mencionar que el conjunto realiza esto con tres riostras en lugar de las seis normales asociadas con la plataforma de Gough/Stewart. La matemática del sistema se describe en Alizade *et al. Mech. Mach. Theory* Vol. 29, N.º 1, págs. 115-124.

Muchos autores han propuesto robots de seis grados de libertad con solo tres patas que tendrían dos accionadores por pata (y por lo tanto no son totalmente paralelos). Esto permite disminuir el riesgo de interferencia entre las patas (incrementando por tanto el tamaño del espacio de trabajo), pero tiene el inconveniente de reducir la rigidez mientras se incrementan los errores de colocación.

Cada una de las tres cadenas cinemáticas que conectan el anillo inferior con el superior demuestra seis grados de libertad desde sus articulaciones en la configuración mostrada. El primero llega a partir de la rotación de la unidad deslizante alrededor del anillo 14. El segundo llega a partir de la rotación de la riostra alrededor de la unidad deslizante 26 por medio de la articulación de horquilla 202. El tercero llega a partir de la extensión de la riostra por medio de su articulación prismática. Los tres últimos llegan a partir de los tres grados de rotación permitidos por la articulación esférica o de bola. Para definirse como un robot paralelo, el diseño debe tener el mismo número de accionadores que grados de libertad. Ya que existen seis grados de libertad, existen seis accionadores: uno prismático (dentro de la riostra) y uno rotativo (entre la unidad deslizante 26 y el engranaje) para cada una de las tres patas. Cada accionador proporciona al anillo superior un grado de libertad. Alizade *et al. (id.)* ha explorado el intervalo de movimiento en una configuración tal como esta, demostrando el tamaño del espacio de trabajo del conjunto y analizando tanto el desplazamiento delantero como trasero. También se ha declarado que este conjunto tiene una ventaja distinta respecto a la plataforma de Stewart/Gough en su capacidad para producir una rotación pura.

Los seis grados de libertad proporcionados por estos diseños permiten la propiedad única de tener una "bisagra virtual". Al reparar un hueso deformado, es esencial que la realineación tenga lugar centrada en el Centro de Rotación de Angulación (CORA), el punto en que el eje mecánico proximal y el eje mecánico distal se cruzan. En sistemas antiguos (por ejemplo, Ilizarov), era esencial construir una bisagra física en el conjunto que se alineaba perfectamente con el CORA. Si un médico percibía a mitad del tratamiento del paciente que la alineación de esta bisagra estaba desviada, era necesario reparar físicamente el sistema y recolocar la bisagra. La bisagra virtual permitida por los seis grados de libertad simplifica en gran medida este proceso. Ninguna bisagra real debe instalarse inicialmente; los dos anillos pueden generar la rotación alrededor de una única línea, formando la "bisagra virtual" allí. Si un médico aprecia que la línea inicialmente elegida no es precisa, todo lo que debe hacerse para arreglar la prescripción es simplemente corregir la línea que actúa en la bisagra virtual. Esto puede realizarse rápidamente y fácilmente usando software.

Las Figuras 26 y 27 ilustran un sistema de fijación externa que no forma parte de la invención con seis riostras para manipular la posición relativa de los fragmentos de hueso entre sí. El sistema es capaz de moverse en seis ejes de rotación. Para el movimiento, el sistema puede incorporar el uso de la "herramienta inteligente" patentada por Stryker (patente de Estados Unidos N.º 6.017.354) o seis servomotores o motores paso a paso dedicados. La herramienta inteligente o servomotores/motores paso a paso deben controlarse mediante el software. El software proporciona una interfaz para el uso mediante el cirujano o usuario para determinar ajustes diarios. El sistema también incorpora potenciómetros o codificadores ópticos (en los puntos móviles a lo largo del armazón), no solo para determinar la posición inicial (para la entrada/configuración del software), sino también para asegurar que los ajustes diarios se realizan apropiadamente.

Cada una de las seis riostras 718 tiene un extremo proximal y distal. En el extremo proximal, la riostra se conecta a un anillo con una unidad deslizante 726. En el extremo distal, se sujeta con pernos al anillo opuesto. Las seis unidades deslizantes 726 se mueven alrededor del perímetro de los anillos 714, 716 para ajustar la distancia efectiva entre los anillos. El deslizamiento en la dirección que incrementa el ángulo  $\Theta$  (Figura 27) entre el armazón y la riostra incrementa la distancia entre los anillos. El deslizamiento en la dirección opuesta disminuye la distancia.

Cuando el sistema de fijación externa 700 se configura en cirugía, la longitud de las riostras puede cambiarse para lograr la posición de inicio óptima (Posición Óptima, véase la Figura 29). Esto es importante por que existen ciertas posiciones donde las riostras 718 pueden interferir entre sí, limitando así la cantidad de movimiento posible antes de la interferencia de riostra. Una vez que la configuración está completa y la corrección puede comenzar, las riostras se bloquean y la longitud se fija. Las unidades de lanzadera 726 se mueven entonces alrededor de los anillos 714, 716 para ajustar la posición relativa de los anillos en seis ejes de ajuste. Cuando los anillos 714, 716 se mueven

mediante el sistema, la longitud de la riostra 718 es constante y no se ajusta.

5 Cuando todas las riostras son de longitud igual y cada extremo distal de unidad deslizante está más cerca del extremo proximal de su riostra cercana (véase la Figura 28), los dos anillos 714, 716 se colocan paralelos y verticalmente en línea (véase la Figura 29).

10 Siempre que la configuración inicial de las riostras 718 es tal que el extremo distal de cada riostra está más cerca del extremo proximal de su riostra cercana, véase la Figura 28, se permite el punto de inicio más óptimo y se denominará "posición óptima". Desde esta posición, el armazón se sitúa idealmente para poder realizar correcciones antes de que ocurra la interferencia de riostra.

15 La interferencia de riostra ocurre cuando una posición de riostra prohíbe que otra riostra se mueva más allá. Esto limita eficazmente el intervalo de movimiento. Al configurar el sistema 700 en la posición óptima, se limitan los efectos que tiene la interferencia en el intervalo de movimiento, maximizando así los ajustes posibles desde el punto de inicio.

20 En muchos casos, los anillos 714, 716 no estarán paralelos ni en línea inmediatamente después de la cirugía. Si todas las riostras tuvieran la misma longitud y los anillos 714, 716 no fueran paralelos, no podía lograrse la posición óptima de las riostras. Es por este motivo que las riostras deben poder ser de longitud ajustable. Idealmente, el sistema 700 se colocará en la posición óptima independientemente de la posición relativa de un anillo 714, 716 respecto a otro. Como puede verse en la Figura 30, las longitudes de las riostras son diferentes y los anillos 714, 716 no son paralelos ni están verticalmente en línea pero cada extremo distal de la unidad deslizante está más cerca del extremo proximal de su riostra cercana (posición óptima). Antes de que comience la corrección en la Figura 30, la longitud de la riostra se bloqueará. Para iniciar la corrección, el software determinará el movimiento necesario de las unidades de lanzadera 726 para lograr una alineación apropiada. Después, las unidades deslizantes o lanzaderas 25 726 se moverán por consiguiente ajustando la posición de los anillos 714, 716 hasta que se corrija la deformidad.

30 Como alternativa, podrían proporcionarse riostras de diferente longitud que se "ajusten" al sistema. Esto permitiría que el cirujano se acercara a la posición óptima. A medida que disminuye la diferencia iterativa en la longitud de las riostras disponibles, la probabilidad de lograr exactamente la posición óptima se incrementa. Como un corolario, esto incrementa el número de riostras que se ofrecen en un kit y la complejidad de la configuración. Permitir una riostra de longitud ajustable reduciría el número de riostras necesarias en un kit a seis. Es importante apreciar que la longitud ajustable no controla de ninguna manera el movimiento de los anillos. Una vez que la longitud de las riostras se establece intraoperativamente (mientras se instala el armazón), estas quedan fijadas para la totalidad del movimiento del armazón. Esto es inherentemente diferente a los armazones espaciales de la técnica anterior, por 35 que estos necesitan que las riostras se ajusten en longitud para realizar cualquier movimiento. Con el presente diseño, un usuario podría ajustar las riostras 418 a la longitud apropiada antes de que se coloquen en el armazón, fijar las longitudes e instalarlas en el armazón. Esto aseguraría que no ocurriera ningún ajuste de la longitud de la riostra mientras las riostras están en el armazón.

40 La longitud necesaria de las riostras depende de la posición inicial del sistema 700. Por ejemplo, si el sistema 700 se configura de manera que los anillos 714, 716 son paralelos y están verticalmente en línea (véanse las Figuras 29 y 31), entonces todas las riostras 718 tendrían la misma longitud. Sin embargo, la distancia entre los anillos 714, 716 dicta la longitud requerida de cada riostra 718 para lograr la posición óptima. En casos donde los anillos 714, 716 no son paralelos y ni están verticalmente en línea (véase la Figura 30), la longitud de las riostras 418 debe ajustarse para que el sistema 700 se inicie en la posición óptima. Lo siguiente es una descripción detallada del sistema. 45

50 Las Figuras 26 y 27 ilustran un sistema de fijación externa de seis riostras que no forma parte de la invención y se indica generalmente como 700. El sistema de fijación externa 700 incluye un anillo superior 714 y un anillo inferior 716. Cada anillo 714, 716 incluye una pluralidad de dientes 715 de extensión circunferencial y una pluralidad de perforaciones 724 adyacentes al diámetro interior del anillo. El sistema de fijación externa 700 incluye una pluralidad de riostras 718, que pueden extenderse inicialmente y luego bloquearse en una longitud fija. Tres riostras 718 se conectan en un primer extremo a una lanzadera o unidad deslizante 726 en el anillo 714 mediante una articulación universal 728 y en un segundo extremo a uno de los orificios 724 en el anillo 716 por medio de una articulación universal 729. Las otras tres riostras 718 se conectan a unidades de lanzadera 726 en el anillo 716 en un extremo mediante una articulación universal 728 y mediante una segunda articulación universal 729 a un orificio 724 en el anillo 714. 55

60 La Figura 28 muestra una unidad deslizante o lanzadera 726 montada en el anillo 714 y una articulación universal 728. La articulación universal 728 se conecta a una unidad de lanzadera 726 e incluye un horquilla 701, que puede rotar alrededor de un eje 702 y dos ejes de pasador 704 y 706 respectivamente. En lugar de la unidad de lanzadera 726, el sistema de fijación externa 700 puede incorporar como alternativa las unidades de lanzadera 26 representadas en la Figura 2 o cualquier otra unidad de lanzadera o mecanismo adecuado para moverse a lo largo del perímetro de un anillo 714 o 716.

65 La Figura 29 muestra los anillos 714 y 716 con tres lanzaderas 726 montadas en cada anillo y seis riostras 718 respectivamente conectadas en un primer extremo a una unidad de lanzadera 726 y en un segundo extremo a un

orificio 724 en el anillo opuesto. En referencia a la Figura 30, los anillos 714 y 716 se orientan en ángulo entre sí con los seis riostras 718 acopladas en un primer extremo a una lanzadera 726 en un primer anillo 714 o 716, y en un segundo extremo a uno de los orificios 724 en el otro de los anillos 714 o 716. Tal como se ve en la Figura 31, los anillos 714 y 716 pueden ajustarse a una orientación paralela entre sí. Tal ajuste puede lograrse ajustando la longitud inicial de cada riostra 718 y después manipulando la ubicación de las seis lanzaderas 726 en sus respectivos anillos mientras se mantiene la longitud de la riostra fija durante la manipulación. Por supuesto, si la manipulación es la configuración inicial, las riostras 718 pueden ajustarse en longitud para asegurar que los anillos 714, 716 se ubican apropiadamente con respecto a un hueso largo fracturado. Después, el movimiento de la lanzadera 726 logrará, con el tiempo, la corrección deseada.

Tal como se muestra en la Figura 32, los anillos 714 y 716 pueden ubicarse en una segunda posición angular. Para colocar los anillos 714 y 716 en la segunda posición angular, las respectivas unidades de lanzadera 726 se mueven en los anillos 714 o 716 de manera controlada. De nuevo, la alineación puede establecerse inicialmente mediante el ajuste de la longitud de la riostra. La ubicación de la unidad de lanzadera 726 en un anillo 714 o 716 puede controlarse con un mecanismo de transmisión de tornillo sinfín, tal como se muestra en la Figura 4F. Cada unidad de lanzadera 726 puede contener un mecanismo de transmisión de tornillo sinfín o cualquier otro mecanismo de accionamiento adecuado para facilitar el movimiento de la unidad de lanzadera 726 a lo largo de un anillo 714 o 716. Los mecanismos de accionamiento se acoplan a un servomotor o motor paso a paso controlado por ordenador. El sistema de fijación externa 700 incluye además un controlador o cualquier otro medio adecuado para implementar las diversas entradas en los servomotores o motores paso a paso. El controlador incluye un microprocesador capaz de manipular datos de acuerdo con una ecuación matemática que describe el movimiento y/o posición de los anillos 714, 716.

Las siguientes expresiones matemáticas describen el movimiento y posición de los anillos 714 y 716. Esta representación matemática de una plataforma de seis riostras se describe mediante la posición de una plataforma en relación con la otra.

La Figura 33 muestra una de las seis cadenas cinemáticas conectada a una base y una plataforma móvil en la configuración propuesta de robot paralelo. Cada plataforma es un anillo con un radio conocido. Cada cadena cinemática tiene un punto terminal en la base y una plataforma móvil. Las posiciones de los puntos terminales alrededor del perímetro de cada plataforma pueden medirse y por tanto se conocen. Tal como se ve en la Figura 34, los puntos centrales se describirán como punto O (centro de base con un radio a) y punto C (centro de anillo móvil con radio b). Ya que la riostra se conecta con la base y la plataforma móvil, la posición puede definirse en un sistema de coordenadas cartesianas. El punto A se describe en el sistema de coordenadas de la base, que es (x, y, z) y el punto B se describe en el sistema de coordenadas de la plataforma móvil que es (x', y', z'). Las longitudes de la riostra se conocen y la distancia entre A y B se describe adicionalmente como ρ.

La rotación de la plataforma móvil en relación con la plataforma de base puede expresarse como la rotación del sistema de coordenadas (x', y', z') en relación con el sistema coordenadas de origen (x, y, z). Los ángulos para la rotación se establecen en (Ψ, Φ, Θ).

