

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 047**

51 Int. Cl.:

A61B 34/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.04.2013** **E 13001916 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.01.2018** **EP 2789308**

54 Título: **Técnica implementada por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente una configuración de corte de hueso**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.05.2018

73 Titular/es:

CADFEM GMBH (100.0%)
Marktplatz 2
85567 Grafing b. München, DE

72 Inventor/es:

MÜLLER, CHRISTOPH

74 Agente/Representante:

AZNÁREZ URBIETA, Pablo

ES 2 667 047 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

Técnica implementada por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente una configuración de corte de hueso.

Campo técnico

5 La presente descripción se refiere en general al campo de proporcionar asistencia implementada por ordenador a cirujanos. En particular, se proporciona una técnica que permite una definición implementada por ordenador de una configuración de corte de hueso. La técnica puede implementarse en forma de un método, un dispositivo o un producto de programa informático.

Antecedentes

10 Las deficiencias maxilares transversas pueden tratarse mediante una corrección esquelética intraoral. Con este fin, en un primer paso se llevan a cabo cortes de hueso en las regiones media palatina y pterigoidea del maxilar superior para separar las partes izquierda y derecha del maxilar superior. En un paso subsiguiente, se implanta un dispositivo de distracción intraoral que actúa localmente sobre las partes izquierda y derecha del maxilar superior para separarlas en una dirección transversal. Esta distracción se efectúa en múltiples pasos a lo largo de un periodo de tiempo prolongado.

15 La US 2003/0097137 A muestra un dispositivo de distracción ilustrativo adecuado para una distracción maxilar horizontal, vertical y transversa. El dispositivo de distracción comprende un arco facial formado por múltiples secciones que pueden unirse al maxilar superior. Cada par de secciones adyacentes se une mediante una conexión roscada. La conexión roscada puede girar para separar una de otra las dos secciones y causar así una distracción. Por supuesto, existen diversos dispositivos alternativos para la distracción maxilar transversa.

20 La WO 2012/139999 A1 muestra un método para diseñar y producir una ranura de posicionamiento para el uso en un reposicionamiento de la mandíbula de un maxilar durante una cirugía ortognática. Se utiliza una representación digital en 3D de un modelo de yeso del maxilar del paciente para ver simulaciones digitales de los movimientos óseos causados por una operación planeada. Las simulaciones están basadas en la geometría del modelo.

25 Tanto la EP 1 726 265 A1 como la WO 2006/000063 muestran un método para estimular movimientos predichos del maxilar de un paciente como resultado de una geometría basada en una cirugía ortognática planeada.

30 Se ha encontrado empíricamente que la distracción maxilar transversa con frecuencia lleva a una corrección asimétrica de la deficiencia maxilar. La distracción asimétrica puede atribuirse en parte a variaciones locales de la rigidez del hueso maxilar. Por ejemplo, tales variaciones de rigidez pueden hacer que el desplazamiento del lado izquierdo del maxilar superior en relación con el corte de hueso palatino medio sea diferente del desplazamiento del lado derecho del maxilar superior en relación con dicho corte de hueso. Dependiendo de la magnitud específica en que se diferencien los desplazamientos, puede obtenerse un resultado estético poco agradable.

35 Según la invención, se proporciona un método implementado por ordenador como se define en las reivindicaciones 1 y 3, un producto de programa informático como se define en la reivindicación 13, un patrón quirúrgico o una plantilla quirúrgica para corte de hueso como se define en la reivindicación 16 y un dispositivo informático como se define en la reivindicación 17, las reivindicaciones dependientes definen características ventajosas adicionales de la invención. Un objeto de la presente descripción es proporcionar una técnica implementada por ordenador que ayude a un cirujano a combatir una asimetría esquelética no deseada como resultado de una distracción maxilar transversa.

40 De acuerdo con un aspecto, se proporciona un método implementado por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el método crear, en base a datos del maxilar superior específicos del paciente, un modelo numérico representativo de las propiedades mecánicas del maxilar superior, determinar, en base al modelo numérico así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más primeros cortes de hueso en un lado izquierdo y/o derecho del maxilar superior, determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la
45 determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso en el modelo numérico, analizar el modelo numérico resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción y aplicar un procedimiento de cálculo iterativo basado en uno o más parámetros de optimización, calculándose en cada iteración al menos una nueva configuración de corte y creándose un nuevo modelo numérico en base a esta última para la siguiente iteración. El método comprende además generar un conjunto de datos indicativo de las una o más
50 configuraciones de corte.

De acuerdo con otro aspecto, se proporciona un método implementado por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar

transversa, comprendiendo el método crear, en base a datos del maxilar superior específicos del paciente, un modelo numérico representativo de las propiedades mecánicas del maxilar superior, determinar, en base al modelo numérico así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más primeros cortes de hueso en un lado izquierdo y/o derecho del maxilar superior, determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso en el modelo numérico, analizar el modelo numérico resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción, definiéndose inicialmente múltiples configuraciones de corte para las que se determinan y se analizan, en cuanto a uno o más parámetros de calidad, modelos numéricos asociados. El método comprende además generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte, seleccionándose, en base a los modelos numéricos analizados para generar el conjunto de datos, una o más de las configuraciones de corte inicialmente definidas.

Se entiende que las expresiones “izquierda” y “derecha” tal como se utilizan aquí pueden utilizarse de forma intercambiable y significan sólo dos lados opuestos del maxilar superior en una dirección transversa. Se entiende además que el modelo numérico puede ser cualquier modelo matemático que exprese las propiedades mecánicas del maxilar superior en números.

Los uno o más primeros cortes de hueso derivados del modelo numérico pueden debilitar localmente el maxilar superior. Tal debilitamiento local puede calcularse en base al modelo numérico para compensar las propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior con el fin de una distracción maxilar transversa simétrica. Como ejemplo, los uno o más primeros cortes de hueso pueden estar definidos para que se extiendan parcial o totalmente en una zona media facial lateral (por ejemplo en una pared de seno lateral). Así, las propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior pueden compensarse debilitando intencionadamente la zona media facial lateral (por ejemplo la pared de seno lateral). En ciertas implementaciones pueden preverse uno o más primeros cortes de hueso en regiones alternativas o adicionales.

Cada configuración de corte puede comprender datos geométricos indicativos del primer corte de hueso asociado. Como ejemplo, cada configuración de corte puede comprender datos indicativos de uno o más de los siguientes: un plano de corte, una línea de corte (por ejemplo curva), una dirección de corte, una longitud de corte y uno o más (por ejemplo dos) puntos límite de corte de hueso. Esos datos pueden proporcionarse en un sistema de coordenadas del modelo numérico o en cualquier otro sistema de coordenadas. Como ejemplo, los datos pueden proporcionarse en un primer sistema de coordenadas (por ejemplo del modelo numérico) y más adelante transformarse en un segundo sistema de coordenadas (por ejemplo de un paciente durante la cirugía) dependiendo del uso específico de los datos.

Determinar las una o más configuraciones de corte comprende introducir los uno o más primeros cortes de hueso en el modelo numérico del maxilar superior. A continuación, el modelo numérico resultante se analiza en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción (por ejemplo, en términos de la fuerza de reacción resultante de aplicar cierto desplazamiento en el modelo numérico o en términos del desplazamiento resultante de aplicar cierta fuerza de distracción al modelo numérico).

Determinar las una o más configuraciones de corte puede comprender adicional o alternatively, introducir uno o más segundos cortes de hueso en el modelo numérico del maxilar superior. Los uno o más segundos cortes de hueso pueden separar en el modelo numérico, al menos parcialmente, regiones que se alejen unas de otras durante la distracción de regiones que esencialmente no se ven afectadas por la distracción. A continuación puede analizarse el modelo numérico resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción. Los uno o más segundos cortes de hueso pueden introducirse en una región pterigoidea y/o palatina del maxilar superior.

Los datos específicos del paciente pueden proporcionarse en forma de datos basados en vóxeles, datos basados en píxeles o cualquier otro tipo de datos. Crear el modelo numérico puede comprender procesar los datos específicos del paciente (por ejemplo, basados en vóxeles) para determinar datos de contorno y/o datos de rigidez para el maxilar superior y calcular el modelo numérico a partir de los datos de contorno y/o los datos de rigidez.

El modelo numérico puede ser indicativo de uno o más de los siguientes: rigidez del maxilar superior, fuerza de reacción durante una distracción del maxilar superior y desplazamiento durante una distracción del maxilar superior. El modelo numérico puede procesarse para calcular cualquiera de estos elementos con el fin de determinar las una o más configuraciones de corte.

Las una o más configuraciones de corte pueden determinarse en general de manera que se compensen propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior. Tales propiedades mecánicas asimétricas pueden reflejarse en al menos uno de los siguientes: asimetría de rigidez del maxilar superior, fuerzas de reacción asimétricas durante una distracción y desplazamientos asimétricos durante una distracción. Como ejemplo, para un desplazamiento dado, la cantidad de fuerza de reacción resultante en el lado izquierdo del maxilar superior puede ser diferente de la cantidad de fuerza de reacción opuesta resultante en el lado derecho del maxilar superior. Como otro ejemplo, para una cantidad de fuerza de

distracción dada, el desplazamiento del lado izquierdo del maxilar superior puede ser diferente del desplazamiento opuesto en el lado derecho del maxilar superior. Tales asimetrías pueden derivarse en base al modelo numérico.

5 En una implementación, determinar las una o más configuraciones de corte comprende aplicar en cada caso una fuerza de distracción predeterminada en un primer lado y en un segundo lado del modelo numérico, que corresponden al lado izquierdo y derecho del maxilar superior, respectivamente, y determinar los desplazamientos resultantes del primer lado y del segundo lado del modelo numérico, respectivamente. En otra configuración, determinar las una o más configuraciones de corte comprende aplicar en cada caso un desplazamiento predeterminado en el primer lado y en el segundo lado del modelo numérico y determinar las fuerzas de reacción en el primer lado y en el segundo lado del modelo numérico, respectivamente, asociadas con los desplazamientos. Por supuesto, ambas implementaciones
10 podrían combinarse según sea necesario.

Las fuerzas de distracción o los desplazamientos pueden aplicarse en general en una región de los (por ejemplo primeros) molares y/o una región de los caninos. Las fuerzas de distracción o los desplazamientos pueden aplicarse en regiones adicionales o alternativas. Los puntos de aplicación específicos de los vectores de fuerza o de desplazamiento pueden seleccionarse en general según la configuración del dispositivo de distracción y su aplicación al maxilar superior.
15

Según una primera variante, determinar las una o más configuraciones de corte en base al modelo numérico comprende aplicar un procedimiento de cálculo iterativo basado en uno o más parámetros de optimización. En cada iteración puede calcularse al menos una nueva configuración de corte y puede crearse un nuevo modelo numérico en base a esta última para la siguiente iteración. Los uno o más parámetros de optimización pueden incluir al menos uno de los siguientes:
20 longitud de corte mínima (por ejemplo corte a corte o como longitud de corte acumulada), igualación de rigidez en un primer lado y un segundo lado del modelo numérico, que corresponden al lado izquierdo y el lado derecho del maxilar superior, respectivamente, igualación de desplazamientos en el primer y segundo lado, igualación de fuerzas de distracción o reacción en el primer y segundo lado, y fuerzas de distracción o reacción mínimas.

