

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 674 732**

51 Int. Cl.:

G06F 3/01 (2006.01)

G06F 3/0346 (2013.01)

G06F 3/0484 (2013.01)

A61B 34/30 (2006.01)

A61B 34/00 (2006.01)

A61B 34/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.12.2012 PCT/US2012/071001**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.07.2013 WO13101671**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.12.2012 E 12816572 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.05.2018 EP 2798444**

54 Título: **Sistemas y métodos para activar selectivamente zonas de guía háptica**

30 Prioridad:

29.12.2011 US 201113340668

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

03.07.2018

73 Titular/es:

**MAKO SURGICAL CORP. (100.0%)
2555 Davie Road
Fort Lauderdale, FL 33317, US**

72 Inventor/es:

**IORGULESCU, RADU;
GRANCHI, CARINNE CECILE;
MOSES, DENNIS y
WOJCIK, JASON ROBERT**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 674 732 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

Sistemas y métodos para activar selectivamente zonas de guía háptica

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere en general a sistemas de guía háptica y, más particularmente, a sistemas y métodos para activar selectivamente zonas de guía háptica.

10 **Antecedentes**

Muchos procedimientos quirúrgicos requieren el uso de herramientas especializadas para realizar tareas quirúrgicas con un alto grado de exactitud y precisión. En algunos casos, tales procedimientos quirúrgicos requieren un posicionamiento y/o colocación precisos de la herramienta en o cerca de un punto particular dentro de la anatomía del paciente. Por ejemplo, muchos procedimientos ortopédicos se basan en la colocación precisa de clavos, tornillos, guías y/o agujeros de poste, u otros elementos en una posición y orientación precisas con respecto a una característica anatómica del paciente. Para garantizar que estos elementos estén colocados y orientados correctamente, se requiere gran cuidado por parte del cirujano para garantizar que la(s) herramienta(s) quirúrgica(s) (por ejemplo, taladro, sierra, escariador, etc.) utilizadas para colocar estos elementos estén alineadas de forma precisa y exacta con la anatomía del paciente. Sin embargo, esto puede ser particularmente difícil sin el uso de una guía y aún más desafiante en procedimientos mínimamente invasivos donde la visibilidad en el sitio quirúrgico es limitada o, en algunos casos, inexistente.

Las primeras soluciones para mejorar la exactitud y precisión de la alineación de las herramientas en un entorno quirúrgico implicaron el uso de elementos guía mecánicos, como plantillas. Estas guías mecánicas se colocaron y/o montaron típicamente muy cerca de la anatomía del paciente y proporcionaron una guía física que mantuvo una posición y una orientación deseadas de la herramienta durante su funcionamiento.

Por ejemplo, algunos implantes protésicos utilizados en cirugías de reemplazo de rótula comprenden proyecciones, quillas y/u otros elementos mecánicos que están configurados para encajar dentro de agujeros o huecos correspondientes creados en el hueso para asegurar el implante al hueso. Con el fin de garantizar la colocación precisa de estos huecos, a menudo se usaba una plantilla para alinear mecánicamente un taladro en una posición y orientación deseadas con respecto al hueso de un paciente. Durante la operación de taladrado, la plantilla mantendría la orientación deseada mientras el cirujano avanzaba el taladro hasta el hueso hasta alcanzar la profundidad deseada.

Aunque estas plantillas de guía mejoraron la exactitud y precisión de la colocación de huecos dentro del hueso, necesitaban estar físicamente instaladas cerca del hueso durante el procedimiento quirúrgico. La alineación y colocación precisa de estas guías puede llevar una cantidad considerable de tiempo, lo cual podría prolongar el procedimiento quirúrgico. Además, las plantillas mecánicas y guías de corte son típicamente demasiado grandes para caber dentro de los espacios relativamente pequeños permitidos para procedimientos mínimamente invasivos.

Con el advenimiento de los sistemas de cirugía asistida por ordenador (CAS), los cirujanos ya no tenían que depender de plantillas mecánicas para posicionar con precisión los instrumentos quirúrgicos. Específicamente, muchos sistemas CAS incluyen un software de navegación y seguimiento quirúrgico que muestra una representación gráfica del sitio quirúrgico. Usando las características de navegación y seguimiento del sistema CAS, el cirujano puede ver la ubicación de un instrumento quirúrgico en relación con la anatomía del paciente. Usando la interfaz gráfica como guía, el cirujano puede poner manualmente la herramienta quirúrgica en una posición deseada dentro del sitio quirúrgico.

Los sistemas CAS más sofisticados están configurados para el acoplamiento interactivo con las herramientas quirúrgicas. Estos sistemas CAS pueden estar equipados con controles de respuesta de fuerza que proporcionan al cirujano respuesta háptica cuando, por ejemplo, la herramienta quirúrgica interactúa con ciertos límites virtuales preestablecidos. Dichos límites virtuales pueden establecerse para restringir el instrumento quirúrgico de interacciones indeseadas con ciertas áreas de la anatomía del paciente. Al organizar estratégicamente los límites virtuales para los controles de respuesta de fuerza, los usuarios pueden crear guías "virtuales" que definen las áreas en las que la herramienta puede funcionar, así como las áreas que prohíben el funcionamiento de la herramienta. Si un procedimiento quirúrgico requiere el taladrado de un agujero de poste en el hueso del paciente, se puede establecer un límite virtual para definir la posición deseada, la orientación y el tamaño del agujero. El límite virtual puede impedir que una herramienta quirúrgica funcione fuera del límite establecido.

El documento US2006/0142657 divulga un sistema de guía háptica que usa objetos hápticos virtuales.

65 Aunque los métodos de guía virtual existentes proporcionan una solución para definir las áreas de funcionamiento permitidas (y las áreas correspondientes de funcionamiento restringido) de un instrumento

quirúrgico, aún pueden ser ineficientes. Por ejemplo, los métodos de guía virtual convencionales incluyen una solución para alinear una herramienta quirúrgica en una orientación adecuada antes de acoplarse con la anatomía del paciente. Como resultado, en procedimientos quirúrgicos que requieren cortes de precisión con orientaciones específicas (como el taladrado de agujeros de guía o poste dentro del hueso), se puede requerir al cirujano que "busque" manualmente la orientación adecuada utilizando la punta de la herramienta quirúrgica como un dispositivo de exploración para localizar primero el punto de acoplamiento en la superficie del hueso del paciente. Una vez que se ha ubicado el punto de acoplamiento, el cirujano gira manualmente la herramienta quirúrgica para ubicar la orientación adecuada para hacer avanzar la herramienta hacia el punto objetivo. Este proceso manual no solo es frustrante para el cirujano, sino que puede prolongar innecesariamente la cirugía, lo cual puede aumentar los costes.

Además, los sistemas CAS existentes pueden no proporcionar una solución efectiva para habilitar y deshabilitar las zonas hápticas durante la realización de un procedimiento quirúrgico. Esto es particularmente problemático en situaciones en las que los límites hápticos múltiples se encuentran muy cerca (o se superponen) entre sí. En tales situaciones, los límites hápticos pueden proporcionar respuesta háptica conflictiva, limitando el movimiento del instrumento quirúrgico de una manera indeseable o involuntaria. Por ejemplo, en situaciones en las que las zonas hápticas se superponen, una primera zona háptica puede restringir el movimiento del instrumento quirúrgico en una dirección, mientras que una segunda zona háptica puede restringir el movimiento del instrumento quirúrgico en la dirección opuesta. Como resultado, el movimiento del instrumento quirúrgico puede verse gravemente limitado por la respuesta háptica conflictiva impuesta sobre el instrumento por la primera y la segunda zona háptica. Por lo tanto, puede ser ventajoso proporcionar una solución para activar de manera selectiva o secuencial zonas de guía háptica individuales para limitar la posibilidad de conflictos entre zonas hápticas superpuestas.

Los sistemas y métodos divulgados actualmente para activar selectivamente zonas de guía háptica están dirigidos a superar uno o más de los problemas expuestos anteriormente y/u otros problemas en la técnica.

Sumario

La invención se define en las reivindicaciones independientes adjuntas 1,6 y 9; los modos de realización preferidos se definen en las reivindicaciones dependientes. De acuerdo con un aspecto, la presente divulgación se refiere a un método para activar una geometría háptica virtual basándose en una posición de una parte de un instrumento con respecto a un punto objetivo. El método comprende detectar la presencia de un punto de referencia de un instrumento dentro de una distancia umbral de un punto objetivo. Se puede activar una geometría háptica virtual correspondiente al punto objetivo en respuesta a la presencia detectada del punto de referencia del instrumento dentro de la distancia umbral.

De acuerdo con otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un método implementado por ordenador para activar una geometría háptica virtual. El método puede incluir determinar, mediante un procesador asociado con un ordenador, una posición de un punto de referencia de un instrumento. El procesador puede determinar una distancia entre el punto de referencia y cada uno de una pluralidad de puntos objetivo. El método también puede incluir identificar, mediante el procesador, el punto objetivo que está más cerca del punto de referencia, y activar una geometría háptica virtual asociada con el punto objetivo identificado.

De acuerdo con otro aspecto, la presente divulgación se refiere a un método para activar una geometría háptica virtual. El método puede incluir identificar una pluralidad de puntos objetivo abiertos asociados con un entorno quirúrgico, y determinar una posición de un punto de referencia de un instrumento quirúrgico con relación a cada uno de los puntos objetivo abiertos identificados. El método puede incluir identificar un primer punto objetivo abierto que esté más cerca del punto de referencia, y activar una geometría háptica virtual asociada con el primer punto objetivo abierto que esté más cerca del punto de referencia. Se puede supervisar una posición del punto de referencia y, después de determinar que el punto de referencia ha alcanzado el primer punto objetivo abierto, la geometría háptica virtual puede desactivarse.

De acuerdo con otro aspecto más, la presente divulgación se refiere a un sistema de cirugía asistida por ordenador que comprende un instrumento quirúrgico para realizar al menos una tarea asociada con un procedimiento quirúrgico y un procesador, acoplado operativamente al instrumento quirúrgico. El procesador puede estar configurado para detectar la presencia de un punto de referencia del instrumento quirúrgico dentro de una distancia umbral de un punto objetivo. Se puede activar una geometría háptica virtual correspondiente al punto objetivo basándose en la presencia detectada del punto de referencia del instrumento.

De acuerdo con otro aspecto más, la presente divulgación se refiere a un método implementado por ordenador para activar una geometría háptica virtual. El método también puede comprender visualizar, mediante un procesador en una pantalla asociada con un ordenador, una pluralidad de puntos objetivo. Una geometría háptica virtual asociada con un punto objetivo de la pluralidad de puntos objetivo puede activarse basándose, al menos en parte, en una selección del usuario de un punto objetivo entre la pluralidad de puntos objetivo.

Breve descripción de los dibujos

- 5 La figura 1 proporciona una vista en perspectiva de un entorno quirúrgico a modo de ejemplo en el que se pueden emplear sistemas y métodos coherentes con los modos de realización divulgados;
- la figura 2 proporciona una ilustración esquemática de un sistema a modo de ejemplo de cirugía asistida por ordenador (CAS), en el que pueden implementarse ciertos métodos coherentes con los modos de realización divulgados;
- 10 la figura 3 proporciona un diagrama esquemático de un sistema informático a modo de ejemplo, que puede usarse en uno o más componentes asociados con el sistema CAS ilustrado en la figura 2;
- la figura 4 proporciona una ilustración de un volumen háptico virtual a modo de ejemplo, coherente con ciertos modos de realización divulgados;
- 15 la figura 5 proporciona una vista lateral bidimensional de un volumen háptico virtual, coherente con los modos de realización divulgados;
- la figura 6 proporciona una vista lateral de un entorno quirúrgico a modo de ejemplo que tiene una pluralidad de puntos objetivo, que pueden activarse selectivamente usando los sistemas y métodos coherentes con ciertos modos de realización divulgados;
- 20 la figura 7 proporciona un diagrama de flujo que representa un método a modo de ejemplo para activar una zona de guía háptica, coherente con ciertos modos de realización divulgados; y
- 25 la figura 8 proporciona un diagrama de flujo que representa un método a modo de ejemplo para activar selectivamente una zona de guía háptica, de acuerdo con los modos de realización divulgados.

