

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 514**

51 Int. Cl.:

A61C 1/08 (2006.01)

A61C 13/00 (2006.01)

G06F 17/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.08.2013 PCT/EP2013/002556**

87 Fecha y número de publicación internacional: **20.03.2014 WO14040696**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.08.2013 E 13776410 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 2895102**

54 Título: **Férula virtual mejorada**

30 Prioridad:

12.09.2012 GB 201216224

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

03.01.2018

73 Titular/es:

**NOBEL BIOCARE SERVICES AG (100.0%)
Balz-Zimmermann-Str. 7
8302 Kloten, CH**

72 Inventor/es:

**WOUTERS, VEERLE;
MOLLEMANS, WOUTER;
SCHUTYSER, FILIP y
KUNZ, PASCAL**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 648 514 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

Férula virtual mejorada

5 **Campo**

Esta invención se refiere en general al campo de la cirugía craneal, incluida la odontología. Más particularmente, la invención se refiere a un método y un aparato para producir férulas dentales o férulas oclusales usadas para proteger los dientes, tales como protectores nocturnos o protectores deportivos, o para usarse por un cirujano para facilitar y guiar la instalación de implantes orales o guiar otras cirugías, tales como cirugías maxilofaciales. Tal método se describe, por ejemplo, en el documento US2012/0100500.

Antecedentes

15 Se proporciona un ejemplo de un flujo de trabajo de tratamiento que usa métodos de cirugía guiada para la instalación de implantes orales en un paciente:

1. El dentista examina al paciente y puede adquirir una imagen de rayos X o explorar la situación oral del paciente.
2. Se toma una impresión de la situación oral y se usa para producir un modelo de yeso de la mandíbula y los
20 dientes del paciente.
3. Una configuración de dientes, modelando la posición, el tamaño y la forma de una prótesis deseada, se crea en el modelo de yeso y luego se ajusta al paciente. Después, se ajusta y se optimiza para que coincida con la situación oral del paciente y las necesidades clínicas.
4. Según la configuración de los dientes, se produce una guía radiográfica. La guía radiográfica contiene marcadores
25 radiopacos y está configurada para ajustarse al paciente. También se crea un índice de mordida que se ajusta entre la guía radiográfica y la mandíbula opuesta del paciente, sosteniendo la guía radiográfica en la boca del paciente en la posición correcta.
5. Después se usa un procedimiento de doble exploración para obtener una imagen de la situación oral del paciente. El paciente se explora primero con la guía radiográfica y el índice de mordida en posición usando un escáner de TC.
- 30 Después se explora solamente la guía radiográfica. Desde la primera exploración, se genera un modelo informático del paciente. A partir de la segunda exploración, se genera un modelo informático de la guía radiográfica. Después, ambos modelos se alinean entre sí utilizando los puntos de referencia en los datos de TC resultantes de los marcadores radiopacos. Esto permite proporcionar una representación detallada de la situación oral del paciente en un ordenador, incluyendo los contornos de la superficie del tejido blando (es decir, la superficie de calcografía de la
35 guía radiográfica), junto con los datos de TC que muestran estructuras óseas y nerviosas.
6. La posición y la orientación de los implantes se planifica utilizando la representación informática (que comprende los detalles de la superficie y los datos de TC) de la situación oral del paciente. De forma similar, también se planifica en esta fase la posición de los pernos de anclaje necesarios.
7. Se produce una férula dental (también conocida, en este caso, como plantilla quirúrgica) que tiene la misma forma
40 que la guía radiográfica, pero que contiene perforaciones en la posición de los implantes planificados y los pernos de anclaje. Cada perforación está dotada de un manguito de metal.
8. La férula dental se coloca en la boca del paciente y se usa para guiar la perforación y la colocación de los implantes dentales en la mandíbula del paciente.

45 Existen varios problemas conocidos con este flujo de trabajo de tratamiento.

En primer lugar, para producir la plantilla quirúrgica, primero debe producirse una guía radiográfica. La producción de una guía radiográfica generalmente no se realiza por el cirujano, sino por un laboratorio especializado en la producción de componentes dentales. Esto hace que el flujo de trabajo de tratamiento sea más complejo y más lento
50 debido al transporte. La producción de la guía radiográfica también consume mucho tiempo y es costosa.

En segundo lugar, dado que el paciente ya ha sido explorado normalmente en una fase previa (véase la etapa 1 anterior), la exploración con la guía radiográfica aumenta aún más la dosis de radiación del paciente. Además, si la guía radiográfica no está ajustada correctamente al paciente durante el procedimiento de exploración, se debe
55 realizar una nueva exploración, lo que aumenta aún más la dosis de radiación.

Aunque el cirujano oral puede optar por evitar estos gastos y complicaciones adicionales instalando los implantes de una forma convencional sin el uso de un modelado y planificación informáticos, se pierde la precisión mejorada y la previsibilidad del flujo de trabajo de tratamiento moderno. En realidad, probablemente pocos cirujanos elijan esta
60 opción.

Por lo tanto, lo que se necesita es un flujo de trabajo de tratamiento moderno para producir una férula dental para cirugía oral guiada u otros usos que evite la necesidad de una guía radiográfica.

5 Resumen

Una realización de la invención proporciona un método para producir una férula dental como se define en la reivindicación 1.

10 Figuras

Ahora se describirán aspectos de la presente invención a modo de ejemplo con referencia al dibujo adjunto. En los dibujos:

- 15 La Figura 1a muestra un modelo de superficie tridimensional de la situación oral del paciente.
La Figura 1b muestra el modelo de superficie tridimensional de la Figura 1a desde una segunda perspectiva.
La Figura 2a muestra una sección horizontal de un mapa de distancia de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente.
La Figura 2b muestra una sección coronal (corte transversal izquierda-derecha) de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente.
- 20 La Figura 3a muestra un modelo de estructura de soporte transparente y el modelo de superficie tridimensional de la Figura 1b debajo.
La Figura 3b muestra el modelo de estructura de soporte de la Figura 3a sin ninguna transparencia.
La Figura 4 muestra una sección horizontal de un mapa de distancia de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente, incluyendo una indicación del arco dental.
- 25 La Figura 5a muestra una proyección de intensidad máxima panorámica de una imagen de mapa de distancia.
La Figura 5b muestra la Figura 5a con una línea de punto alto que delinea el borde superior del modelo de superficie tridimensional.
La Figura 5c muestra la línea de punto alto de la Figura 5b bajada en una distancia para formar una línea de corte para su uso en el lado bucal de la estructura de soporte.
- 30 La Figura 5d muestra la línea de corte de la Figura 5c después del alisamiento.
La Figura 5e muestra una línea de corte recta utilizada en el lado lingual de la estructura de soporte.
La Figura 5f muestra la determinación de las ubicaciones de vóxel bucal o lingual en la estructura de soporte.
La Figura 6a muestra el modelo de estructura de soporte de la Figura 3a con un corte aplicado en el lado bucal basado en la línea de corte de la Figura 5d y el corte en el lado lingual basado en la línea de corte de la Figura 5e.
- 35 La Figura 6b muestra el modelo de estructura de soporte de la Figura 6a desde una segunda perspectiva.
La Figura 7a muestra una proyección de intensidad máxima panorámica de una imagen de mapa de distancia de un segundo paciente con una línea de corte.
La Figura 7b muestra la línea de corte de la Figura 7a más baja alrededor de un sitio de perno de anclaje planificado.
- 40 La Figura 7c muestra la línea de corte de la Figura 7b después del alisado.
La Figura 8 muestra un diagrama de flujo de proceso del proceso de alisado para la línea de corte.
La Figura 9a muestra un modelo de estructura de soporte representada para el segundo paciente con la línea de corte aplicada de la Figura 7b.
La Figura 9b muestra un modelo de estructura de soporte representada para el segundo paciente con la línea de corte aplicada de la Figura 7c.
- 45 La Figura 10a muestra una imagen de mapa de distancia del modelo de estructura de soporte de la Figura 10b.
La Figura 10b muestra una estructura de soporte.
La Figura 10c muestra tres perspectivas de una imagen de mapa de distancia del componente virtual de la Figura 10d.
- 50 La Figura 10d muestra un primer componente virtual.
La Figura 10e muestra un segundo componente virtual.
La Figura 11a muestra un modelo de estructura de soporte antes de unir el material del modelo de estructura de soporte y el material de soporte de manguito.
La Figura 11b muestra el modelo de estructura de soporte de la Figura 11a después de la unión del material de modelo de estructura de soporte y el material de soporte de manguito alrededor de un orificio guía.
- 55 La Figura 11c muestra una unión del material de soporte alrededor de dos orificios guía proximales en la estructura de soporte.
La Figura 11d muestra el modelo de estructura de soporte de 11b después de la aplicación del punzón.
Las Figuras 12a-12c muestran componentes virtuales que se suman o restan del modelo de estructura de soporte usando operaciones booleanas en las superficies.
- 60

La Figura 13a muestra una combinación de los componentes virtuales de las Figuras 12a a 12c.

La Figura 13b muestra otra combinación de los componentes virtuales.

La Figura 14a muestra una vista en sección transversal de un diente de la situación oral.

La Figura 14b muestra el diente de la Figura 14a con un modelo de estructura de soporte aplicado y muestra una determinación de los vóxeles recortados a eliminar.

La Figura 14c muestra el modelo de estructura de soporte de la Figura 14b con los vóxeles recortados.

Descripción de realizaciones

10 Ahora se describirán realizaciones específicas de la invención con referencia a los dibujos adjuntos. La siguiente descripción se centra en una realización de la presente invención aplicable a plantillas quirúrgicas para guiar la instalación de implantes orales. Sin embargo, se apreciará que la invención no se limita al uso de plantillas quirúrgicas, sino que se puede aplicar a la producción de férulas dentales. La siguiente es una descripción de una realización preferida de la invención, que es un método para producir una plantilla quirúrgica sin el uso de una guía radiográfica. La misma técnica puede usarse para producir una variedad de tipos de férulas dentales. En primer lugar, se obtiene un conjunto de datos de superficie tridimensional que describen la superficie de la situación oral de un paciente. En segundo lugar, se genera un modelo de plantilla quirúrgica virtual en función de los datos de superficie tridimensional y las posiciones planificadas del implante y del perno de anclaje. En tercer lugar, se produce una plantilla quirúrgica física a partir del modelo de plantilla quirúrgica virtual.