Según una variante alternativa, se definen inicialmente múltiples configuraciones de corte para las que se determinan y se analizan, en cuanto a uno o más parámetros de calidad, modelos numéricos asociados. En base a los análisis, a continuación pueden seleccionarse, para generar el conjunto de datos, una o más de las configuraciones de corte inicialmente definidas. Los uno o más parámetros de calidad pueden incluir al menos uno de los siguientes: longitud de corte mínima (por ejemplo corte a corte o como longitud de corte acumulada), igualación de rigidez en un primer lado y en un segundo lado del modelo numérico, que corresponden al lado izquierdo y derecho del maxilar superior, respectivamente, igualación de desplazamientos en el primer y segundo lado, igualación de fuerzas de distracción o reacción en el primer y segundo lado, y fuerzas de distracción o reacción mínimas.
25
30

Además, se proporciona un producto informático que comprende partes de código de programa para llevar a cabo los pasos de cualquiera de los métodos y aspectos de método aquí presentados cuando el producto de programa informático se ejecuta en un dispositivo informático o un conjunto de dispositivos informáticos interconectados. El producto de programa informático puede estar almacenado en uno o más medios de registro legibles por ordenador.
35

El conjunto de datos generado según la implementación de método aquí presentada puede utilizarse para diversos propósitos. Como primer ejemplo, el conjunto de datos puede utilizarse (por ejemplo mediante un dispositivo de creación rápida de prototipos o un dispositivo de mecanización programable) para fabricar el patrón quirúrgico o la plantilla quirúrgica para el corte de hueso. En tal caso, el conjunto de datos puede tener un formato compatible con el diseño asistido por ordenador (CAD) o la fabricación asistida por ordenador (CAM). Como ejemplo, el conjunto de datos puede generarse en un formato de estereolitografía (SLA). El patrón o la plantilla puede aplicarse al maxilar superior del paciente de manera que sirva de ayuda en la operación de corte de hueso.
40

En un segundo ejemplo, el conjunto de datos puede utilizarse para controlar un sistema de cirugía asistido por ordenador. En otras palabras, el conjunto de datos puede comprender información de control para llevar a cabo automática o semiautomáticamente (por ejemplo bajo supervisión o control del cirujano) un proceso de corte de hueso. El sistema de cirugía asistido por ordenador puede comprender un brazo de robot o cualesquiera otras características robóticas y una herramienta quirúrgica (por ejemplo una sierra ósea).
45

Como otro ejemplo más, un sistema de navegación quirúrgico puede controlarse en base al conjunto de datos. En tal caso, el conjunto de datos puede comprender información de control para proporcionar una guía visual, táctil o acústica a un cirujano. El sistema de navegación puede, por ejemplo, seguir la posición de una herramienta quirúrgica (por ejemplo una sierra ósea) en relación al paciente y visualizar esa posición (por ejemplo en relación con una representación de una o más configuraciones de corte objetivo derivadas del conjunto de datos) en el dispositivo de visualización.
50

Así, también se proporciona un patrón quirúrgico o una plantilla quirúrgica para el corte de hueso que ha sido producido o producida en base al conjunto de datos. El patrón quirúrgico o la plantilla quirúrgica tiene superficies que reflejan las
55

configuraciones de corte para los primeros cortes de hueso determinados. Como otro ejemplo más, pueden proporcionarse tanto un sistema de cirugía asistido por ordenador como un sistema de navegación quirúrgico controlados en base al conjunto de datos.

5 Según otro aspecto, se proporciona un dispositivo informático para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el dispositivo un procesador configurado mediante un programa informático para llevar a cabo los pasos de crear, basándose en datos del maxilar superior específicos del paciente, un modelo numérico representativo de las propiedades mecánicas del maxilar superior, y determinar, basándose en el modelo numérico así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más cortes de hueso en un lado izquierdo y/o derecho del maxilar superior, 10 determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso en el modelo numérico, analizar el modelo numérico resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción y aplicar un procedimiento de cálculo iterativo basado en uno o más parámetros de optimización, calculándose en cada iteración al menos una nueva configuración de corte y creándose un nuevo modelo numérico en base a esta última para la siguiente iteración. El procesador está configurado además mediante el programa informático para generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte. 15

Según otro aspecto, se proporciona un dispositivo informático para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, 20 comprendiendo el dispositivo un procesador configurado mediante un programa informático para llevar a cabo los pasos de crear, basándose en datos del maxilar superior específicos del paciente, un modelo numérico representativo de las propiedades mecánicas del maxilar superior, y determinar, basándose en el modelo numérico así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más cortes de hueso en un lado izquierdo y/o derecho del maxilar superior, determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso en el modelo numérico, analizar el modelo numérico resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción, definiéndose inicialmente múltiples configuraciones de corte para las que se determinan y se analizan, en cuanto a uno o más parámetros de calidad, modelos numéricos asociados. El procesador está configurado además mediante el programa informático para generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte, seleccionándose, en base a los modelos numéricos analizados para generar el conjunto de datos, una o más de las configuraciones de corte inicialmente definidas. 25 30

Según otro ejemplo más, puede proporcionarse un conjunto de datos o una señal de datos que comprende el conjunto de datos, que define geoméricamente las una o más configuraciones de corte, habiéndose generado el conjunto de datos como se describe aquí. 35

Breve descripción de las figuras

Otros aspectos, detalles y ventajas de la presente revelación se desprenden de la siguiente descripción de ejemplos de realización junto con las figuras adjuntas, en las que:

- 40 Fig. 1: ilustra esquemáticamente una realización de un sistema para generar un conjunto de datos que define geoméricamente una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa;
- Fig. 2A, 2B: ilustran esquemáticamente una sección transversal del maxilar superior de un paciente y un procedimiento de distracción transversa aplicado a ese maxilar superior;
- 45 Fig. 3: diagrama esquemático que ilustra un ejemplo de corte de hueso previsto en una región de *facies infratemporalis* del maxilar superior.
- Fig. 4: diagrama de flujo que ilustra una realización de un método para generar un conjunto de datos para su posterior uso quirúrgico;
- Fig. 5: diagrama esquemático que muestra un modelo MEF numérico del maxilar superior de un paciente;
- Fig. 6: diagrama esquemático del modelo MEF de la Fig. 6, con un corte de hueso incorporado;
- 50 Fig.7: diagrama esquemático que ilustra fuerzas de distracción aplicadas o derivadas del modelo MEF de la Fig. 5;
- Fig. 8: diagrama esquemático que ilustra el proceso de determinar de forma iterativa puntos límite de corte de hueso en base al modelo MEF de la Fig. 5;
- Fig. 9: tabla a modo de ejemplo que ilustra la obtención de un criterio de optimización en base a una pluralidad de parámetros de optimización;
- 55 Fig. 10: diagrama esquemático que ilustra una variabilidad del criterio de optimización de la Fig. 9 durante un proceso de optimización iterativo;
- Fig. 11: diagrama esquemático que ilustra adicionalmente el proceso de optimización de la Fig. 10;

- Fig. 12: diagrama esquemático que muestra un conjunto de datos que comprende una configuración de corte obtenida mediante el proceso de optimización de la Fig. 10;
- Fig. 13: diagrama esquemático que ilustra una realización de un patrón quirúrgico para corte de hueso obtenido a partir del conjunto de datos mostrado en la Fig. 12; y
- 5 Fig. 14: diagrama esquemático que ilustra el posicionamiento del patrón quirúrgico de la Fig. 13 en relación con el cráneo de un paciente.

Descripción detallada

10 En la descripción siguiente de ejemplos de realización, con fines de explicación y no de limitación, se exponen detalles específicos, tales como métodos, funciones y procedimientos concretos, para proporcionar una comprensión a fondo de la técnica aquí presentada. Para el experto en la materia será evidente que esta técnica puede ponerse en práctica en otras realizaciones que se aparten de estos detalles específicos. Por ejemplo, aunque las realizaciones siguientes se describen principalmente en base a una implementación por MEF, es evidente que la técnica mostrada en las mismas también podría implementarse utilizando modelos numéricos sin malla.

15 Además, los expertos en la materia comprenderán que los métodos, funciones y pasos aquí explicados pueden implementarse utilizando un software que funcione juntamente con un microprocesador programado, un circuito integrado de aplicación específica (ASIC, por sus siglas en inglés), un procesador de señales digitales (DSP, por sus siglas en inglés) o un ordenador de uso general. Se entiende también que, aunque las realizaciones siguientes se describen principalmente en el contexto de métodos y dispositivos, la presente revelación puede realizarse también en un producto de programa informático que pueda cargarse para ejecutarse en un ordenador o un sistema informático

20 distribuido que comprenda uno o más procesadores y una o más memorias que sirvan de almacenamiento, estando las una o más memorias configuradas para almacenar uno o más programas que pueden llevar a cabo los métodos, las funciones y los pasos aquí descritos.

25 La Fig. 1 ilustra una realización de un sistema 100 para generar conjuntos de datos que definen geoméricamente una o más configuraciones de corte de hueso. Como se ilustra en la Fig. 1, el sistema 100 comprende un dispositivo informático 110 (tal como un ordenador personal o portátil), un dispositivo de visualización 120 (tal como un monitor de ordenador) y un almacenamiento externo 130 (tal como un disco duro o una memoria de semiconductores en el cual o la cual esté prevista una base de datos) para almacenar los conjuntos de datos generados. El sistema 100 incluye también un dispositivo de fabricación 140, tal como un dispositivo de creación rápida de prototipos o cualquier dispositivo de mecanización programable.

30 Como se muestra en la Fig. 1, el sistema 100 comprende además al menos un dispositivo de entrada 150 (tal como un teclado, un ratón o una bola rastreadora (*trackball*)), que puede ser manejado por un usuario, para generar o disparar la generación de señales de interacción del usuario. En una implementación, el dispositivo de visualización 120 y el dispositivo de entrada 150 pueden estar integrados en una pantalla táctil.

35 El dispositivo informático 110 comprende una interfaz 112, al menos un procesador 114 (tal como una unidad central de proceso (CPU, por sus siglas en inglés)) y un almacenamiento interno 116 (tal como un disco duro o una memoria de semiconductores) para almacenar el código de programa y, opcionalmente, los conjuntos de datos generados. La interfaz 112 está configurada como una interfaz de entrada/salida para establecer una comunicación entre, por una parte, el dispositivo informático 110 y, por otra parte, el dispositivo de visualización 120, el almacenamiento 130, el dispositivo de fabricación 140, el dispositivo de entrada 150 y una red informática 160 (tal como una red de área local (LAN, por sus siglas en inglés) y/o Internet). La interfaz 112 puede realizarse en forma de uno o más componentes de hardware, uno o más componentes de software o una combinación de uno o más componentes de hardware y uno o más componentes de software.

45 El sistema 100 de la Fig. 1 puede comprender además un sistema de cirugía asistido por ordenador y/o un sistema de navegación quirúrgico (no mostrados). Estos sistemas pueden conectarse al dispositivo informático 110 a través de la red 160. También pueden tener acceso a los conjuntos de datos en el almacenamiento externo 130.

A continuación se tratarán más detalladamente ejemplos de modos de funcionamiento del sistema 100 ilustrado en la Fig. 1 con referencia a las demás figuras. Hay que señalar que los procedimientos operativos aquí tratados podrían implementarse también en un sistema que tuviese una configuración diferente de la mostrada en la Fig. 1.

50 El sistema 100 funciona en general para generar un conjunto de datos que define geoméricamente una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa. Como se ha mencionado inicialmente, los enfoques convencionales para la distracción maxilar transversa pueden tener como resultado una corrección asimétrica de la deficiencia maxilar, lo que frecuentemente no es aceptable desde un punto de vista estético. Por este motivo, las realizaciones presentadas a continuación proporcionan a un cirujano asistencia implementada por ordenador para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior durante la distracción.

La Fig. 2A muestra una vista superior en sección transversal del maxilar superior 200 de un paciente. El maxilar superior 200 comprende un lado izquierdo 206 y un lado derecho 208 separados por un corte de hueso estándar 202. Se entiende que las expresiones "izquierdo" y "derecho" significan sólo dos lados opuestos del maxilar superior en una dirección transversa. El objetivo de la distracción maxilar transversa es alejar unas de otras regiones de los lados 206, 208 para compensar deficiencias maxilares transversas.

La Fig. 2A muestra también un ejemplo de corte de hueso estándar 202 realizado en una región media palatina 204 del maxilar superior 200. En regiones pterigoideas del maxilar superior 200 se han realizado otros cortes de hueso estándar (no mostrados). Los cortes de hueso estándar separan regiones del maxilar superior 200 que durante la distracción se van a alejar de regiones que esencialmente no se ven afectadas por la distracción. Dependiendo de la situación anatómica y las necesidades quirúrgicas, podrían omitirse uno o más de esos cortes de hueso estándar (o todos ellos) o podrían añadirse cortes de hueso estándar adicionales.

Como se desprende de la Fig. 2A, las configuraciones de las estructuras óseas del lado izquierdo 206 y el lado derecho 208 del maxilar superior son considerablemente diferentes. Por ejemplo, mientras que el lado izquierdo 206 comprende solamente una única cámara 210, el lado derecho 208 está provisto de dos de tales cámaras 212, 214. Estas diferencias esqueléticas tienen como resultado una rigidez asimétrica del lado izquierdo 206 y derecho 208 del maxilar superior 200. Por consiguiente, cuando se coloque un dispositivo distractor transverso 216 entre regiones del lado izquierdo 206 y del lado derecho 208 del maxilar superior 200 a través del corte de hueso 202, tal como se ilustra en la Fig. 2B, y se aplique una fuerza de distracción predefinida entre las mismas, el lado derecho 208 del maxilar superior 200, que es más rígido, se desplazará menos en relación con el corte de hueso 202 que el lado izquierdo 206 opuesto. Las rigideces (diferentes) del lado izquierdo 206 y del lado derecho 208 del maxilar superior están representadas en la Fig. 2B en forma de resortes con constantes (diferentes).