Descripción detallada

- 30 A continuación se hará referencia en detalle a los modos de realización a modo de ejemplo de la presente divulgación, ejemplos de los cuales se ilustran en los dibujos adjuntos. Siempre que sea posible, se usarán los mismos números de referencia a lo largo de los dibujos para referirse a las mismas partes o similares.
- 35 La figura 1 ilustra un entorno quirúrgico a modo de ejemplo 100 en el que pueden emplearse procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados. Como se ilustra en la figura 1, muchos procedimientos quirúrgicos, como los procedimientos de reemplazo de rodilla, requieren una modificación exacta y precisa de la anatomía del paciente. Un ejemplo de esto es la colocación de agujeros de guía o poste 102a-102c dentro de la tibia de un paciente 101 usando un instrumento quirúrgico, tal como un taladro (no mostrado), que tiene una
- 40 herramienta de corte giratoria 103. Debido a que estos agujeros de guía o poste 102a-102c corresponden a proyecciones en un implante protésico prefabricado (no mostrado), cada agujero debe colocarse con precisión y precisión en una ubicación, profundidad y orientación específicas dentro del hueso del paciente.
- 45 Para asegurar una alineación eficiente y adecuada de los agujeros de poste dentro de la anatomía del paciente, se puede usar un sistema de cirugía asistida por ordenador (CAS) para generar una representación gráfica del sitio quirúrgico y una guía virtual correspondiente que pueda ayudar al cirujano a alinear adecuadamente la herramienta antes de la interacción con la anatomía del paciente. El sistema CAS coherente con la presente divulgación también puede proporcionar una geometría de respuesta háptica que captura la herramienta quirúrgica mientras la herramienta se aproxima al sitio de acoplamiento. Una vez capturados, los límites de la
- 50 geometría háptica virtual pueden limitar o restringir el movimiento del instrumento quirúrgico dentro de los límites de un volumen háptico definido por la geometría háptica virtual. Con base en los movimientos del cirujano, el volumen háptico se puede reducir gradualmente, limitando el rango de movimiento del instrumento quirúrgico hasta que la herramienta quirúrgica se alinee con el acceso objetivo asociado con los agujeros de poste. Los sistemas y métodos para alinear el instrumento quirúrgico coherentes con los modos de realización divulgados
- 55 se analizar con mayor detalle a continuación y en los dibujos adjuntos.
- Como se explicó, muchos sistemas CAS incluyen software que permite a los usuarios registrar electrónicamente ciertas características anatómicas (p. ej., huesos, tejidos blandos, etc.), instrumentos quirúrgicos y otros puntos de referencia asociados con el sitio quirúrgico. Los sistemas CAS pueden generar una representación gráfica del
- 60 sitio quirúrgico basándose en el registro de las características anatómicas. El software CAS también permite a los usuarios planificar ciertos aspectos del procedimiento quirúrgico y registrar estos aspectos para visualizarlos con la representación gráfica del sitio quirúrgico. Por ejemplo, en un procedimiento de reemplazo de rótula, un cirujano puede registrar puntos de navegación objetivo, la ubicación y profundidad de cortes óseos y tisulares, límites virtuales que pueden estar asociados con una referencia correspondiente para la aplicación de fuerza
- 65 háptica y otros aspectos de la cirugía.

La figura 2 proporciona un diagrama esquemático de un sistema a modo de ejemplo de cirugía asistida por ordenador (CAS) 200, en el que pueden implementarse procesos y características asociados con ciertos modos de realización divulgados. El sistema CAS 200 puede configurarse para realizar una amplia variedad de procedimientos quirúrgicos ortopédicos tales como, por ejemplo, cirugías de reemplazo de articulaciones parcial o total. Como se ilustra en la figura 2, el sistema CAS 200 puede comprender un sistema de seguimiento 201, un sistema de navegación asistida por ordenador 202, uno o más dispositivos de visualización 203a, 203b y un brazo robótico 204. Debería apreciarse que el sistema CAS 200, así como los métodos y procesos descritos en el presente documento, pueden ser aplicables a muchos tipos diferentes de procedimientos de reemplazo de articulaciones. Aunque ciertos modos de realización divulgados pueden describirse con respecto a procedimientos de reemplazo de rodilla, los conceptos y métodos descritos en el presente documentos pueden aplicarse a otros tipos de cirugías ortopédicas, tales como reemplazo parcial de cadera, rehabilitación de cadera total o parcial, procedimientos de rehabilitación o reemplazo de hombro, y otros tipos de procedimientos ortopédicos.

El brazo robótico 204 puede ser utilizado de forma interactiva por un cirujano para realizar un procedimiento quirúrgico, tal como un procedimiento de reemplazo de rodilla, en un paciente. Como se muestra en la figura 2, el brazo robótico 204 incluye una base 205, un brazo articulado 206, un sistema de fuerza (no mostrado) y un controlador (no mostrado). Una herramienta quirúrgica 210 (por ejemplo, un efector de extremo que tiene un elemento operativo, tal como una sierra, un escariador o una fresa) puede acoplarse al brazo articulado 206. El cirujano puede manipular la herramienta quirúrgica 210 asiendo y moviendo manualmente el brazo articulado 206 y/o la herramienta quirúrgica 210.

El sistema de fuerza y el controlador están configurados para proporcionar control o guía al cirujano durante la manipulación de la herramienta quirúrgica. El sistema de fuerza está configurado para proporcionar al menos cierta fuerza a la herramienta quirúrgica a través del brazo articulado 206, y el controlador está programado para generar señales de control para controlar el sistema de fuerza. En un modo de realización, el sistema de fuerza incluye actuadores y una transmisión retroactivable que proporciona respuesta háptica (o de fuerza) para impedir o inhibir al cirujano de mover manualmente la herramienta quirúrgica más allá de los límites virtuales predefinidos definidos por objetos hápticos como se describe, por ejemplo, en la patente de Estados Unidos n.º 8 010 180 y/o la solicitud de patente de Estados Unidos n.º de serie 12/654 519 (solicitud de patente de Estados Unidos n.º de pub. 2010/0170362), presentada el 22 de diciembre de 2009. De acuerdo con un modo de realización, el sistema CAS 200 es el Sistema Ortopédico Interactivo de Brazo Robótico RIO® fabricado por MAKO Surgical Corp. de Fort Lauderdale, Florida. El sistema de fuerza y el controlador pueden estar alojados dentro del brazo robótico 204.

El sistema de seguimiento 201 puede incluir cualquier dispositivo o sistema adecuado configurado para rastrear las ubicaciones, posiciones, orientaciones, y/o poses relativas de la herramienta quirúrgica 210 (acoplada al brazo robótico 204) y/o posiciones de partes registradas de la anatomía de un paciente, tales como huesos. Tales dispositivos pueden emplear tecnologías ópticas, mecánicas o electromagnéticas de seguimiento de pose. De acuerdo con un modo de realización, el sistema de seguimiento 201 puede comprender una tecnología de seguimiento de pose basada en visión, en la que un detector óptico, tal como una cámara o sensor de infrarrojos, está configurado para determinar la posición de uno o más transpondedores ópticos (no mostrados). Basándose en la posición de los transpondedores ópticos, el sistema de seguimiento 201 puede capturar la información de pose (es decir, la posición y orientación) de una parte de la anatomía del paciente que está registrada en ese transpondedor o conjunto de transpondedores.

El sistema de navegación 202 puede estar acoplado de forma comunicativa al sistema de seguimiento 201 y puede estar configurado para recibir datos de seguimiento del sistema de seguimiento 201. Basándose en los datos de seguimiento recibidos, el sistema de navegación 202 puede determinar la posición y la orientación asociadas con una o más características registradas del entorno quirúrgico, tales como la herramienta quirúrgica 210 o partes de la anatomía del paciente. El sistema de navegación 202 también puede incluir software de planificación quirúrgica y asistencia quirúrgica que puede ser utilizado por un cirujano o personal de soporte quirúrgico durante el procedimiento quirúrgico. Por ejemplo, durante un procedimiento de reemplazo de articulaciones, el sistema de navegación 202 puede mostrar imágenes relacionadas con el procedimiento quirúrgico en uno o ambos dispositivos de visualización 203a, 203b.

El sistema de navegación 202 (y/o uno o más componentes constituyentes del sistema CAS 200) puede incluir o incorporar un sistema basado en procesador (tal como un ordenador de propósito general o especial) en el que pueden implementarse procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados. Por ejemplo, como se ilustra en la figura 3, el sistema CAS 200 puede incluir uno o más componentes de hardware y/o software configurados para ejecutar programas de software, tales como software de seguimiento, software de navegación quirúrgica, software de imágenes o modelado óseo 3-D, y/o software para establecer y modificar límites hápticos virtuales para uso con un sistema de fuerza para proporcionar respuesta háptica a la herramienta quirúrgica 210. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede incluir uno o más componentes de hardware tales como, por ejemplo, una unidad de procesamiento central (CPU) (procesador 231); medios legibles por ordenador, tales como un módulo de memoria de acceso aleatorio (RAM) 232, un módulo de memoria de solo lectura (ROM) 233

y un dispositivo de almacenamiento 234; una base de datos 235; uno o más dispositivos de entrada/salida (E/S) 236; y una interfaz de red 237. El sistema informático asociado con el sistema CAS 200 puede incluir componentes adicionales, menos y/o diferentes a los enumerados anteriormente. Se entiende que los componentes enumerados anteriormente son solo a modo de ejemplo y no se pretende que sean limitantes.

El procesador 231 puede incluir uno o más microprocesadores, cada uno configurado para ejecutar instrucciones y procesar datos para realizar una o más funciones asociadas con el sistema CAS 200. Como se ilustra en la figura 2, el procesador 231 puede estar acoplado de forma comunicativa a la RAM 232, la ROM 233, el dispositivo de almacenamiento 234, la base de datos 235, los dispositivos de E/S 236 y la interfaz de red 237. El procesador 231 se puede configurar para ejecutar secuencias de instrucciones de programas informáticos para realizar diversos procesos, que se describirán en detalle a continuación. Las instrucciones del programa informático pueden cargarse en la RAM para su ejecución mediante el procesador 231.

Los medios legibles por ordenador, tales como la RAM 232, la ROM 233 y el dispositivo de almacenamiento 234, pueden configurarse para almacenar instrucciones legibles por ordenador que, cuando son ejecutadas por el procesador 231, pueden hacer que el sistema CAS 200 o uno o más componentes constituyentes, tales como el sistema de navegación 202, realicen funciones o tareas asociadas con el sistema CAS 200. Por ejemplo, los medios legibles por ordenador pueden incluir instrucciones para hacer que el sistema CAS 200 realice uno o más métodos para determinar cambios en los parámetros de una articulación de cadera después de un procedimiento de artroplastia de cadera. Los medios legibles por ordenador también pueden contener instrucciones que hacen que el sistema de seguimiento 201 capture posiciones de una pluralidad de puntos de referencia anatómicos asociados con ciertos objetos registrados, tales como la herramienta quirúrgica 210 o partes de la anatomía de un paciente, y hacen que el sistema de navegación 202 genere representaciones virtuales de los objetos registrados para visualizar en dispositivos de E/S 236. Los métodos a modo de ejemplo para los que los medios legibles por ordenador pueden contener instrucciones se describirán con mayor detalle a continuación. Se contempla que cada parte de un método descrito en el presente documento pueda tener instrucciones correspondientes almacenadas en medios legibles por ordenador para hacer que uno o más componentes del sistema CAS 200 realicen el método descrito.