20

Determinación de la situación oral del paciente

La superficie de la situación oral del paciente es típicamente el arco dental oclusal superior o inferior del paciente, incluidos el tejido blando y los dientes en los lados vestibular, oclusal y lingual.

25

Los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente se pueden obtener usando varias técnicas de formación de imágenes ópticas o radiográficas conocidas. Por ejemplo, un escáner óptico intraoral utilizado en la boca del paciente produciría datos de superficie tridimensional adecuados para su uso con este método. Los métodos alternativos incluyen: una exploración óptica de una impresión de la situación oral del paciente (procesada como se requiere para compensar que la impresión sea una huella negativa de la situación oral), una exploración óptica de un modelo fundido de la situación oral del paciente, una imagen de tomografía computarizada (TC) de alta resolución tridimensional por rayos X o imagen de resonancia magnética (MRI) de la situación oral combinada con un algoritmo de detección de superficie.

30

Tanto el escaneo óptico intraoral como el escaneo óptico o táctil de un modelo de impresión o fundido tienen la ventaja de una mínima exposición a la radiación para el paciente y una exploración superficial de alta resolución. Los escáneres de TC y MRI proporcionan la ventaja de visualizar también las estructuras anatómicas internas.

35

La presente invención se puede usar para la colocación guiada de implantes usando: un enfoque basado en un modelo digital sin datos de TC, un enfoque basado en un modelo digital fusionado con datos de TC o simplemente una imagen TC/MRI combinada con un algoritmo de detección de superficie.

40

Los datos de la superficie tridimensional 110 de la situación oral del paciente se almacenan preferiblemente como vértices y triángulos que describen la superficie triangulada mostrada en las Figuras 1a y 1b.

45

Generación del modelo de estructura de soporte

Se pueden usar varias técnicas para generar el modelo de plantilla quirúrgica virtual a partir de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente. Puede usarse un modelo de estructura de soporte virtual como una etapa intermedia en este proceso.

50

Preferiblemente, se usa un método de formación de imágenes de mapas de distancia para procesar los datos de superficie tridimensional para formar un modelo de plantilla quirúrgica virtual.

55

Los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente se procesan para formar una imagen de mapa de distancia tridimensional 200. Esto se hace partiendo de una imagen de vóxel vacía que tiene el mismo marco de referencia que la superficie tridimensional descrita por los datos de superficie tridimensional. A cada vóxel de la imagen del mapa de distancia se le asigna un valor correspondiente a la distancia mínima del vóxel a la superficie tridimensional descrita por los datos de la superficie tridimensional. La Figura 2a muestra una sección horizontal de un mapa de distancia de la situación oral del paciente y un contorno de la superficie tridimensional 210. La Figura 2b

60

muestra una sección coronal de un mapa de distancia de la situación oral del paciente y un contorno de la superficie tridimensional 210.

En una realización, para la mandíbula inferior, a los vóxeles en la superficie tridimensional o inferior (es decir, dentro del volumen de los datos de la superficie tridimensional que representa los tejidos del paciente) se les asigna un valor positivo. Los vóxeles que están por encima de la superficie tridimensional tienen asignado un valor negativo. Cuanto más lejos esté el vóxel de la superficie tridimensional, mayor será el valor (negativo o positivo) asignado al vóxel. Otras realizaciones pueden comprender configuraciones alternativas de valores de vóxel.

Una vez que se genera la imagen de mapa de distancia, se genera un modelo de estructura de soporte que comprende todos los vóxeles que tienen un valor dentro de un rango particular de la imagen de mapa de distancia. En una realización, todos los vóxeles tienen un valor (y por lo tanto, una distancia particular desde la superficie tridimensional) entre un primer valor, que representa una posición cercana a la superficie tridimensional, y un segundo valor mayor que el primer valor en magnitud, que representa una posición más lejos de la superficie tridimensional, se seleccionan para formar la estructura de soporte. El primer valor se elige para seleccionar una distancia desde la superficie tridimensional donde comienza la superficie del modelo de estructura de soporte. El segundo valor se elige para definir el espesor de la estructura de soporte, donde el espesor depende de la diferencia entre los valores primero y segundo. El modelo de estructura de soporte resultante coincide con la superficie tridimensional y se ajustará a la situación oral del paciente. Un primer valor más grande proporciona una mayor tolerancia entre la superficie tridimensional y la estructura de soporte. Se proporciona una pequeña cantidad de holgura por la tolerancia. En una realización preferida, la tolerancia está entre 0,1 mm y 0,5 mm. Las Figuras 2a y 2b muestran un contorno para el primer valor 220 y el segundo valor 230.

En una realización, el primer y segundo valores se eligen para generar un modelo de estructura de soporte que contenga todos los vóxeles con una distancia entre 0,1 y 2,1 mm por encima de la superficie tridimensional. El modelo de estructura de soporte resultante tendrá un espesor constante de 2,0 mm. Las Figuras 3a y 3b muestran una realización del modelo de estructura de soporte 310 que recubre la superficie tridimensional 320 de la situación oral del paciente. El modelo de estructura de soporte 310 tiene un borde apical 330. En la Figura 3a, el modelo de estructura de soporte se muestra parcialmente transparente con el fin de ver la superficie tridimensional por debajo.

La ventaja de generar automáticamente un modelo de estructura de soporte de esta manera es que es preciso y computacionalmente robusto de producir. Teniendo en cuenta solo los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente, se puede producir un modelo de estructura de soporte coincidente de forma rápida y precisa utilizando esta técnica.

El modelo de estructura de soporte también debería estar limitado a lo largo del arco dental de manera que no se extienda hasta los dientes molares en la parte posterior de la boca del paciente. En cambio, se define un límite de retroceso. En la Figura 4, la línea límite 420 muestra el límite de retroceso o posterior del modelo de estructura de soporte a lo largo del arco dental.

En una realización alternativa, se usa una técnica sustractiva para generar el modelo de plantilla quirúrgica virtual a partir de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente. En esta técnica, se proporciona una forma predefinida que tiene una forma que se aproxima a una férula dental. Será adecuada cualquier forma más grande que la situación oral del paciente y aún lo suficientemente pequeña como para ser utilizada como modelo de estructura de soporte. La forma predefinida se superpone a la superficie tridimensional de manera que se superpongan. Luego se realiza una operación booleana para restar la superficie tridimensional de los datos de superficie tridimensional de la forma predefinida. La forma resultante tiene la misma forma general que la forma predefinida, pero con una superficie que coincide con la superficie tridimensional. Esta forma resultante será una base adecuada para una estructura de soporte.

En otra realización alternativa, se usa una técnica de dilatación para generar el modelo de plantilla quirúrgica virtual a partir de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente. Esto comprende la etapa de crear una imagen binaria de la superficie tridimensional, donde los vóxeles dentro de la superficie tridimensional tienen un valor de 1 y los vóxeles fuera de la superficie tridimensional tienen un valor de 0. La imagen resultante se dilata entonces para producir una imagen binaria ampliada de la superficie tridimensional. La superficie tridimensional binaria original se resta entonces de la imagen ampliada para formar una estructura de soporte resultante, que tiene un espesor que depende del grado en que la imagen dilatada se amplió sobre la superficie tridimensional.

En otra realización alternativa, se usa una técnica de transferencia de z para generar el modelo de plantilla quirúrgica virtual a partir de los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente. Esto comprende

el uso de un modelo de la superficie tridimensional superpuesta con un segundo modelo de datos de superficie tridimensional desplazados en el eje Z. El espacio geométrico entre las dos superficies tridimensionales se puede usar para formar la estructura de soporte. Esto proporciona un modelo de estructura de soporte con una superficie que coincide con la situación oral del paciente y que tiene un espesor constante.

5

Personalización del modelo de estructura de soporte

De acuerdo con la realización preferida de la invención, una vez que se ha generado el modelo de estructura de soporte, puede refinarse adicionalmente para incluir características o funciones específicas.

10

Dado que la plantilla quirúrgica finalizada se producirá a partir del modelo de estructura de soporte, cualquier cambio en las características del modelo de estructura de soporte también dará como resultado características cambiadas de la plantilla quirúrgica final.

15 Línea de corte del modelo de estructura de soporte

En la realización preferida, el modelo de estructura de soporte está configurado para cubrir solo una porción coronal de los dientes o superficies de encía existentes del paciente. Se utiliza una línea de corte que limita el modelo de estructura de soporte en la dirección apical. Esto se logra de la siguiente manera:

20

1. En primer lugar, como se muestra en la Figura 4, se determina un arco dental 410 con relación a la imagen de mapa de distancia 400. En una realización alternativa, el arco se determina de acuerdo con los datos de superficie tridimensional de la situación oral del paciente. En otra realización, el usuario indica el arco.

25

2. Entonces, se genera una proyección de intensidad máxima de la imagen de mapa de distancia 400 a lo largo del arco 410, formando una imagen panorámica mostrada en la Figura 5a de una mandíbula inferior similar a un ortopantomograma usado típicamente por dentistas. La arista 500 es claramente visible.

30

3. Como se muestra en la Figura 5b, se registran los puntos más altos (o borde coronal) a lo largo de la parte superior de la arista 500, formando una línea 510 que define el límite superior de los datos de superficie tridimensional. Los puntos más altos se determinan como el punto de transición de los píxeles que indican el material de los dientes a los píxeles que indican el espacio vacío (por ejemplo, la transición entre los valores negativos y positivos) en cada línea vertical de la imagen panorámica.

35

4. La línea 510 se baja (lejos del plano oclusal) en la Figura 5c. Esta nueva línea define la línea de corte bucal 520 del modelo de estructura de soporte a lo largo del arco 410. Para una mandíbula superior equivalente, la línea 510 se eleva (también lejos del plano oclusal) en lugar de bajar para formar la línea de corte 520.