Los desplazamientos asimétricos resultantes en relación con el corte de hueso 202 llevan a una corrección asimétrica de la deficiencia maxilar y esta asimetría es la que se ha de abordar mediante la técnica implementada por ordenador aquí presentada. Específicamente, se ha reconocido que las propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior 200 tratadas con referencia a la Fig. 2A pueden compensarse previendo uno o más cortes de hueso 300 como se ilustra en la Fig. 3. Los uno o más cortes de hueso 300 están previstos adicionalmente a los uno o más cortes de hueso estándar opcionales (tales como el corte de hueso 202 de la Fig. 2) utilizados de manera convencional en relación con la distracción maxilar transversa.

Un corte de hueso 300 como el mostrado en la Fig. 3 puede preverse en el lado izquierdo 206 y/o en el lado derecho 208 del maxilar superior 200. Además, también sería posible prever más de un corte de hueso 300 de este tipo tanto en el lado izquierdo 206 como en el derecho 208 del maxilar superior 200. En la presente realización, el al menos un corte de hueso 300 está previsto en una zona media facial lateral del maxilar superior 200 y, específicamente, en la pared de seno lateral. La zona media facial lateral del maxilar superior 200 asociada está por ello debilitada localmente. El debilitamiento local está hecho a medida de la asimetría de rigidez del maxilar superior 200 y tiene como resultado la distracción simétrica deseada. La configuración de corte subyacente a cada corte de hueso 300 está determinada de manera implementada por ordenador utilizando el sistema 100 de la Fig. 1.

La Fig. 4 muestra un diagrama de flujo 400 que ilustra una realización de un método implementado por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente datos de configuración de corte utilizando el sistema 100 de la Fig. 1. La generación de un conjunto de datos mostrada en la Fig. 4 se tratará con referencia al ejemplo de componentes de hardware mostrado en la Fig. 1 y los dibujos adjuntos de las Fig. 5 a 12.

En un paso inicial opcional no mostrado en la Fig. 4, el dispositivo informático 110 obtiene datos de un maxilar superior 200 específicos de un paciente. Los datos específicos del paciente pueden recibirse desde uno cualquiera de los siguientes: el almacenamiento interno 116, el almacenamiento externo 130 y la red informática 160. Los datos específicos del paciente se han obtenido mediante formación de imágenes médicas (por ejemplo utilizando tomografía computerizada, TC, o de cualquier manera) y pueden proporcionarse en forma de un archivo de datos. Los datos específicos del paciente pueden proporcionarse en formato STL o formato *Digital Imaging and Communications in Medicine* (DICOM, imágenes y comunicaciones digitales en medicina). En un ejemplo de variante, los datos específicos del paciente se proporcionan en forma de datos basados en vóxeles. Se entiende que, dependiendo de la naturaleza de los datos específicos del paciente, los datos específicos del paciente pueden someterse a operaciones de procesamiento dedicadas antes del proceso mostrado en la Fig. 4 o durante el mismo (por ejemplo para convertir datos de TC en datos de superficie de acuerdo con, por ejemplo, el estándar STL).

Una vez obtenidos los datos específicos del paciente, en el paso 402 el procesador 114 procesa esos datos para crear un modelo numérico del maxilar superior 200. El modelo numérico así creado es indicativo de propiedades mecánicas del maxilar superior 200 (por ejemplo de sus propiedades de rigidez). El modelo numérico puede ser un modelo basado en malla o un modelo sin malla. Como ejemplo de modelo basado en malla, a continuación se tratará un modelo creado mediante un método de elementos finitos (MEF).

Las operaciones de procesamiento llevadas a cabo por el procesador 114 en la presente realización crean un modelo MEF numérico tridimensional 500 del maxilar superior 200, como se muestra en la Fig. 5. En la Fig. 5 pueden identificarse las mismas estructuras anatómicas que en la Fig. 2A, que se indican con números de referencia similares.

5 Para generar el modelo MEF 500, inicialmente se segmentan datos DICOM tridimensionales específicos de un paciente y éstos se transforman en datos STL para obtener un modelo tridimensional basado en vóxeles del maxilar superior 200 (y, opcionalmente, de partes adicionales del cráneo del paciente). A continuación, el modelo basado en vóxeles resultante se analiza para determinar datos de contorno tridimensionales y/o datos de rigidez tridimensionales para el maxilar superior 200. Los datos de contorno describen generalmente una superficie exterior del maxilar superior 200, mientras que los datos de rigidez reflejan valores de rigidez locales para el maxilar superior 200. Tanto los datos de
10 contorno como los datos de rigidez pueden obtenerse evaluando los valores de gris asociados a los vóxeles individuales. Esta obtención puede comprender decisiones de nivel crítico para separar estructuras óseas y evaluar variaciones de la rigidez como ya es generalmente sabido en la técnica. Los datos de contorno y los datos de rigidez así obtenidos se someten finalmente a un análisis de elementos finitos (AEF) para calcular el modelo MEF 500 de la Fig. 5 en el paso 402. Aquí, cada vóxel puede representarse en un elemento finito.

15 En una configuración, el modelo MEF 500, y el modelo numérico en general, puede ser un modelo estático. Alternativamente, el modelo numérico puede tener en cuenta propiedades viscoelásticas del maxilar superior 200.

En un paso 404 siguiente se introducen uno o más cortes de hueso iniciales en el modelo MEF 500. Hay que señalar que, en realizaciones alternativas, los cortes de hueso podrían haberse introducido ya en los datos específicos del paciente (por ejemplo los datos DICOM o STL a base de los cuales se crea el modelo MEF 500 en el paso 402).

20 Los cortes de hueso iniciales pueden comprender cortes de hueso estándar (tales como el corte de hueso 502 en la región palatina 504 mostrado en la Fig. 5 y cortes de hueso en las regiones pterigoideas). Las configuraciones de corte subyacentes a esos cortes de hueso estándar puede predefinirlas e introducirlas automáticamente el sistema 100 bien en los datos específicos del paciente (paso 402), bien, como en el caso que nos ocupa, en el modelo MEF 500. Durante el proceso siguiente mostrado en la Fig. 4 no es necesario cambiar las configuraciones de corte subyacentes a los
25 cortes de hueso estándar.

Además de los cortes de hueso estándar, se introducen uno o más cortes de hueso adicionales 600 en el lado izquierdo 506 y/o derecho 508 del modelo numérico 500, como se muestra en la Fig. 6. En el caso que nos ocupa se supondrá que está previsto un corte de hueso 600 de este tipo en una zona media facial lateral 516 tanto en el lado izquierdo 506 como en el lado derecho 508 del modelo numérico 500. El número de cortes de hueso 600, así como una configuración de corte inicial para cada corte de hueso 600, puede ser predefinido o predefinida por el sistema 100 o por un usuario que esté manejando el sistema 100.
30

Para cada corte de hueso 502, 600, la configuración de corte asociada comprende datos geométricos que definen la posición y la longitud del corte de hueso 502, 600. Como ejemplo, el corte de hueso 600 puede representarse en el modelo numérico 500 como una estructura lineal (curva o recta) sin hueso, que tiene dos puntos límite y una anchura.
35 Los dos puntos límite y la anchura pueden indicarse en un sistema de coordenadas del modelo MEF 500. Como se apreciará, las coordenadas de los dos puntos límite del corte de hueso 600 en el modelo MEF 500 definirán también la longitud de corte para un corte de hueso recto. Un corte de hueso 600 curvo puede definirse también mediante una ranura que comprenda adicionalmente puntos intermedios.

Una vez introducidos todos los cortes iniciales 502, 600 en el modelo MEF 500 en el paso 404, se calculan en el paso
40 406 las fuerzas de reacción necesarias para abrir el maxilar superior hasta un desplazamiento predeterminado (por ejemplo definido por el sistema 100 o por un usuario que esté manejando el sistema 100). Como ejemplo, el desplazamiento total predeterminado puede ajustarse a un valor entre 2 y 16 mm (por ejemplo entre 6 y 14 mm). En caso de que el modelo MEF 500 indique propiedades viscoelásticas del maxilar superior 200, el desplazamiento predeterminado (o la fuerza de desplazamiento predeterminada) puede aplicarse en múltiples pasos separados en el
45 tiempo para permitir un ajuste después de cada paso.

El cálculo realizado en el paso 406 está basado en AEF y se repite de manera iterativa. A este respecto, las configuraciones de corte proporcionadas inicialmente para los cortes de hueso 600 (es decir los cortes de hueso previstos para compensar variaciones de rigidez) se optimizan de manera iterativa. Las configuraciones de corte pueden cambiarse repetidas veces (por ejemplo dentro de un intervalo de parámetros predefinido) hasta que se hayan obtenido
50 configuraciones de corte óptimas. Como se apreciará, las configuraciones de corte óptimas compensan la asimetría del maxilar superior 200 en rigidez (y las fuerzas de reacción asimétricas o los desplazamientos asimétricos durante la distracción).

En el caso que nos ocupa, el modelo numérico 500 se optimiza de manera iterativa con respecto a las configuraciones de corte subyacentes a los cortes de hueso 600 hasta que, para el desplazamiento predeterminado, se visualicen
55 aproximadamente los mismos valores de las fuerzas de reacción F1, F2 para abrir el maxilar superior 200, como se

5 muestra en la Fig. 7 para el modelo MEF 500 asociado. En el modelo MEF 500 de la Fig. 7, las fuerzas de reacción F1, F2 se visualizan en forma de dos vectores de fuerza opuestos que tienen su origen en los primeros molares o los caninos del lado izquierdo 506 y del lado derecho 508 del modelo MEF 500, respectivamente. En otras realizaciones pueden utilizarse cuatro vectores de fuerza que tengan su origen en los primeros molares y los caninos tanto del lado izquierdo 506 como del lado derecho 508 del modelo numérico 500. En general, los vectores de fuerza o de desplazamiento pueden tener su origen en lugares donde se vaya a aplicar el dispositivo distractor al paciente.

10 En el paso 408 se analizan, con respecto a las configuraciones de corte actuales, los valores de las fuerzas de reacción F1, F2 resultantes (y, opcionalmente, otros parámetros de optimización) para el desplazamiento predeterminado. Si ambas fuerzas de reacción F1, F2 tienen aproximadamente el mismo valor (y, opcionalmente, si se mantienen condiciones adicionales), se reconocerá en el paso 410 que se cumple una condición de aborto, dado que las configuraciones de corte de hueso actuales (y los cortes de hueso 600 asociados) llevarán a propiedades de distracción simétricas. Desde el paso 410, el método sigue a continuación con el paso 412 para generar un conjunto de datos que comprende las configuraciones de corte óptimas. Este conjunto de datos puede procesarse como se describirá más abajo con mayor detalle.

15 Si, por otra parte, se determinase en el paso 410 que la condición de aborto aún no se cumple, se determinaría en el paso 414 una nueva configuración de corte para al menos uno de los cortes de hueso 600 y el método volvería al paso 406 para la siguiente iteración.

20 La posición y la forma iniciales de una línea de corte (por ejemplo una ranura) subyacentes a cada corte de hueso 600 pueden haber sido predefinidas por el sistema 100 o por un usuario que esté manejando el sistema 100. En la presente realización se supondrá que las posiciones de los dos puntos límite del corte de hueso 600 asociado y, opcionalmente de puntos intermedios que definen la forma de la línea de corte, se optimizan de manera iterativa. Para tal optimización iterativa, la posición de los puntos límite de cada corte de hueso 600 puede variar dentro de un intervalo de parámetros predefinido entre un valor máximo y un valor mínimo, como se muestra en la Fig. 8. Por consiguiente, las nuevas configuraciones de corte se determinan en el paso 414 desplazando los puntos límite de cada corte de hueso 600 dentro de esas regiones límite predefinidas. Se entiende que, en otras realizaciones, pueden optimizarse solamente las posiciones de puntos intermedios (por ejemplo, los puntos límite para cada corte de hueso 600 pueden permanecer fijos) o éstas pueden optimizarse adicionalmente a los puntos límite.