Los dispositivos de E/S 236 pueden incluir uno o más componentes configurados para comunicar información con un usuario asociado con el sistema CAS 200. Por ejemplo, los dispositivos de E/S 236 pueden incluir una consola con un teclado y un ratón integrados para permitir que un usuario (por ejemplo, un cirujano) introduzca parámetros (por ejemplo, comandos de cirujano 250) asociados con el sistema CAS 200. Los dispositivos de E/S 236 también pueden incluir una pantalla, tal como los monitores 203a, 203b, incluyendo una interfaz gráfica de usuario (GUI) para emitir información en un monitor. Los dispositivos de E/S 236 también pueden incluir dispositivos periféricos tales como, por ejemplo, una impresora para imprimir información asociada con el sistema CAS 236, una unidad de disco accesible para el usuario (por ejemplo, un puerto USB, un disquete, CD-ROM o unidad de DVD-ROM, etc.) para permitir que un usuario introduzca datos almacenados en un dispositivo de medios portátil, un micrófono, un sistema de altavoces o cualquier otro tipo de dispositivo de interfaz adecuado. Por ejemplo, los dispositivos de E/S 236 pueden incluir una interfaz electrónica que permite a un usuario introducir datos de tomografía computarizada (CT) del paciente 260 en el sistema CAS 200. Estos datos de CT se pueden usar a continuación para generar y manipular representaciones virtuales de partes de la anatomía del paciente (p. ej., huesos) en el software.

El procesador 231 asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para establecer una geometría háptica virtual asociada con o relativa a una o más características de la anatomía de un paciente. Como se explicó, el sistema CAS 200 puede configurarse para crear una representación virtual de un sitio quirúrgico que incluye, por ejemplo, representaciones virtuales de la anatomía de un paciente, un instrumento quirúrgico para ser utilizado durante un procedimiento quirúrgico, una herramienta de sonda para registrar otros objetos dentro el sitio quirúrgico y cualquier otro objeto relacionado con un sitio quirúrgico.

Además de los objetos físicos, el sistema CAS 200 puede configurarse para generar objetos virtuales, objetos que existen en el software y que pueden ser útiles durante la realización de un procedimiento quirúrgico. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede configurarse para generar límites virtuales que corresponden al plan del cirujano para preparar un hueso, como los límites que definen las áreas del hueso que el cirujano planea cortar, eliminar o alterar de otro modo. De forma adicional o alternativa, el sistema CAS 200 puede definir objetos virtuales que corresponden a un camino o curso deseado sobre el cual una parte de la herramienta quirúrgica 210 debería navegar para realizar una tarea particular.

De acuerdo con un modo de realización, el sistema CAS 200 puede configurarse para generar una geometría háptica virtual que define un punto, línea, superficie o volumen en un espacio de coordenadas virtuales. La geometría háptica virtual puede asociarse con un sistema de respuesta o fuerza háptica del sistema CAS 200 de modo que, cuando una posición rastreada de una parte de la herramienta quirúrgica (por ejemplo, un punto central establecido 103a o eje de herramienta 403 de herramienta de corte 103) interactúa con la geometría háptica virtual, se genera una respuesta háptica y se aplica a la herramienta quirúrgica 210. Las figuras 4 y 5 proporcionan vistas alternativas de una geometría háptica virtual a modo de ejemplo 400 que se puede generar

de manera coherente con los modos de realización divulgados actualmente.

De acuerdo con un modo de realización a modo de ejemplo, y como se ilustra en la figura 4, la geometría háptica virtual 400 puede ser un volumen sustancialmente en forma de embudo que está posicionado y orientado con relación a la anatomía del paciente, tal como el fémur 101. Como tal, la geometría háptica virtual 400 puede definir una vía virtual para guiar y posicionar de manera rápida y eficiente un instrumento quirúrgico, tal como un taladro o fresa giratorio, en una alineación apropiada con respecto al fémur 101 antes del acoplamiento con el fémur 101. De acuerdo con el modo realización ilustrado en la figura 4, la geometría háptica virtual puede comprender una parte sustancialmente en forma de cono que converge hacia una parte de forma sustancialmente cilíndrica. La parte con forma cilíndrica puede extenderse hacia un punto de extremo objetivo (402 en la figura 5), que, en el ejemplo ilustrado en la figura 4, corresponde a la profundidad de los agujeros de poste 102.

La figura 5 ilustra una vista lateral de la geometría háptica virtual a modo de ejemplo 400 mostrada en la figura 4, a la que se accede mediante la herramienta de corte 103. Como se ilustra en la figura 5, la geometría háptica virtual 400 se puede definir sobre un eje objetivo 401 que incluye un punto de extremo objetivo 402. La geometría háptica virtual 400 puede comprender una superficie límite 404, que puede estar situada en un ángulo de límite inicial, θ_B , con respecto al eje objetivo 401. De acuerdo con el modo de realización mostrado en la figura 5, la superficie límite 404 puede definir un volumen sustancialmente cónico que tiene un radio base inicial, r . Sin embargo, debe observarse que, aunque la parte superior de la geometría háptica virtual 400 se ilustra en ciertos modos de realización que tienen una superficie límite sustancialmente en forma de cono, se contempla que la geometría háptica virtual 400 puede incluir o incorporar cualquier forma adecuada para guiar una herramienta de corte 103 hacia un punto de extremo objetivo 402. Por ejemplo, como se muestra en la figura 8, la superficie límite 404 puede definir una parte superior sustancialmente curva, que está diseñada para converger hacia el eje objetivo más agresivamente que la superficie límite sustancialmente lineal mostrada en la figura 5.

El punto de extremo objetivo 402 puede ser un punto definido por el usuario que corresponde al destino objetivo de al menos una parte de la herramienta de corte 103. De acuerdo con un modo de realización, el punto de extremo objetivo 402 puede definir una profundidad objetivo 410 del agujero de guía o poste 102 del fémur 101. Como tal, el punto de extremo objetivo 402 corresponde a una profundidad deseada 410 que un punto de referencia 103a de la herramienta 103 (también denominado aquí punto central de la herramienta (TCP)) puede alcanzar antes de aplicar una fuerza de respuesta háptica a la herramienta quirúrgica 210.

El eje objetivo 401 puede incluir un punto de extremo objetivo 402 y puede servir como un eje central sobre el cual puede definirse la geometría háptica virtual 400. El eje objetivo 401 también puede definir un eje deseado para acercarse al punto de extremo objetivo 402 con la herramienta de corte 103. Como tal, el eje objetivo 401 puede definir el eje hacia el cual converge la geometría háptica virtual 400, y puede corresponder a la orientación deseada o ideal de aproximación de la herramienta quirúrgica 403 hacia el punto de extremo objetivo 402.

Durante el funcionamiento del sistema CAS 200 y de acuerdo con un modo de realización a modo de ejemplo, la geometría háptica virtual 400 se asocia con la herramienta de corte 103 cuando el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 se introduce en el volumen definido por la geometría háptica virtual. Una vez activa, la geometría háptica virtual 400 puede configurarse para proporcionar una respuesta háptica cuando la herramienta de corte 103 interactúa con uno o más límites virtuales 404. Por ejemplo, la geometría háptica virtual 400 puede definir una "pared" háptica que restringe, inhibe o evita que la herramienta de corte 103 y/o el punto de referencia 103a se muevan más allá de la superficie límite 404 de la superficie háptica virtual 400. En un modo de realización a modo de ejemplo, la geometría háptica virtual 400 puede configurarse con una "abertura" para permitir que la herramienta de corte 103 se desacople de la geometría háptica virtual 400. Aunque esta apertura de desacoplamiento puede ubicarse en cualquier lugar a lo largo de la geometría háptica virtual 400, un modo de realización a modo de ejemplo incluye la apertura a lo largo de la superficie de la geometría háptica 404 virtual que está situada más alejada de las superficies óseas o tisulares del paciente. En el modo de realización ilustrado en la figura 5, la superficie superior de la superficie límite 404 puede configurarse como la apertura de desacoplamiento.

De forma alternativa o adicional a restringir el movimiento de la herramienta de corte 103 (y/o el punto de referencia de la herramienta 103a) dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual 400, el sistema CAS 200 puede configurarse para guiar la herramienta de corte 103 hacia una orientación deseada antes de acoplarse con el fémur 101. Específicamente, el sistema CAS 200 puede estar configurado para supervisar un ángulo de orientación de la herramienta, θ_T , que comprende el ángulo entre el eje de herramienta 403 y un eje objetivo 401. Como se explicará con más detalle a continuación, el sistema CAS 200 puede configurarse para facilitar la alineación del eje de herramienta 403 con el eje objetivo 401 modificando la ubicación de la superficie límite 404 de la geometría háptica virtual 400 basándose en la ubicación del eje de herramienta 403.

Para garantizar que la herramienta de corte se coloca en la orientación adecuada antes de acoplarse con una superficie de la anatomía del paciente, se puede establecer un umbral háptico intermedio y asociarlo con el límite háptico virtual 400. Específicamente, el límite háptico virtual 400 puede incluir un plano háptico de parada de

herramienta intermedio 420 que proporciona respuesta háptica si el punto de referencia 103a intenta avanzar sin estar en la orientación adecuada. La respuesta háptica puede incluir una pared háptica que restringe el avance de la herramienta de corte 103 más allá del plano háptico de parada de herramienta intermedio 420 si uno o más del eje de herramienta 403 y/o el punto de referencia de la herramienta 103a no están alineados con el eje objetivo 401.

Como se explicó, el software asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para registrar y rastrear ciertos aspectos del entorno quirúrgico 100. Por ejemplo, la herramienta de corte 103, junto con otras características del entorno quirúrgico 100, puede registrarse y asociarse con un espacio de coordenadas virtuales para seguimiento y visualización mediante el sistema CAS 200. Como tal, el sistema de seguimiento 201 del sistema CAS 200 puede determinar la posición relativa y la orientación de la herramienta de corte 103 en el espacio de coordenadas virtuales.

Con el fin de supervisar adecuadamente la orientación del eje de herramienta 403 de la herramienta de corte 103, el eje de herramienta 403 de la herramienta de corte 103 debe registrarse primero para el seguimiento en el espacio de coordenadas virtuales del sistema CAS 200. De acuerdo con un modo de realización (tal como el ilustrado en la figura 5), el eje de herramienta 403 puede corresponder al eje central de una fresa rotativa, que pasa a través del punto de referencia 103a asociado con el centro de la punta de la fresa rotativa. El eje de herramienta 403, junto con el punto de referencia 103a, se puede determinar durante un proceso de calibración del sistema CAS 200, antes del procedimiento quirúrgico. De forma adicional o alternativa, el sistema CAS 200 puede registrarse como parte del proceso de registro durante el procedimiento quirúrgico utilizando una sonda de registro precalibrada para capturar y registrar las ubicaciones de una pluralidad de puntos a lo largo del eje de herramienta 403. Debido a que la posición del eje en la superficie de la fresa rotativa de forma cilíndrica es ligeramente diferente de la posición del eje en el verdadero centro del eje de herramienta 403, el sistema CAS 200 puede estar provisto de una desviación para proyectar el eje de herramienta 403 al centro de la herramienta de corte 103.

De acuerdo con otro modo de realización más, la sonda de registro precalibrada se puede usar para capturar una gran cantidad de puntos a lo largo de la superficie de la herramienta de corte 103. Basándose en las ubicaciones relativas de estos puntos, el software asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para obtener el eje de herramienta 403. Se contempla que se pueden usar métodos adicionales y/o diferentes para registrar diversos aspectos de la herramienta de corte 103 que los que se enumeran anteriormente. Por ejemplo, un modelo de software virtual que representa la herramienta de corte 103 puede generarse usando información de escaneado de tomografía computarizada (CT). El modelo puede registrarse en el espacio de coordenadas virtuales utilizando la sonda de registro calibrada. Una vez registrado, el sistema de seguimiento 201 asociado con el sistema CAS 200 puede supervisar la ubicación, posición y orientación en tiempo real de los componentes registrados del entorno quirúrgico 100 con relación al espacio de coordenadas virtual establecido para guiar la herramienta de corte 103 hasta los puntos de extremo objetivo 402a- 402c activando secuencialmente cada uno de los puntos de extremo objetivo 402a-402c de acuerdo con los procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados.

