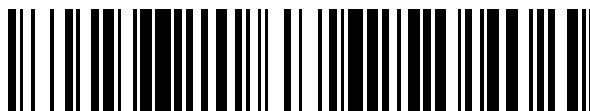


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 864 684**

51 Int. Cl.:

A61C 7/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.07.2016** **PCT/US2016/044399**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.02.2018** **WO18022054**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.07.2016** **E 16747994 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.02.2021** **EP 3490489**

54 Título: **Procedimiento y sistema para retirar los aparatos ortodónticos de la malla digital de la dentición**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.10.2021

73 Titular/es:

**CARESTREAM DENTAL TECHNOLOGY TOPCO
LIMITED (100.0%)
Cleveland House, 33 King Street
London SW1Y 6RJ, GB**

72 Inventor/es:

**CHEN, SHOUPU;
YE, WEI;
WONG, VICTOR C. y
RICHARD, SAMUEL**

74 Agente/Representante:

GONZÁLEZ PECES, Gustavo Adolfo

ES 2 864 684 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

Procedimiento y sistema para retirar los aparatos ortodónticos de la malla digital de la dentición

La divulgación se refiere en general a la manipulación de elementos que están representados por una malla tridimensional y más particularmente a procedimientos y aparatos para la manipulación de la superficie de la corona del diente en una imagen de contorno que se ha obtenido usando formación de imágenes por reflectancia.

Las imágenes tridimensionales (3-D) y el procesamiento de imágenes 3-D son áreas de creciente interés para los odontólogos/ortodoncistas para el diagnóstico asistido por ordenador y la mejora general de la atención al paciente. En el campo del análisis cefalométrico, las imágenes en 3D y el procesamiento de imágenes en 3D ofrecen ventajas significativas en términos de flexibilidad, precisión y repetibilidad. El análisis cefalométrico tridimensional supera algunas de las deficiencias asociadas con los procedimientos convencionales de análisis cefalométrico bidimensional (2-D), como los errores geométricos bidimensionales de la proyección en perspectiva, el aumento y el posicionamiento de la cabeza en la proyección, por ejemplo. Se ha demostrado que la cefalometría 3-D produce datos objetivos que son más precisos, ya que en base al cálculo en lugar de depender en gran medida de mediciones discretas, como es el caso de la cefalometría 2-D.

Las primeras investigaciones que utilizaron procedimientos cefalométricos tridimensionales emplearon imágenes tridimensionales y análisis paramétrico de estructuras anatómicas maxilofaciales mediante tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) de la cabeza de un paciente. Utilizando procedimientos CBCT, un papel significativo del análisis cefalométrico 3D fue definir modelos matemáticos de arcos maxilares y mandibulares para los cuales se calcularon los ejes de inercia para cada diente o grupo de dientes. Esto, a su vez, requirió la segmentación de dientes individuales del volumen de cabeza CBCT adquirido de un paciente.

Convencionalmente, durante un procedimiento de tratamiento de ortodoncia, se utilizan múltiples adquisiciones de cefalogramas de rayos X en 2D para evaluar el progreso del tratamiento. El análisis cefalométrico tridimensional convencional también se puede utilizar para este propósito, lo que requiere múltiples exploraciones CBCT. Sin embargo, los procedimientos de obtención de imágenes radiográficas tanto en 2-D como en 3-D exponen al paciente a radiación ionizante. Es deseable reducir la exposición general del paciente a la radiación, en particular para los pacientes más jóvenes.

Las exploraciones ópticas intraorales, en general, producen contornos de objetos de dentición y han sido útiles para mejorar la visualización de dientes, encías y otras estructuras intraorales. La información del contorno de la superficie puede ser particularmente útil para evaluar el estado de los dientes y tiene un valor reconocido para varios tipos de procedimientos dentales, como para la odontología restauradora. Esto puede proporcionar una herramienta valiosa para ayudar al odontólogo a identificar varios problemas y validar otras mediciones y observaciones relacionadas con los dientes y las estructuras de soporte del paciente. La información del contorno de la superficie también se puede utilizar para generar modelos tridimensionales de componentes de la dentición, como dientes individuales; la información de posición y orientación relacionada con los dientes individuales se puede utilizar para evaluar el progreso del tratamiento de ortodoncia. Con el uso adecuado de imágenes de contorno de superficie, se puede evitar la necesidad de múltiples adquisiciones de rayos X en 2-D o 3-D de la dentición de un paciente.