30 En la realización arriba tratada, se ha supuesto que la condición de aborto está definida por una igualdad o compensación del valor de las fuerzas de reacción opuestas resultantes de un desplazamiento predefinido tanto para el lado izquierdo 506 como para el lado derecho 508 del modelo numérico 500. En otras realizaciones, los desplazamientos tanto para el lado izquierdo 506 como para el lado derecho 508 del modelo numérico 500 pueden igualarse o compensarse para fuerzas de distracción opuestas de un valor predefinido. Se entiende además que, en otras realizaciones, puede llevarse a cabo un proceso de optimización más complejo que tenga en cuenta uno o más parámetros de optimización adicionales o alternativos. A este respecto, la Fig. 9 muestra una tabla 900 que ilustra un criterio de optimización que optimiza una combinación ponderada de longitudes de corte mínimas, fuerzas de reacción mínimas y simetría de fuerzas de reacción. En la realización de la Fig. 9, la simetría de fuerzas de reacción (es decir la igualdad de los valores de las fuerzas de reacción F1 y F2) está asociada al mayor peso (factor de ponderación 5), a la reducción de la suma de los valores de las fuerzas de distracción F1, F2 se le da el segundo mayor peso (factor de ponderación 3) y a la minimización de la longitud de corte para cada uno de los dos cortes de hueso 600 se le da el menor peso (factor de ponderación 1).

45 Las posiciones de los puntos límite de los cortes de hueso 600 se varían de manera iterativa de forma que se minimice la expresión matemática en la última línea de la tabla 900. La Fig. 10 ilustra en un diagrama 1000 el procedimiento de optimización subyacente. Como puede deducirse del diagrama 1000 de la Fig. 10, la configuración de corte que subyace a un diseño específico (es decir las posiciones específicas de los puntos límite) 77 minimiza la expresión ilustrada en la Fig. 9. La misma información puede derivarse del diagrama esquemático 1100 de la Fig. 11, que ilustra la considerable disminución de la diferencia entre las fuerzas de reacción opuestas desde el diseño 1, pasando por el diseño 47, hasta el diseño 77, mientras al mismo tiempo la suma de los valores de las fuerzas de reacción F1, F2 se reduce ligeramente y mientras se obtienen longitudes de corte óptimas que se hallan entre la longitud de corte mínima y la longitud de corte máxima, como se muestra en la Fig. 8.

50 Se entiende que los diversos parámetros de optimización ilustrados en la Fig. 9 pueden utilizarse también individualmente o pueden combinarse de otro modo según sea necesario, dependiendo de las condiciones mecánicas y los requisitos. Se entiende también que, aunque en la presente realización se ha descrito a modo de ejemplo la minimización de un criterio de optimización para subrayar la condición de aborto ilustrada en el paso 410 de la Fig. 4, en otras realizaciones puede emplearse una maximización de un criterio de optimización diferente.

55 Además, se entiende que la presente técnica no está restringida a un procedimiento iterativo basado en uno o más parámetros de optimización. Más bien, también será posible definir inicialmente múltiples configuraciones de corte (es decir para cada uno de múltiples cortes de hueso) y a continuación ensayar permutaciones predefinidas o intervalos de

5 parámetros de tales configuraciones de corte y analizar cada permutación o conjunto de parámetros con respecto a uno o más parámetros de calidad. En una implementación, las permutaciones o los intervalos de parámetros se obtienen en base a diferentes posiciones predefinidas de los puntos límite (véase la Fig. 8). Los parámetros de calidad pueden incluir uno o más de los parámetros mostrados en la tabla 900 de la Fig. 9. Una vez analizada la totalidad o un número predefinido de permutaciones o conjuntos de parámetros de configuración de corte, puede seleccionarse la configuración concreta asociada con el mayor criterio de calidad para generar el conjunto de datos destinado a un uso posterior.

10 Como se menciona más arriba, la realización del método mostrada en la Fig. 4, o una realización alternativa del método, tiene como resultado un conjunto de datos que comprende configuraciones de corte para el procedimiento quirúrgico real. El conjunto de datos puede, por ejemplo, definir para cada corte de hueso 600 dos puntos límite óptimos (y opcionalmente una anchura) en un sistema de coordenadas del modelo MEF 500. En un caso típico, el conjunto de datos 1200 comprenderá una configuración de corte individual para un primer corte de hueso 600 en el lado izquierdo 506 del modelo numérico 500, así como para un segundo corte de hueso 600' en el lado derecho 508, tal como se muestra en la Fig. 12.

15 El conjunto de datos 1200 mostrado en la Fig. 12 se ha obtenido a partir del modelo MEF 500 e incluye los cortes de hueso 600, 600' con posiciones límite respectivamente optimizadas. En el conjunto de datos 1200, los cortes de hueso 600, 600' pueden estar incorporados como una estructura sin hueso (por ejemplo espacios vacíos).

20 En una implementación, el conjunto de datos 1200 resultante es un conjunto de datos _STL y se alimenta al dispositivo de fabricación 140 (por ejemplo un dispositivo de creación rápida de prototipos) ilustrado en la Fig. 1. En base a dicho conjunto de datos 1200, y opcionalmente otros datos obtenidos por ejemplo a partir del modelo numérico 500, el dispositivo de fabricación 140 fabrica un patrón quirúrgico o una plantilla quirúrgica para el corte de hueso. La Fig. 13 ilustra una realización de tal patrón quirúrgico 1300 y la Fig. 14 muestra cómo se aplicará dicho patrón 1300 a un cráneo 1400 del paciente para definir los lugares 1402, 1404 donde debe aplicarse una sierra quirúrgica. El patrón 1300 comprende dos superficies 1302, 1304 que reflejan las configuraciones de corte para los cortes de hueso 600, 600'. Las superficies 1302, 1304 están limitadas por unas estructuras límite correspondientes 1306, que reflejan los puntos límite obtenidos en base al modelo numérico (véase la Fig. 8).

25 Se entiende que el conjunto de datos obtenido en el paso 412 puede procesarse posteriormente con el fin de controlar el dispositivo de fabricación 140 según sea necesario. Como ejemplo, pueden cortarse las puntas de los dientes para conseguir un asiento optimizado del patrón quirúrgico 1300 en el maxilar superior 200. Adicionalmente, un usuario del sistema 100 puede tener la posibilidad de optimizar el patrón quirúrgico 1300 según sea necesario.

30 Se entiende también que el uso del conjunto de datos 1200 generado en el paso 412 no está limitado a la generación de un patrón quirúrgico 1300 o de una plantilla quirúrgica para el corte de hueso. Más bien, el conjunto de datos 1200 correspondiente puede utilizarse también para controlar un sistema de cirugía asistido por ordenador. Como ejemplo, tal sistema de cirugía puede comprender un brazo robótico al que esté unida una sierra ósea. La operación de corte real efectuada por el brazo robótico está controlada de acuerdo con las configuraciones de corte óptimas, tal como está representado en el conjunto de datos 1200.

35 En otra implementación, el conjunto de datos 1200 puede utilizarse para los fines de un sistema de navegación quirúrgico. Normalmente, tales sistemas de navegación siguen una posición de una herramienta quirúrgica, tal como una sierra quirúrgica, en relación con un paciente. A continuación, los datos de seguimiento correspondientes se visualizan en un dispositivo de visualización en relación con una imagen preoperatoria o una imagen intraoperatoria del maxilar superior 200 del paciente. Dicha imagen puede mejorarse con una representación de las configuraciones de corte óptimas para mostrar al cirujano la posición actual de la sierra quirúrgica (determinada mediante el seguimiento) en relación con la posición en la que han de realizarse los cortes de hueso 600 (determinada para el conjunto de datos 1200).

40 Como se desprende de la descripción anterior, la técnica aquí presentada puede ayudar de muchos modos al cirujano en una distracción maxilar transversa. La ayuda resultante lleva a un resultado quirúrgico mejorado con respecto a la simetría esquelética al final del proceso de distracción.

45 Arriba se han descrito a modo de ejemplo principios, realizaciones y diversos modos de implementar la técnica aquí descrita. La presente invención no debería considerarse limitada a los principios, realizaciones y modos concretos aquí descritos. Más bien, se entiende que un experto en la técnica puede realizar diversos cambios y modificaciones.

REIVINDICACIONES

1. Método implementado por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el método:

5 crear, basándose en datos de un maxilar superior (200) específicos de un paciente, un modelo numérico (500) representativo de propiedades mecánicas del maxilar superior (200); determinar, basándose en el modelo numérico (500) así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en un lado izquierdo (206) y/o derecho (208) del maxilar superior (200), determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior (200) al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en el modelo numérico (500), analizar el modelo numérico (500) resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción y aplicar un procedimiento de cálculo iterativo basado en uno o más parámetros de optimización, calculándose en cada iteración al menos una nueva configuración de corte y creándose un nuevo modelo numérico en base a esta última para la siguiente iteración; y

10 generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte.

2. Método según la reivindicación 1, donde los uno o más parámetros de optimización incluyen al menos uno de los siguientes: una longitud de corte mínima, una igualación de rigidez en un primer lado (506) y en un segundo lado (508) del modelo numérico (500), que corresponden al lado izquierdo (206) y el lado derecho (208) del maxilar superior (200), respectivamente, una igualación de desplazamientos en el primer lado (506) y en el segundo lado (508), una igualación de fuerzas de distracción o reacción en el primer lado (506) y el segundo lado (508), y fuerzas de distracción o reacción mínimas.

3. Método implementado por ordenador para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el método:

25 crear, basándose en datos de un maxilar superior (200) específicos de un paciente, un modelo numérico (500) representativo de propiedades mecánicas del maxilar superior (200); determinar, basándose en el modelo numérico (500) así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en un lado izquierdo (206) y/o derecho (208) del maxilar superior (200), determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior (200) al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en el modelo numérico (500) y analizar el modelo numérico (500) resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción, definiéndose inicialmente múltiples configuraciones de corte para las que se determinan y se analizan, en cuanto a uno o más parámetros de calidad, modelos numéricos (500) asociados; y

30 generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte, seleccionándose, en base a los modelos numéricos analizados para generar el conjunto de datos, una o más de las configuraciones de corte inicialmente definidas.

4. Método según la reivindicación 3, donde los uno o más parámetros de calidad incluyen al menos uno de los siguientes: una longitud de corte mínima, una igualación de rigidez en un primer lado (506) y en un segundo lado (508) del modelo numérico (500), que corresponden al lado izquierdo (206) y el lado derecho (208) del maxilar superior (200), respectivamente, una igualación de desplazamientos en el primer lado (506) y en el segundo lado (508), una igualación de fuerzas de distracción o reacción en el primer lado (506) y en el segundo lado (508), y fuerzas de distracción o reacción mínimas.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las propiedades mecánicas asimétricas incluyen asimetría de rigidez del maxilar superior.

6. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde los uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) están definidos para extenderse al menos parcialmente en una zona media facial lateral y/o cada configuración de corte comprende datos indicativos de al menos uno de un plano de corte, una línea de corte, una dirección de corte, una longitud de corte y al menos un punto límite de corte de hueso.

7. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde la determinación de las una o más configuraciones de corte comprende introducir uno o más segundos cortes de hueso (502) en el modelo numérico (500) y analizar el modelo numérico (500) resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción y donde los uno o más segundos cortes de hueso (502) separan al menos parcialmente en el modelo numérico

(500) regiones que se alejan unas de otras durante la distracción de regiones que esencialmente no se ven afectadas por la distracción.

8. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde crear el modelo numérico (500) comprende:
- 5 procesar los datos específicos del paciente para determinar datos de contorno y/o datos de rigidez para el maxilar superior (200);
y calcular el modelo numérico (500) a partir de los datos de contorno y/o los datos de rigidez.
9. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde el modelo numérico (500) es indicativo de uno o más de los siguientes: una rigidez del maxilar superior (200), una fuerza de reacción durante una distracción del maxilar superior (200) y un desplazamiento durante una distracción del maxilar superior (200).
- 10 10. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde las una o más configuraciones de corte se determinan, basándose en el modelo numérico (500), para compensar al menos uno de los siguientes: la asimetría de rigidez del maxilar superior (200), fuerzas de reacción asimétricas durante la distracción y desplazamientos asimétricos durante la distracción.
- 15 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, donde determinar las una o más configuraciones de corte comprende uno de:
- aplicar en cada caso una fuerza de distracción en un primer lado (506) y en un segundo lado (508) del modelo numérico (500), que corresponden al lado izquierdo (206) y derecho (208) del maxilar superior (200), respectivamente, y determinar los desplazamientos resultantes del primer lado (506) y del segundo lado (508) del modelo numérico (500), respectivamente; y
- 20 aplicar en cada caso un desplazamiento predeterminado en el primer lado (506) y en el segundo lado (508) del modelo numérico (500) y determinar las fuerzas de reacción resultantes en el primer lado (506) y en el segundo lado (508) del modelo numérico (500), respectivamente.
12. Método según la reivindicación 11, donde las fuerzas de distracción o los desplazamientos se aplican en una región de los molares y/o una región de los caninos.
- 25 13. Programa informático que comprende partes de código de programa para llevar a cabo los pasos de cualquiera de las reivindicaciones anteriores cuando el programa informático se ejecuta en un dispositivo informático.
14. Producto de programa informático según la reivindicación 13, almacenado en un medio de registro legible por ordenador.
- 30 15. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 - 12 anteriores, que además comprende el paso de fabricar un patrón quirúrgico (1300) o una plantilla quirúrgica para corte de hueso y controlar un sistema de navegación quirúrgico que está configurado para determinar una posición de una herramienta quirúrgica en relación con un paciente y visualizar la posición en un dispositivo de visualización.
- 35 16. Patrón quirúrgico (1300) o plantilla quirúrgica para corte de hueso fabricado o fabricada mediante el método de la reivindicación 15, donde el patrón quirúrgico (1300) o la plantilla quirúrgica tienen superficies que reflejan las configuraciones de corte para los primeros cortes de hueso determinados.
17. Dispositivo informático (110) para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el dispositivo un procesador (114) configurado mediante un programa informático para llevar a cabo los pasos de:
- 40 crear, basándose en datos de un maxilar superior (200) específicos de un paciente, un modelo numérico (500) representativo de propiedades mecánicas del maxilar superior (200); determinar, basándose en el modelo numérico (500) así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más cortes de hueso (300, 600) en un lado izquierdo (206) y/o derecho (208) del maxilar superior (200), determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior (200) al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en el modelo numérico (500), analizar el modelo numérico (500) resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción y aplicar un procedimiento de cálculo iterativo basado en uno o más parámetros de optimización, calculándose en cada iteración al menos una nueva configuración de corte y creándose un nuevo modelo numérico en base a esta última para la siguiente iteración; y
- 45

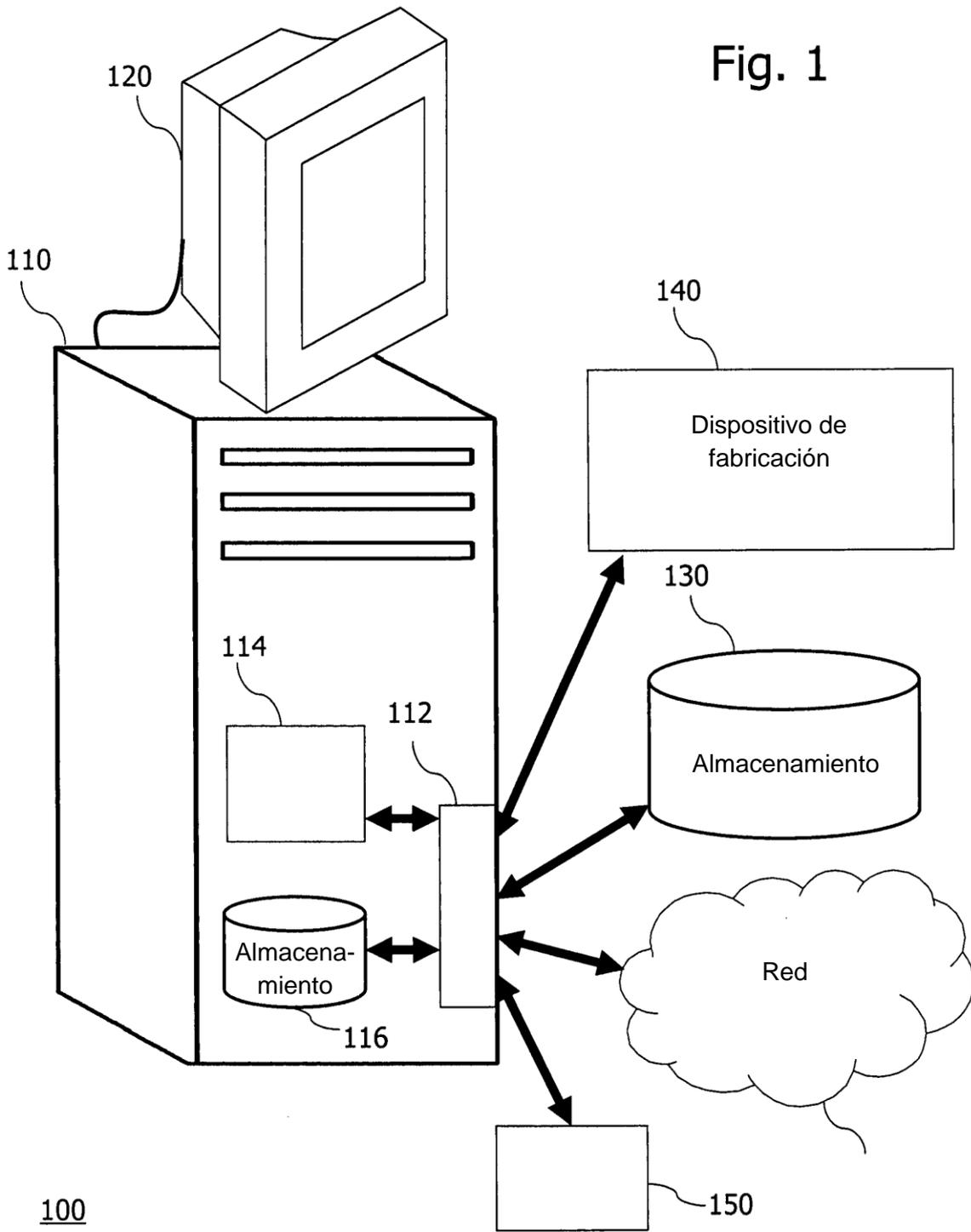
generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte, incluyendo las propiedades asimétricas, opcionalmente, al menos una asimetría de rigidez del maxilar superior.

- 5 **18.** Dispositivo informático (110) para generar un conjunto de datos que define geoméricamente al menos una configuración de corte de hueso para una distracción maxilar transversa, comprendiendo el dispositivo un procesador (114) configurado mediante un programa informático para llevar a cabo los pasos de:

10 crear, basándose en datos de un maxilar superior (200) específicos de un paciente, un modelo numérico (500) representativo de propiedades mecánicas del maxilar superior (200); determinar, basándose en el modelo numérico (500) así generado, una o más configuraciones de corte para uno o más cortes de hueso (300, 600) en un lado izquierdo (206) y/o derecho (208) del maxilar superior (200), determinándose las una o más configuraciones de corte para compensar propiedades mecánicas asimétricas del maxilar superior (200) al llevar a cabo la distracción maxilar transversa y comprendiendo la determinación de las una o más configuraciones de corte introducir los uno o más primeros cortes de hueso (300, 600) en el modelo numérico (500) y analizar el modelo numérico (500) resultante en cuanto a sus propiedades mecánicas durante la distracción, definiéndose inicialmente múltiples configuraciones de corte para las que se determinan y se analizan, en cuanto a uno o más parámetros de calidad, modelos numéricos (500) asociados; y

15 generar un conjunto de datos indicativo de las una o más configuraciones de corte, seleccionándose, en base a los modelos numéricos analizados para generar el conjunto de datos, una o más de las configuraciones de corte inicialmente definidas, e incluyendo las propiedades asimétricas, opcionalmente, al menos una asimetría de rigidez del maxilar superior.