La figura 6 ilustra un entorno quirúrgico 100 que tiene una pluralidad de puntos de extremo objetivo 402a-402c, cada uno de los cuales está asociado con una geometría háptica virtual respectiva 400a-400c para guiar una herramienta de corte 103 hacia los puntos de extremo objetivo 402a-402c, respectivamente. Como se ilustra en la figura 6, partes de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c pueden superponerse entre sí. Si cada una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c son "activas" al mismo tiempo, las fuerzas hápticas asociadas con una geometría háptica virtual 400a pueden interferir con una o más de las geometrías hápticas virtuales 400b, 400c asociadas a las fuerzas hápticas, particularmente si la herramienta de corte 103 está ubicada en una de las regiones superpuestas asociadas con las geometrías hápticas virtuales 400a-400c. Como tal, los procesos coherentes con los modos de realización divulgados proporcionan una solución para activar selectivamente una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c a la vez.

La figura 6 ilustra un modo de realización en el que una primera geometría háptica virtual 400a se "activa selectivamente", mientras que las geometrías hápticas virtuales restantes 400b, 400c se mantienen en un estado inactivo. Como tal, solo las fuerzas hápticas asociadas con la geometría háptica virtual activa 400a son operables como la zona de guía háptica para guiar el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 hacia el punto de extremo objetivo 402a asociado con la geometría háptica virtual activa 400a. Las zonas hápticas restantes se activan selectiva y/o secuencialmente una vez que se completa la tarea asociada con la geometría háptica virtual 400a, a menos que y hasta que la geometría háptica virtual activa 400a se desactive.

De acuerdo con un modo de realización, la geometría háptica virtual 400a se activa automáticamente cuando la herramienta de corte 103 (y/o el punto de referencia 103a) se coloca dentro de una distancia umbral del punto de extremo objetivo 402a asociado con la geometría háptica virtual 400a. Por ejemplo, el software asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para rastrear la posición de un punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 con relación a los puntos de extremo objetivo 402a-402c. El sistema CAS 200 puede determinar cuál de los puntos de extremo objetivo 402a-402c está más cerca del punto de referencia 103a de la herramienta

de corte 103, y activar la geometría háptica virtual correspondiente 400a asociada con el punto de extremo objetivo más cercano 402a.

Se contempla que se pueden usar criterios adicionales y/o diferentes para activar selectivamente geometrías hápticas virtuales 400a-400c. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede configurarse para activar selectivamente las geometrías hápticas virtuales 400a-400c cuando el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 se introduce en un volumen asociado con una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c. De forma adicional o alternativa, el sistema CAS 200 puede configurarse para activar selectivamente una o más de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c cuando el punto de referencia 103a está dentro del área de acoplamiento umbral asociada con una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c. El área de acoplamiento puede definirse mediante una altura de acoplamiento, h , (medida desde una superficie de la tibia 101 hasta un umbral de altura predeterminado 610) y una distancia de acoplamiento, d (medida desde el eje objetivo 401a hasta un umbral de distancia predeterminado 620).

De acuerdo con un modo de realización a modo de ejemplo, el sistema CAS 200 activa la geometría háptica virtual 400a cuando el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 está dentro de (1) el volumen definido por la geometría háptica virtual 400a y (2) el área de acoplamiento umbral. Proporcionando múltiples criterios para activar selectivamente una geometría háptica virtual (por ejemplo, geometría háptica virtual 400a) entre una pluralidad de geometrías hápticas virtuales 400a-400c, el sistema CAS 200 puede configurarse para evitar la activación "accidental" de una geometría háptica virtual 400a-400c que puede obtenerse como resultado del uso de un único criterio para activar selectivamente las geometrías hápticas virtuales 400a-400c.

De forma alternativa o adicional a activar selectivamente la geometría háptica virtual 400a basada en una posición de la herramienta de corte 103 con respecto al punto de extremo objetivo 402a, las geometrías hápticas virtuales 400a-400c pueden activarse manualmente, basándose en una selección de usuario usando una interfaz gráfica de usuario asociada con el sistema CAS 200. Es decir, un usuario del sistema CAS 200 puede activar selectivamente la geometría háptica virtual 400a entre las geometrías hápticas virtuales disponibles o "abiertas" 400a-400c. De acuerdo con un modo de realización, la técnica de activación manual puede implementarse además de la técnica de activación automática descrita anteriormente. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede estar configurado para activar automáticamente los límites hápticos virtuales 400a-400c basándose en la posición de seguimiento del punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103, como se describió anteriormente. Sin embargo, la técnica de activación manual puede estar disponible para el usuario de forma ad hoc, lo cual permite a un usuario del sistema CAS 200 anular selectivamente manualmente la técnica de activación automática.

Los procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados proporcionan una solución para guiar rápida y eficientemente la herramienta de corte 103 hasta una orientación adecuada para el acoplamiento con la anatomía de un paciente. Los métodos a modo de ejemplo coherentes con los modos de realización divulgados rastrean la posición y la orientación del eje de herramienta 403 con respecto a un eje objetivo 401. Dado que el ángulo de orientación, θ_r , entre el eje de herramienta 403 y el eje objetivo 401 se hace más pequeño, la geometría háptica virtual 400 asociada con la herramienta quirúrgica 210 se vuelve a colocar detrás de la representación virtual de la herramienta de corte 103, creando una superficie límite que "colapsa" cuando la herramienta de corte 103 se alinea con el eje objetivo 401. Como resultado, la herramienta de corte 103 se ve obligada a girar en un ángulo que es mayor que el ángulo de orientación más pequeño. Esta geometría háptica virtual de "colapso" permite efectivamente al cirujano la libertad de mover o girar la herramienta de corte 103 solo a aquellas posiciones que acercan la herramienta de corte 103 al eje objetivo 401. Finalmente, cuando el cirujano gira la herramienta de corte 103 dentro del área definida por la geometría háptica virtual 400, el límite disminuye de tamaño hasta que el eje de herramienta 403 se alinea suficientemente con el eje objetivo 401.

Además, los procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados proporcionan una solución para activar selectivamente (y secuencialmente) las zonas de guía háptica para limitar el potencial de interferencia entre las zonas de guía háptica adyacentes o superpuestas. Por consiguiente, los sistemas y métodos coherentes con ciertos modos de realización divulgados proporcionan una solución para activar selectivamente zonas de guía háptica basándose en la proximidad de la herramienta de corte 103 hasta un punto objetivo (tal como el punto de extremo objetivo 402a-402c o un punto de acoplamiento 605a-605c). De acuerdo con un modo de realización a modo de ejemplo, las zonas hápticas que no están activadas permanecen inactivas. Consecuentemente, las fuerzas hápticas correspondientes asociadas con las zonas hápticas inactivas se desactivarán y se impedirá que funcionen en la herramienta de corte 103.

De forma adicional o alternativa, ciertos procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados proporcionan una característica que permite a un usuario seleccionar, a través de una interfaz gráfica de usuario, una zona háptica entre una pluralidad de zonas hápticas disponibles que se va a activar. Las zonas hápticas no seleccionadas pueden permanecer inactivas, al menos hasta que la tarea asociada con la zona háptica se haya completado o hasta que el usuario desactive en otro caso la geometría háptica virtual (por ejemplo, al salir de la geometría háptica virtual).

La figura 7 proporciona un diagrama de flujo 700 que ilustra un método a modo de ejemplo para activar selectivamente una geometría háptica virtual basándose en la posición de la herramienta de corte 103 con relación al entorno quirúrgico 100. Como se ilustra en la figura 7, el proceso puede implicar el establecimiento de una pluralidad de geometrías hápticas virtuales 400a-400c para ayudar en la guía de la herramienta de corte 103 (y/o el punto de referencia 103a asociado a la misma) hasta el (los) punto(s) objetivo 402a-402c (paso 710). Por ejemplo, durante una fase de planificación del procedimiento quirúrgico que implica la preparación de un hueso para recibir un implante protésico, un usuario del sistema CAS 200 puede planificar las áreas del hueso que requieren resección. En algunas situaciones, el implante incluye una pluralidad de proyecciones estabilizadoras (no mostradas) que están diseñadas para encajar dentro de agujeros de poste correspondientes creados en el hueso. Durante el proceso de planificación quirúrgica, el usuario del sistema CAS 200 puede planificar la ubicación, la profundidad y la orientación de los agujeros de poste 102a-102c que se van a resear para recibir las proyecciones correspondientes del implante. El usuario también puede especificar los punto(s) de extremo objetivo 402a-402c, lo cual define la ubicación a la que debe llegar el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 para cumplir el parámetro de profundidad objetivo. El usuario también puede especificar ejes objetivo 401a-401c, que definen la orientación de aproximación adecuada de la herramienta de corte 103 para lograr la orientación deseada de los respectivos agujeros de poste 102a-102c.

Una vez que se han creado los puntos de extremo objetivo 402a-402c y los ejes objetivo 401a-401c, el software asociado con el sistema CAS 200 puede establecer una pluralidad de geometrías hápticas virtuales 400a-400c. De acuerdo con un modo de realización, cada una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c puede incorporar zonas de guía háptica en forma de embudo, como la que se muestra en la figura 5. Se contempla, sin embargo, que pueden usarse tamaños y formas adicionales y/o diferentes de geometrías hápticas sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

Durante el funcionamiento, el sistema CAS 200 puede configurarse para identificar puntos objetivo 402a-402c (u otro aspecto de geometrías hápticas virtuales 400a-400c, tales como los puntos de acoplamiento de superficie ósea 605a-605c) y determinar la posición del punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 (paso 720). Específicamente, el sistema CAS 200 puede identificar la posición de una característica predeterminada de cada una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c como base para la comparación con la posición del punto de referencia 103a. Esta característica predeterminada puede ser cualquier característica asociada con las geometrías hápticas virtuales 400a-400c que pueden usarse como referencia para determinar cuál de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c es la más cercana al punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103. Por ejemplo, la característica predeterminada puede comprender los puntos objetivo 402a-402c, los puntos de acoplamiento 605a-605c, o un punto particular en la superficie límite 404 de cada una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c.

Al identificar la pluralidad de puntos objetivo planificados asociados con el entorno quirúrgico 100, puede determinarse la distancia desde el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 a cada punto objetivo (paso 730). De acuerdo con un modo de realización, el sistema de seguimiento 201 del sistema CAS 200 puede determinar la posición del punto de referencia 103a de un instrumento quirúrgico (por ejemplo, la herramienta de corte 103) dentro del entorno quirúrgico 100. El software asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para calcular la distancia entre la posición del punto de referencia 103a y cada punto de extremo objetivo 402a-402c. De forma adicional o alternativa, el software asociado con el sistema CAS 200 puede configurarse para determinar la distancia entre el punto de referencia 103a y otros aspectos del entorno quirúrgico 100, tales como los puntos de acoplamiento objetivo 605a-605c. Por consiguiente, "punto objetivo", como se usa aquí el término, se refiere a cualquier característica o punto asociado con el entorno quirúrgico 100 que puede ser objetivo para el acoplamiento mediante la herramienta de corte 103, como, por ejemplo, los puntos de acoplamiento objetivo 605a-605c y los puntos de extremo objetivo 402a-402c.

Una vez que se ha determinado la distancia desde el punto de referencia 103a a cada punto objetivo, se puede identificar el punto objetivo que está más cerca del punto de referencia 103a (paso 740). Específicamente, el software asociado con el sistema CAS 200 puede comparar las distancias entre el punto de referencia 103a y cada uno de los puntos objetivo para identificar el punto objetivo que está más cerca del punto de referencia 103a. Basándose en el punto objetivo identificado, el sistema CAS 200 puede activar la geometría háptica respectiva (por ejemplo, la geometría háptica virtual 400a de la figura 6) asociada con el punto objetivo identificado (paso 750). Las geometrías hápticas virtuales restantes (por ejemplo, las geometrías hápticas virtuales 400b, 400c de la figura 6) pueden permanecer inactivas mientras la geometría háptica virtual 400a está activa. De acuerdo con el modo de realización a modo de ejemplo, solo las fuerzas hápticas asociadas con las geometrías hápticas virtuales "activas" pueden actuar para restringir la posición y la orientación de la herramienta de corte 103.

Se contempla que, aunque ciertos modos de realización se describen usando la distancia entre el punto de referencia 103a y los puntos objetivo 402a-402c como base para determinar cuál de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c está activada, otras características pueden usarse para activar selectivamente las geometrías hápticas virtuales 400a-400c. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede configurarse para determinar la posición del punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 con relación a un área de acoplamiento

(definida por una altura, h , sobre la superficie del hueso 101 y una distancia, d , desde el eje objetivo 401) asociada con cada agujero de poste. Si la posición del punto de referencia 103a entra en el área de acoplamiento correspondiente a un agujero de poste particular, la geometría háptica virtual 400a-400c asociada con el área de acoplamiento puede activarse.