El vector  $\vec{OC}$  describe la posición del centro de la plataforma móvil en relación con la plataforma de base y se representa mediante

$$\vec{OC} = \vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BC} \quad (1)$$

Esto es igual a

$$\|\vec{OC}\| = \|\vec{OA} + \vec{AB} + \vec{BC}\| \quad (2)$$

La ecuación (2) al cuadrado produce una ecuación en la que la mayoría de los componentes pueden sustituirse por variables conocidas.

$$\|\vec{OC}\|^2 = \|\vec{OA}\|^2 + \|\vec{AB}\|^2 + \|\vec{BC}\|^2 + 2(\|\vec{OA}\| \|\vec{AB}\| \cos \theta + \|\vec{AB}\| \|\vec{BC}\| \cos \phi + \|\vec{BC}\| \|\vec{OA}\| \cos \psi) \quad (3)$$

con  $\|\vec{AB}\| = \rho$  y  $\|\vec{OA}\| = a$

El vector  $\vec{BC}$  se escribe en el sistema de coordenadas de base de origen e iguala su descripción en el sistema de coordenadas rotado x', y', z' cuando se multiplica por la matriz de rotación R.

$$\begin{pmatrix} \vec{BC} \end{pmatrix}_{(x,y,z)} = R \begin{pmatrix} \vec{BC} \end{pmatrix}_{(x',y',z')} \quad (4)$$

La matriz de rotación rota cada eje con el ángulo conforme ( $\Psi$ ,  $\Phi$ ,  $\Theta$ ).

$$\mathbf{R} = [\mathbf{R}_z(\Psi) \cdot \mathbf{R}_y(\Theta) \cdot \mathbf{R}_x(\Phi)] \quad (5)$$

5 Esto tiene como resultado la siguiente matriz de rotación:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \cos\Theta\cos\psi & \sin\theta\sin\phi\cos\psi + \cos\phi\sin\psi & -\cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\psi \\ -\cos\Theta\sin\psi & -\sin\theta\sin\phi\sin\psi + \cos\phi\cos\psi & \cos\phi\sin\theta\sin\psi + \cos\psi \\ \sin\theta & -\sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \quad (6)$$

10 Sustituyendo todas las variables conocidas en la ecuación (3) se proporciona:

$$\|\overline{OC}\|^2 = a^2 + \rho^2 + \|\overline{BC}\|^2 + 2 [\alpha\rho + \rho(\mathbf{R}\overline{BC}) \cdot \alpha(\mathbf{R}\overline{BC})] \quad (7)$$

15 Dadas seis ríostros únicas, se tienen seis desconocidas: ( $x'$ ,  $y'$ ,  $z'$ ), que son coordenadas del punto C y ( $\Psi$ ,  $\Phi$ ,  $\Theta$ ) que son los ángulos de rotación de la normal respecto al círculo con el centro C. La ecuación (7) proporcionaría seis ecuaciones para las 6 desconocidas a partir de las que la ubicación de C puede calcularse. El centro C y el radio b pueden usarse para describir la posición de la plataforma móvil en relación con la plataforma de base.

20 En referencia a la Figura 35, la descripción del anillo de la plataforma móvil con respecto al centro C de la plataforma de base es un vector que conecta el punto O y el punto.

$$\overline{OB} = \overline{OC} + \overline{CB} \quad (8)$$

25 Con la rotación conocida del sistema de coordenadas, el círculo descansa en un plano abarcado por los ejes  $x'$  e  $y'$ . Lo normal respecto a este plano son los ejes  $z'$ . El radio b rota en torno a esta normal con el ángulo t. Por tanto, el círculo se describe mediante la ecuación (9):

$$\overline{OB}(t) = \overline{OC} + b\cos(t)x' + b\sin(t)y' \quad (9)$$

30 Usando la matriz de rotación derivada de las anteriores ecuaciones, se obtiene la ecuación para un anillo con respecto al sistema de coordenadas de origen ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ):

$$\overline{OB}(t) = \overline{OC} + b\cos(t)\mathbf{R}x + b\sin(t)\mathbf{R}y \quad (10)$$

35 Aunque la invención en el presente documento se ha descrito en referencia a realizaciones particulares, debe entenderse que estas realizaciones son únicamente ilustrativas de los principios y aplicaciones de la presente invención. Debe entenderse por tanto que numerosas modificaciones pueden realizarse en las realizaciones ilustrativas y que otras disposiciones pueden concebirse sin apartarse del alcance de la presente invención tal como se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema de fijación externa que comprende:

5 primeros y segundos elementos de anillo (14, 16) planos y al menos parcialmente circulares, con los centros de los primeros y segundo elementos de anillo separados a lo largo de un eje, teniendo el primer elemento de anillo una corredera circunferencial que se extiende a lo largo de la circunferencia en parte circular del mismo; tres y solo tres riostras (18), cada una con un primer y segundo extremo (28, 34), acoplado el primer extremo (28) de cada riostra (18) al primer anillo (14) mediante un primer conector (25) y el segundo extremo (34) de cada riostra (18) acoplado a un segundo anillo (16) mediante un segundo conector; 10 teniendo el segundo conector en el segundo extremo (34) de cada riostra (18) una articulación universal (35) que permite la rotación alrededor de un primer eje paralelo al plano del segundo anillo (16) y la rotación alrededor de un segundo eje perpendicular al primera eje; 15 incluyendo el primer conector (25) una lanzadera (26) montada en la corredera del primer anillo (14) para el movimiento a lo largo del mismo y una articulación esférica (25) acoplada al primer extremo (28) de cada riostra (18); y 20 medios (42, 43, 44, 76, 78) para controlar la posición angular de cada segundo extremo de la riostra alrededor del segundo eje y medios (106, 136, 138, 140, 142) para controlar la posición de cada lanzadera a lo largo de la corredera circunferencial en el primer anillo.

2. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 1 en el que los primeros y segundos anillos (14, 16) son círculos completos.

3. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 2 en el que las lanzaderas (26) se separan en ubicaciones predeterminadas alrededor de una circunferencia del primer anillo (14).

4. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 3 en el que cada lanzadera (26) puede moverse a lo largo de la corredera en el anillo (14) en incrementos predeterminados.

30 5. El fijador externo tal como se expone en la reivindicación 1 en el que las riostras (18) son de longitud variable e incluyen medios para bloquear la riostra en una longitud deseada.

6. El fijador externo tal como se expone en la reivindicación 1 en el que las riostras son de una longitud fija.

35 7. Un sistema de fijación externa que comprende:

una primera plataforma (314) que tiene al menos una porción circular; una segunda plataforma (316); una pluralidad de cadenas cinemáticas (390) no prismáticas conectando cada una la primera plataforma (314) a la segunda plataforma (316), incluyendo cada cadena cinemática:

una primera articulación de rótula (337); una segunda articulación de rótula (339), formando la primera y segunda articulación de rótula entre sí una articulación universal (335); 45 una tercera articulación de rótula (395) montada en la primera plataforma y adaptada para girar alrededor de una circunferencia de la porción circular de la primera plataforma; una articulación esférica (308) acoplada a la segunda plataforma (316); y 50 medios (342, 343, 344, 406, 476, 478) para accionar la primera articulación de rótula de la articulación universal y la tercera articulación de rótula que puede moverse a lo largo de la primera plataforma.

8. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la pluralidad de cadenas cinemáticas (390) no prismáticas son menos de seis.

9. El sistema de fijación externa de acuerdo con la reivindicación 7 que comprende además medios para controlar una posición de las cadenas cinemáticas (390) en relación con la segunda plataforma (316).

10. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la primera plataforma (314) incluye una hendidura (317) que se extiende lo largo de la misma, adaptándose la hendidura para guiar el movimiento de la tercera articulación de rótula (395) a lo largo de la primera plataforma (314).

60 11. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la tercera articulación de rótula (395) se configura para ajustarse sobre la primera plataforma (314).

65 12. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la articulación universal (335) tiene una pluralidad de marcas que indican angulación.

13. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la tercera articulación de rótula (395) se configura para accionarse.
- 5 14. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la tercera articulación de rótula (395) incluye un sistema de accionamiento (406) de transmisión de tornillo sinfín para controlar el movimiento de la tercera articulación de rótula a lo largo de la circunferencia de la porción circular de la primera plataforma (314).
- 10 15. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7 que comprende además un medio para controlar la posición de la primera plataforma (314) con respecto a la segunda plataforma (316) mediante el accionamiento de la segunda y la tercera articulación de rótula (339, 395).
- 15 16. El sistema de fijación externa tal como se expone en la reivindicación 7, en el que la segunda articulación de rótula (339) de la articulación universal (335) incluye un sistema de accionamiento (342) de transmisión de tornillo sinfín para controlar la articulación de la articulación universal (335) con respecto a la tercera articulación de rótula (339) montada en la primera plataforma (314).