20



200

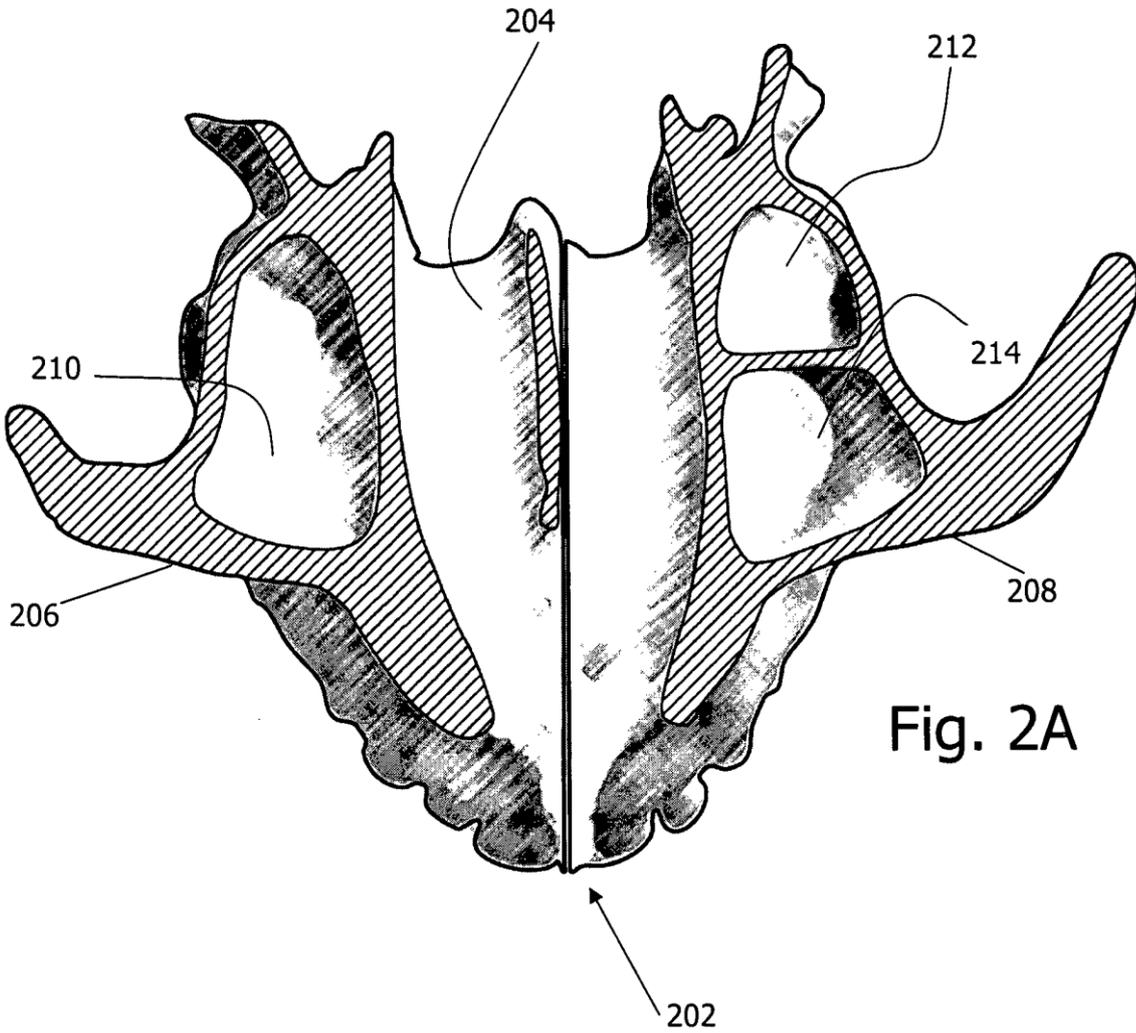


Fig. 2A

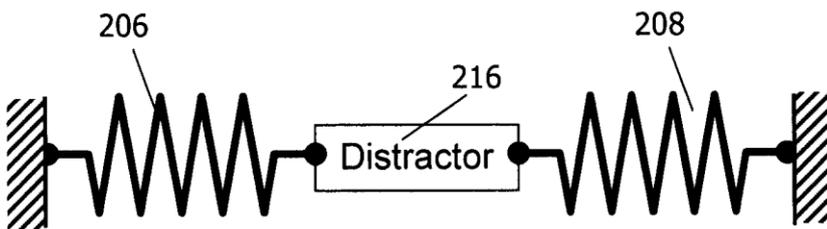


Fig. 2B

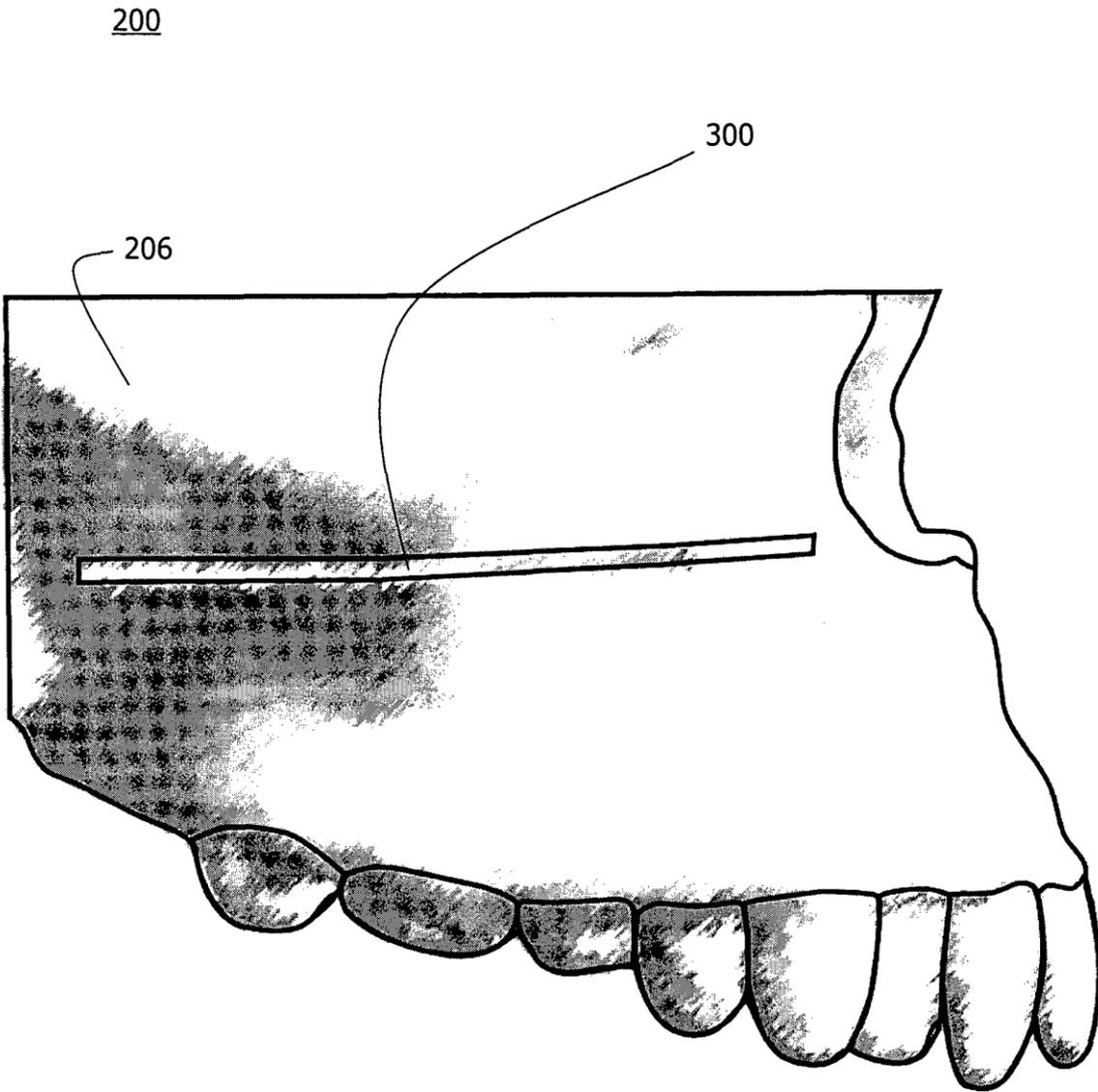


Fig. 3

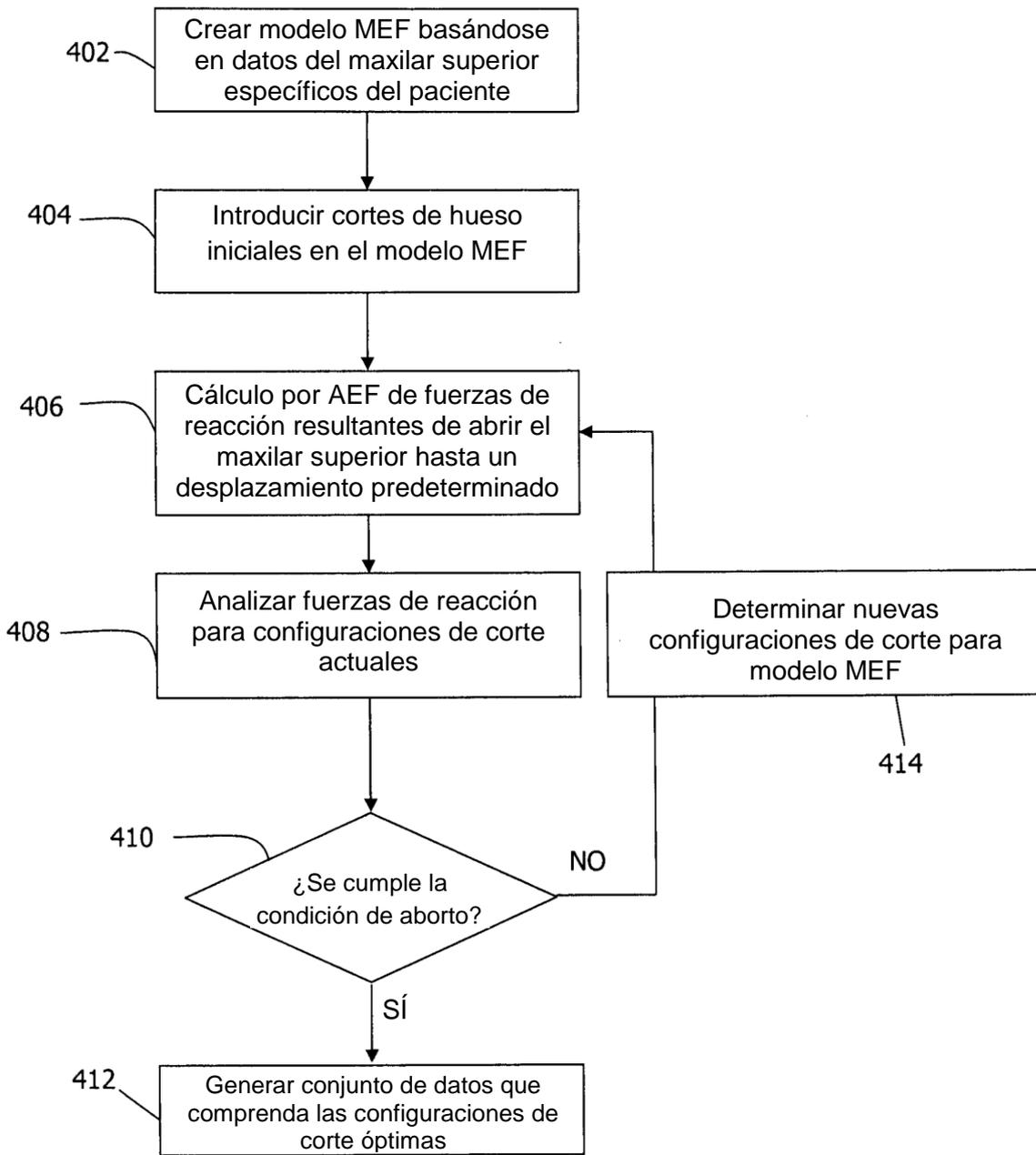


Fig. 4

400

500

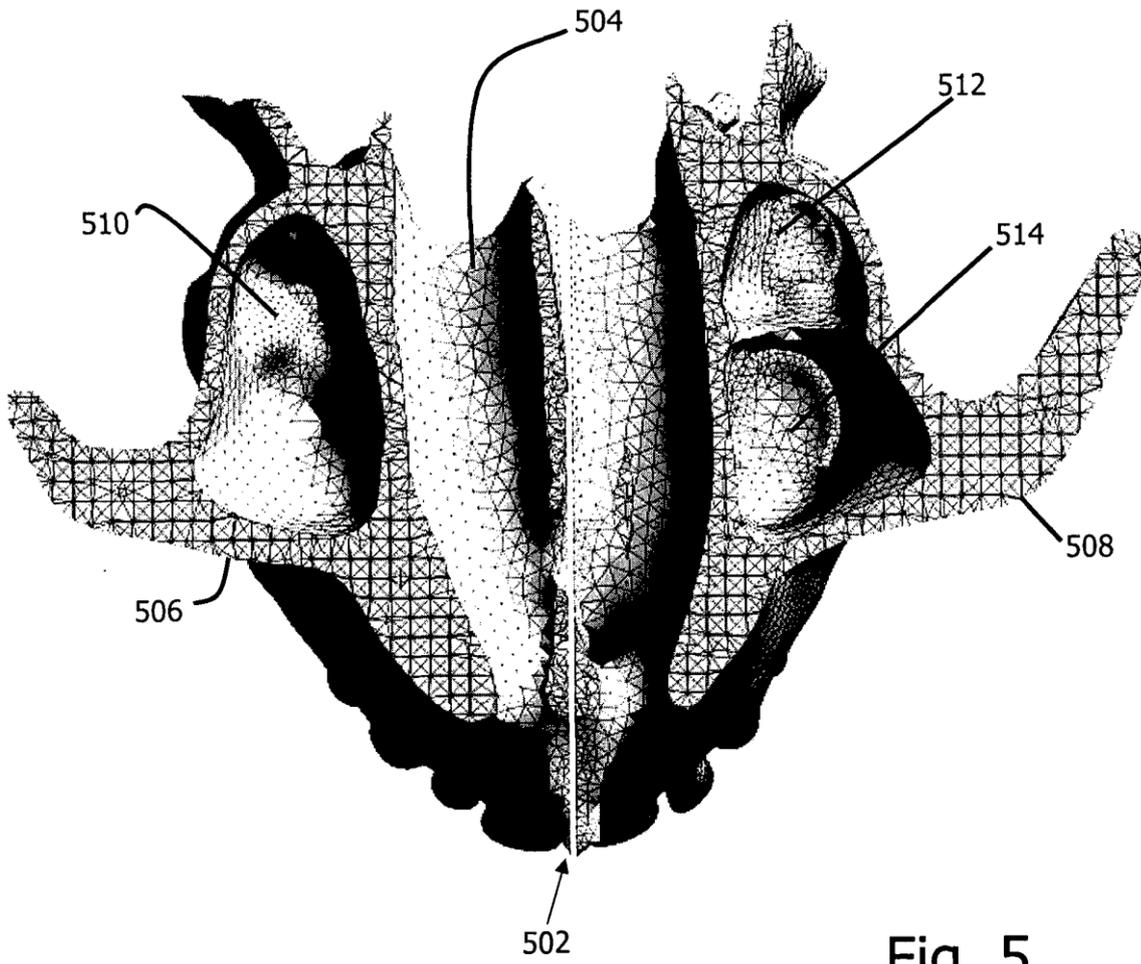
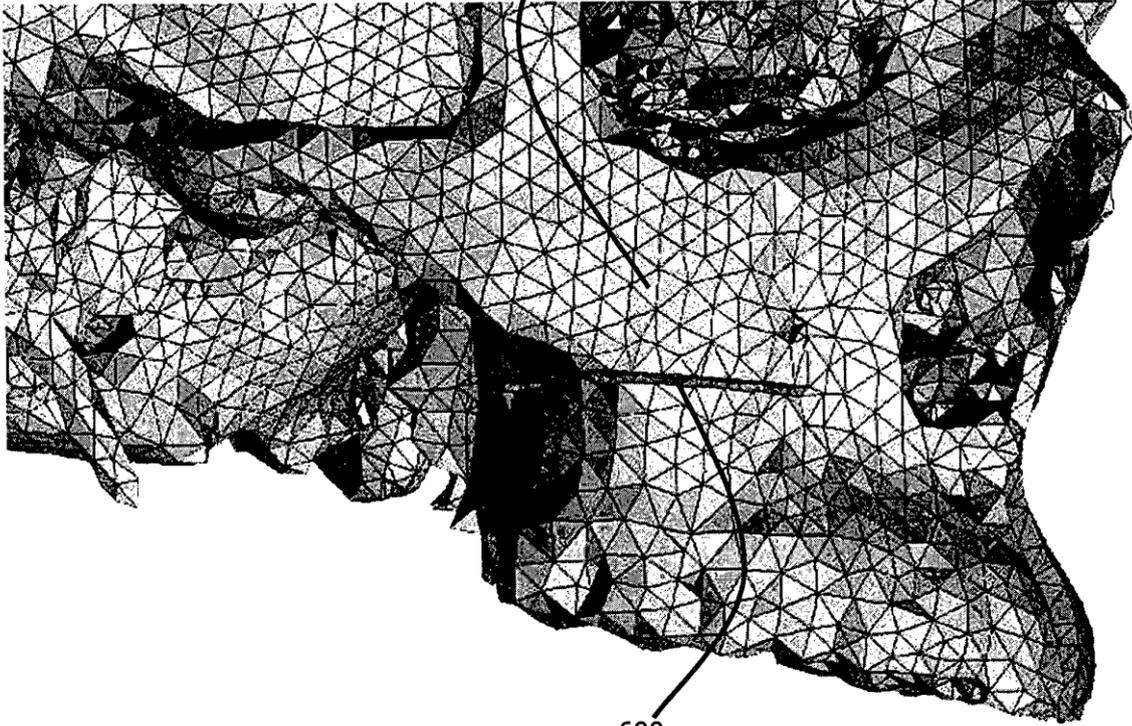