5

La figura 8 proporciona un diagrama de flujo 800 que ilustra un modo de realización a modo de ejemplo para activar secuencialmente las geometrías hápticas virtuales asociadas con el entorno quirúrgico 100. Como se ilustra en la figura 8, el método puede incluir supervisar una posición del punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 (paso 810). De acuerdo con los modos de realización a modo de ejemplo descritos anteriormente, el sistema de seguimiento 201 del sistema CAS 200 puede configurarse para supervisar la posición del punto de referencia 103a con respecto a uno o más de otros componentes registrados del entorno quirúrgico dentro del espacio de coordenadas virtuales.

10

Mientras rastrea la posición del punto de referencia de la herramienta 103a, el sistema CAS 200 puede configurarse para determinar si el punto de referencia de la herramienta 103a está dentro de una distancia umbral de un punto objetivo asociado con una de las geometrías hápticas virtuales disponibles o "abiertas" 400a-400c (paso 820). De acuerdo con un modo de realización, las geometrías hápticas virtuales 400a-400c se pueden designar como "abiertas" si el plan quirúrgico no se ha completado aún para la geometría háptica virtual respectiva. Volviendo a la figura 6, por ejemplo, cada una de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c se puede designar como "abierta" hasta que el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 100 haya resecado todo el hueso dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual respectiva.

15

20

Una vez que se ha eliminado el hueso resecado y se ha completado el agujero de poste, el sistema CAS 200 puede "cerrar" la geometría háptica virtual y desactivar el límite háptico asociado con el mismo. El sistema CAS 200 está configurado para estimar la finalización del proceso de resección ósea rastreando la ubicación de la posición de referencia 103a de la herramienta de corte 103 con relación al hueso y la respectiva geometría háptica virtual 400a-400c asociada con la misma. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede determinar que la operación de resección ósea para un primer agujero de poste se completa cuando el punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 ha alcanzado con éxito el punto de extremo objetivo 402a, que corresponde al fondo del agujero de poste 102a.

25

30

Si el sistema CAS 200 determina que el punto de referencia de la herramienta 103a no está dentro de una distancia umbral de un punto objetivo asociado con una geometría háptica virtual "abierta" (paso 820: No), el proceso puede volver al paso 810, por lo que el sistema CAS 200 continúa supervisando la posición del punto de referencia de la herramienta 103a. Si, por otro lado, el sistema CAS 200 determina que el punto de referencia 103a se encuentra dentro de una distancia umbral de un punto objetivo "abierto" (paso 820: Sí), el sistema CAS 200 puede activar la geometría háptica virtual respectiva asociada con el punto objetivo correspondiente (paso 830). El sistema CAS 200 puede desactivar las geometrías hápticas virtuales restantes (y/o las fuerzas hápticas asociadas con las mismas), de modo que las fuerzas hápticas asociadas con las geometrías restantes no interfieren con las fuerzas hápticas correspondientes a la geometría háptica virtual activa.

35

40

Una vez que la geometría háptica virtual se activa y el punto de referencia de la herramienta 103a está ubicado dentro, el sistema CAS 200 puede configurarse para determinar si la posición de referencia de la herramienta 103a está tratando de "salir" del volumen háptico definido por la geometría háptica virtual (paso 835). De acuerdo con un modo de realización, esto implica rastrear la posición del punto de referencia de la herramienta 103a dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual 400. La posición rastreada del punto de referencia 103a se puede comparar con la posición de la superficie límite 404. El sistema de seguimiento 201 del sistema CAS 200 puede configurarse para determinar cuándo la posición del punto de referencia 103a interfiere, se cruza o se superpone de otro modo con la superficie límite 404. Cuando la posición del punto de referencia 103a interfiere con la posición de la superficie límite 404, el sistema CAS 200 puede configurarse para detectar que el punto de referencia 103a está tratando de "salir" del límite háptico definido por la geometría háptica virtual 400.

45

50

Si el sistema de seguimiento 201 asociado con el sistema CAS 200 determina que el punto de referencia 103a está tratando de "salir" de la superficie límite 404 asociada con la geometría háptica virtual 400 (paso 835: Sí), el sistema de fuerza del sistema CAS 200 puede configurarse para aplicar las fuerzas hápticas correspondientes para restringir el punto de referencia de la herramienta dentro del volumen háptico (paso 840). De acuerdo con un modo de realización, el sistema CAS 200 está configurado como un sistema háptico de tipo de impedancia, mediante el cual las fuerzas hápticas están diseñadas para simular una impedancia mecánica basada en la posición del punto de referencia 103a con respecto a la superficie límite 404 de la geometría háptica virtual 400. Se contempla, sin embargo, que los procesos y métodos coherentes con los modos de realización divulgados también sean compatibles con los sistemas de control de fuerza háptica de tipo admitancia. El sistema CAS 200 puede continuar supervisando la posición del punto de referencia de la herramienta 103a (paso 855) y volver al paso 835.

55

60

Sin embargo, si el punto de referencia de la herramienta 103a no intenta salir del volumen definido por la geometría háptica virtual (paso 835: No), el sistema CAS está programado para supervisar el progreso del punto

65

de referencia 103a de la herramienta de corte 103 y determinar si el punto de referencia 103a ha alcanzado el punto de extremo objetivo (paso 850). Si el punto de referencia 103a no ha alcanzado el punto de extremo objetivo (paso 850: No), el proceso puede continuar supervisando la posición del punto de referencia de la herramienta 103a (paso 855) y volver al paso 835.

Después de que el punto de referencia 103a haya alcanzado el punto objetivo (paso 850: Sí), el sistema CAS puede determinar cuándo se extrajo con seguridad el punto de referencia de la superficie de acoplamiento del hueso (paso 860: Sí) antes de desactivar y cerrar la zona de guía háptica (paso 880). Específicamente, el sistema CAS 200 puede determinar cuándo la posición del punto de referencia 103a de la herramienta de corte 103 se ha movido fuera de un umbral de acoplamiento (no mostrado). Este umbral de acoplamiento puede incorporar un límite virtual definido por el usuario (o predeterminado) que se utiliza como activador para desactivar y cerrar una geometría háptica virtual al finalizar el proceso de resección ósea. Para asegurar que la geometría háptica virtual permanezca activa después de que se complete el agujero de poste para ayudar a guiar la herramienta de corte 103 mientras se extrae del agujero, el umbral de acoplamiento puede establecerse como una distancia desde la superficie del hueso. De acuerdo con un modo de realización, esta distancia puede ser similar a la utilizada para definir el plano de parada de herramienta intermedio (mostrado como 420 de la figura 5).

Si el punto de referencia 103a no se ha extraído fuera del área (o distancia) de acoplamiento predeterminada (paso 860: No), el sistema CAS 200 puede continuar supervisando la posición del punto de referencia de la herramienta 103a (paso 870) y volver al paso 860. Sin embargo, si el punto de referencia 103a se ha extraído fuera del umbral de acoplamiento predeterminado (paso 860: Sí), el sistema CAS 200 puede desactivar la geometría háptica virtual (y las fuerzas hápticas asociadas a la misma) y "cerrar" el agujero de poste contra un acceso posterior mediante la herramienta de corte 103 (paso 880). El proceso puede entonces volver al paso 810, para continuar la activación selectiva de los límites hápticos virtuales restantes (es decir, "abiertos").

Como se explicó anteriormente, hay muchas alternativas para determinar cuál de las geometrías hápticas virtuales debería activarse basándose en la posición del punto de referencia 103a. Por ejemplo, de forma alternativa o adicional a determinar si el punto de referencia de la herramienta 103a está dentro de una distancia umbral de un punto objetivo "abierto" asociado con una geometría háptica virtual, el sistema de CAS 200 puede configurarse para determinar si el punto de referencia de la herramienta 103a está dentro un área (o volumen) de acoplamiento umbral asociada con una geometría háptica virtual.

De forma alternativa, se puede usar una combinación de criterios para determinar cuál de las geometrías hápticas virtuales 400a-400c se va a activar. Por ejemplo, el sistema CAS 200 puede configurarse para requerir que el punto de referencia 103a (1) esté ubicado dentro del volumen definido por una geometría háptica virtual y (2) esté dentro del área de acoplamiento umbral asociada con el agujero de poste. La figura 6 ilustra la geometría háptica virtual 400a, que se ha activado usando este enfoque de criterios múltiples para activar geometrías hápticas virtuales. Al usar múltiples criterios para activar geometrías hápticas virtuales, el sistema CAS 200 puede configurarse para evitar la activación "accidental" de los límites hápticos, que es más probable que ocurra cuando solo se usa un único criterio.

También se contempla que el sistema CAS 200 puede incluir una solución para anular manualmente la activación de geometrías hápticas virtuales. De acuerdo con un modo de realización, esta característica de anulación manual puede permitir al usuario activar (y desactivar) selectivamente las geometrías hápticas virtuales basándose en las necesidades/preferencias específicas del cirujano. Por lo tanto, una geometría háptica virtual activada 400a puede desactivarse manualmente, permitiendo al cirujano activar selectivamente una de las otras geometrías hápticas virtuales 400b, 400c. Debe observarse que la geometría háptica virtual 400a puede permanecer "abierta" después de la anulación manual, a menos que la herramienta de corte 103 haya completado la resección del hueso asociado con la geometría háptica virtual 400a. También debe observarse que la característica de activación/desactivación manual puede desactivarse en ciertas situaciones, tal como cuando el punto de referencia 103a está ubicado dentro del hueso (y/o la parte cilíndrica de la geometría háptica virtual 400a) o cuando el punto de referencia 103a está ubicado dentro una distancia predeterminada de la superficie del hueso 101.

Aunque la geometría háptica virtual se ilustra y describe en los modos de realización a modo de ejemplo como un límite sustancialmente en forma de embudo para usar para guiar un taladro o fresa quirúrgico hasta un punto objetivo, los modos de realización divulgados actualmente son aplicables para generar límites hápticos virtuales que tienen diferentes formas de uso con otros tipos de herramientas. Por ejemplo, los modos de realización divulgados actualmente contemplan generar una geometría háptica virtual plegable que tiene una sección transversal sustancialmente en forma de "Y", que tiene una sección superior sustancialmente en forma de "V" que converge a una sección inferior sustancialmente plana para guiar una sierra plana o sagital hacia una orientación deseada para ejecutar un corte plano en un hueso. En consecuencia, se contempla que los métodos descritos en el presente documento puedan emplearse virtualmente en cualquier entorno en el que pueda ser ventajoso guiar una herramienta quirúrgica hasta una orientación predeterminada para acercarse a un sitio de funcionamiento de herramienta objetivo.

5 Los sistemas y métodos divulgados actualmente proporcionan una solución que permite a un sistema quirúrgico asistido por ordenador activar secuencial y/o selectivamente zonas de guía háptica virtuales, asegurando de este modo que las zonas de guía háptica superpuestas no interfieran entre sí durante el funcionamiento de la herramienta de corte 103. Más específicamente, ciertos sistemas y métodos descritos en el presente documento implementan un proceso que determina la posición de un punto de referencia 103a de un instrumento quirúrgico y, basándose en esta posición, activa automáticamente la zona de guía háptica virtual disponible más cercana. Una vez que se activa una de las zonas guía háptica, las fuerzas hápticas asociadas con la zona activada guían la herramienta hasta que se ha completado la tarea asignada, se ha alcanzado el punto de extremo objetivo o el cirujano ha desactivado la zona guía háptica. Este proceso puede repetirse hasta que se haya completado cada una de las tareas asociadas con las zonas de guía háptica y se hayan cerrado las geometrías hápticas virtuales correspondientes.