40

5. Como se muestra en la Figura 5d, la línea de corte se alisa. En una realización, se usa un algoritmo de promedio móvil para alisar la línea de corte.
6. El modelo de estructura de soporte de la Figura 3a y 3b se modifica para tener un borde bucal correspondiente a la línea de corte vestibular.

45

En una realización preferida, la línea de corte bucal se baja entre 1 mm y 4 mm. Se entiende que para una mandíbula superior equivalente, la línea de corte vestibular se eleva en lugar de disminuir.

50

En la realización preferida, se usan dos líneas de corte. En el lado bucal, se utiliza una línea de corte como se ha descrito anteriormente. En el lado lingual, como se muestra en la Figura 5e, la línea de corte 530 es una línea recta a una altura fija. Esta línea recta dará como resultado un modelo de estructura de soporte más grande en el lado lingual que proporcionará resistencia adicional. Como se muestra en la Figura 5f, para determinar automáticamente qué lado del modelo de estructura de soporte es el lado bucal 580 y qué lado es el lado lingual 590, se genera una imagen a partir de la superficie tridimensional en la que se determina que está cada ubicación de vóxel en el lado lingual o bucal. En una realización, la etapa de determinar el aspecto lateral lingual o bucal del vóxel se realiza determinando en qué lado del arco dental se encuentra el vóxel.

Los ejemplos del modelo de estructura de soporte resultante se muestran en las Figuras 6a y 6b.

55

En una realización mostrada en la Figura 7a en la que la plantilla quirúrgica final será soportada por pernos de anclaje insertados en la mandíbula del paciente, la línea de corte en el lado bucal se modifica para proporcionar material adicional alrededor de los sitios de perno de anclaje. En una realización, como se muestra en la Figura 7b, esto se hace bajando la línea de corte para incluir un área definida por un círculo 740 alrededor del sitio de ubicación del perno de anclaje 750 en la proyección de intensidad máxima panorámica de la imagen de mapa de distancia. Esta etapa solamente se realiza en el lado donde se encuentra el perno de anclaje, por ejemplo, el lado bucal o

60

lingual.

En una realización mostrada en la Figura 7c, la línea de corte de la Figura 7b se alisa de acuerdo con el siguiente proceso que se muestra en la Figura 8:

- 5 • En la etapa 810, se calcula un promedio móvil a lo largo de la línea de corte.
- En la etapa 820, la curvatura de la línea de corte se determina en cada punto registrado, definiendo partes cóncavas y convexas.
- En la etapa 830, solamente las partes convexas de la línea se mantienen para una mandíbula inferior, o solamente las partes cóncavas se mantienen para una mandíbula superior.

10

En la Figura 9a se muestra un modelo de estructura de soporte que tiene un borde bucal basado en la línea de corte no nivelada, y en la Figura 9b se muestra un modelo de estructura de soporte que tiene un borde bucal basado en la línea de corte alisada. Lo segundo es claramente preferible por razones estéticas y de resistencia, y reduce el riesgo de dañar al paciente.

15

Orificios de guía del modelo de estructura de soporte

En la realización preferida, el modelo de estructura de soporte se usa para formar una plantilla quirúrgica para guiar la perforación de perforaciones para permitir la inserción de implantes orales en el hueso de la mandíbula del paciente. En consecuencia, el modelo de estructura de soporte está configurado con agujeros de guía. Los orificios guía pueden estar equipados con manguitos de guía coincidentes que típicamente comprenden un material más duro y que cumplen la función de guiar la guía de perforación de metal. Dado que el material del modelo de estructura de soporte alrededor de los orificios guía deberá resistir un cierto grado de fuerza a partir de la interacción con las herramientas del cirujano, el modelo de estructura de soporte requiere refuerzo para soportar los manguitos de guía. El refuerzo se realiza añadiendo material virtual a la estructura de soporte. Además, el ajuste apretado del modelo de estructura de soporte a la dentadura del paciente significa que la superficie superior del modelo de estructura de soporte es muy variable.

Para cada orificio guía, el material de soporte del manguito de guía se añade al modelo de estructura de soporte de la siguiente manera:

1. Determinando la posición del orificio guía en el modelo de estructura de soporte en función de la posición prevista de la perforación de destino en la mandíbula del paciente y la posición correspondiente del implante o perno de anclaje instalado.
- 35 2. Proporcionando una imagen de mapa de distancia 1010 (mostrada en la Figura 10a) del modelo de estructura de soporte 310 (cuya realización se muestra en la Figura 10b).
3. Proporcionando una imagen de mapa de distancia 1020 (mostrada en la Figura 10c) de una forma de soporte de manguito 1030 (cuya realización se muestra en la Figura 10d).
4. Proporcionando una imagen de una forma de punzón 1040 (cuya realización se muestra en la Figura 10e).
- 40 5. Superponiendo la imagen de mapa de distancia de la forma de soporte de manguito sobre la imagen de mapa de distancia del modelo de estructura de soporte en una posición correspondiente al eje longitudinal 1110 del orificio guía en el modelo de estructura de soporte y añadiendo material de modelo de estructura de soporte 1120 donde los valores de las imágenes del mapa de distancia exceden un umbral. Un ejemplo del modelo de estructura de soporte original se muestra en la Figura 11a. Se muestra un ejemplo del modelo de estructura de soporte modificado
- 45 después de añadir la forma del soporte del manguito en la Figura 11b.
6. Cuando las imágenes del mapa de distancia de múltiples formas de soporte de manguito se superponen, se añade material de modelo de estructura de soporte 1120 donde los valores combinados de las imágenes de mapa de distancia exceden un umbral. En la Figura 11c se muestra un ejemplo del material del modelo de estructura de soporte que conecta dos formas de soporte de manguito.
- 50 7. Superponiendo la imagen de la forma de punzón 1040 en la imagen de mapa de distancia del modelo de estructura de soporte en una posición correspondiente a la parte superior del orificio guía en el modelo de estructura de soporte y eliminando el material de modelo de estructura de soporte en todos los puntos dentro de la imagen de punzón. Un ejemplo del modelo de estructura de soporte de la Figura 11b después de la eliminación del material de punzón se muestra en la Figura 11d.
- 55 8. Una vez que se hayan completado todas las etapas anteriores para cada uno de los orificios guía, la imagen del modelo de estructura de soporte se convierte en un modelo de superficie tridimensional. Este proceso puede realizarse usando un algoritmo de cubos de marcha.
9. Después de eso, se añade de nuevo un modelo de superficie tridimensional 1240 de la superficie superior del soporte del manguito (Figura 12a) al modelo de superficie tridimensional del modelo de estructura de soporte en una
- 60 posición correspondiente a la parte superior del orificio guía. Esto proporciona una superficie superior limpia y

nivelada para la parte superior del orificio guía donde se conecta con una guía de perforación.

10. Después, se resta un modelo de superficie tridimensional del espacio de soporte del manguito 1220 (Figura 12b), para proporcionar un orificio para la perforación y la inserción de un implante. El espacio de soporte del manguito mostrado en la Figura 12b también incluye una porción 1210 para proporcionar una interfaz entre la plantilla quirúrgica final y el manguito y para proporcionar espacio para la retención del pegamento entre los dos.

11. Finalmente, se resta una superficie tridimensional de un tubo de pegamento 1230 (Figura 12c) de manera que el pegamento se pueda insertar entre la plantilla quirúrgica final y el manguito para fijar el manguito a la plantilla.

12. La Figura 13a muestra todos los componentes de las Figuras 12a-12c juntos en una imagen. La Figura 13b muestra una colección de componentes equivalentes utilizados para formar un orificio guía del perno de anclaje en la plantilla quirúrgica final.

13. Con el fin de eliminar cualquier material añadido en las etapas anteriores al modelo de estructura de soporte que afecta al ajuste perfecto con los dientes, los datos de la superficie tridimensional original de la situación oral del paciente se restan del modelo de superficie tridimensional del modelo de estructura de soporte. En una realización, se restan datos de superficie tridimensional ligeramente aumentados de la situación oral del paciente del modelo de superficie tridimensional del modelo de estructura de soporte para asegurar un pequeño grado de tolerancia entre el molde quirúrgico producido final y la situación oral del paciente.

En una realización de la etapa 5 o la etapa 6 anterior, si las distancias combinadas de dos puntos en las imágenes del mapa de distancia desde sus respectivos puntos más cercanos en las superficies respectivas es menor de 2 mm, se añade material de soporte adicional.

Esta técnica para generar orificios guía en el modelo de estructura de soporte también es aplicable a los orificios guía del perno de anclaje usados por los pernos de anclaje para fijar una plantilla quirúrgica al hueso de la mandíbula del paciente.

Aberturas laterales de manguito

En la realización preferida de la invención, se proporcionan aberturas laterales en la estructura de soporte. La abertura o aberturas correspondientes en la férula dental producida permiten la inserción lateral de manguitos de guía y/o herramientas de guía (es decir, herramientas con un componente que se ajusta a la abertura del orificio guía y proporciona soporte para una broca u otra herramienta durante el procedimiento quirúrgico) en el orificio u orificios guía. Las aberturas laterales se forman en el modelo de estructura de soporte realizando una resta booleana de una forma de caja a partir de la estructura de soporte. La resta proporciona una abertura continua desde el orificio guía a la superficie externa de la estructura de soporte. La apertura comienza en el borde coronal del modelo de estructura de soporte y transcurre en paralelo a la abertura con una altura mayor, igual a, o más corta que la longitud del orificio guía. La anchura en la dirección distal-mesial es igual a, o ligeramente menor que el diámetro del orificio guía para proporcionar un ajuste de retención para los componentes en el orificio guía. Se pueden proporcionar aberturas laterales en el lado bucal o lingual de la estructura de soporte, aunque no en ambos.

En otra realización, las aberturas laterales se forman ajustando la línea de corte para proporcionar un espacio en el modelo de estructura de soporte en el lado bucal o lingual. En tal realización de este tipo, se usan las mismas dimensiones que las descritas anteriormente.