Fig. 5

500

516



600

Fig. 6

500

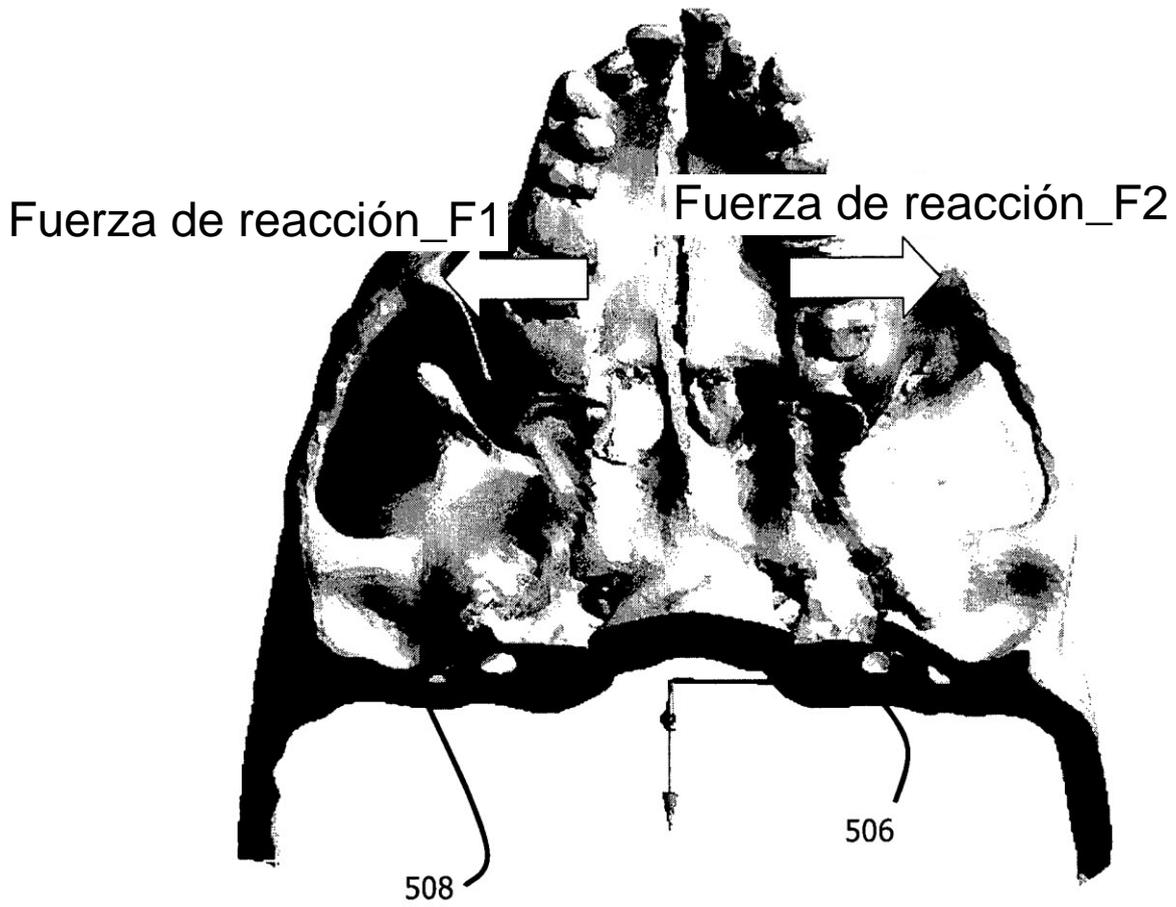


Fig. 7

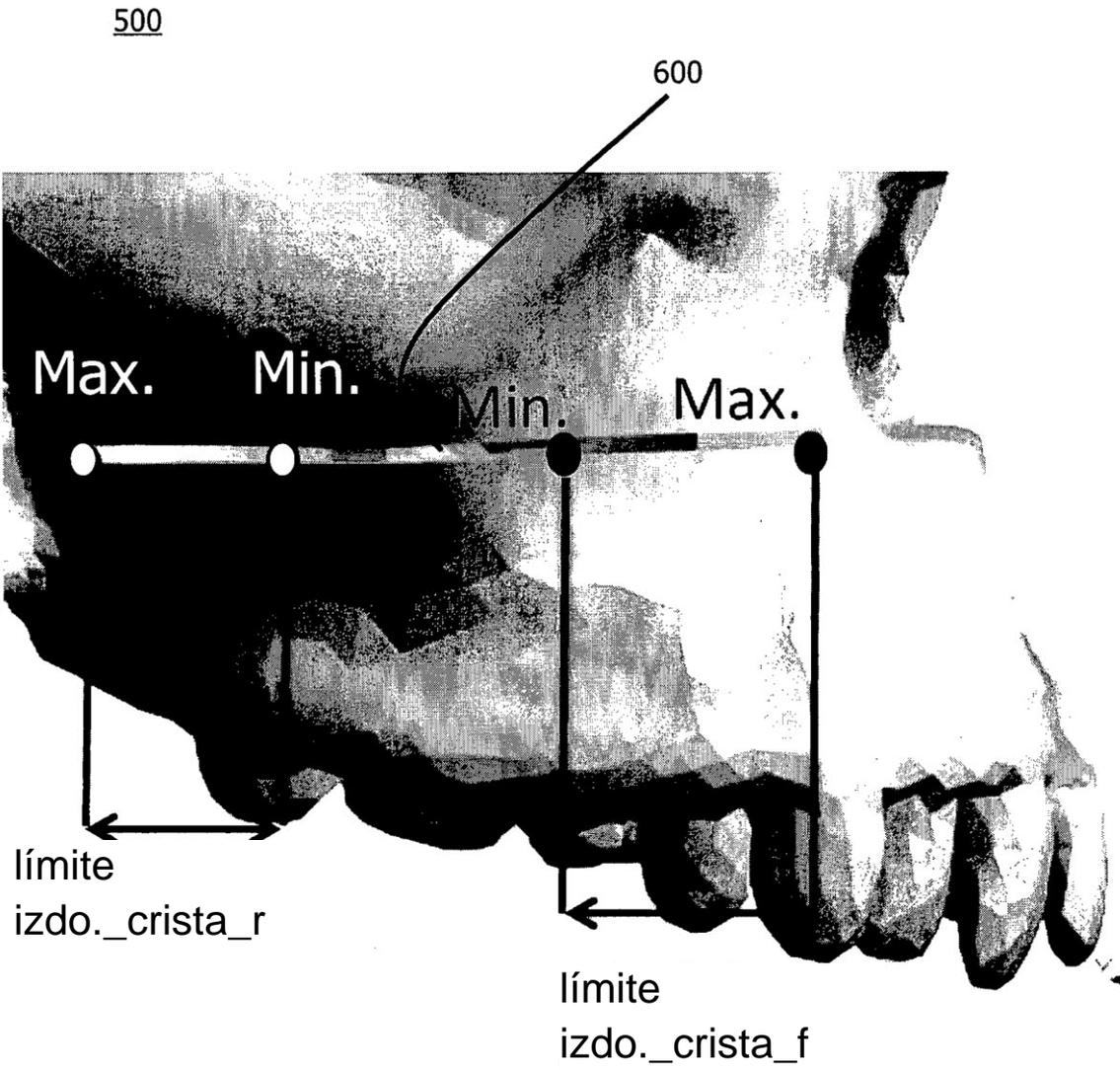


Fig. 8

	F1_F2_Simetría	FuerzaReacción1_X-FuerzaReacción2_X
1	F1_F2_Reducción	FuerzaReacción1_X+FuerzaReacción2_X
2	Crista_longitud_izquierda	R/IzquierdaCrista_R+IzquierdaCrista_F_X
3	Crista_longitud_derecha	DerechaCrista_R+DerechaCrista_F
4	Objetivos _right	$5 * P1_F2_simetría + 6 * F1_F2_Reducción + 1 * Crista_longitud$
5	Objectives	$1 * Crista_longitud_derecha$ $1 * Crista_lenth_right$

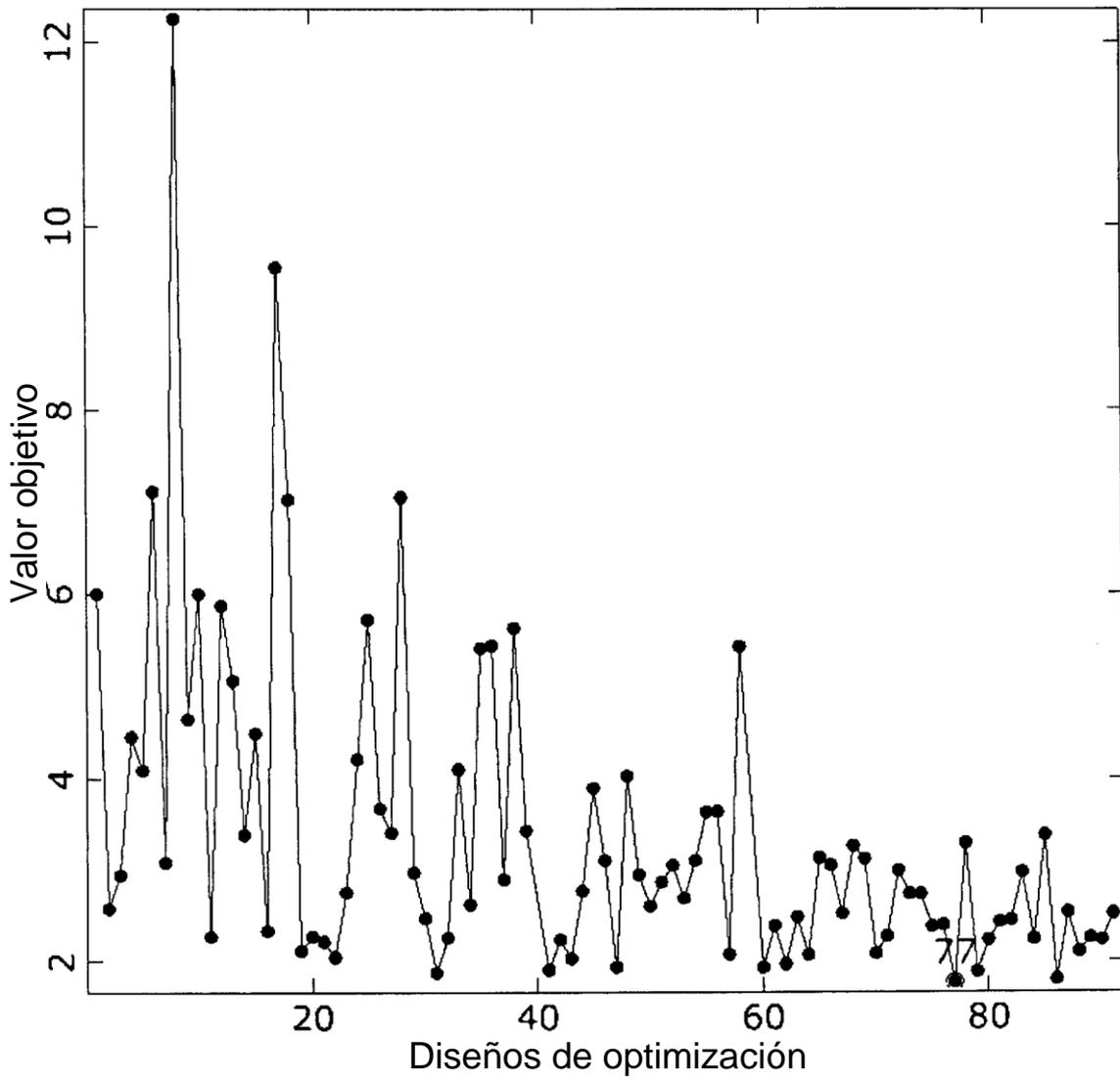
Factor de ponderación

Weighting factor

900

Fig. 9

Historial objetivo



1000

Fig. 10

Diseño 1 Design 1	Diseño 47 Design 47	Diseño 77 Design 77
 <p>Fuerza de reacción = 2.539,81 N</p> <p>Simetría = 145,768</p> <p>Min. cut length</p>	 <p>Fuerza de reacción = 2.272,99 N</p> <p>Simetría = 5,3224</p> <p>Max. cut length</p>	 <p>Fuerza de reacción = 2.237,49 N</p> <p>Simetría = 0,3612</p> <p>Optimum. cut length</p>