15 Los sistemas CAS 200 configurados de acuerdo con los modos de realización divulgados actualmente pueden tener varias ventajas. Por ejemplo, proporcionando una solución para activar selectivamente y/o secuencialmente las zonas de guía háptica, los problemas asociados con la interferencia entre los límites hápticos superpuestos adyacentes pueden reducirse significativamente. Además, debido a que los modos de realización divulgados actualmente proporcionan una solución para activar (y desactivar) automáticamente zonas de guía háptica basándose en la posición de la herramienta de corte 103, las ineficiencias asociadas con evitar las regiones de los límites hápticos superpuestos pueden minimizarse o eliminarse.

25 Las descripciones anteriores se han presentado con fines de ilustración y descripción. No son exhaustivos y no limitan los modos de realización divulgados a la forma precisa divulgada. Las modificaciones y variaciones son posibles a la luz de las enseñanzas anteriores o pueden adquirirse mediante la práctica de los modos de realización divulgados. Por ejemplo, la implementación descrita incluye software, pero los modos de realización divulgados pueden implementarse como una combinación de hardware y software o en firmware. Los ejemplos de hardware incluyen sistemas informáticos o de procesamiento, que incluyen ordenadores personales, servidores, ordenadores portátiles, ordenadores centrales, microprocesadores y similares. Además, aunque los aspectos divulgados se describen como almacenados en una memoria, un experto en la materia apreciará que estos aspectos también pueden almacenarse en otros tipos de dispositivos de almacenamiento legibles por ordenador, tales como dispositivos de almacenamiento secundario, como discos duros, disquetes, un CD-ROM, medios USB, DVD u otras formas de RAM o ROM.

35 Resultará evidente para los expertos en la materia que pueden realizarse diversas modificaciones y variaciones en los sistemas divulgados y en los métodos asociados para activar selectivamente zonas de guía háptica sin apartarse del alcance de la presente divulgación. Otros modos de realización de la presente divulgación serán evidentes para los expertos en la materia a partir de la consideración de la memoria descriptiva y la práctica de la presente divulgación. Se pretende que la memoria descriptiva y los ejemplos se consideren solo a modo de ejemplo, con un verdadero alcance de la presente divulgación que se indica mediante las siguientes reivindicaciones.

40

REIVINDICACIONES

1. Un método para activar una geometría háptica virtual basada en una posición de una parte de un instrumento relativa a una característica objetivo, que comprende:
- 5 detectar la posición de un punto de referencia (103a) de un instrumento (103, 210) con respecto a una pluralidad de características objetivo (402a, 402b, 402c), en el que cada una de la pluralidad de características objetivo corresponde a una geometría háptica virtual respectiva (400a, 400b, 400c) entre una pluralidad de geometrías hápticas inactivas (400a, 400b, 400c);
- 10 determinar cuál de la pluralidad de características objetivo está más cerca y dentro de una distancia umbral del punto de referencia del instrumento, para seleccionar una geometría háptica virtual correspondiente a la característica objetivo más cercana; y
- 15 activar la geometría háptica virtual correspondiente a la característica objetivo más cercana.
2. El método según la reivindicación 1, en el que la geometría háptica virtual
- (i) define una superficie en la que se aplica una fuerza háptica al instrumento cuando la referencia del instrumento interactúa con la geometría háptica virtual; o
- 20 (ii) comprende una geometría fija que tiene sustancialmente forma de embudo y proporciona una ruta virtual para guiar el punto de referencia del instrumento hasta la característica objetivo.
- 25 3. El método según la reivindicación 1, en el que la geometría háptica virtual comprende una geometría variable que tiene una geometría predeterminada que tiene sustancialmente forma de embudo y proporciona una ruta virtual para guiar el punto de referencia del instrumento hasta la característica objetivo.
4. El método según la reivindicación 3, en el que la detección de la presencia del punto de referencia del instrumento comprende:
- 30 detectar la presencia del punto de referencia dentro de un volumen definido por la geometría háptica virtual,
- en el que al determinar que la posición del punto de referencia del instrumento está dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual, disminuir el volumen basándose en una detección de una disminución correspondiente en un ángulo de orientación del eje del instrumento (403) con respecto a un eje objetivo (401).
- 35 5. El método según la reivindicación 1, en el que la detección de la presencia de un punto de referencia de un instrumento dentro de una distancia umbral de una característica objetivo comprende:
- 40 detectar la presencia del punto de referencia dentro de un volumen definido por la geometría háptica virtual; y
- determinar que el punto de referencia se encuentra dentro de una distancia umbral de uno o más de un eje objetivo (401) y un punto de acoplamiento asociado con la característica objetivo.
- 45 6. Un método implementado por ordenador para activar una geometría háptica virtual, que comprende:
- determinar, mediante un procesador (231) asociado con un ordenador, una posición de un punto de referencia (103a) de un instrumento (103, 210);
- 50 determinar, mediante el procesador, una distancia entre el punto de referencia y cada una de una pluralidad de características objetivo (402a, 402b, 402c);
- identificar, mediante el procesador, la característica objetivo que está más cerca del punto de referencia; y
- 55 activar, mediante el procesador, una geometría háptica virtual (400a, 400b, 400c) asociada con la característica objetivo identificada entre una pluralidad de geometrías hápticas virtuales inactivas (400a, 400b, 400c), cada una de las cuales corresponde a una respectiva de la pluralidad de características objetivo.
- 60 7. El método según la reivindicación 6, que comprende además:
- detectar la presencia del punto de referencia dentro de un volumen definido por la geometría háptica virtual,
- 65 en el que al determinar que la posición del punto de referencia del instrumento está dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual, disminuir el volumen basándose en una detección de una disminución correspondiente en un ángulo de orientación del eje del instrumento (403) con respecto a un eje objetivo (401).

8. El método según la reivindicación 7, que comprende además:

5 detectar la presencia del punto de referencia dentro de una distancia umbral de una segunda característica objetivo; y
activar una segunda geometría háptica virtual correspondiente a la segunda característica objetivo basándose en la presencia detectada del punto de referencia del instrumento.

10 9. Un sistema de cirugía asistida por ordenador (200) que comprende:

- un instrumento quirúrgico (103, 210) para realizar al menos una tarea asociada con un procedimiento quirúrgico;

15 - un procesador (231), acoplado operativamente al instrumento quirúrgico y configurado para:

detectar la posición de un punto de referencia (103a) del instrumento quirúrgico con respecto a una pluralidad de características objetivo (402a, 402b, 402c), en el que cada una de la pluralidad de características objetivo
20 corresponde a una geometría háptica virtual respectiva (400a) entre pluralidad de geometrías hápticas inactivas (400a, 400b, 400c);

determinar cuál de la pluralidad de características objetivo está más cerca y dentro de una distancia umbral del punto de referencia del instrumento, para seleccionar una geometría háptica virtual correspondiente a la característica objetivo más cercana; y

25 activar la geometría háptica virtual correspondiente a la característica objetivo más cercana.

10. El sistema de cirugía asistida por ordenador de la reivindicación 9, en el que el procesador está configurado además para:

30 detectar la presencia del punto de referencia dentro de un volumen definido por la geometría háptica virtual,
en el que al determinar que la posición del punto de referencia del instrumento está dentro del volumen definido por la geometría háptica virtual, disminuir el volumen basándose en una detección de una disminución correspondiente en un ángulo de orientación del eje del instrumento (403) con respecto a un eje objetivo (401).

11. El sistema de cirugía asistida por ordenador de la reivindicación 9, en el que el procesador está configurado además para:

40 rastrear la posición del punto de referencia relativo a la característica objetivo,

en el que después de determinar que el punto de referencia ha alcanzado la característica objetivo, desactivar la geometría háptica virtual.

45 12. El sistema de cirugía asistida por ordenador de la reivindicación 9, en el que el procesador está configurado adicionalmente para:

50 detectar la presencia del punto de referencia dentro de una distancia umbral de una segunda característica objetivo; y

activar una segunda geometría háptica virtual correspondiente a la segunda característica objetivo basándose en la presencia detectada del punto de referencia del instrumento.

13. El sistema de cirugía asistida por ordenador de la reivindicación 9, que comprende además:

55 rastrear la posición del punto de referencia con respecto a la característica objetivo,

60 en el que después de determinar que el punto de referencia ha alcanzado la característica objetivo y que el punto de referencia no está dentro de una distancia umbral de un punto de acoplamiento, desactivar la geometría háptica virtual.