45 Eliminación del rebaje del modelo de estructura de soporte

En la realización preferida, el modelo de estructura de soporte se modifica para asegurar que pueda ajustarse fácilmente sobre la dentadura del paciente. Como se muestra en las Figuras 14a y 14b, el diente de soporte 1400 es más ancho en la corona 1405 del diente antes de estrecharse hacia el cuello 1406 y la raíz del diente. Un modelo de estructura de soporte 1410 formado de acuerdo con los métodos anteriores tendrá una forma curva que se adapta a la forma del diente. En consecuencia, la abertura del modelo de estructura de soporte en el punto de corte 1420 podría ser más estrecha que el punto más ancho del diente. Esto hará que sea difícil, si no imposible, que el dentista ajuste una plantilla quirúrgica correspondiente al modelo de estructura de soporte sin dañar la plantilla quirúrgica.

En la realización preferida, el modelo de estructura de soporte se modifica para eliminar cualquier parte 1420 del modelo de estructura de soporte que forme un rebaje. En una realización, esto se logra de la siguiente manera:

1. A lo largo del arco 410 de la imagen del mapa de distancia, se calcula el punto más ancho de los dientes del paciente. La altura de este punto más ancho también se determina en la proyección de intensidad máxima panorámica de la imagen del mapa de distancia.

2. Cualquier parte del modelo de estructura de soporte que esté más cerca del arco 410 y debajo de la altura del punto más ancho de los dientes se elimina como se muestra en la Figura 14c.

Producción de la plantilla quirúrgica física

5

Finalmente, se produce una plantilla quirúrgica física (o férula dental) dependiendo del modelo de plantilla quirúrgica virtual. La plantilla quirúrgica física se puede fabricar usando una técnica de fabricación aditiva. La ventaja de esta técnica es la velocidad con la que se puede producir la plantilla quirúrgica física. Preferiblemente, la plantilla quirúrgica física se produce como una reproducción física del modelo de plantilla quirúrgica virtual usando

10

estereolitografía. Otras tecnologías de fabricación aditiva que se pueden utilizar incluyen impresoras 3D de chorro de tinta o impresoras SLS. Como alternativa, la reproducción física del modelo de plantilla quirúrgica virtual se puede fresar a partir de un bloque de material.

REIVINDICACIONES

1. Un método para producir una férula dental que comprende las etapas de:
 - 5 obtener un conjunto de datos de superficie tridimensional (110), representando los datos de superficie tridimensional una superficie de la situación oral de un paciente,
 - obtener un modelo de estructura de soporte (310) que describe un componente configurado para ajustarse a una porción de la superficie de la situación oral del paciente,
 - 10 modificar un borde apical (330) del modelo de estructura de soporte en dependencia de los datos de superficie tridimensional, donde el borde apical (330) de la estructura de soporte (310) se modifica para corresponderse con una línea de corte (520, 530) que comprende varios puntos y que se genera en dependencia de los datos de superficie tridimensional (110) mediante un método que incluye las etapas de:
 - o generar una imagen panorámica bidimensional de los datos de superficie tridimensional (110),
 - 15 o formar una línea de borde coronal (510) que representa los puntos más altos a lo largo de la parte superior de un borde coronal (500) de la imagen panorámica bidimensional, y
 - o transponer la línea de borde coronal (510) en una dirección apical para formar la línea de corte (520, 530), produciendo la férula dental en dependencia del modelo de estructura de soporte modificado.
 - 20 2. El método de la reivindicación 1, donde la imagen panorámica bidimensional es una imagen de proyección de intensidad máxima de una imagen de mapa de distancia tridimensional de los datos de superficie tridimensional (110), siendo el mapa de distancia tridimensional una imagen de vóxel donde cada vóxel en la imagen del mapa de distancia tridimensional tiene un valor correspondiente a la distancia desde dicho vóxel al punto más cercano en la superficie descrita por los datos de superficie tridimensional.
 - 25 3. El método de las reivindicaciones 1 o 2, donde la imagen panorámica bidimensional es un ortopantomograma.
 4. El método de la reivindicación 1, donde el borde coronal (500) de la imagen panorámica bidimensional
 - 30 define la transición entre la representación del tejido del paciente y el espacio vacío.
 5. El método de la reivindicación 1, donde la línea de borde coronal (510) se transpone entre 1 mm y 4 mm en una dirección apical para formar la línea de corte (520, 530).
 - 35 6. El método de la reivindicación 1, donde la línea de corte (520, 530) se alisa usando un algoritmo de alisamiento.
 7. El método de las reivindicaciones 1 o 6, donde la línea de corte (520, 530) se alisa de acuerdo con un algoritmo de promedios móviles.
 - 40 8. El método de las reivindicaciones 1, 6 o 7, donde solamente las partes cóncavas de la línea de corte (520, 530) se mantienen para la mandíbula superior o solamente las partes convexas de la línea de corte se mantienen para la mandíbula inferior.
 - 45 9. El método de cualquier reivindicación anterior, donde se realiza una determinación de si un borde apical (330) del modelo de estructura de soporte está en el lado lingual (590) o bucal (580) de los datos de superficie tridimensional.
 10. El método de cualquier reivindicación anterior, donde se determinan dos líneas de corte (520, 530),
 - 50 definiendo la primera línea de corte (520) el borde bucal de la estructura de soporte y definiendo la segunda línea de corte (530) el borde lingual de la estructura de soporte.
 11. El método de cualquier reivindicación anterior, donde el borde apical del modelo de estructura de soporte en el lado lingual de los datos de superficie tridimensional es una línea sustancialmente recta.
 - 55 12. El método de la reivindicación 1, donde los puntos (760) de la línea de corte (520, 530) se transponen en una dirección apical para proporcionar soporte (910) para un orificio lateral (920) en el modelo de estructura de soporte (310).
 - 60 13. El método de cualquier reivindicación anterior, donde el modelo de estructura de soporte se modifica

para eliminar cualquier parte que forme un rebaje (1420).