**FIG. 1**

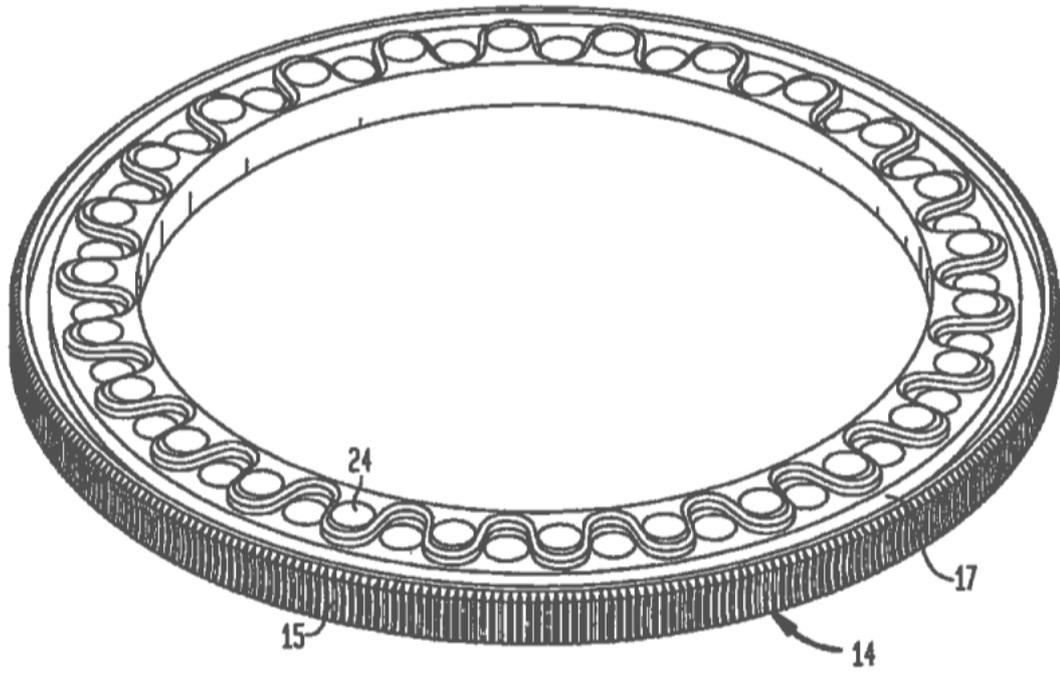


FIG. 2

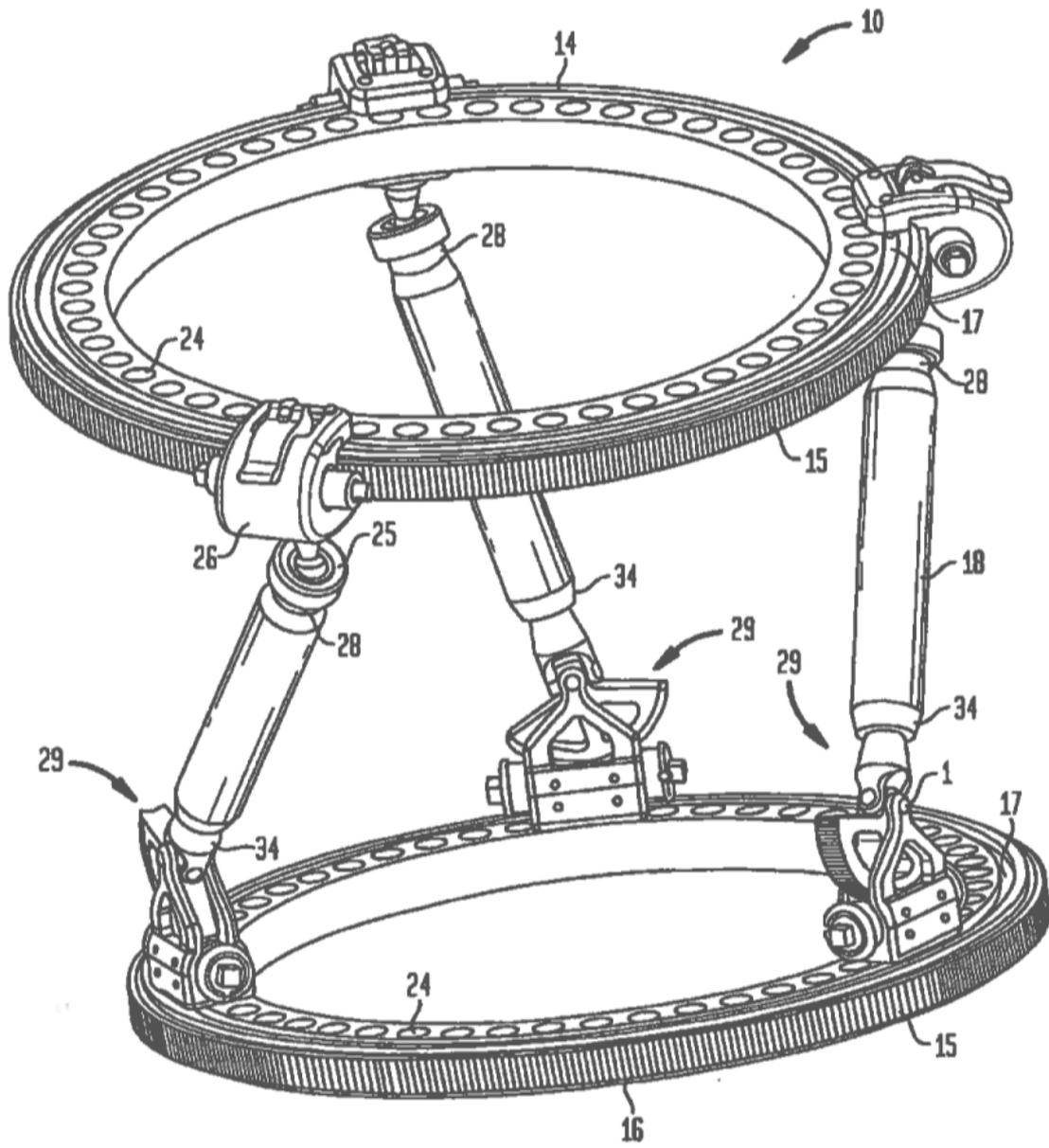


FIG. 3A

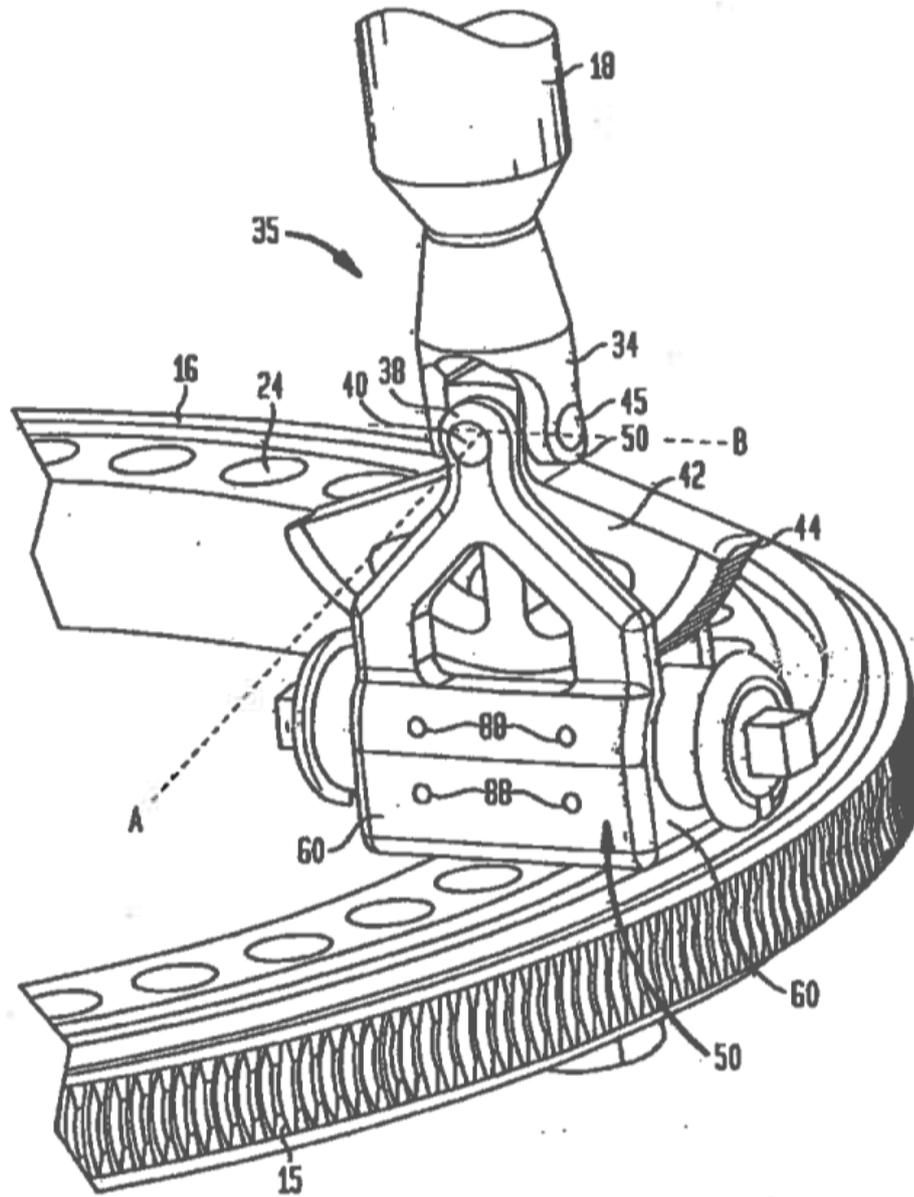


FIG. 3B

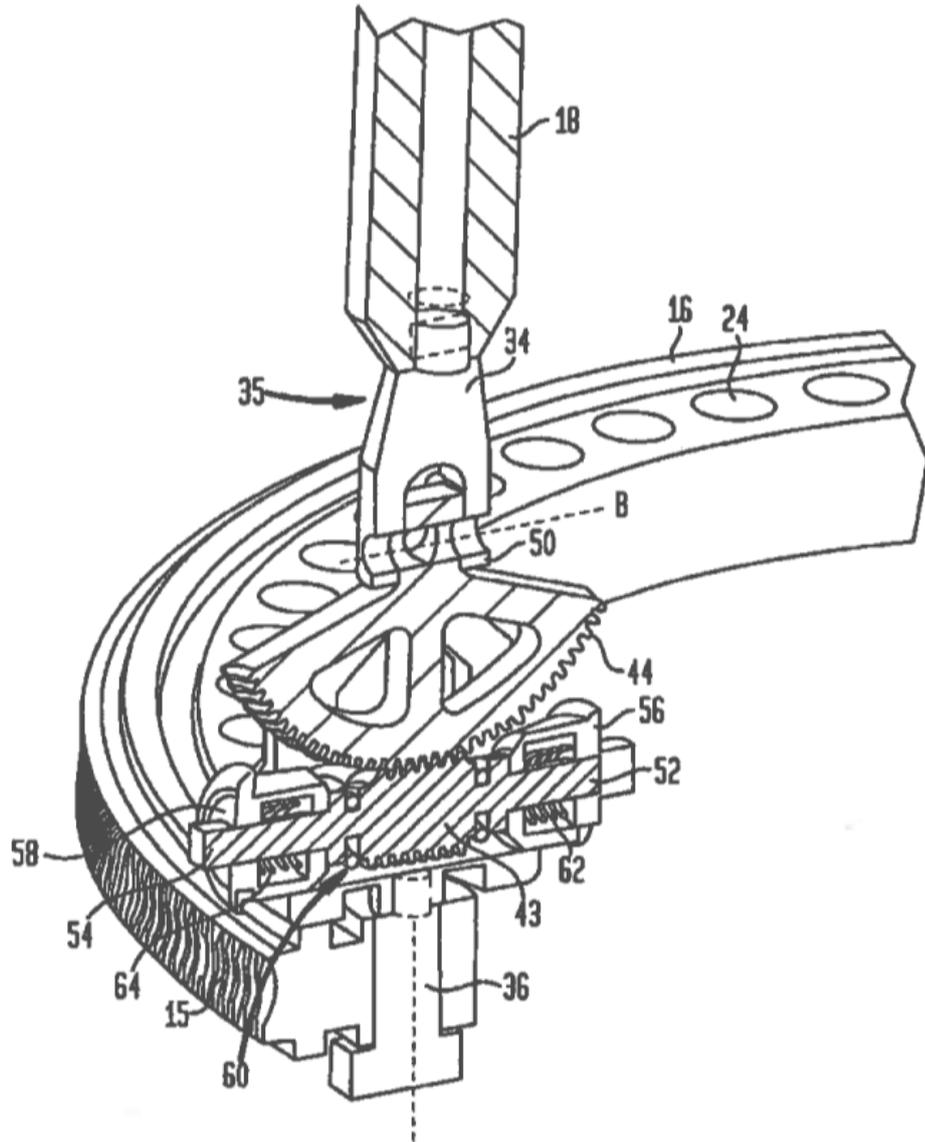


FIG. 3C

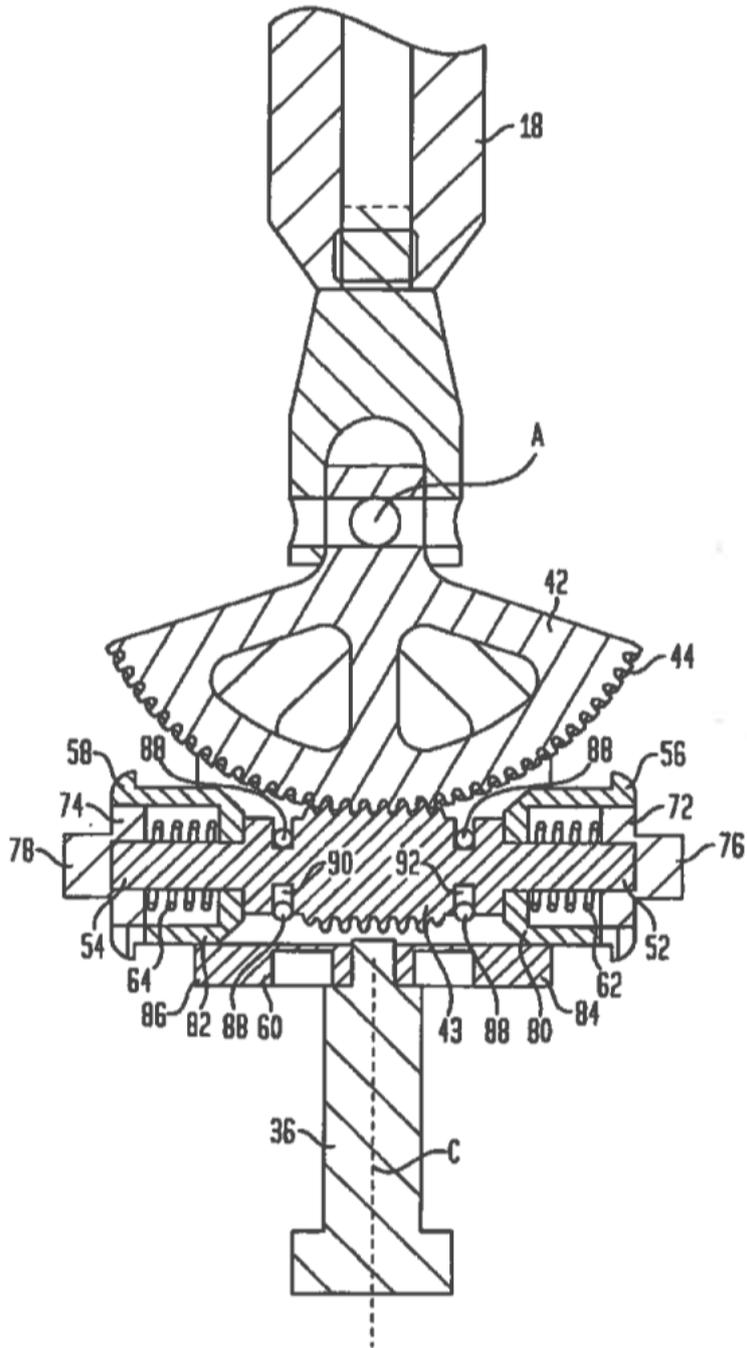


FIG. 4A

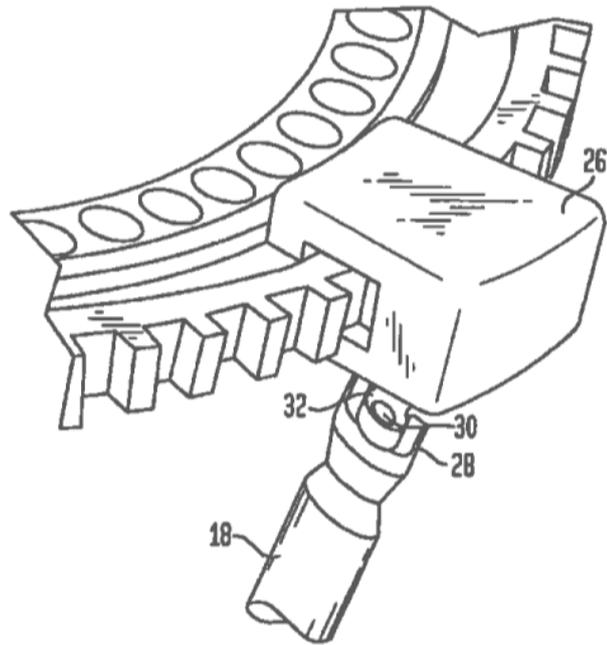
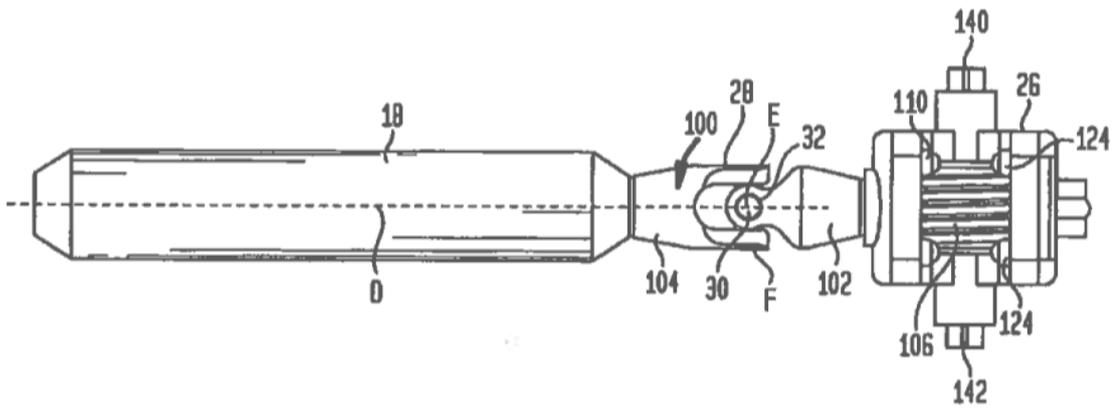