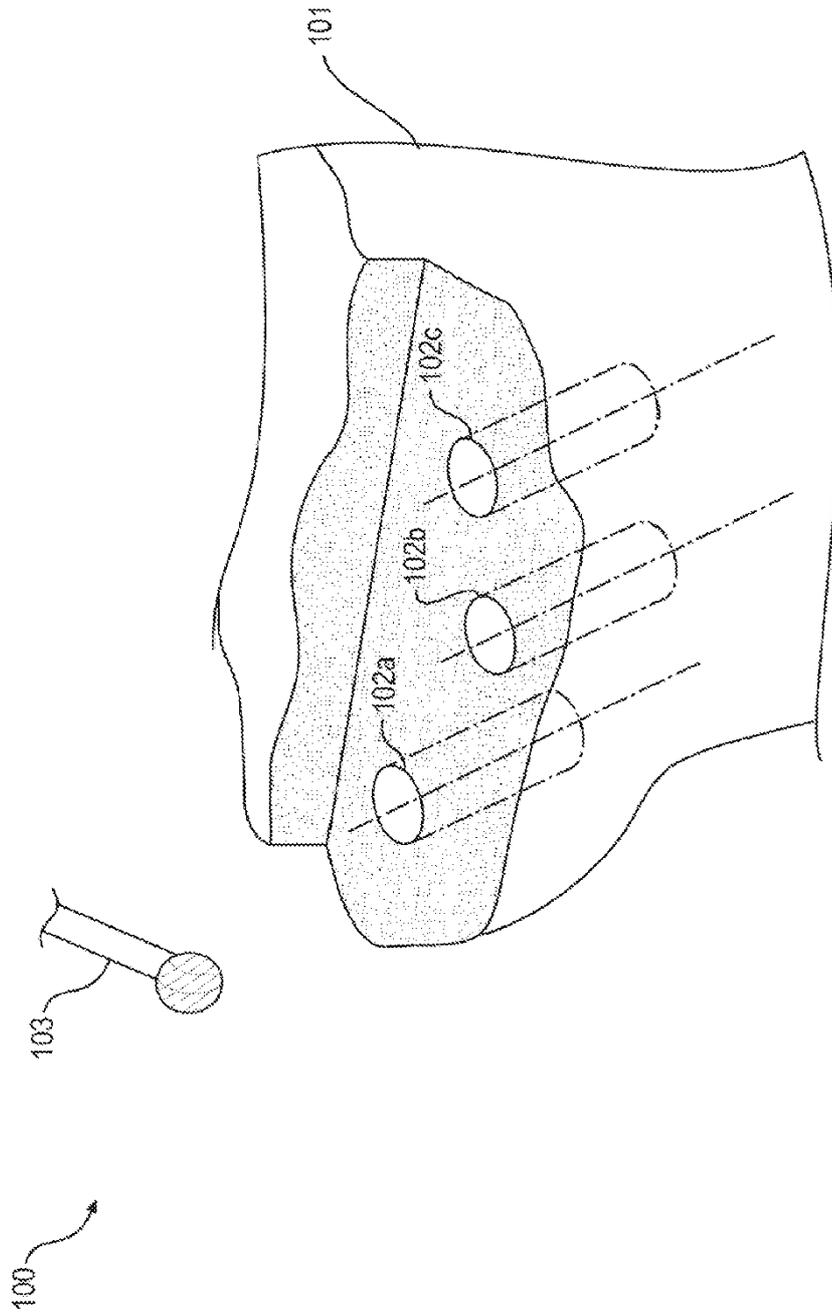


FIG. 1

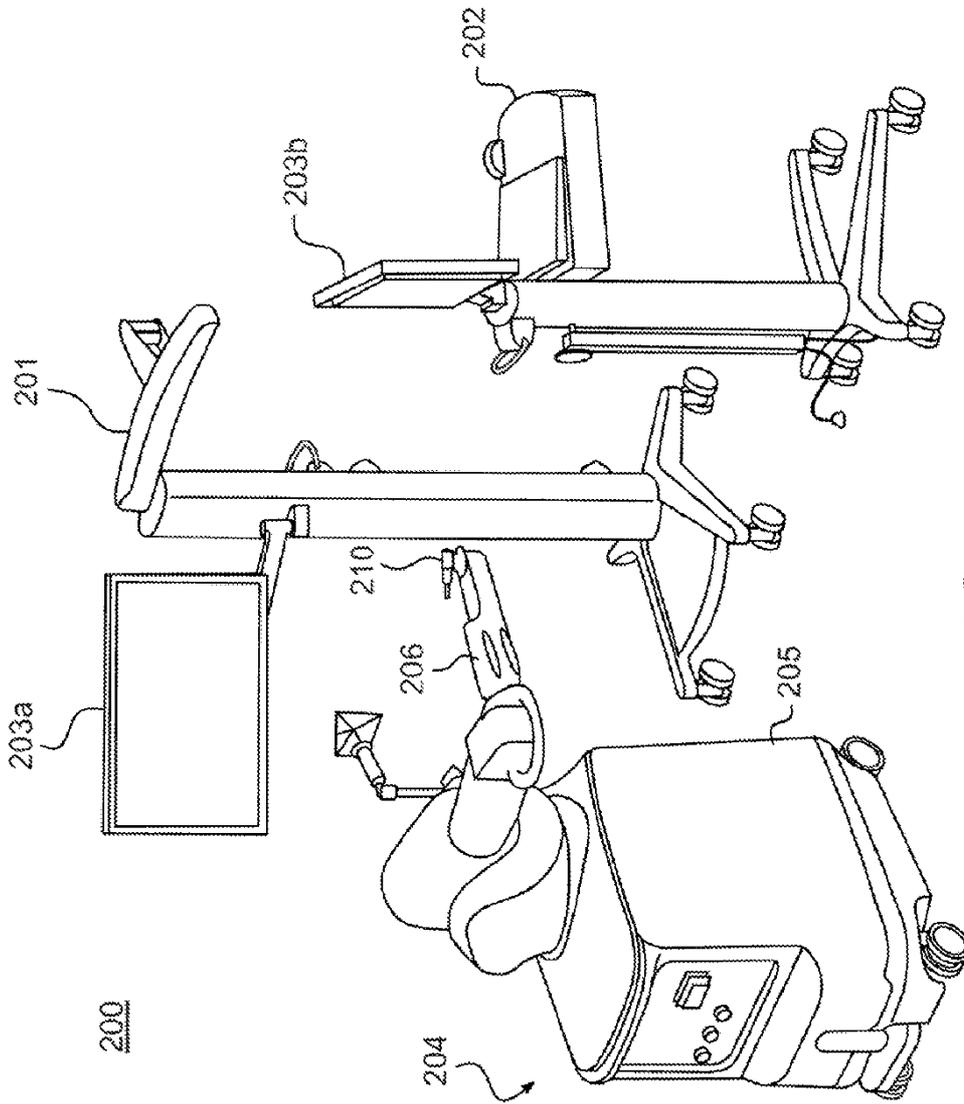


FIG. 2

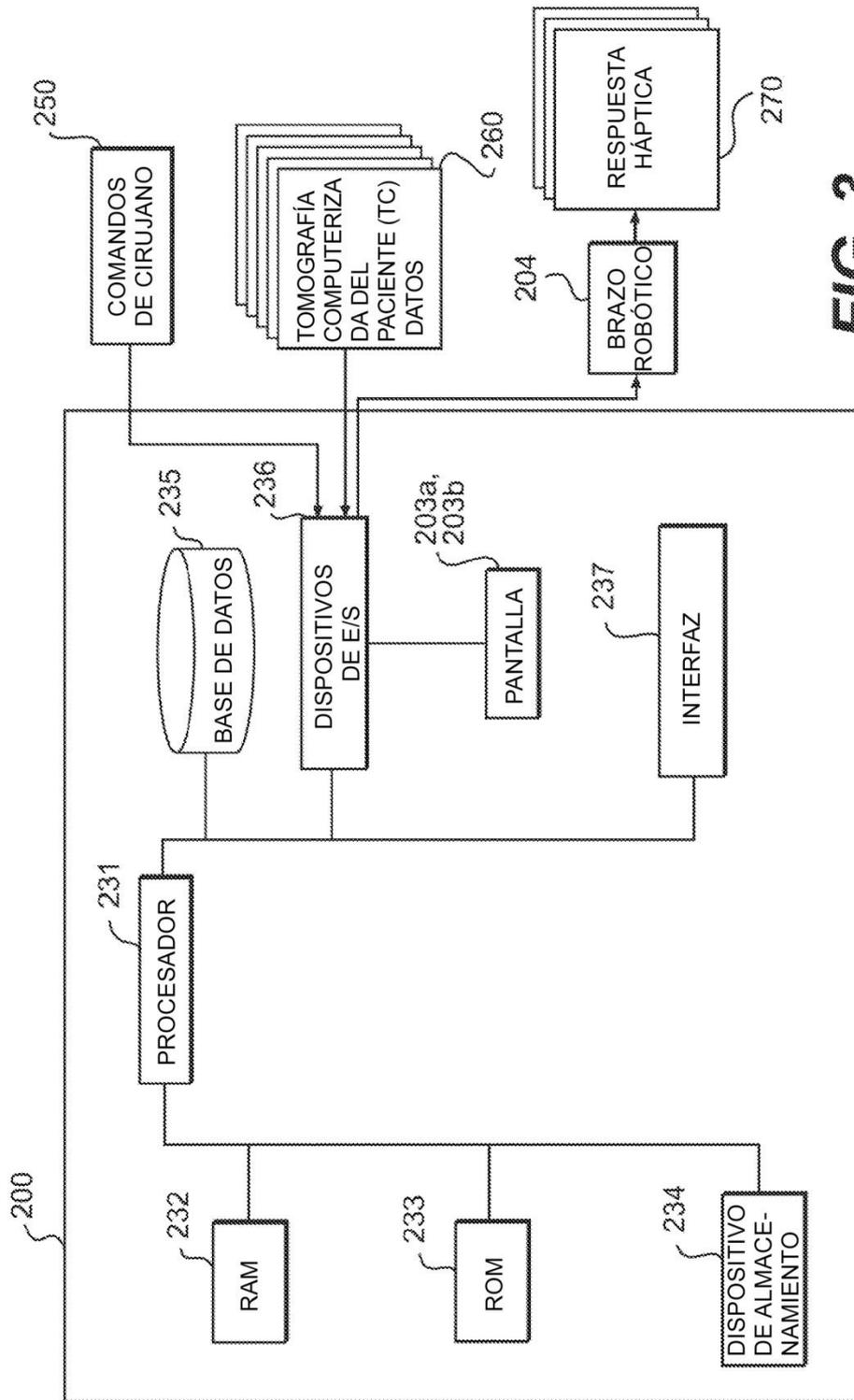


FIG. 3

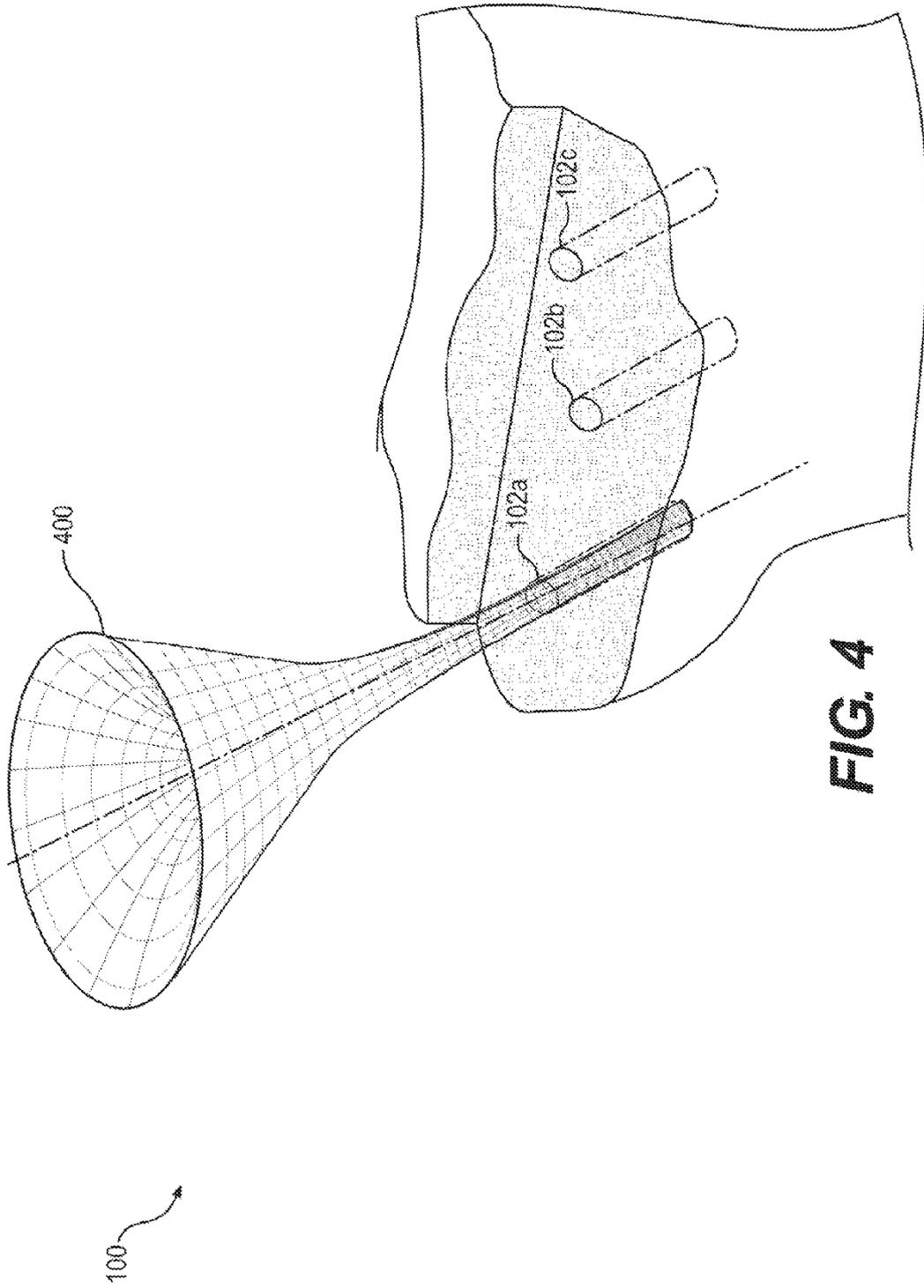


FIG. 4