14. El método de cualquier reivindicación anterior, donde el modelo de estructura de soporte es un modelo virtual.

5

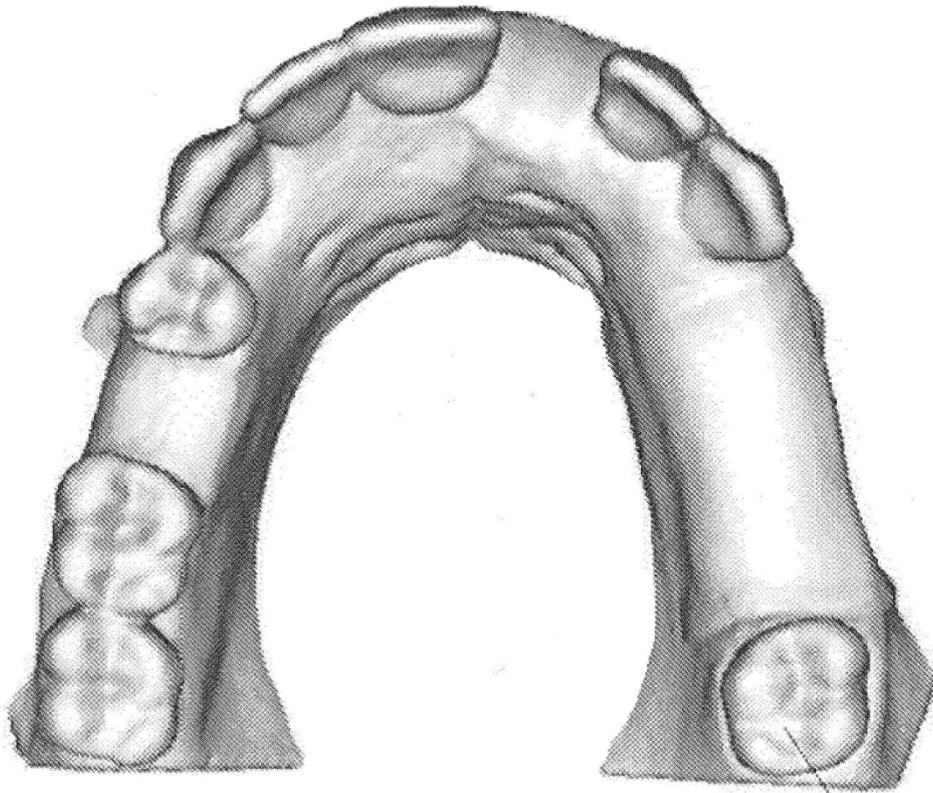


Figura 1a

110

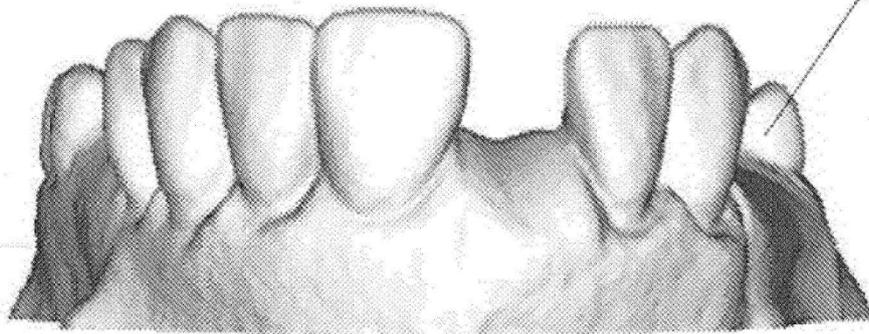


Figura 1b

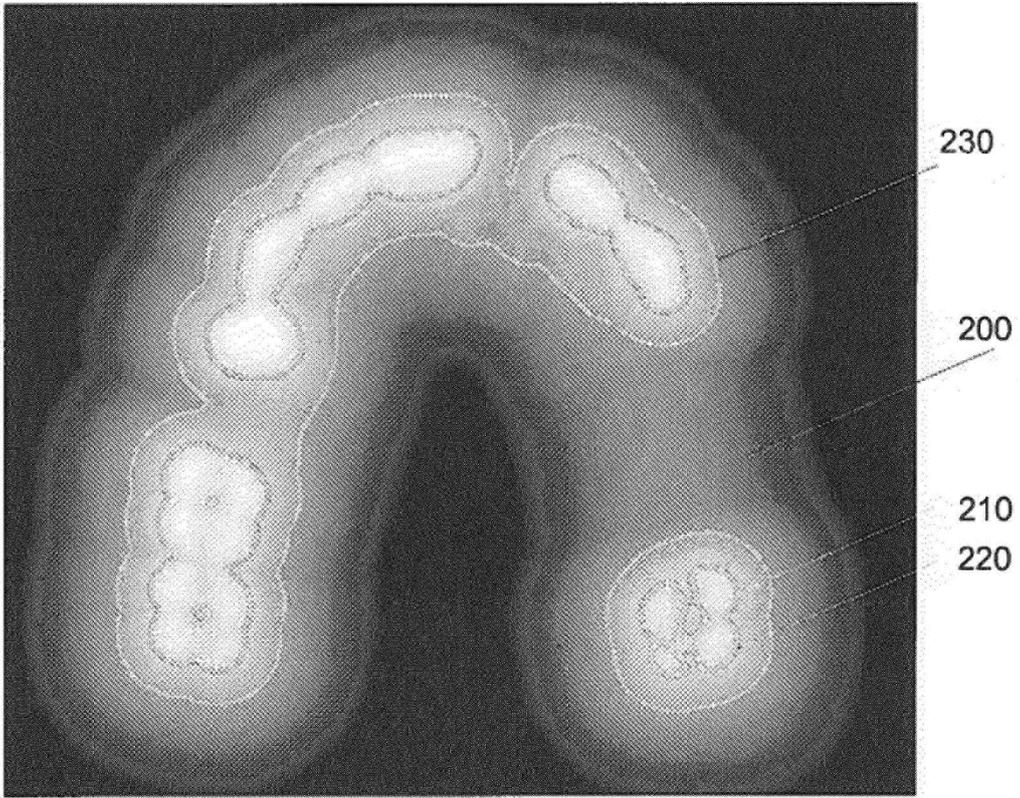


Figura 2a

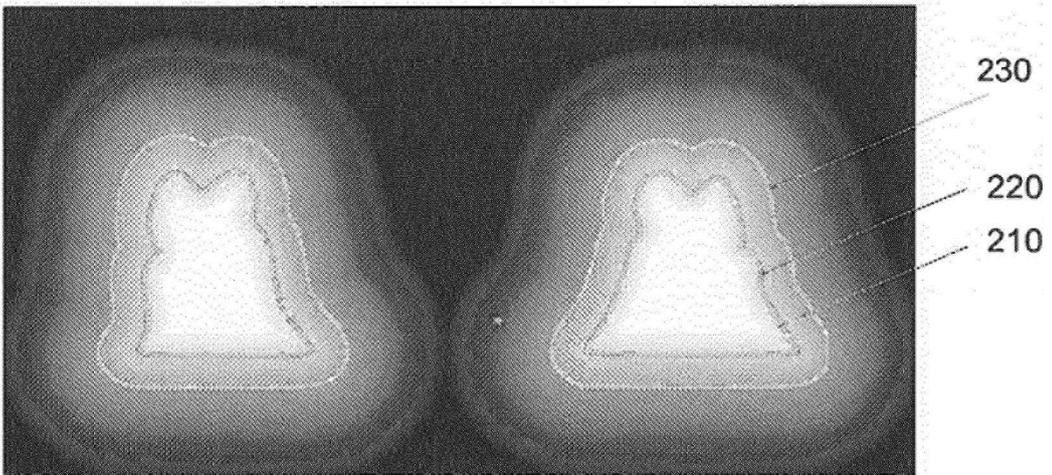


Figura 2b

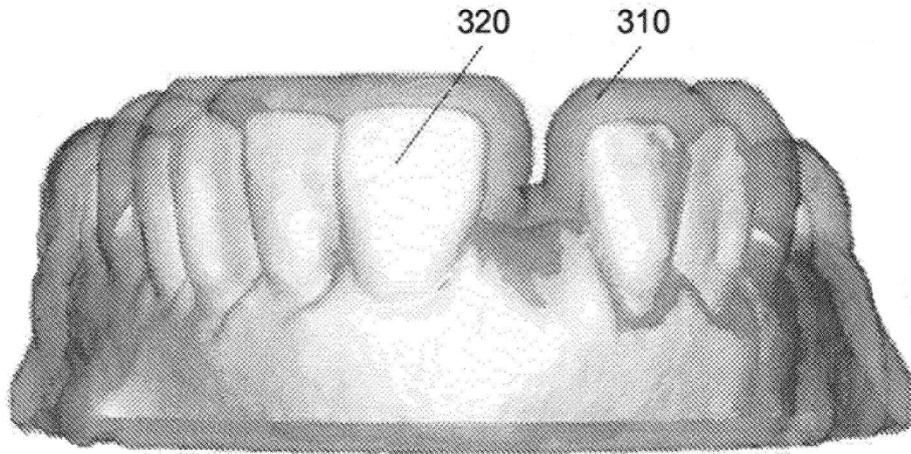


Figura 3a