FIG. 4B



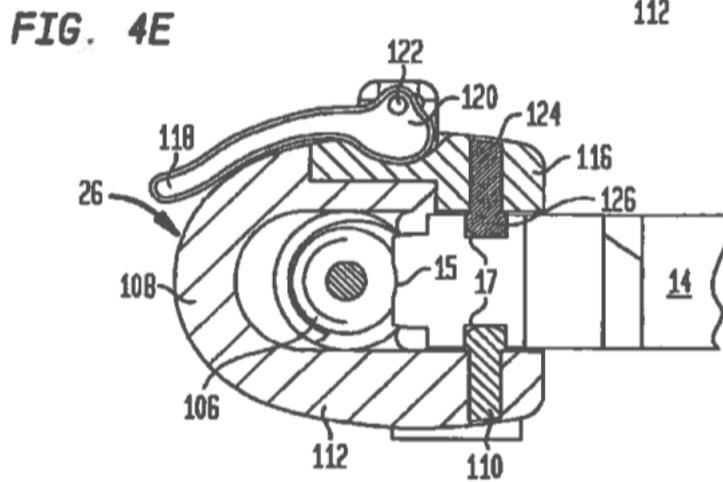
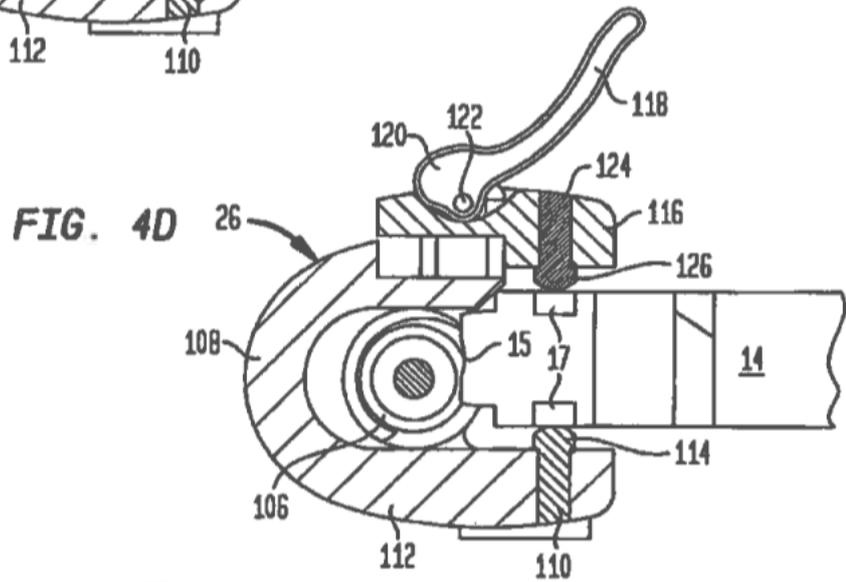
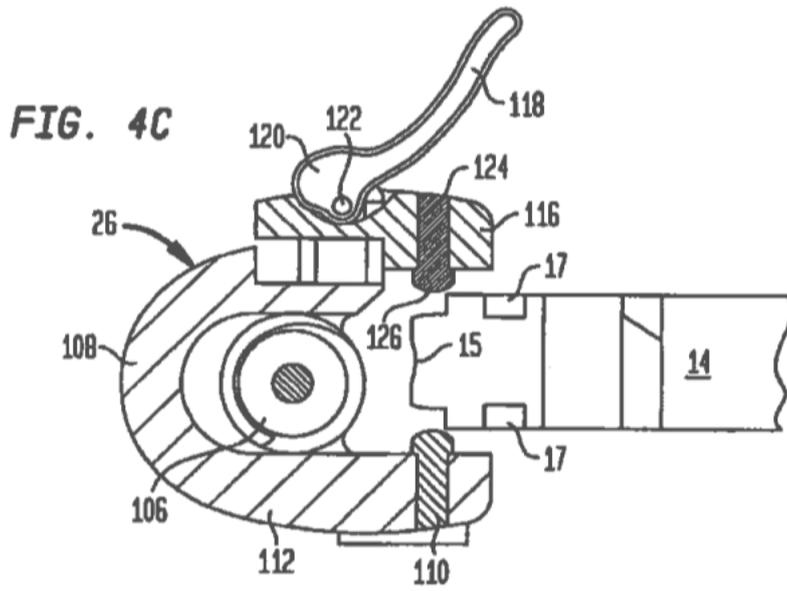
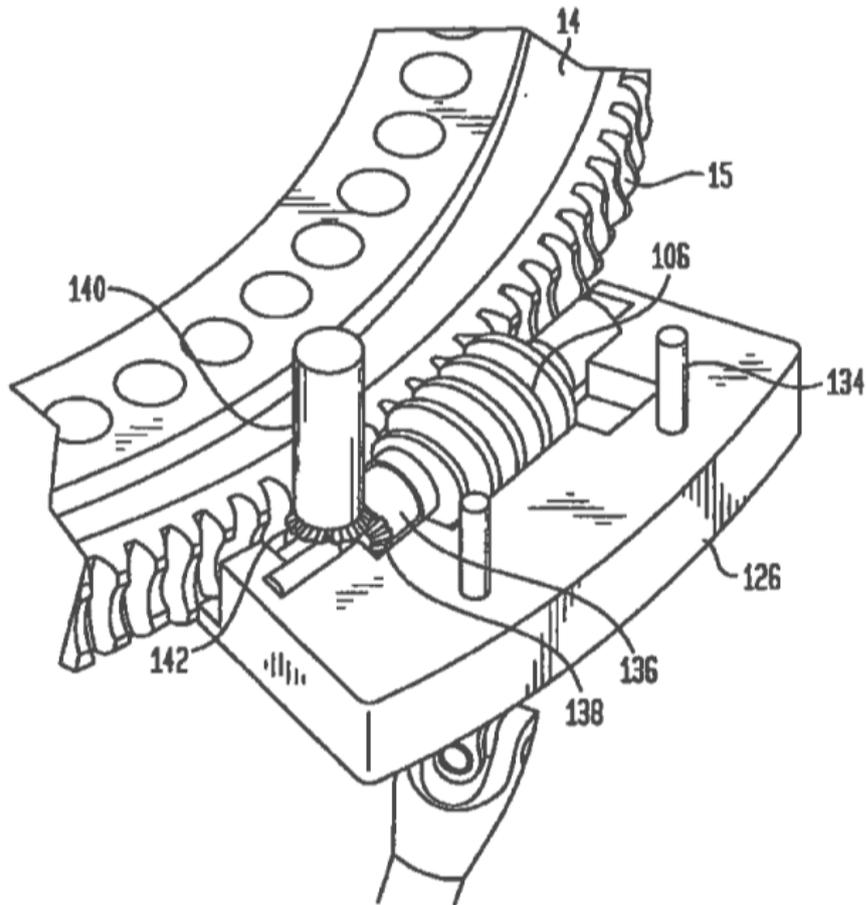


FIG. 4F



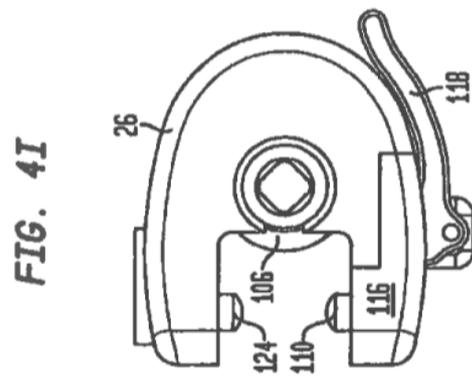
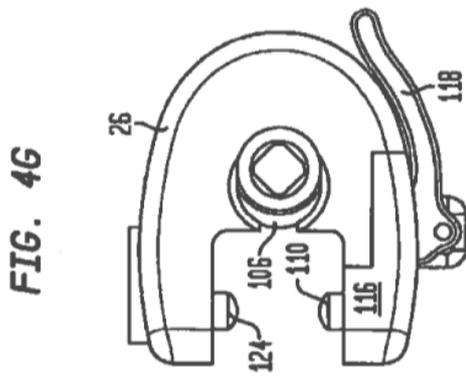
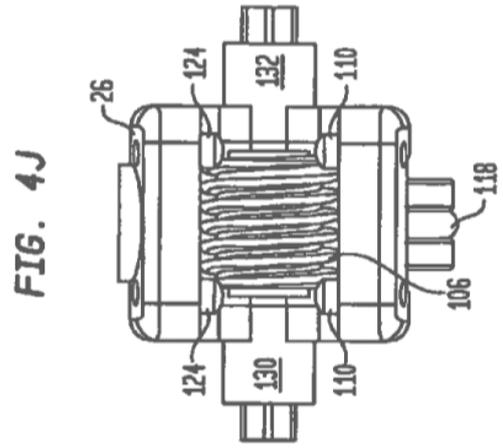
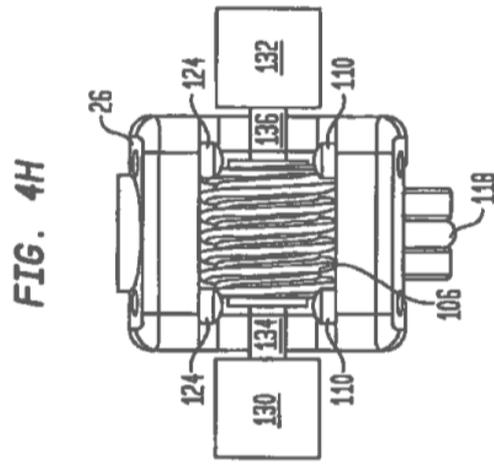
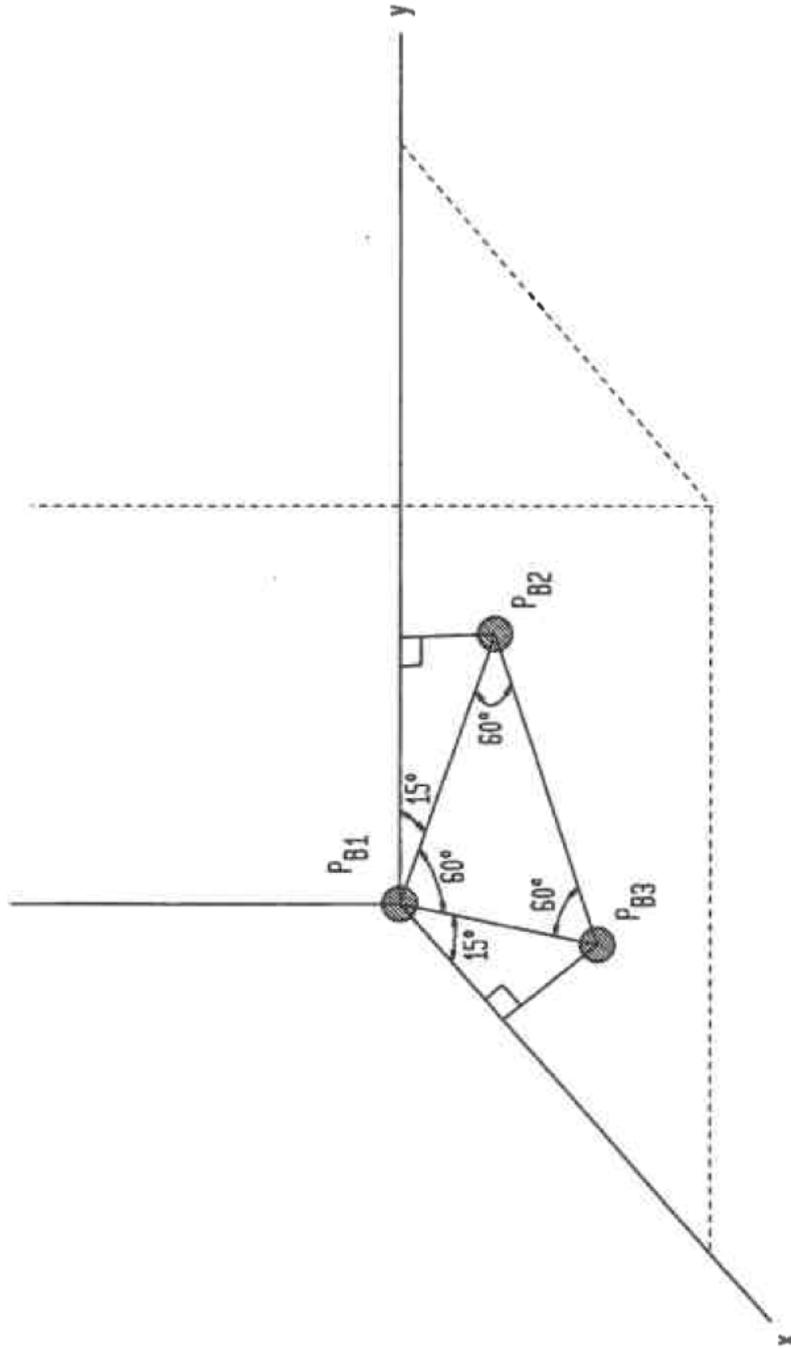
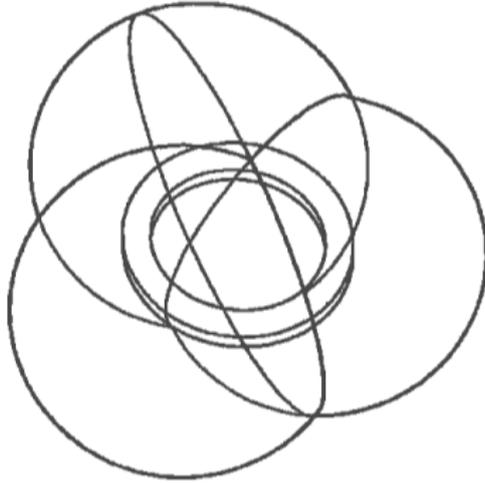


FIG. 5



**FIG. 6**



**FIG. 7**

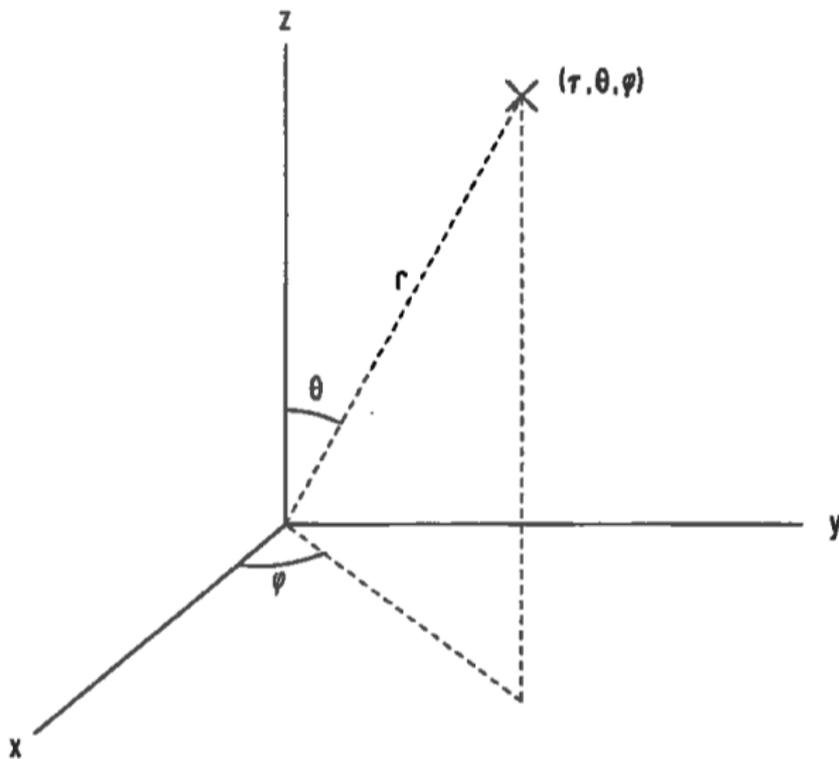
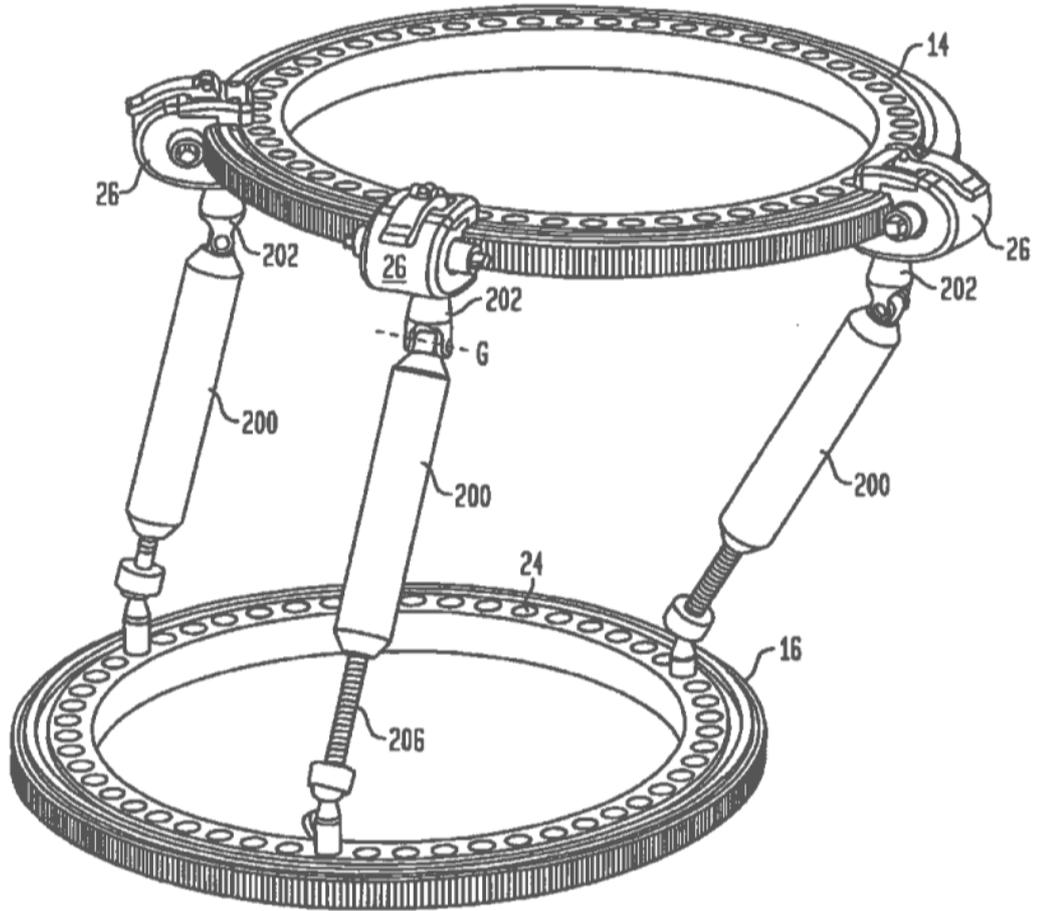
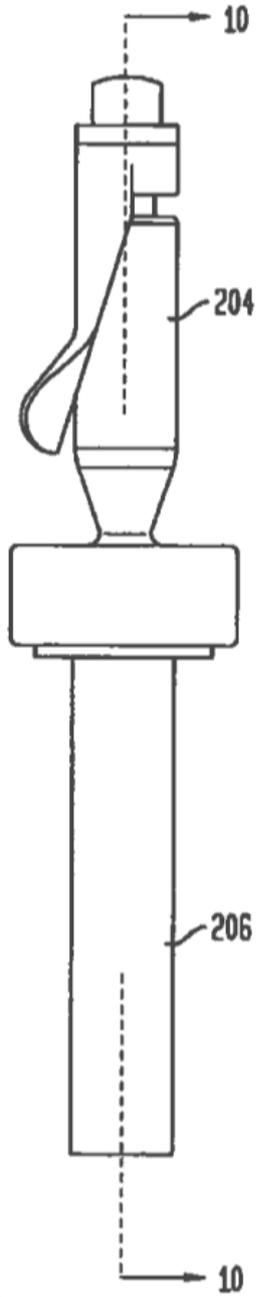