Se han desarrollado varias técnicas para obtener información sobre el contorno de la superficie de varios tipos de objetos en aplicaciones médicas, industriales y de otro tipo. Los procedimientos de medición ópticos tridimensionales (3-D) proporcionan información espacial y de forma utilizando luz dirigida a una superficie de diversas formas. Entre los tipos de procedimientos de formación de imágenes utilizados para la formación de imágenes de contorno se encuentran los dispositivos de proyección de franjas. Las imágenes de proyección de franjas utilizan luz estructurada o con patrones y triangulación de cámara/sensor para obtener información de contorno de superficie para estructuras de varios tipos. Una vez que se procesan las imágenes de proyección de franjas, se puede generar una nube de puntos. A continuación, se puede formar una malla a partir de la nube de puntos o de una pluralidad de nubes de puntos, con el fin de reconstruir al menos una aproximación plana a la superficie.

La representación de malla puede ser particularmente útil para mostrar la estructura de la superficie de los dientes y las encías y puede obtenerse usando una cámara de mano y sin requerir niveles de radiación dañinos. Sin embargo, cuando se utilizan enfoques de procesamiento de imágenes convencionales, se ha descubierto que la representación de la malla carece de la versatilidad y utilidad inherentes que están disponibles con la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) u otras técnicas que exponen al paciente a la radiación. Un área en la que la representación de la malla solo ha arrojado resultados decepcionantes se relaciona con la segmentación. La segmentación permite al médico identificar y aislar la corona y otras partes visibles del diente de las encías y la estructura de soporte relacionada. Los procedimientos convencionales para la segmentación de imágenes de malla a menudo pueden ser inexactos y pueden no distinguir la estructura del diente de los tejidos de soporte.

Se han propuesto varios enfoques para abordar el problema de segmentación de las imágenes de malla, como los siguientes:

- (i) Un procedimiento descrito en el artículo "Segmentación basada en serpentinas de dientes de modelos dentales virtuales" por Thomas Kronfeld et al. (en Diseño asistido por ordenador y aplicaciones, 7 (a), 2010) emplea un

procedimiento de segmentación de contorno activo que intenta separar cada superficie de diente y encía en una sola iteración de procesamiento. Sin embargo, el enfoque que se describe no es un procedimiento independiente de la topología y puede fallar, especialmente cuando faltan dientes en la malla de la mandíbula.

(ii) Un artículo titulado "Segmentación de malla triangular 3D basada en la percepción utilizando Fast Marching Watershed" por Page, D.L. et al. (en Proc. CVPI vol II 2003) describe el uso de un procedimiento Fast Marching Watershed para la segmentación de la malla. El procedimiento Fast Marching Watershed que se describe requiere que el usuario ingrese manualmente los puntos de siembra. Los puntos de siembra deben colocarse a ambos lados de los contornos de las regiones segmentadas. Luego, el procedimiento intenta segmentar todas las regiones en una sola etapa, utilizando información inicial. Para la segmentación de la malla de la mandíbula, este tipo de procedimiento segmenta cada diente y la encía al mismo tiempo. Esto hace que el procedimiento sea menos deseable, porque segmentar los dientes de la región de las encías normalmente requiere parámetros y procesamiento que difieren de los necesarios para la tarea de segmentar los dientes entre sí. El uso de diferentes estrategias de segmentación para diferentes tipos de componentes de la dentición con requisitos de segmentación alternativos proporcionaría un mejor rendimiento.

(iii) Para respaldar su tesis, "Evaluación de software desarrollado para la segmentación automatizada de modelos dentales digitales", J.M. Moon utilizó una herramienta de software que descompuso el proceso de segmentación en dos etapas: separación de los dientes de la estructura gingival y segmentación de toda la estructura del arco. en objetos dentales individuales. La herramienta de software utilizada en la tesis de Moon encuentra la curvatura máxima en la malla y requiere que el usuario elija manualmente un umbral de curvatura para obtener vértices de margen que se utilizan para segmentar el diente. El software también requiere que el usuario edite manualmente los márgenes para retirar los resultados de segmentación erróneos. Dirigida al análisis de la forma y las características posicionales, esta herramienta de software no considera el empleo de información de color en la separación de las regiones de los dientes de las regiones de las encías.