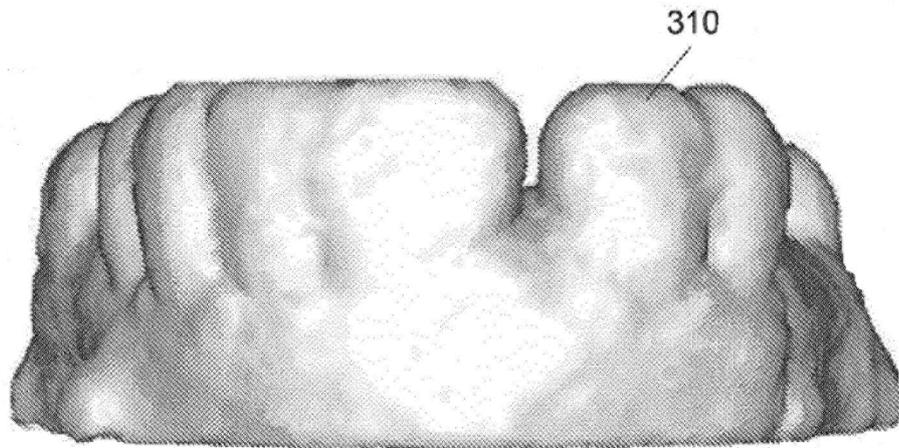


Figura 3b

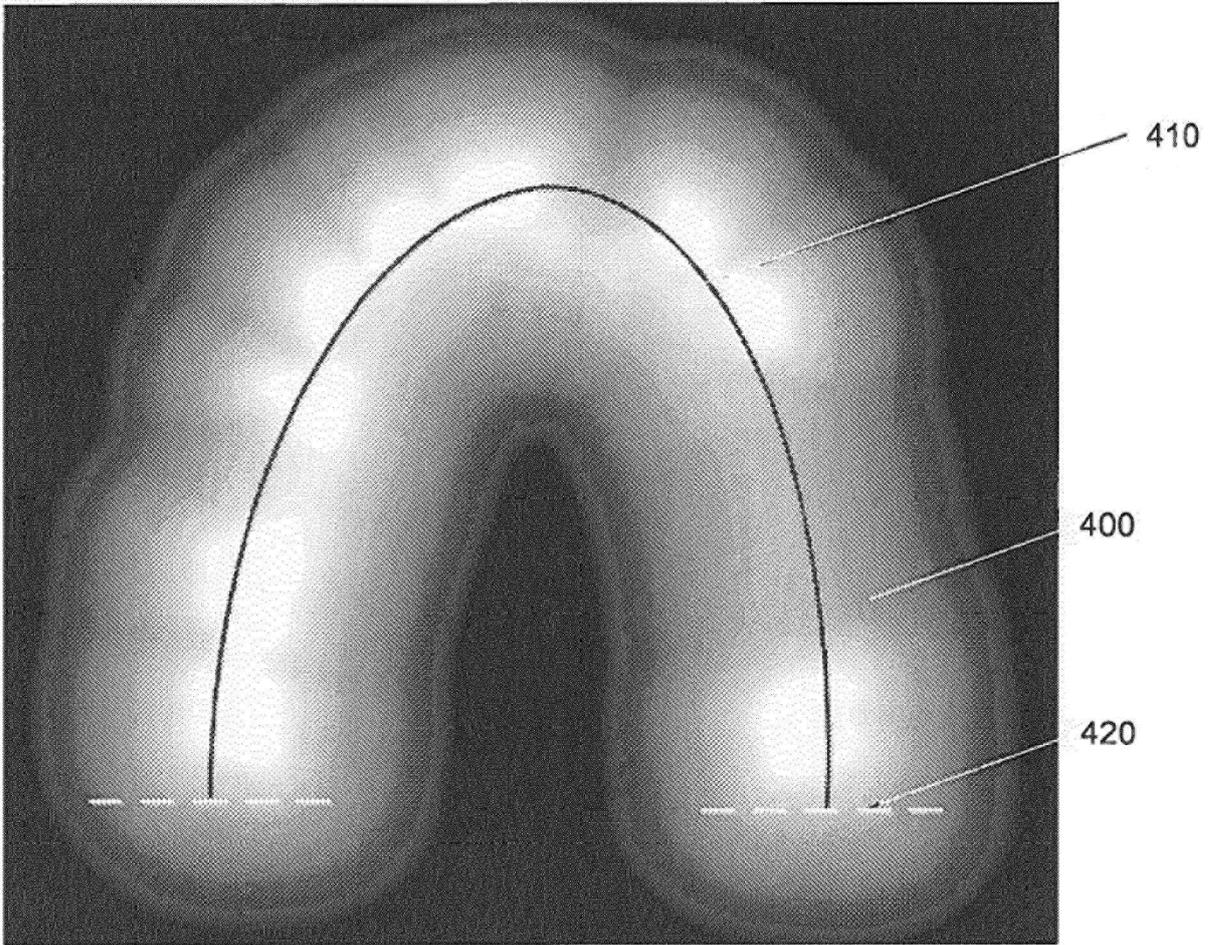


Figura 4

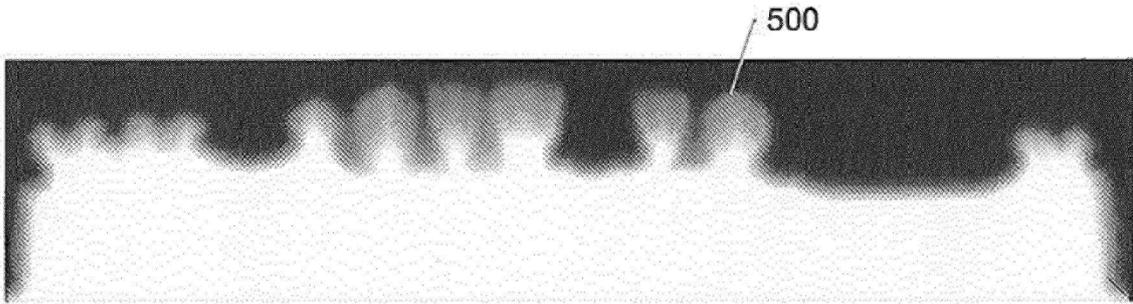


Figura 5a

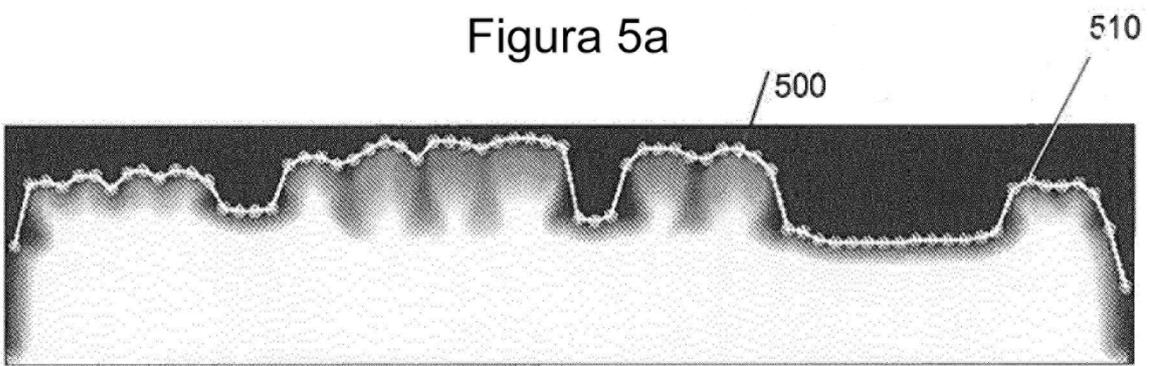


Figura 5b

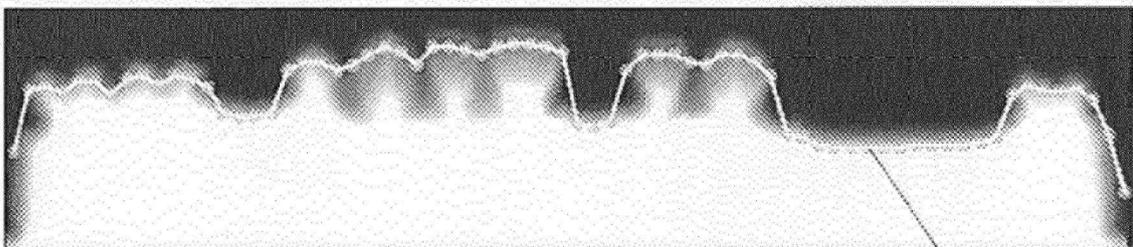


Figura 5c

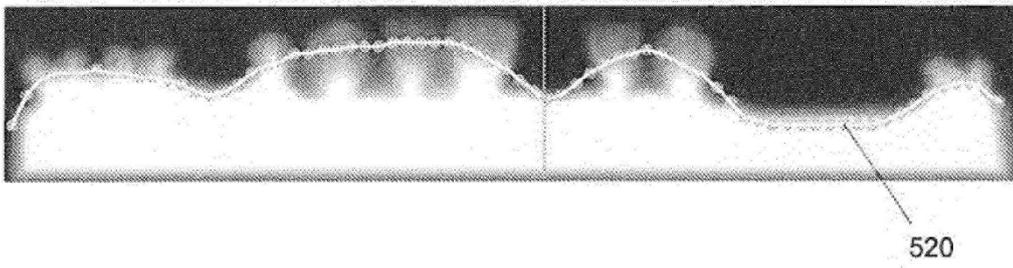


Figura 5d

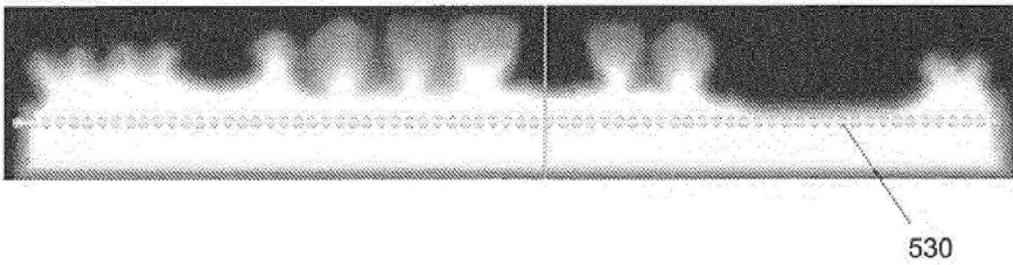


Figura 5e

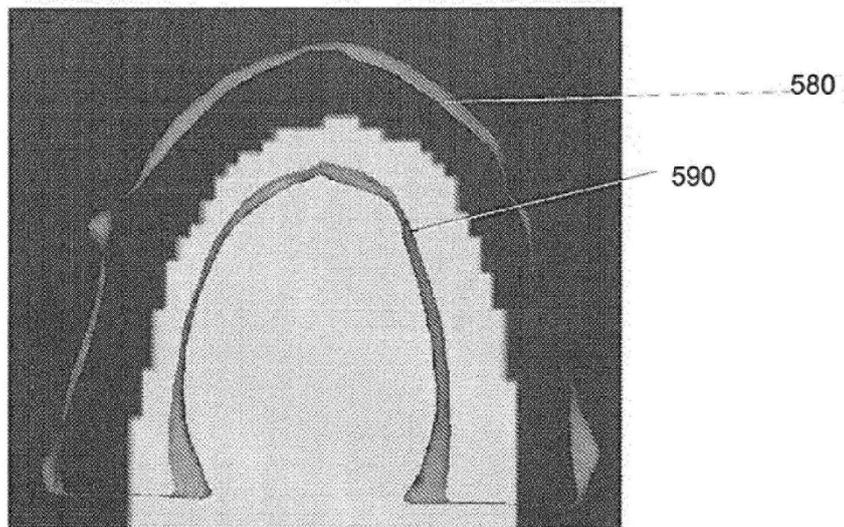