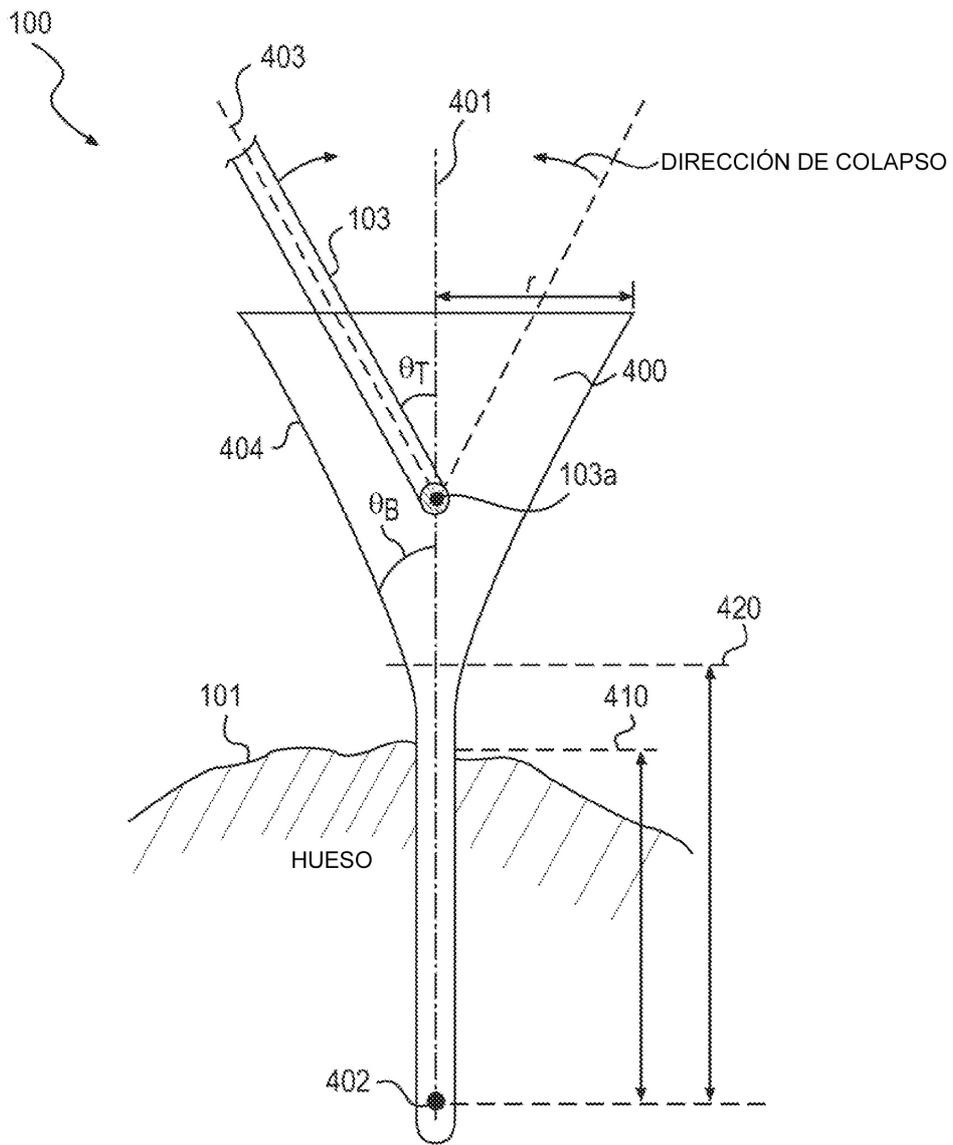


FIG. 5

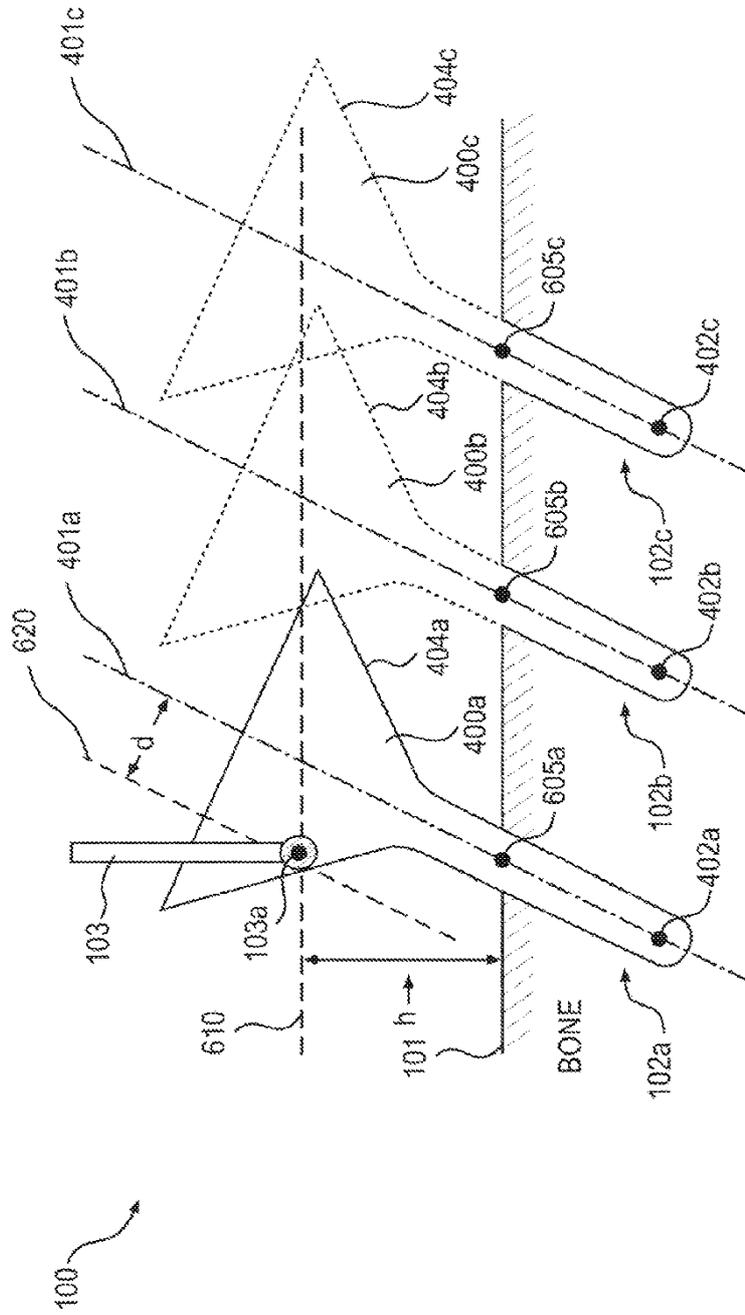


FIG. 6

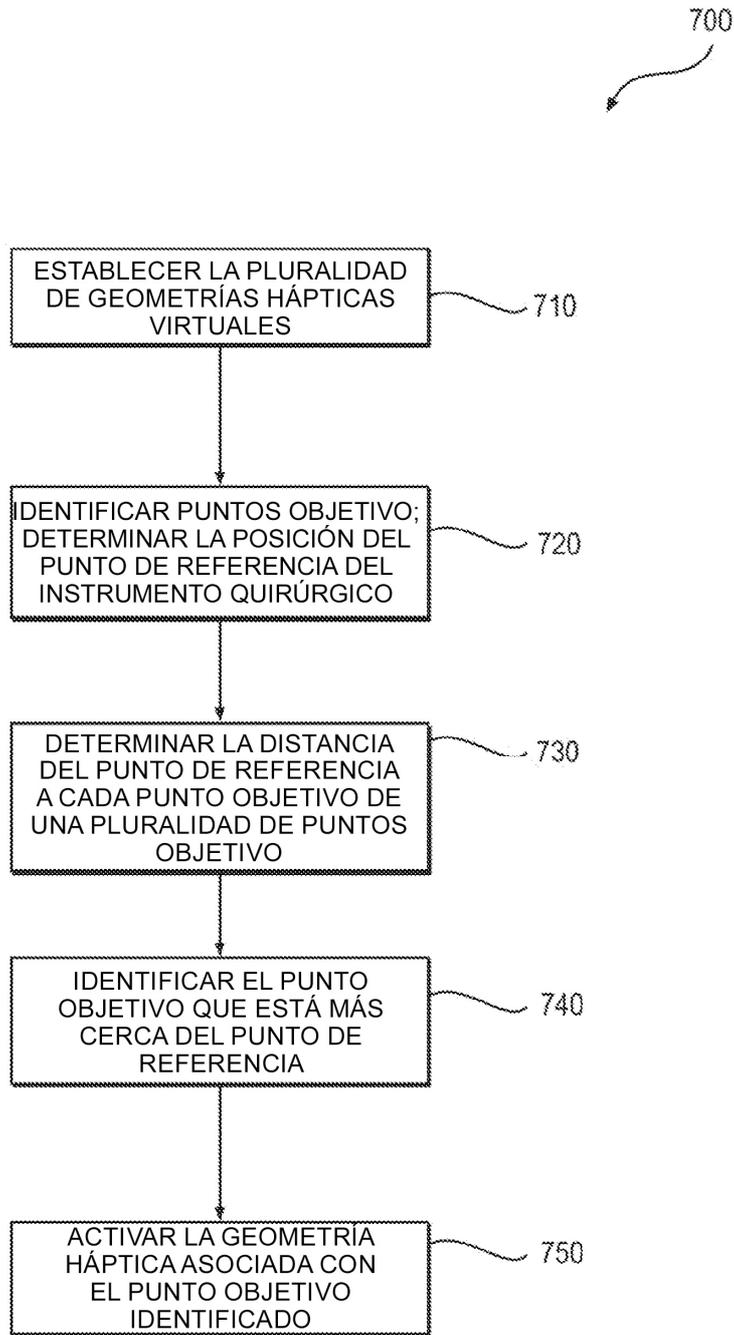


FIG. 7

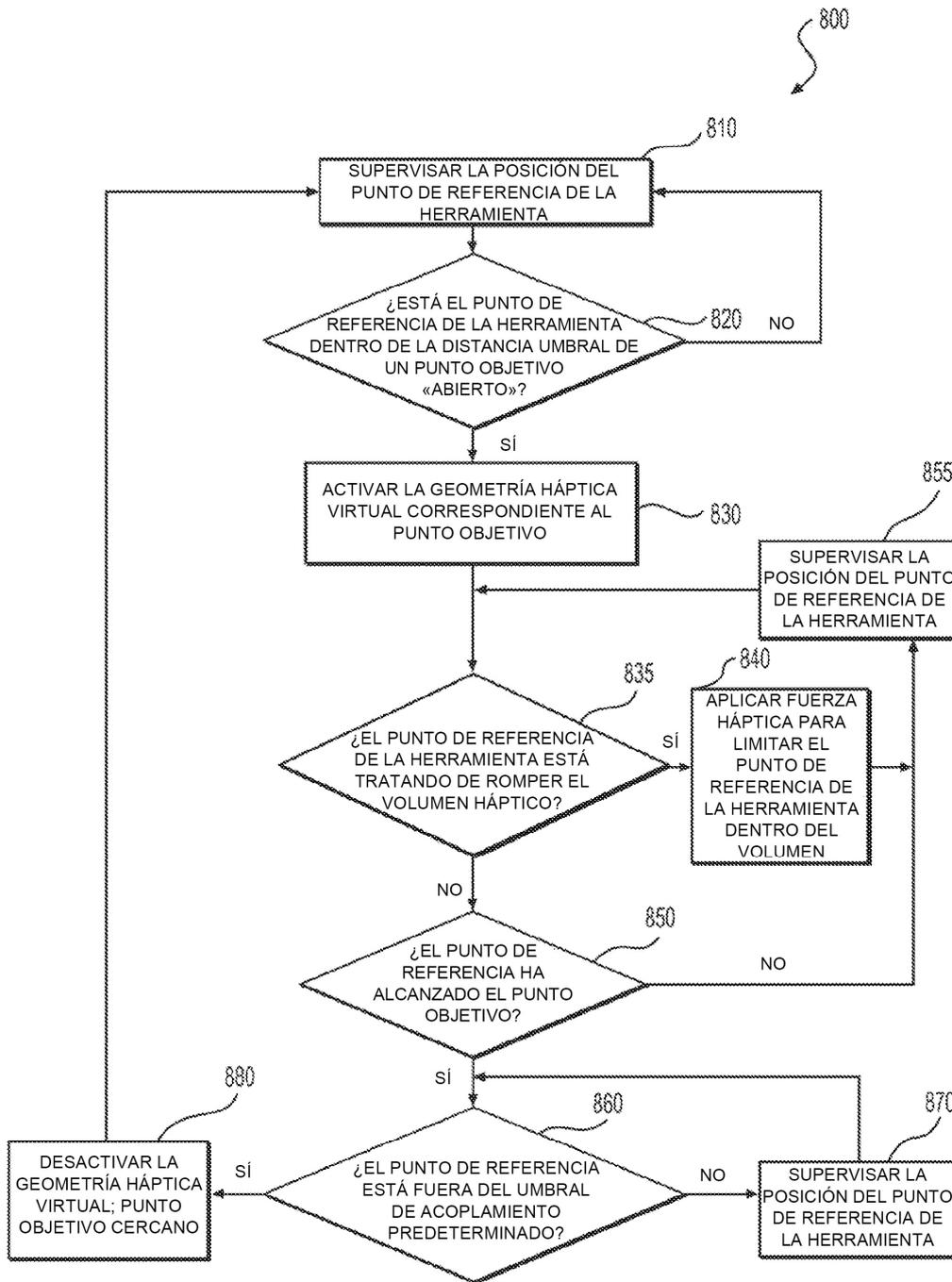


FIG. 8