(iv) El documento US 2003 039 389 A1 titulado "Manipulación de un modelo digital de dentición para formar modelos de componentes de dentición individuales" por Jones, T. N. et al. divulga un procedimiento para separar partes del modelo de dentición que representan los dientes adyacentes.

Si bien los procedimientos convencionales exhiben cierto nivel de éxito con un conjunto limitado de casos de prueba, ninguno de estos procedimientos parece ser sólido y comercialmente viable. Además, los procedimientos convencionales no proporcionan ninguna capacidad para lidiar con los aparatos/aparatos de ortodoncia que están presentes con frecuencia en los modelos de malla de dentición escaneada.

Es deseable retirar los aparatos físicos de los aparatos de ortodoncia de los dientes antes de realizar la exploración intraoral para obtener una vista 3D clara del modelo de malla de los dientes para la evaluación del progreso (por ejemplo, varias veces) durante el tratamiento (por ejemplo, ortodoncia). Sin embargo, el esmalte dental puede dañarse al retirar los aparatos de ortodoncia (por ejemplo, desunión, tinción, acumulación de placa en la superficie rugosa, etc.). Se ha estimado que el espesor del esmalte perdido durante la extracción del aparatos es de aproximadamente 150 micrones. Una solución es escanear la dentición/arco dental sin retirar los aparatos físicos de ortodoncia de los dientes y limpiar la malla del arco dental mediante la manipulación de la malla.

El documento US 8738165 B2, titulado "Procedimientos para preparar un modelo de dentición virtual y fabricar un retenedor dental a partir del mismo", divulga que se proporciona un modelo dental virtual de la dentición de un paciente obteniendo un archivo de datos digitales de los dientes del paciente y los aparatos de ortodoncia conectados a los dientes, y luego combinando los datos del archivo de datos con otros datos que representan las superficies de los dientes subyacentes a los aparatos. En el documento US 8 738 165 B2, el modelo virtual se usa para preparar un modelo físico de la dentición actual del paciente que se puede usar para hacer un retenedor dental. El documento US 8 738 165 B2 también divulga que se pueden usar herramientas de edición en software de manipulación de imágenes para retirar los datos que representan los aparatos de ortodoncia. El software de manipulación de imágenes utilizado en el documento US 8 738 165 B2 se conoce como "Geomagic Studio" (de Geomagic, Inc. de Research Triangle Park, N.C.), en el que partes de una imagen deben ser identificadas y eliminadas por un técnico usando un mouse de ordenador u otro dispositivo de entrada. El documento US 8 738 165 B2 divulga además que el software conocido como "ZBrush" (de Pixologic, Inc. de Los Ángeles, California) se usa para ajustar y esculpir digital/manualmente los datos combinados.

Además, el documento US 2014 067 334 A1 divulga un procedimiento y un sistema que se puede utilizar para crear un aparato dental posterior, en el que un modelo digital dental actual que incluye una representación de un conjunto de dientes físicos se recibe con un aparato dental actual unido a los dientes o a una cavidad bucal. El modelo es un escaneo digital directo del conjunto de dientes físicos y el aparato dental actual. Los dientes están en una posición durante el tratamiento en la que se desea retirar todo o parte del aparato dental actual de uno o más de los dientes y se desea utilizar un aparato posterior. Se crea el modelo digital dental actual a partir de un nuevo modelo digital dental que incluye la representación del conjunto de dientes físicos sin incluir el aparato dental actual. Por tanto, existe la necesidad de procedimientos y/o aparatos mejorados, preferiblemente sin intervención humana o con poca ayuda humana, para la segmentación de representaciones de malla de estructuras de dientes y encías, incluida la extracción de aparatos con reconstrucción de la superficie del diente/corona