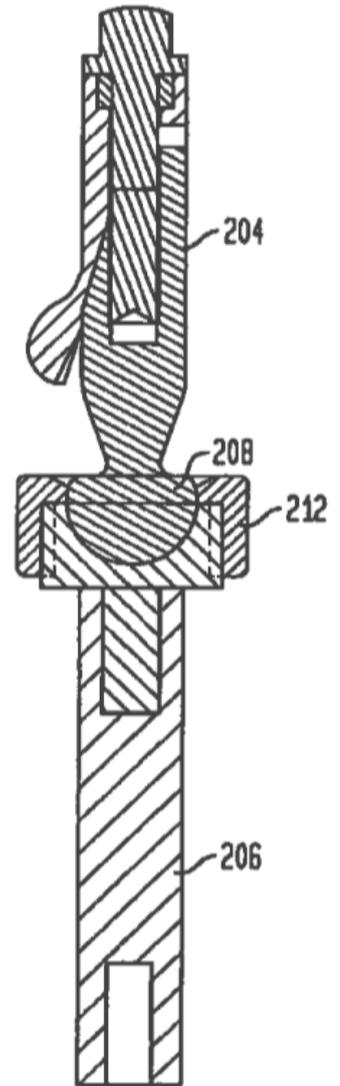
FIG. 8



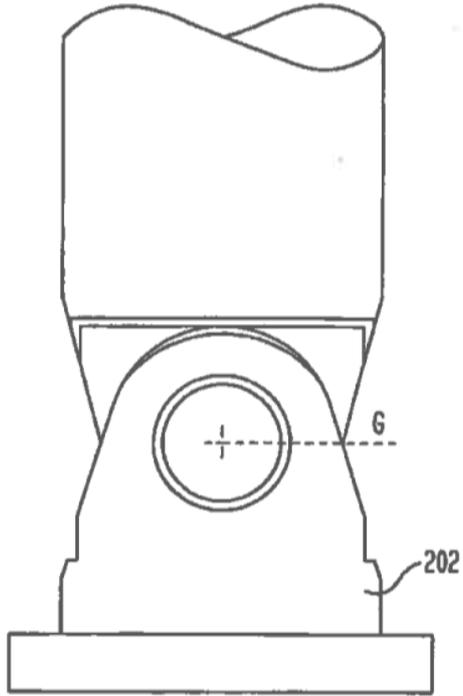
**FIG. 9**



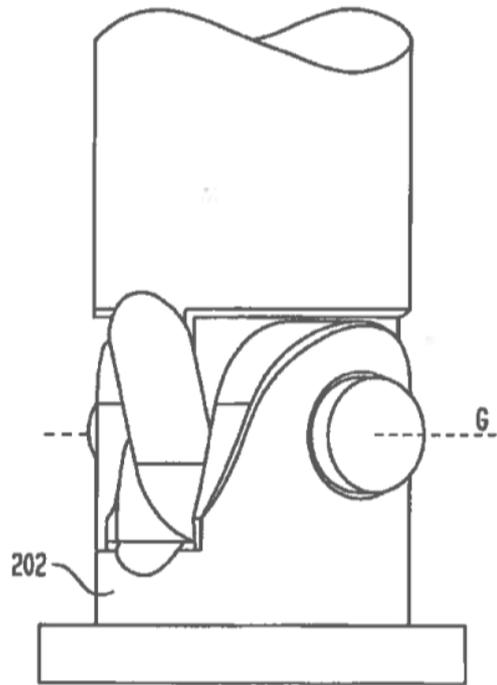
**FIG. 10**



**FIG. 11**



**FIG. 12**



**FIG. 13**

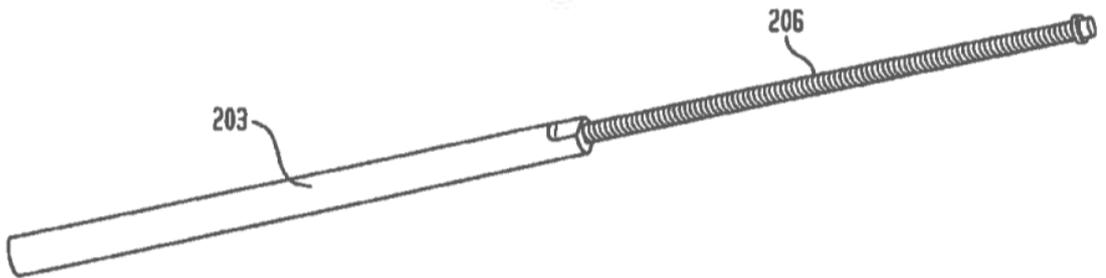


FIG. 14

300

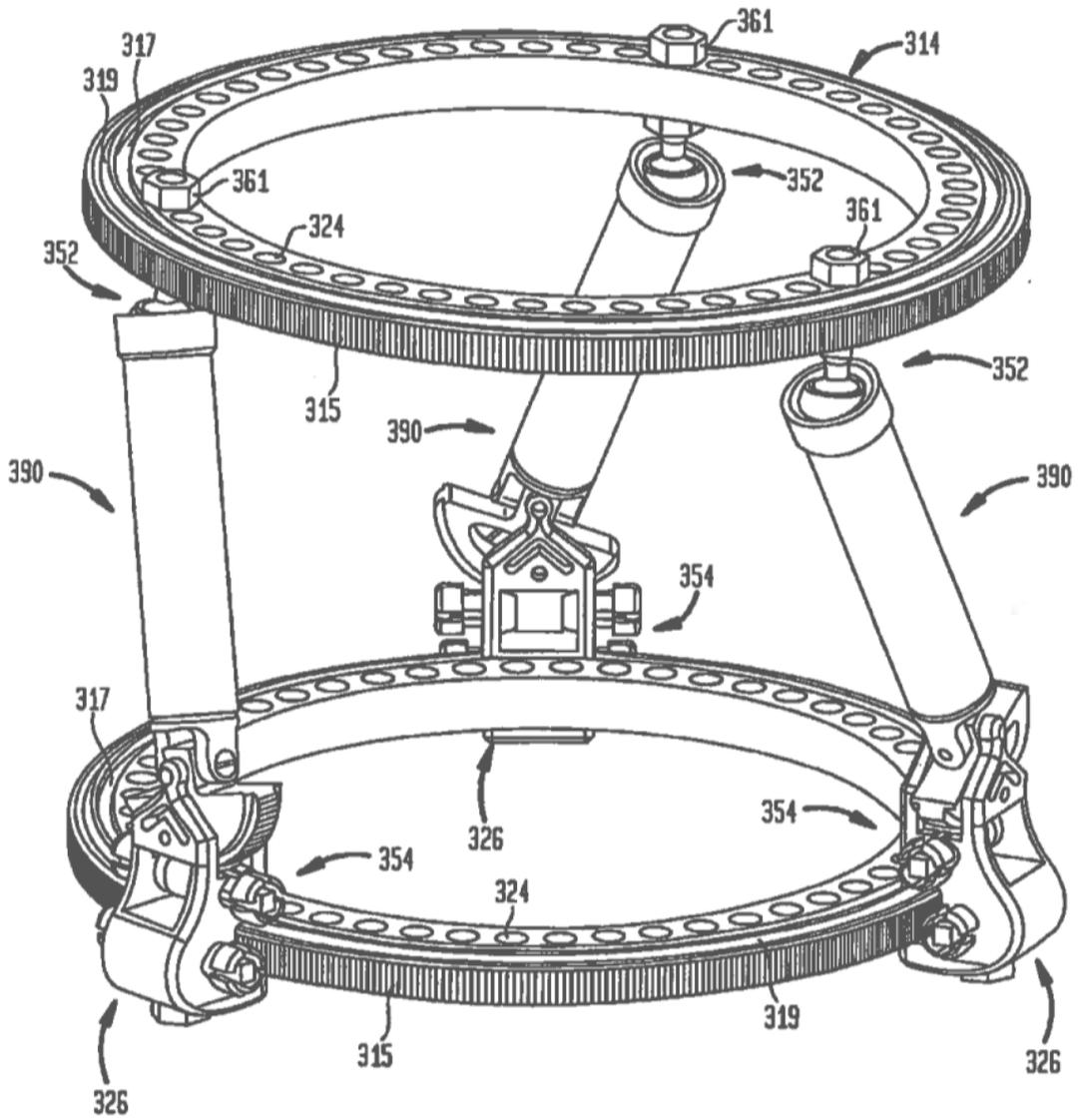


FIG. 15

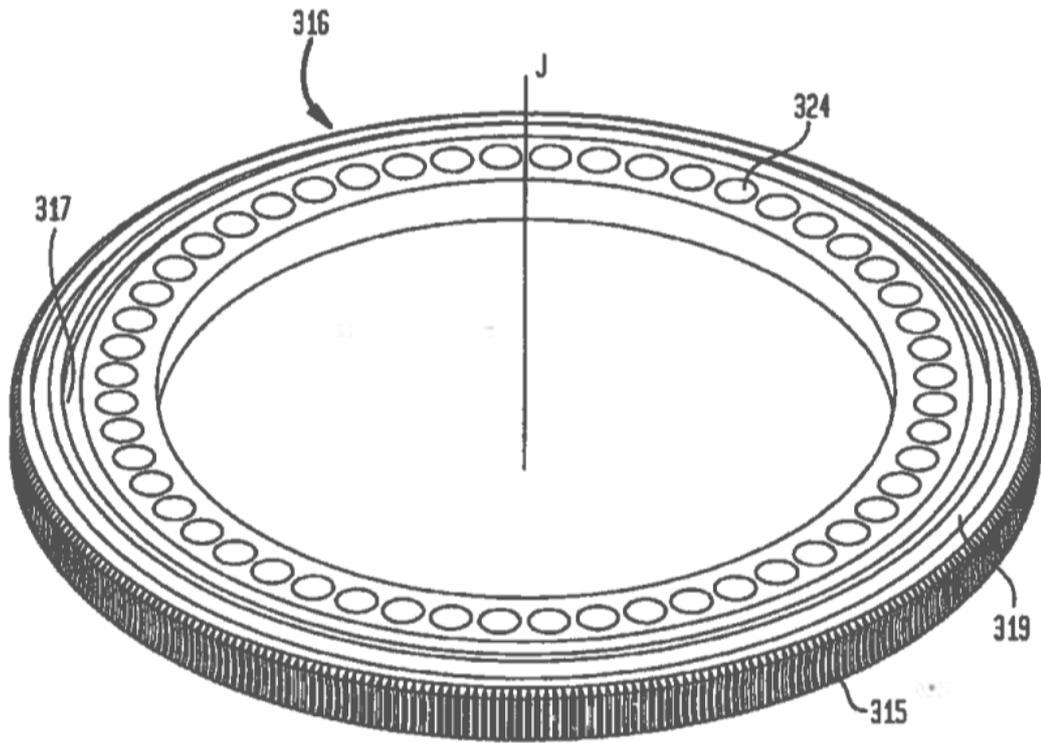


FIG. 16

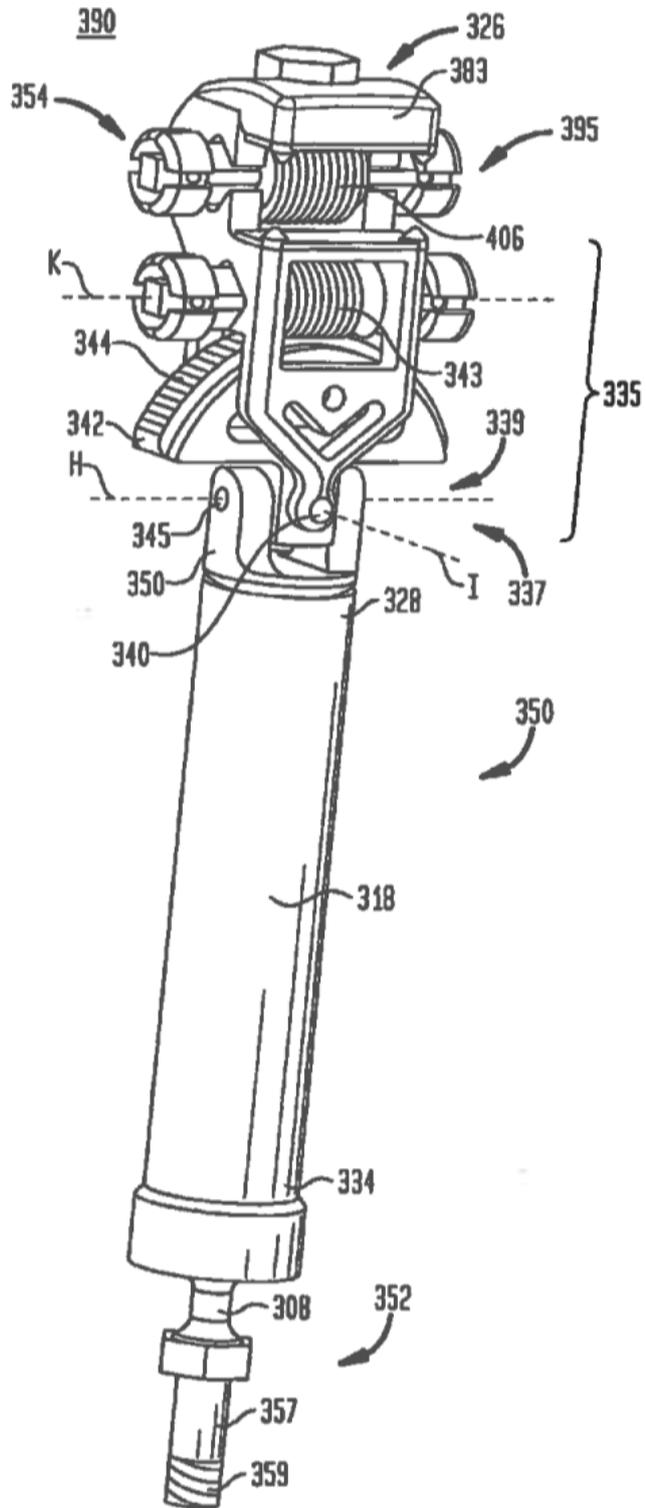


FIG. 17

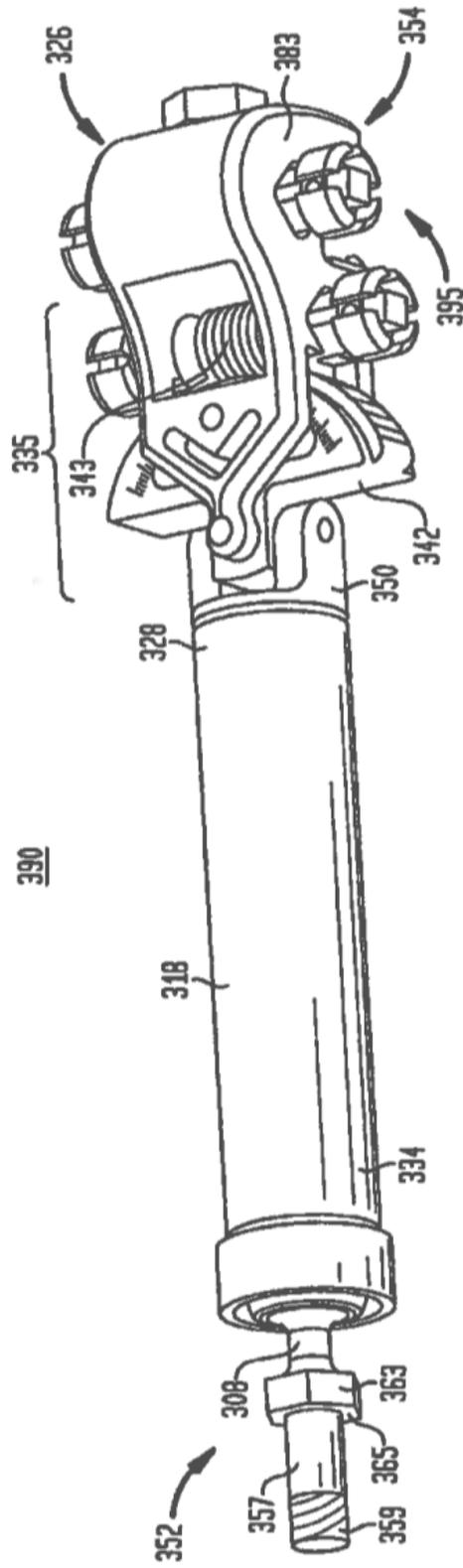


FIG. 18

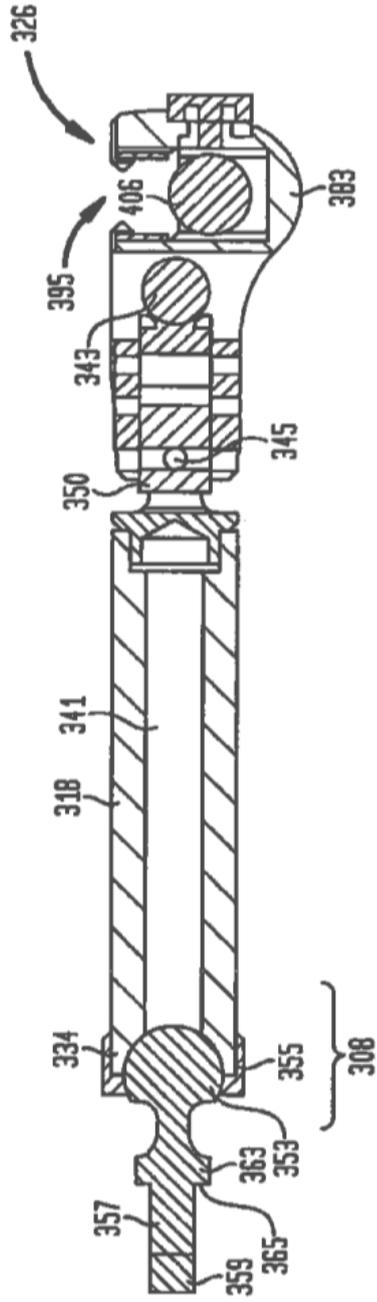
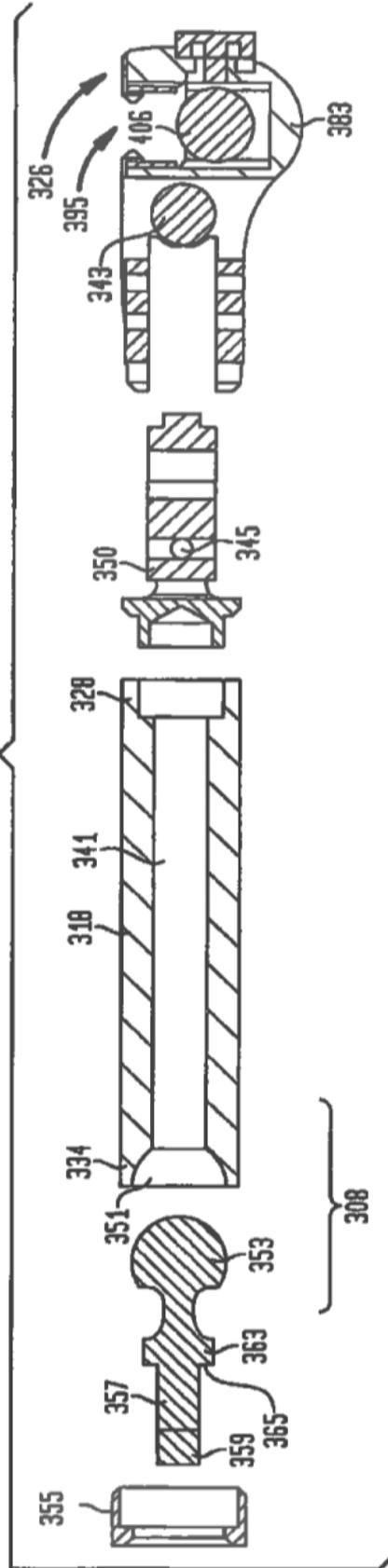


FIG. 19



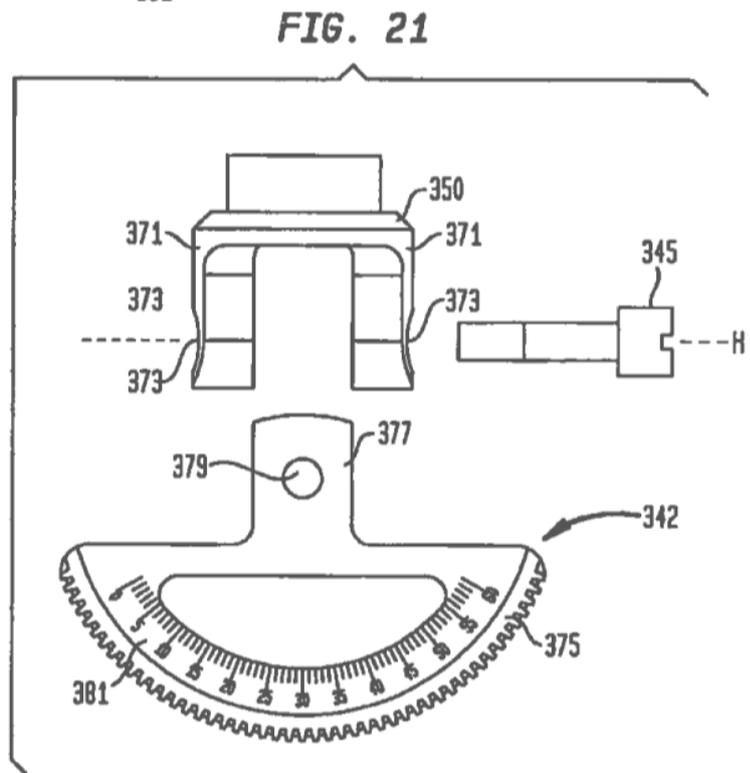
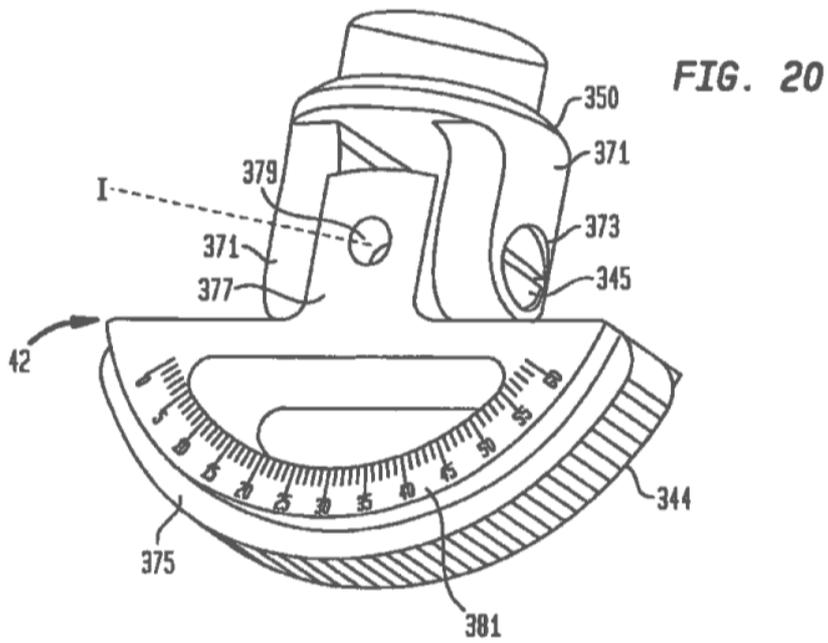