1100

Fig. 11

1200

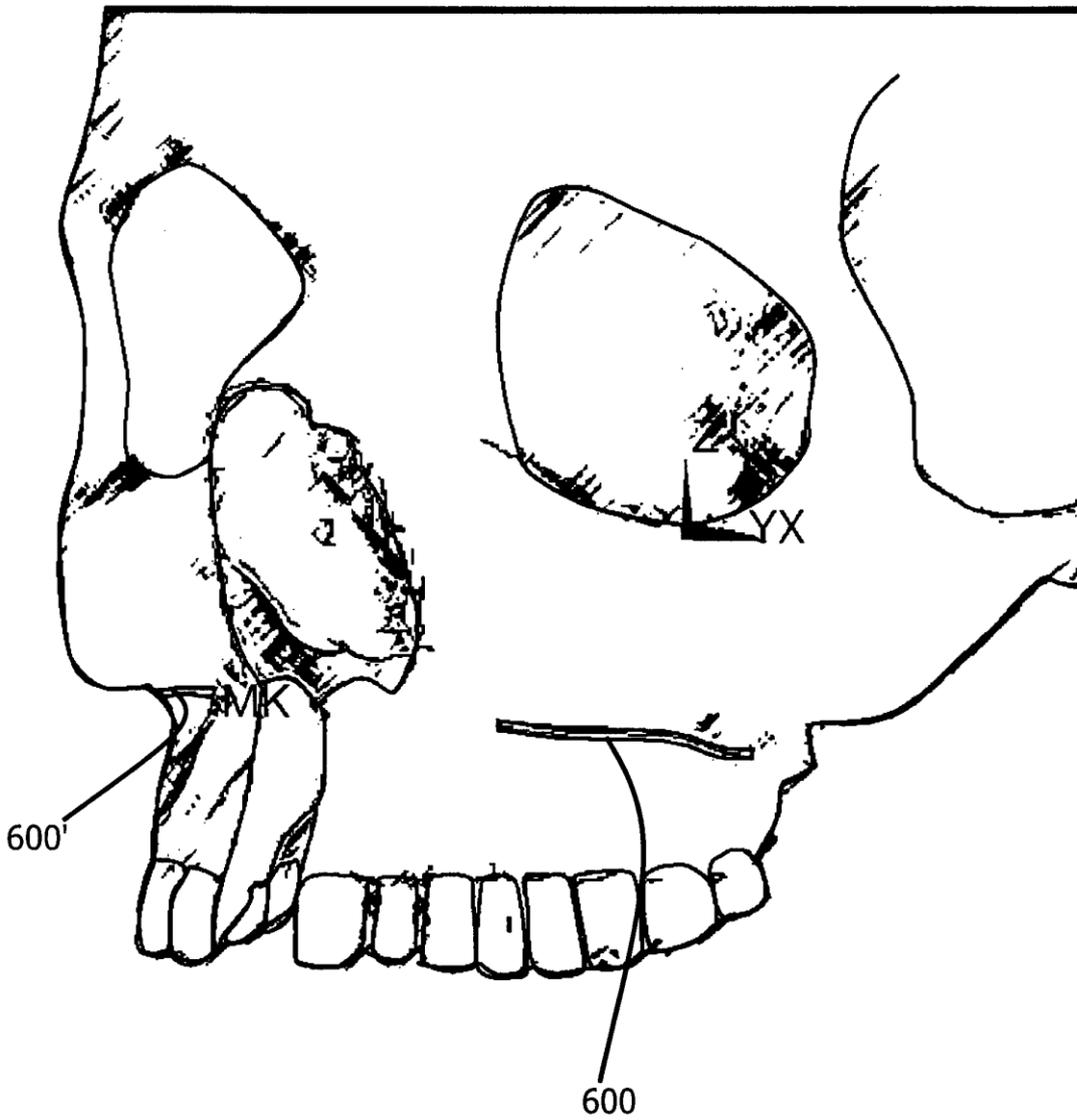
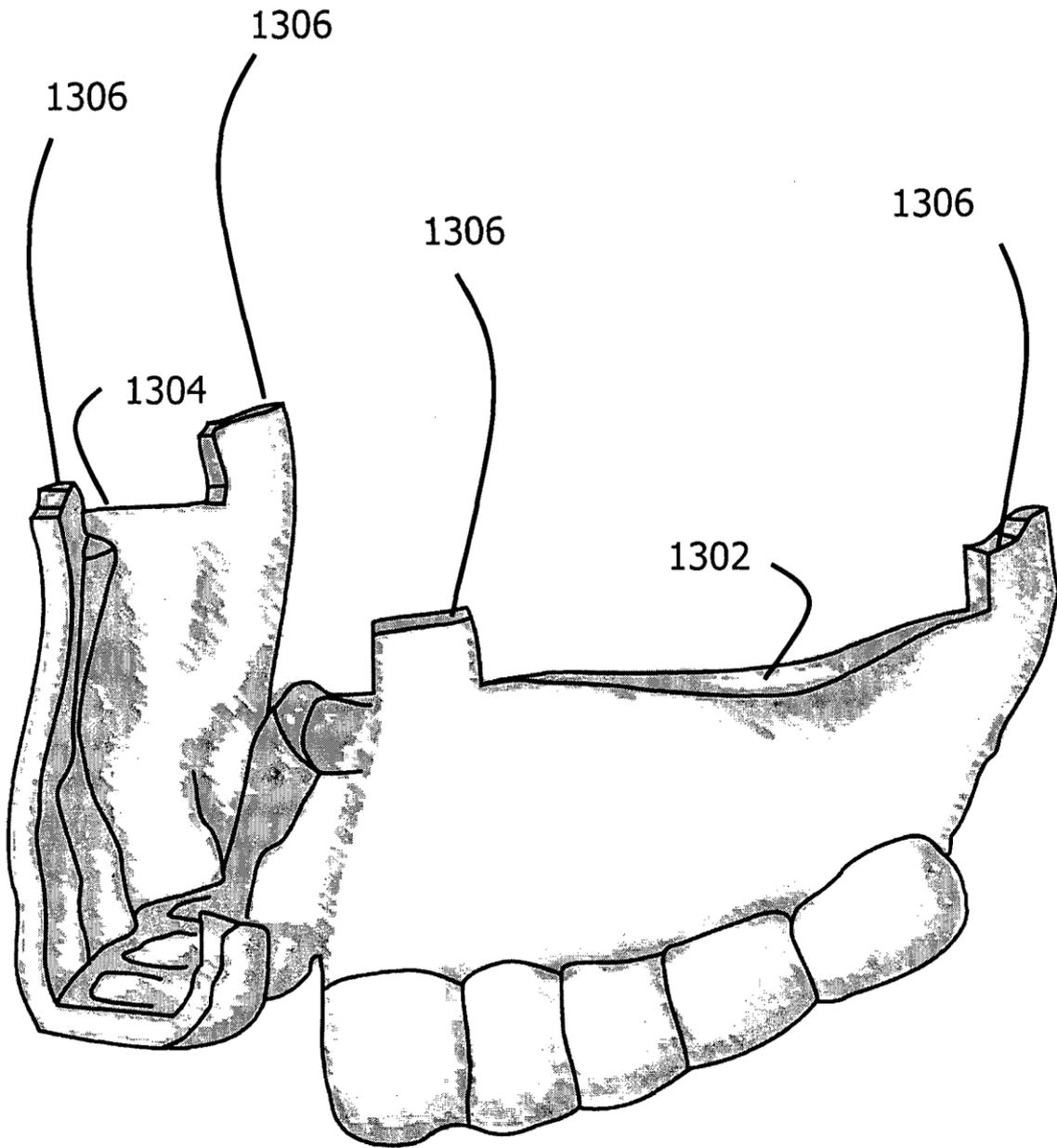


Fig. 12



1300

Fig. 13

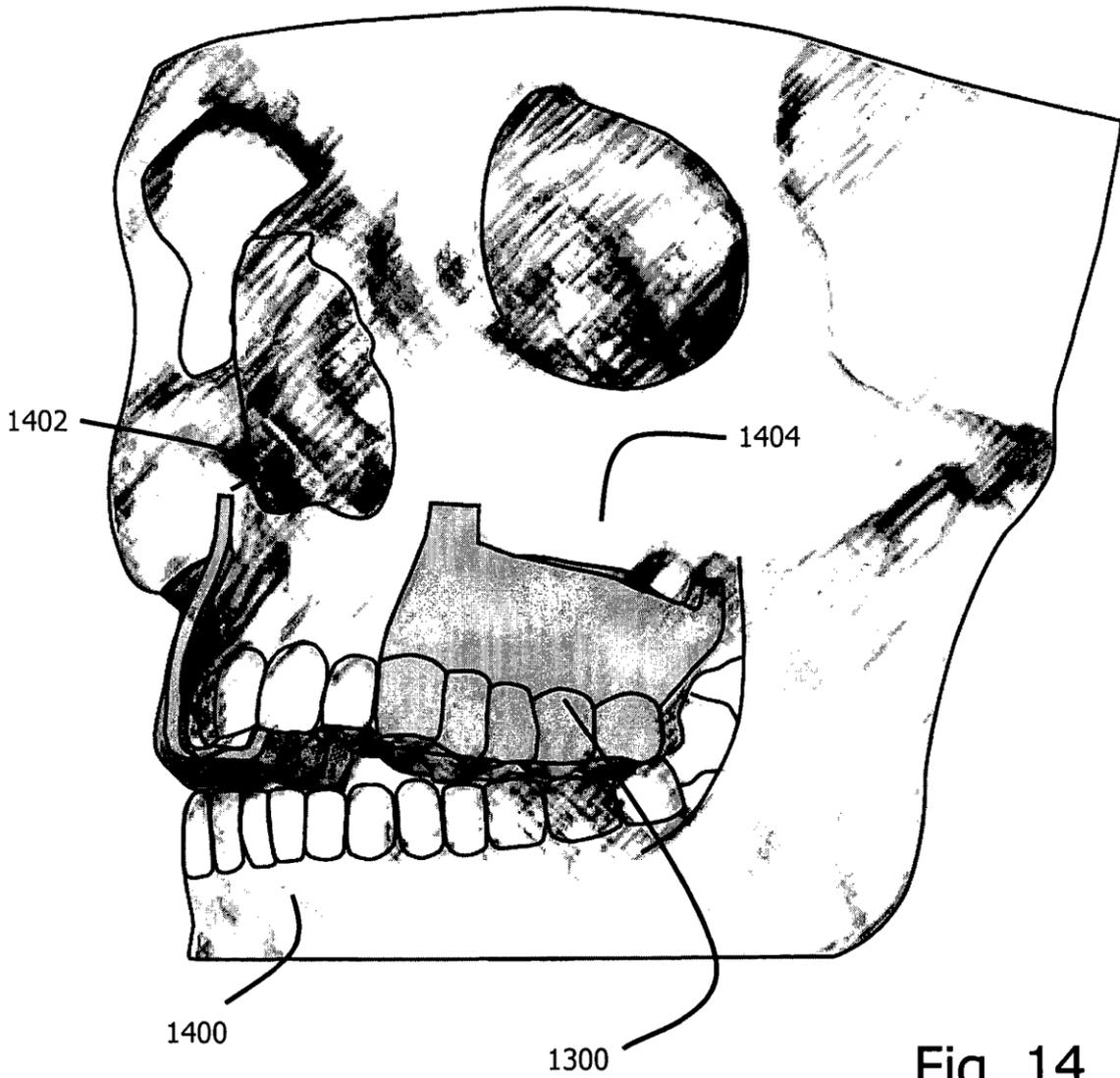


Fig. 14