- De acuerdo con la presente invención, Se proporciona un procedimiento implementado por ordenador para generar un modelo digital de dentición reconstruida a partir de un modelo digital de la dentición de un paciente y un aparato configurado para generar un modelo digital de dentición como se establece en las reivindicaciones 1 y 10, respectivamente. Otras realizaciones de la invención se divulgan, entre otras cosas, en las reivindicaciones dependientes. Un aspecto de la presente solicitud es avanzar en la técnica de la segmentación y/o manipulación de dientes en relación con la visualización y formación de imágenes de volumen utilizadas en aplicaciones médicas y dentales.
- Otro aspecto de la presente solicitud es abordar, en su totalidad o en parte, al menos las deficiencias anteriores y otras de la técnica relacionada.
- Otro aspecto de la presente solicitud es proporcionar, en su totalidad o en parte, al menos las ventajas aquí descritas.
- Las realizaciones de procedimientos y/o aparatos de acuerdo con la presente divulgación pueden abordar necesidades particulares para una mejor visualización y evaluación de modelos 3D de dentición, donde las representaciones de aparatos de ortodoncia se han quitado o reducido y las superficies de los dientes se han agregado o restaurado para mayor claridad. Los modelos 3D de dentición restaurados se pueden utilizar con estructuras internas obtenidas mediante CBCT y otros procedimientos de formación de imágenes de volumen radiográfico o se pueden correlacionar con los datos de imágenes de reflectancia obtenidos del paciente.
- Estos objetos se dan sólo a modo de ejemplo ilustrativo, y tales objetos pueden ser ejemplares de una o más realizaciones de la aplicación. Otros objetivos y ventajas deseables logrados inherentemente mediante formas de realización de procedimientos y/o aparatos ejemplares pueden ocurrir o resultar evidentes para los expertos en la técnica. La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.
- De acuerdo con un aspecto de la divulgación, se proporciona un procedimiento para generar un modelo digital de dentición reconstruida que puede incluir la obtención de un modelo digital 3-D de malla del paciente que incluye aparatos de ortodoncia, dientes, y encías, modificando el modelo digital 3-D de malla de la dentición quitando las porciones de alambre de los aparatos de ortodoncia del mismo, modificar el modelo digital 3-D de malla de la dentición quitando las porciones de aparatos de los aparatos de ortodoncia del mismo, superficies dentales del modelo digital 3-D de malla de la dentición modificado previamente cubierto por las porciones de alambre y las porciones de aparato de los aparatos de ortodoncia, y que muestra, almacena o transmite a través de una red a otro ordenador, el modelo digital 3-D de malla de la dentición reconstruida.
- Los objetos, características y ventajas anteriores y otros de la invención resultarán evidentes a partir de la siguiente descripción más particular de las realizaciones de la invención, como se ilustra en los dibujos adjuntos. Los elementos de los dibujos no están necesariamente a escala entre sí.
- La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra los componentes de un aparato de formación de imágenes para la formación de imágenes del contorno de la superficie de los dientes de un paciente y las estructuras relacionadas.
- La figura 2 muestra esquemáticamente cómo se usa la luz con patrones para obtener información del contorno de la superficie usando una cámara de mano u otro dispositivo de imágenes portátil.
- La figura 3 muestra un ejemplo de imágenes de superficie usando un patrón con múltiples líneas de luz.
- La figura 4 muestra una nube de puntos generada a partir de imágenes de luz estructuradas, como la que se muestra en la figura 3.
- La figura 5 muestra una malla poligonal en forma simple de malla triangular.
- La figura 6A es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia híbrida para la segmentación de la malla según una realización de la presente divulgación.
- La figura 6B es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia de flujo de trabajo para la segmentación híbrida del diente según una realización de la presente divulgación.
- La figura 7A muestra un ejemplo de un diente mal segmentado.
- La figura 7B muestra un ejemplo de segmentación mejorada.
- La figura 8A muestra un ejemplo de un patrón de trazas de líneas de siembra.
- La figura 8B muestra un ejemplo de un patrón de traza de línea de bloque.
- Las figuras 9A, 9B y 9C muestran pantallas de interfaz de operador para revisar e introducir instrucciones de marcado para refinar el procesamiento de segmentación de la malla de dientes de acuerdo con ciertas realizaciones de la presente divulgación.

La figura 10 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la extracción del aparato de la superficie de la malla del diente según una realización ejemplar de la aplicación.

La figura 11 muestra un ejemplo de una malla de dentición que contiene dientes, aparatos y encías.

5 La figura 12 es un diagrama que muestra dientes separados resultantes ejemplares de una malla de dentición 3D según una realización ejemplar de la aplicación.

Las figuras 13A-13C muestran un ejemplo de cómo retirar un aparato de la superficie de un diente de una malla de dentición 3D y luego reconstruir la superficie del diente.

Las figuras 13D-13E son diagramas que muestran un agujero en la superficie de la malla del diente donde se quita un aparato y un parche inicial para llenar el agujero.

10 La figura 13F es un diagrama que muestra una disposición inicial de triángulos en un parche de malla de superficie de diente y una disposición modificada de triángulos para un parche de malla de superficie de diente.