FIG. 22

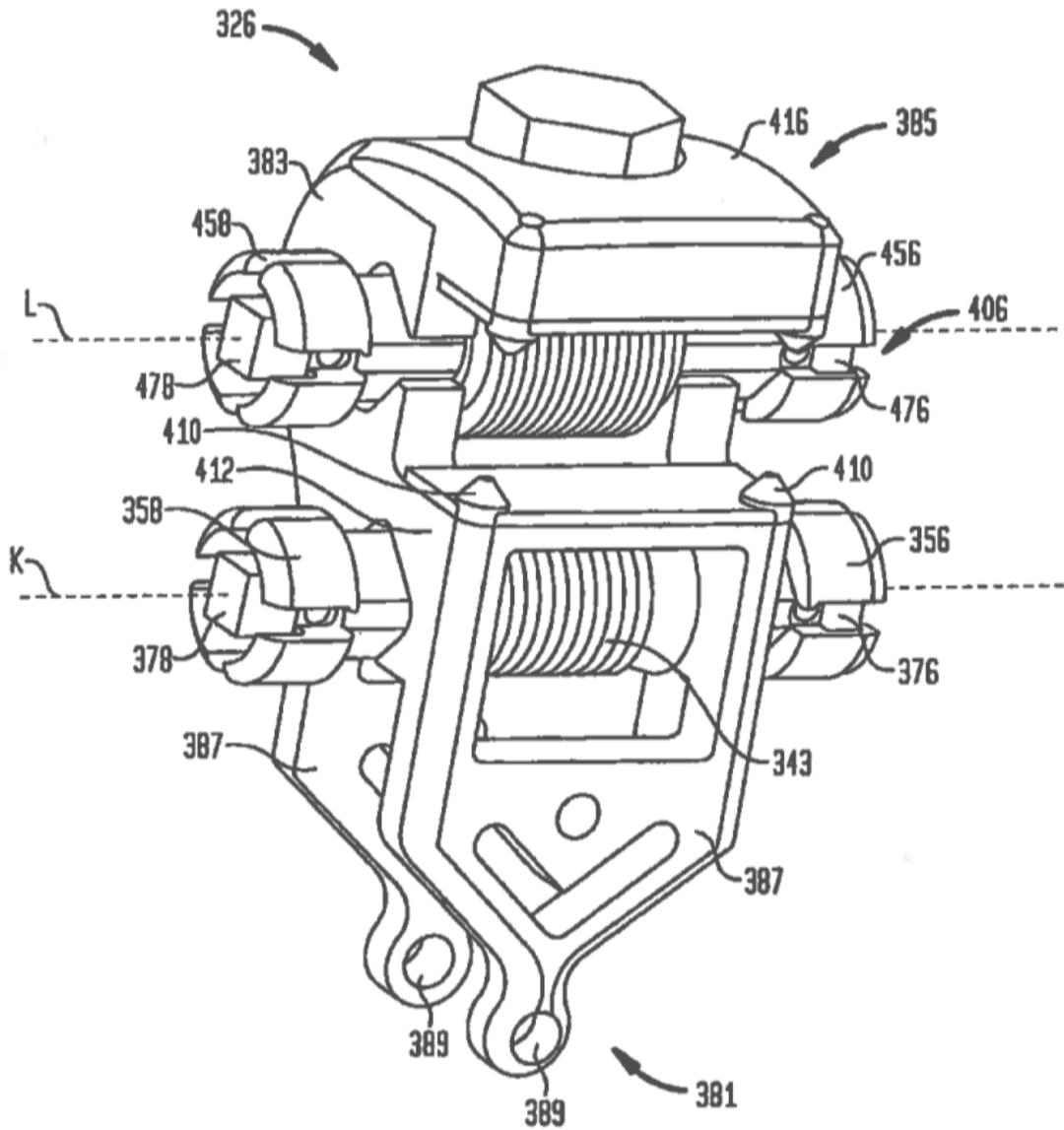


FIG. 23

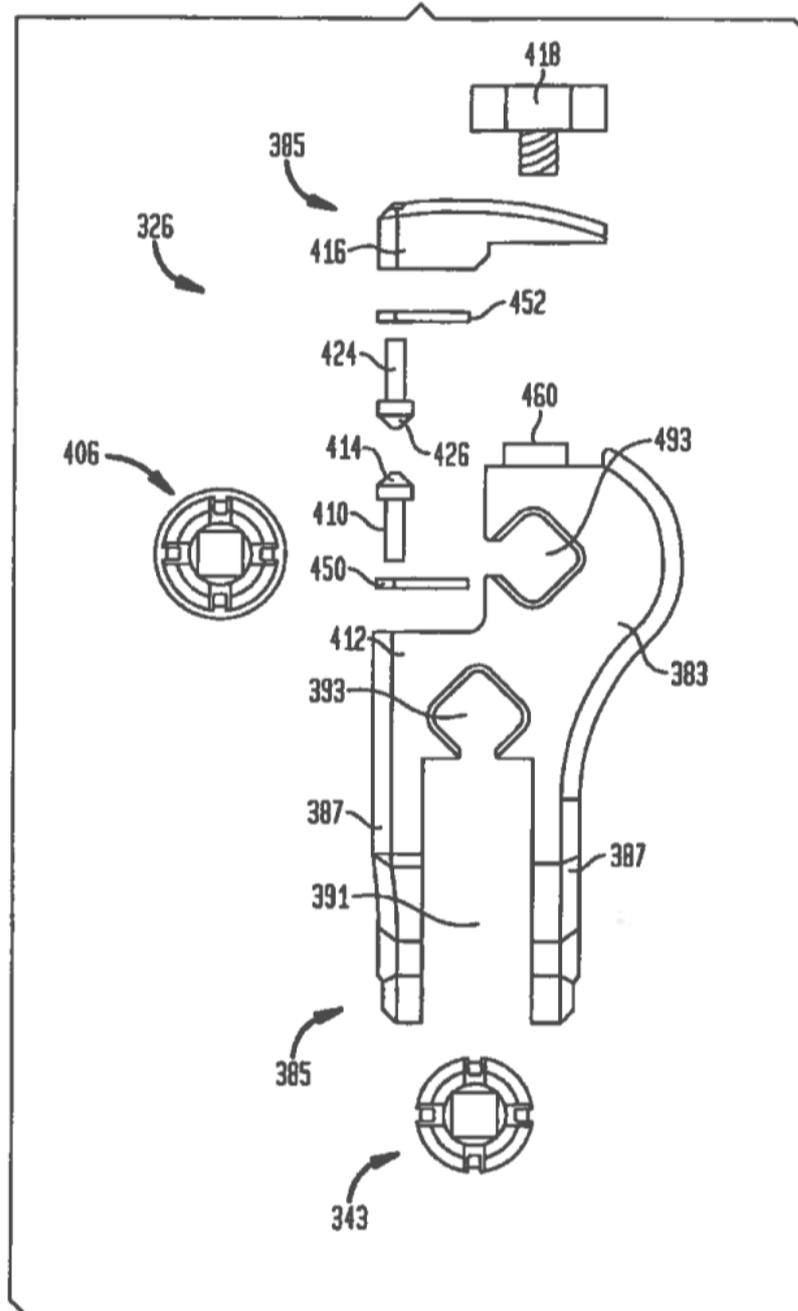
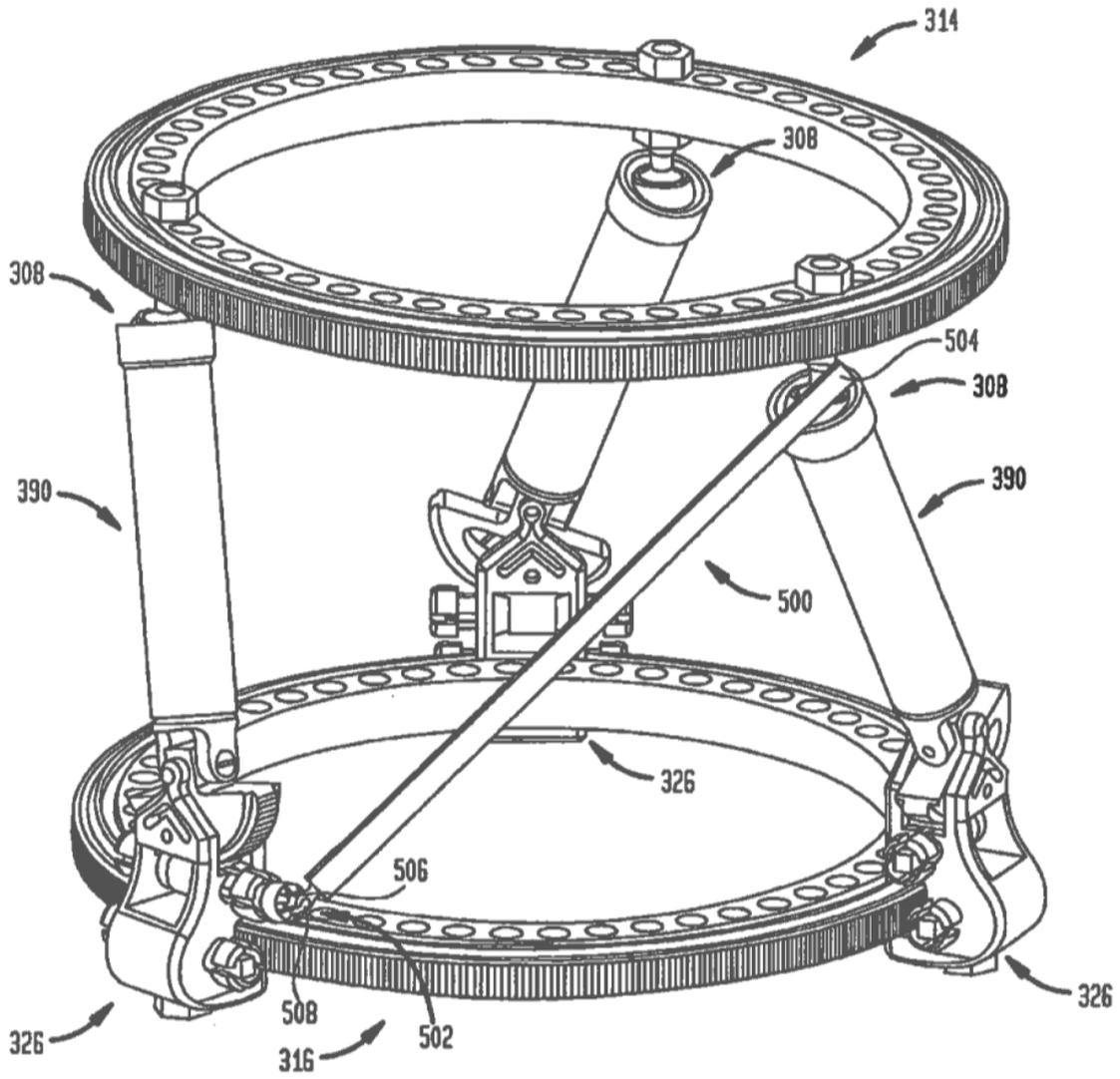