Figura 5f

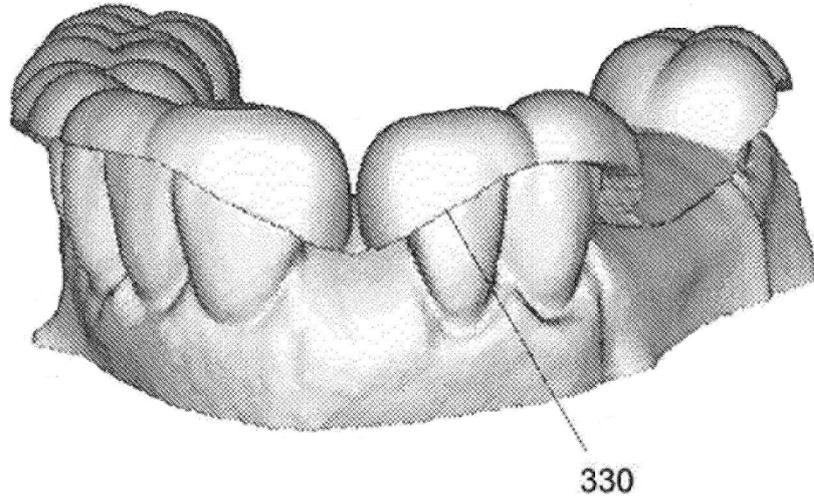


Figura 6a

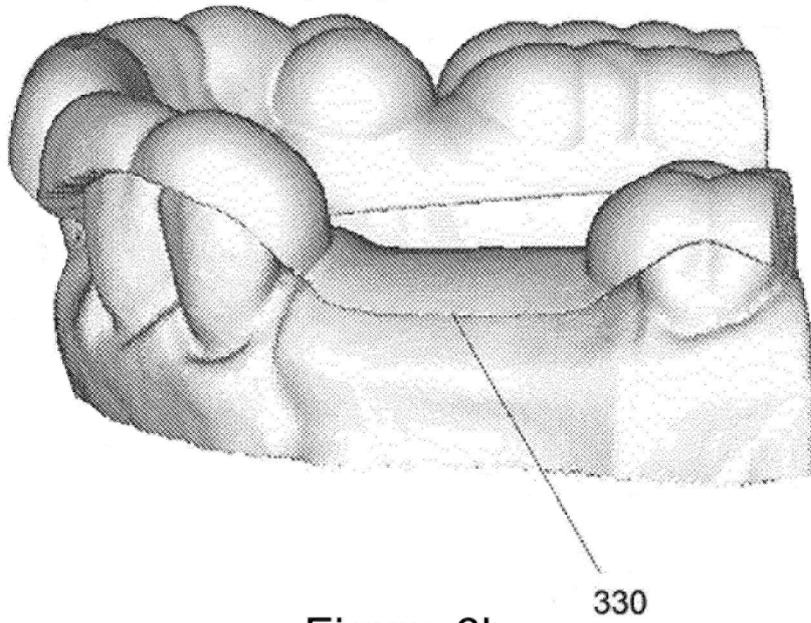


Figura 6b

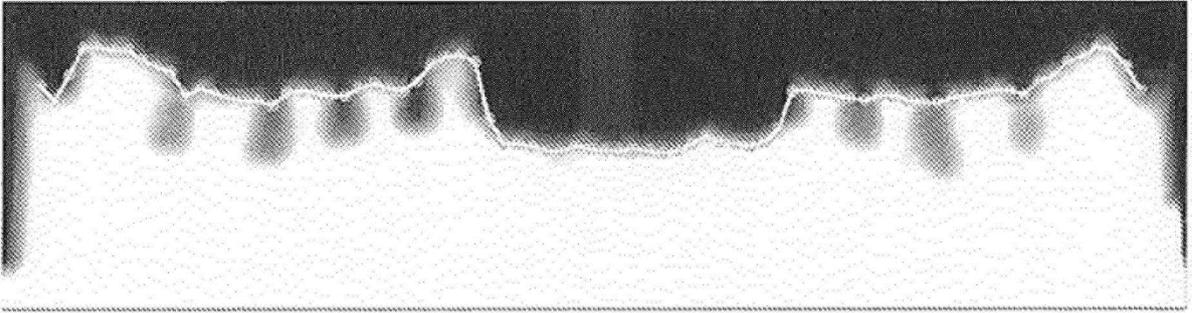


Figura 7a

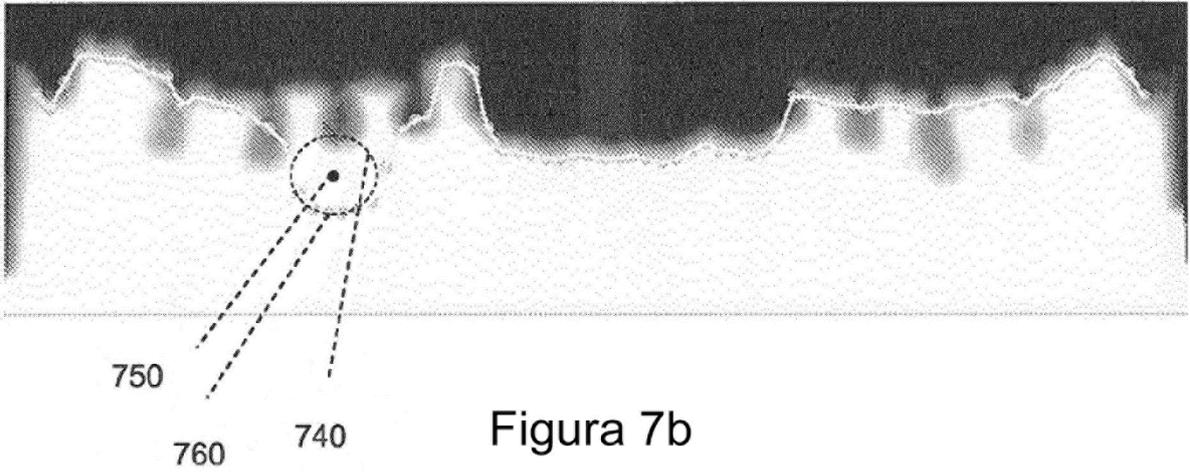


Figura 7b

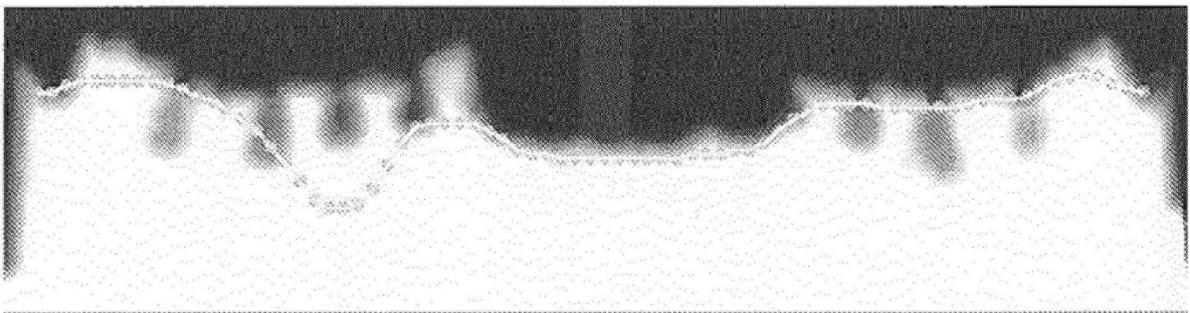


Figura 7c

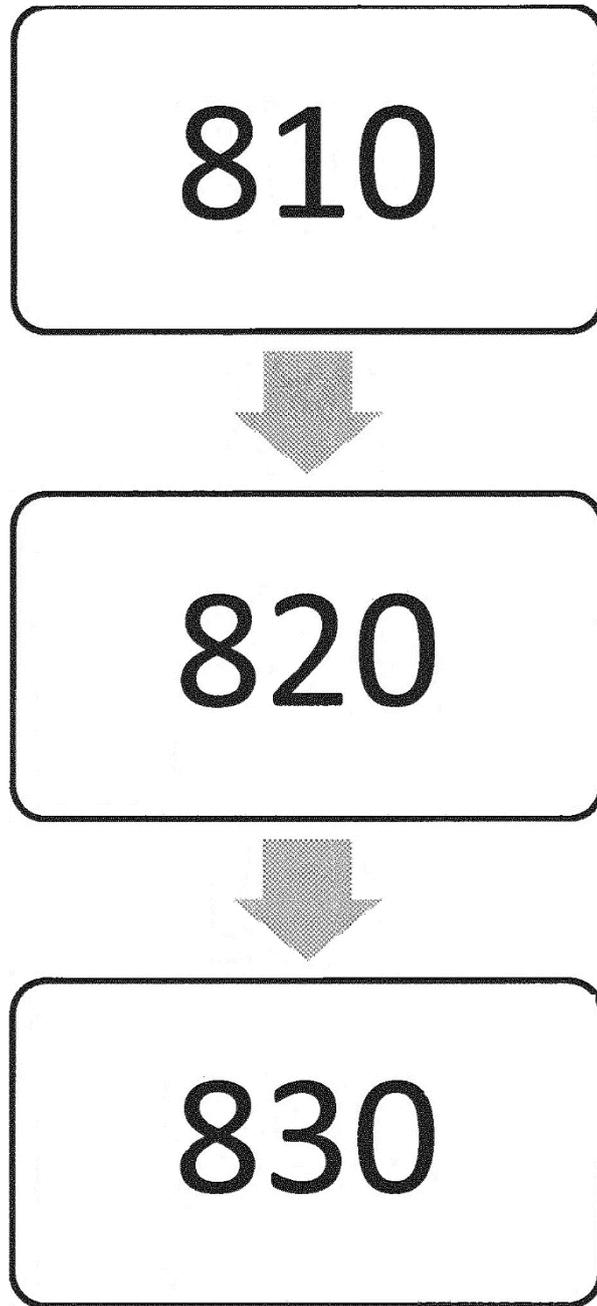
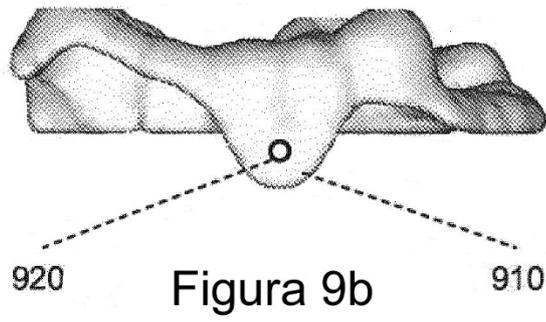
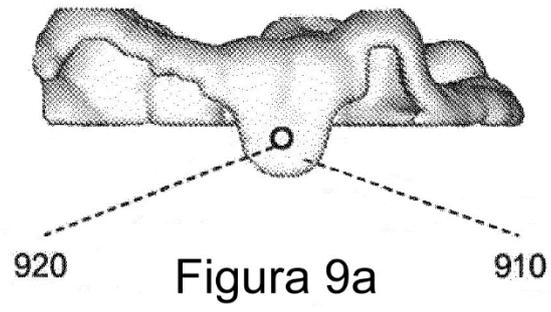


Figura 8



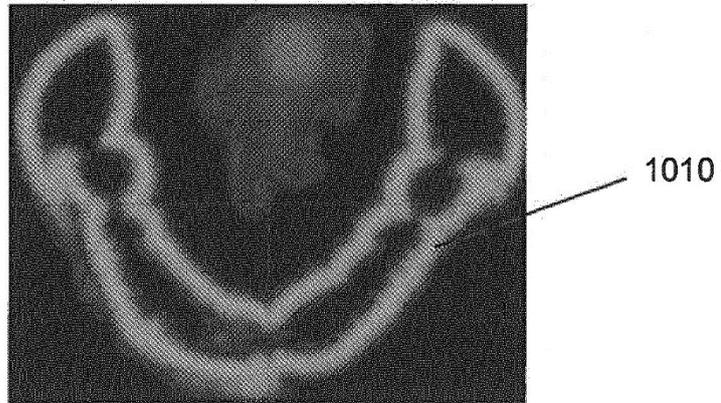


Figura 10a

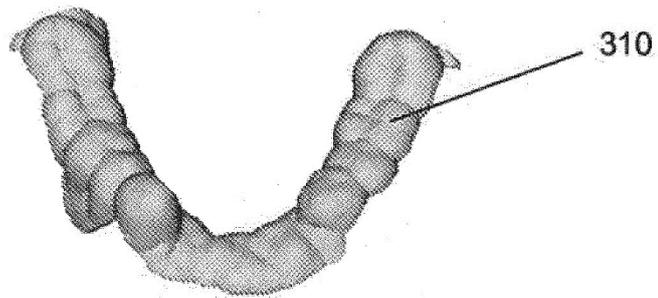


Figura 10b

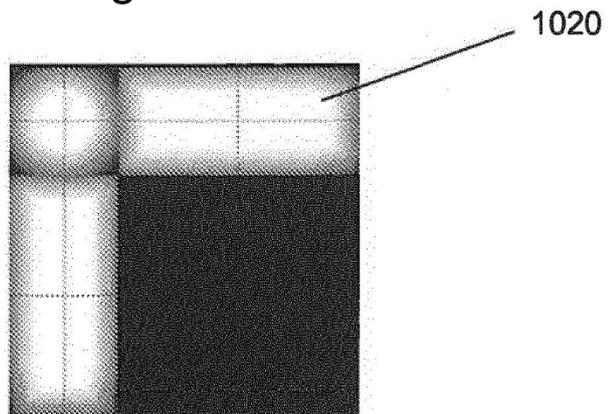


Figura 10c

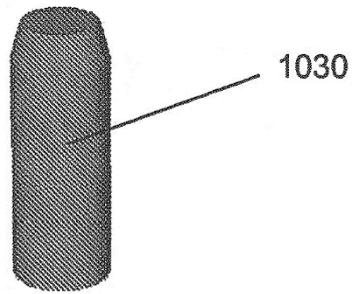


Figura 10d

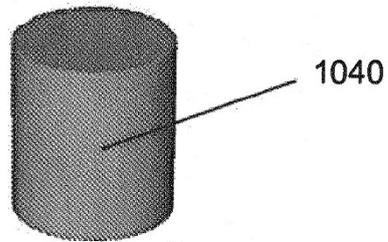


Figura 10e

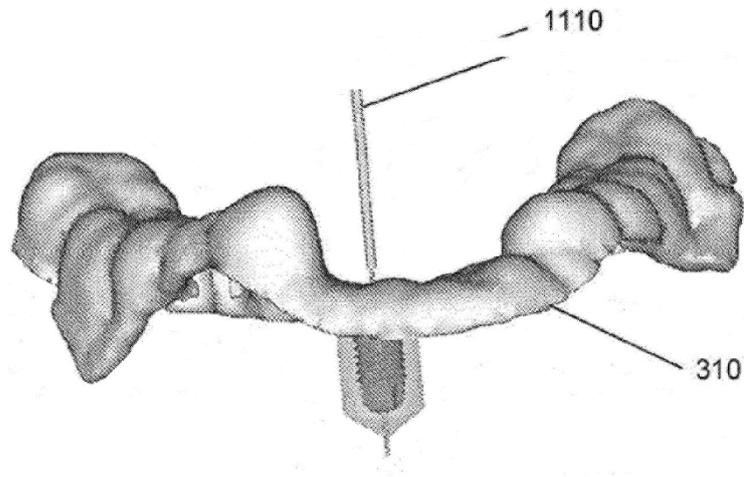


Figura 11a

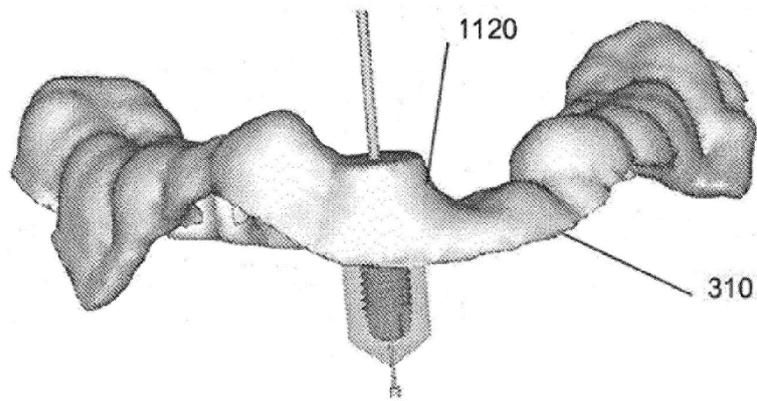


Figura 11b

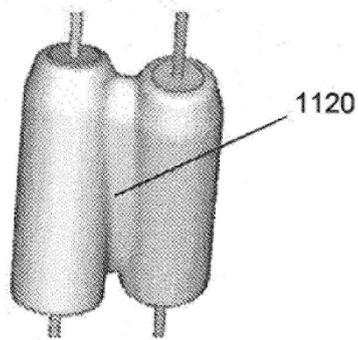


Figura 11c

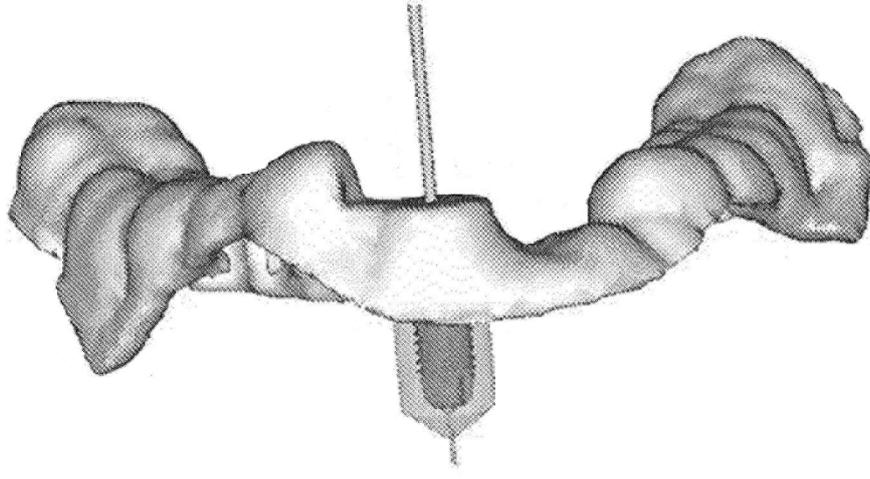


Figura 11d

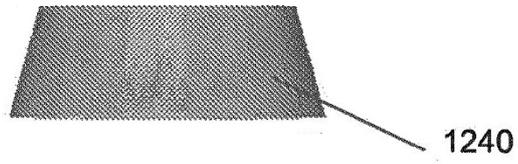


Figura 12a

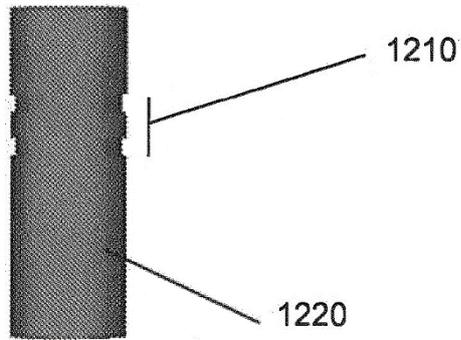


Figura 12b

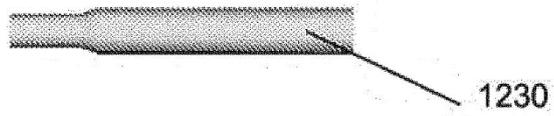


Figura 12c

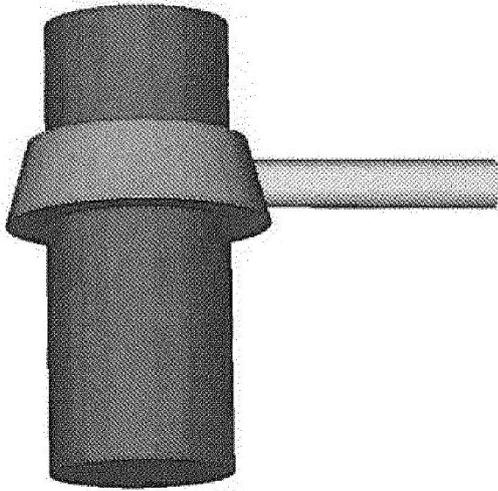


Figura 13a

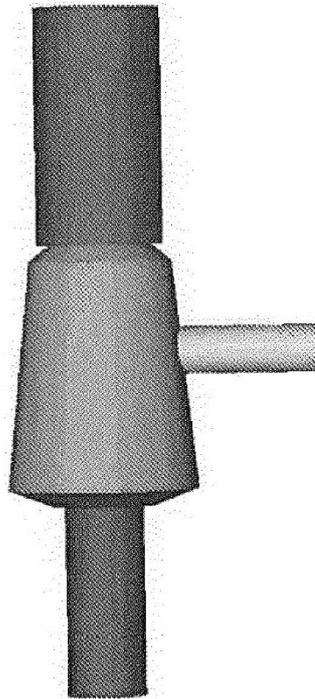


Figura 13b

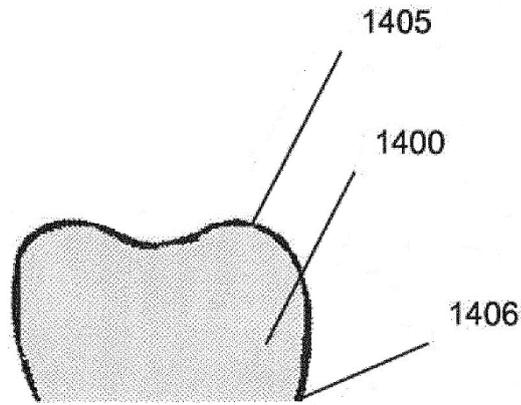


Figura 14a

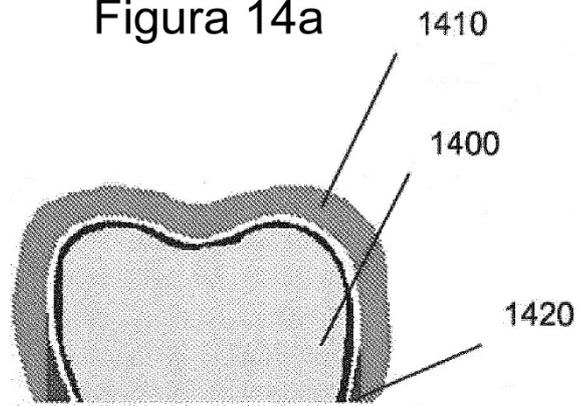


Figura 14b

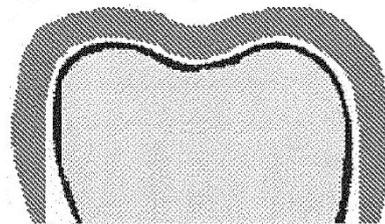


Figura 14c