FIG. 24



**FIG. 25**

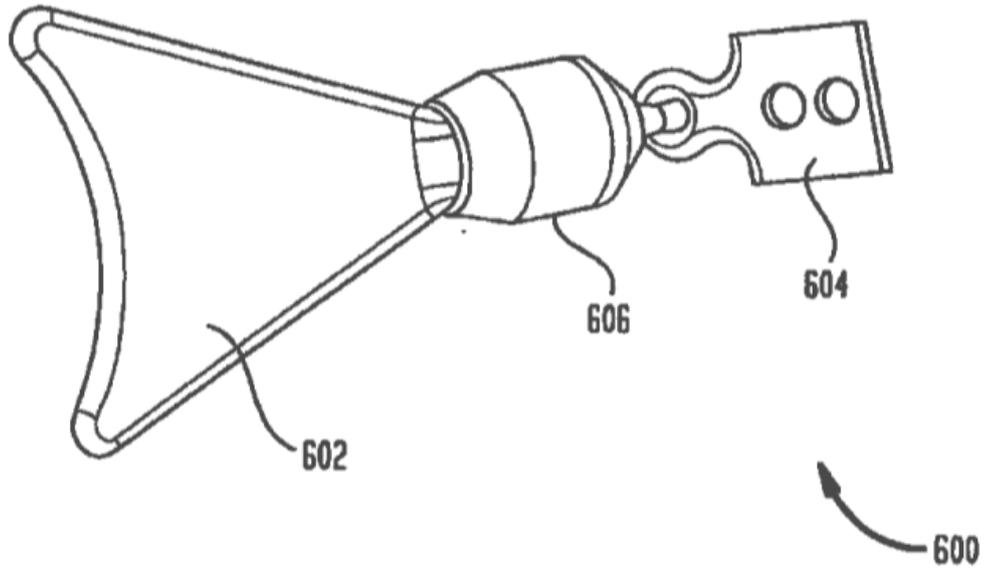


FIG. 26

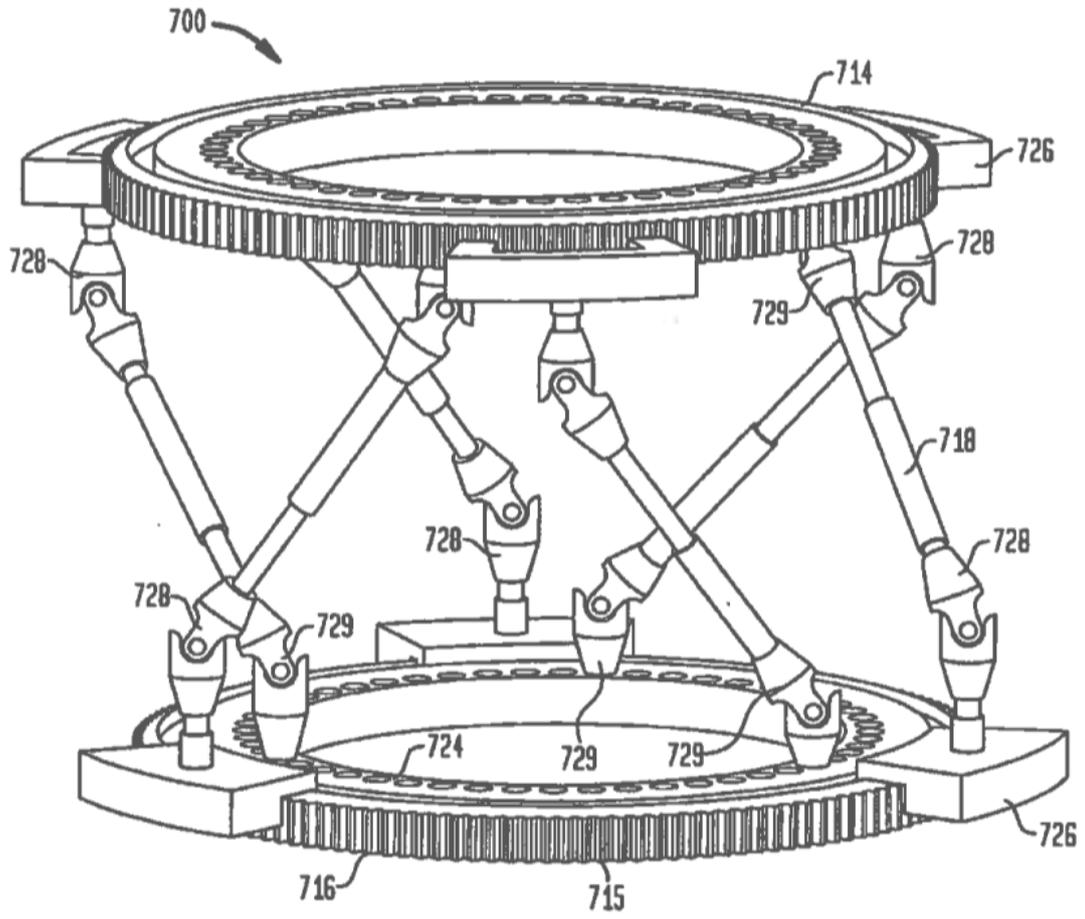


FIG. 27

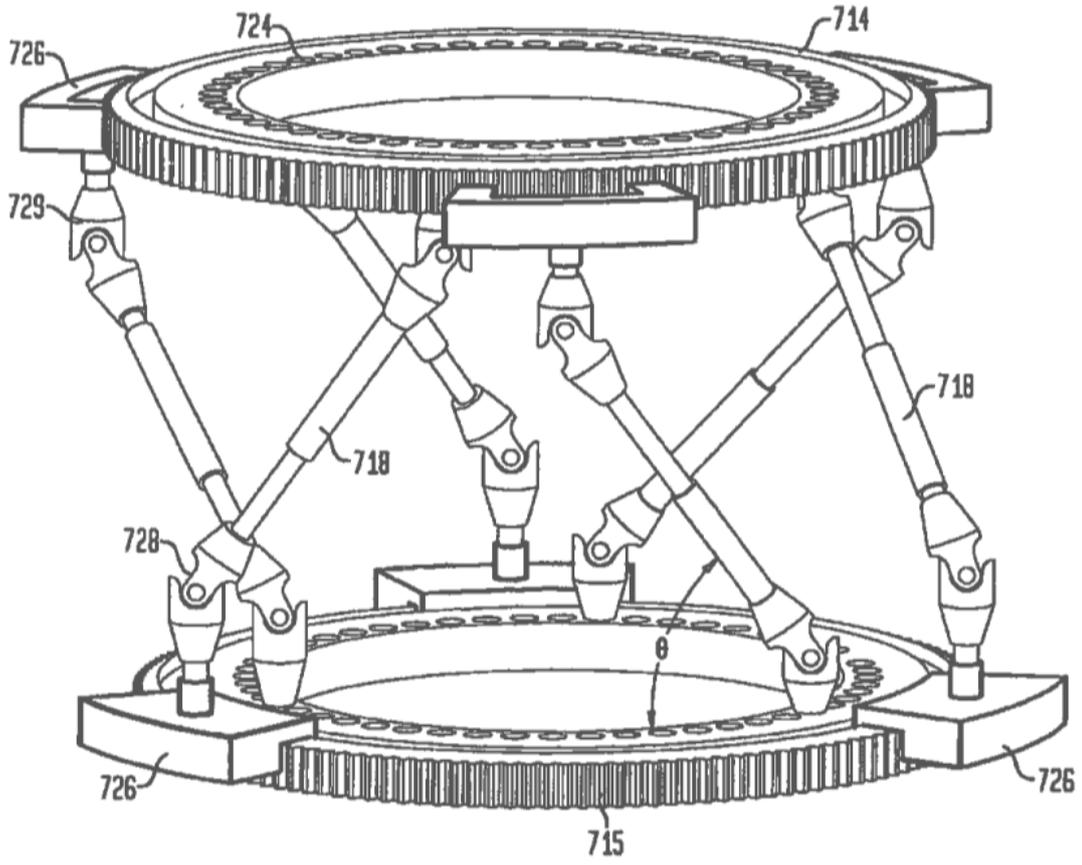


FIG. 28

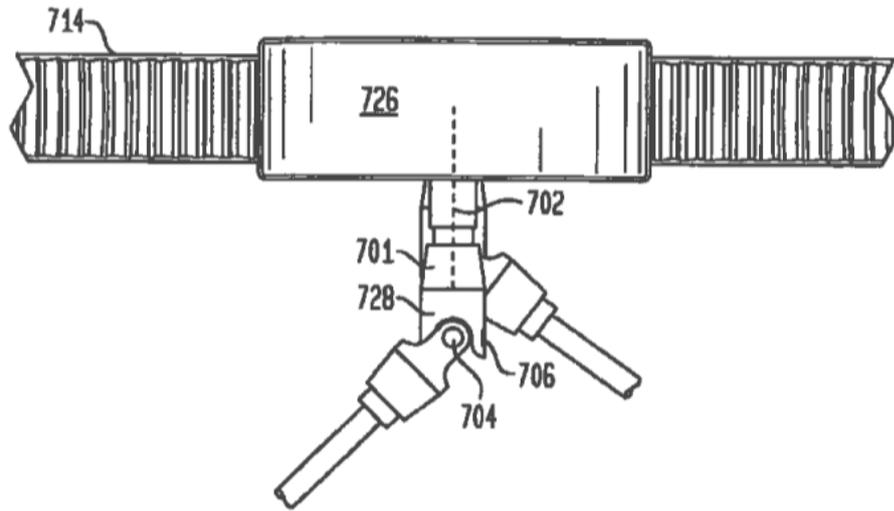


FIG. 29

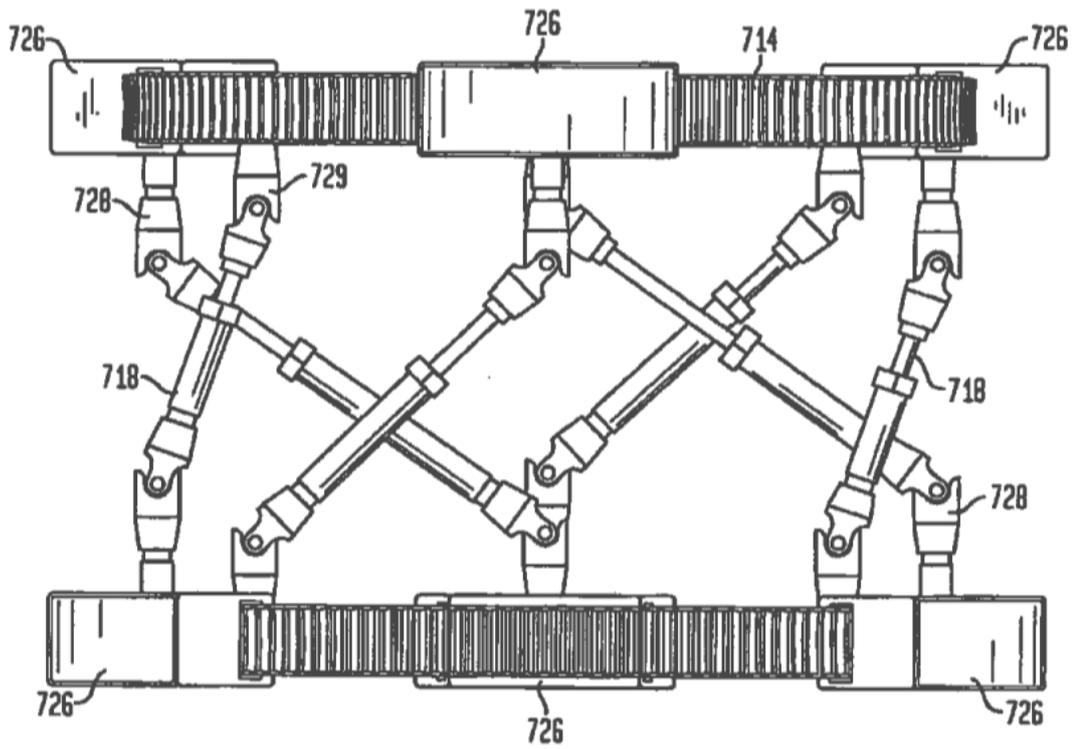


FIG. 30

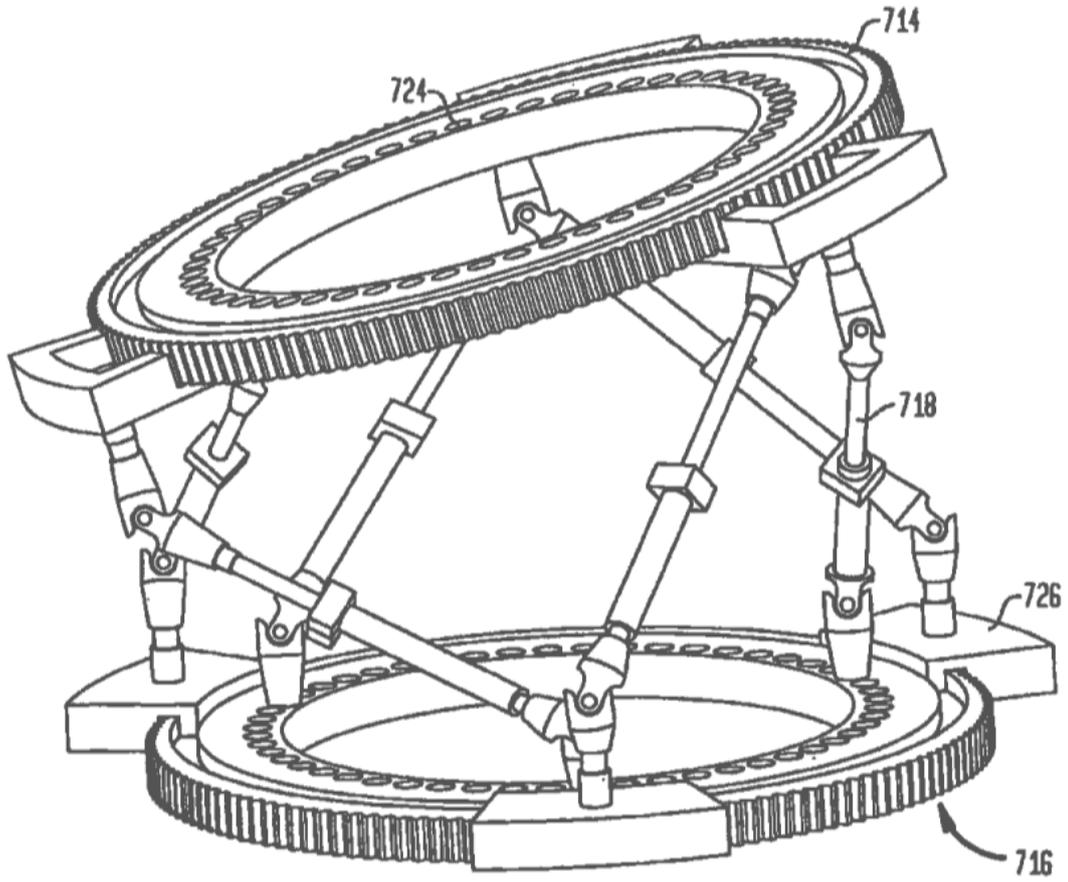


FIG. 31

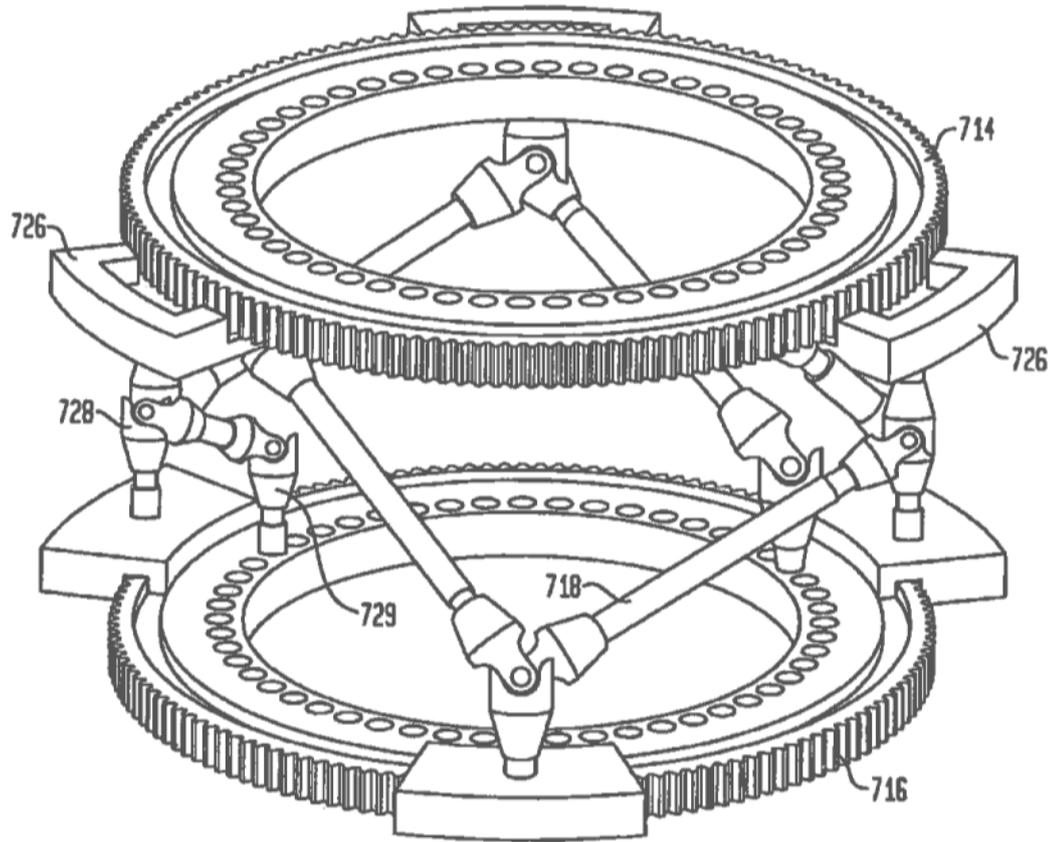
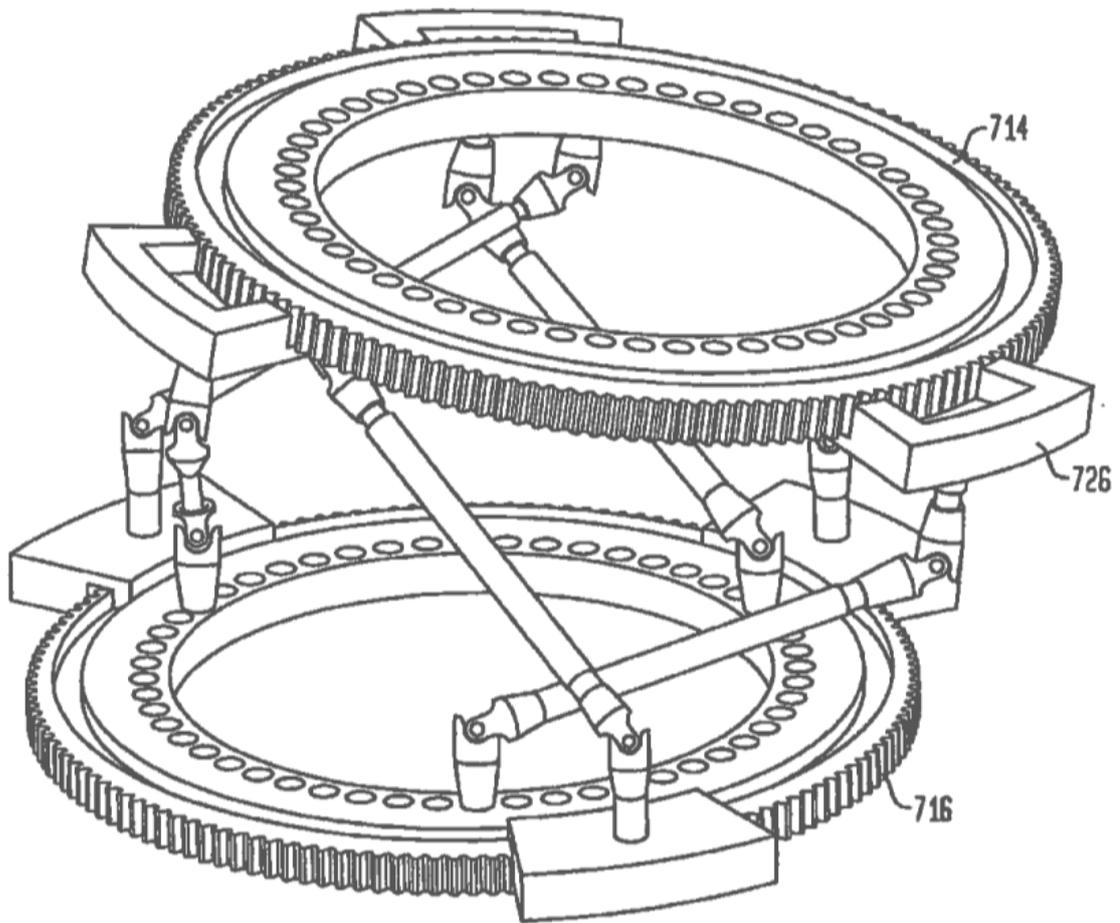
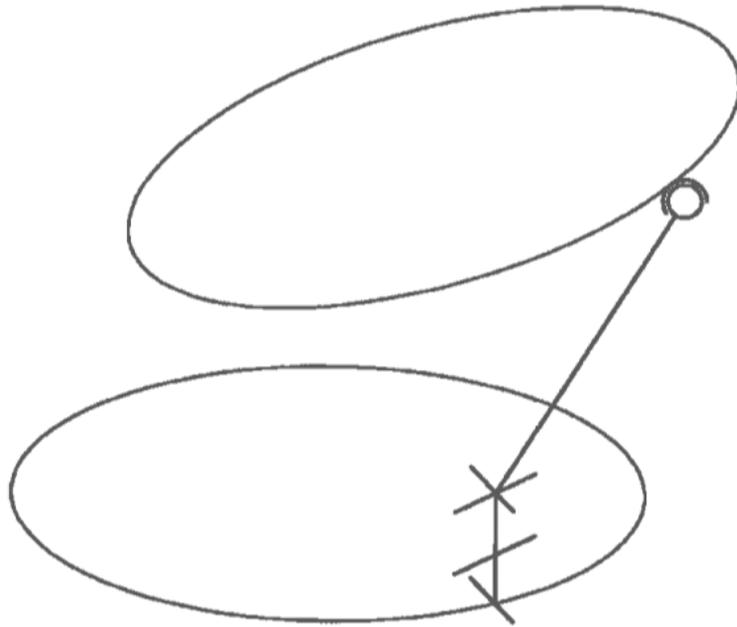


FIG. 32



**FIG. 33**



**FIG. 34**

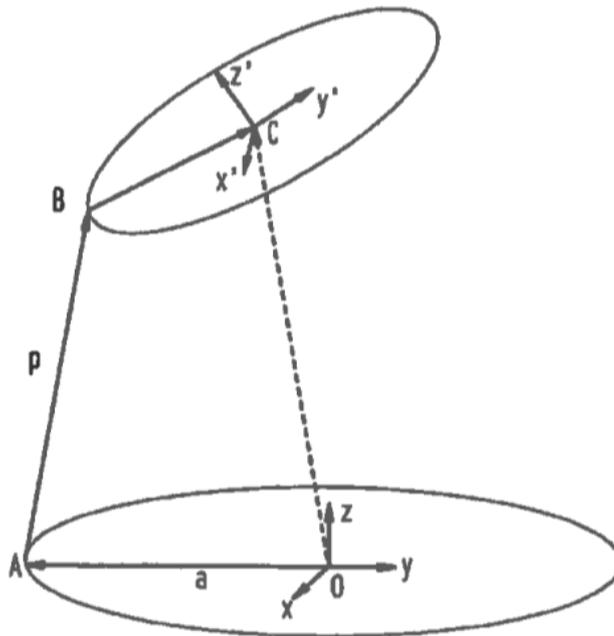


FIG. 35