La figura 14 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para retirar el aparato de la superficie de la malla del diente según otra realización ejemplar de la aplicación.

15 La figura 15 muestra una forma de realización de la pantalla de la interfaz del operador para revisar e introducir las instrucciones de delineación para separar los aparatos de la malla de dientes de acuerdo con una forma de realización ejemplar de la aplicación. La figura 15 también muestra un ejemplo de un contorno cerrado o serpentina rodeando un aparato.

La figura 16 muestra un ejemplo de vértices de malla resaltados dentro de un contorno cerrado.

La figura 17 muestra un ejemplo de una superficie de diente reconstruida después de que se quita el aparato.

20 Las figuras 18 a 20 son diagramas que muestran, respectivamente, un ejemplo de modelo de dentición con aparatos, el mismo modelo de dentición con aparatos identificados y dientes reconstruidos después de que los aparatos se han quitado de acuerdo con una realización ejemplar de la aplicación.

La figura 21A es un diagrama que muestra un ejemplo de una malla de dentición que contiene dientes, aparatos con puente y encía.

25 La figura 21B es un diagrama que muestra un ejemplo de malla de dentición con puentes (por ejemplo, alambres) entre aparatos rotos según realizaciones ejemplares de la aplicación.

La figura 21C es un diagrama que muestra un ejemplo de malla de dentición que ilustra la detección de puentes (por ejemplo, alambres).

30 La figura 22 muestra ejemplos de resultados de la extracción del aparato y la reconstrucción de la superficie después de romper los alambres del puente según realizaciones ejemplares de la aplicación.

La figura 23 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la extracción del aparato en puente de la superficie de la malla del diente según una realización de la presente divulgación.

La figura 24 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia para la extracción del aparato en puente de la superficie de la malla del diente de acuerdo con otra realización de la presente divulgación.

35 La siguiente es una descripción detallada de ejemplos de realizaciones, haciendo referencia a los dibujos en los que los mismos números de referencia identifican los mismos elementos de estructura en cada una de las diversas figuras.

Cuando se utilizan, los términos "primero", "segundo", etc., no denotan necesariamente ninguna relación ordinal o de prioridad, pero pueden utilizarse para distinguir más claramente un elemento o intervalo de tiempo de otro.

El término "ejemplar" indica que la descripción se usa como un ejemplo, en lugar de implicar que es un ideal.

40 El término "en comunicación de señales" como se usa en la aplicación significa que dos o más dispositivos y/o componentes son capaces de comunicarse entre sí a través de señales que viajan a través de algún tipo de ruta de señal. La comunicación de señales puede ser por cable o inalámbrica. Las señales pueden ser señales de comunicación, potencia, datos o señales de energía que pueden comunicar información, potencia y/o energía desde un primer dispositivo y/o componente a un segundo dispositivo y/o componente a lo largo de una ruta de señal entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente. Las rutas de la señal pueden incluir conexiones físicas, eléctricas, magnéticas, electromagnéticas, ópticas, cableadas y/o inalámbricas entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente. Las rutas de señal también pueden incluir dispositivos y/o componentes adicionales entre el primer dispositivo y/o componente y el segundo dispositivo y/o componente.

45

En el contexto de la presente divulgación, los términos "píxel" y "vóxel" pueden usarse indistintamente para describir un elemento de datos de imagen digital individual, es decir, un valor único que representa una intensidad de señal de imagen medida. Convencionalmente, un elemento de datos de imagen digital individual se denomina vóxel para imágenes tridimensionales o de volumen y un píxel para imágenes bidimensionales (2-D). Para los propósitos de la descripción en este documento, los términos vóxel y píxel pueden generalmente considerarse equivalentes, describiendo un dato elemental de imagen que es capaz de tener un intervalo de valores numéricos. Los vóxeles y los píxeles tienen atributos de ubicación espacial y valor de código de datos de imagen.

La "luz estampada" se utiliza para indicar la luz que tiene un patrón espacial predeterminado, de manera que la luz tenga una o más características tales como una o más líneas paralelas discernibles, curvas, un patrón de cuadrícula o tablero de ajedrez, u otras características que tengan áreas de luz separadas por áreas sin iluminación. En el contexto de la presente divulgación, las frases "luz modelada" y "luz estructurada" se consideran equivalentes, ambas utilizadas para identificar la luz que se proyecta sobre la cabeza del paciente con el fin de derivar datos de imagen de contorno.

En el contexto de la presente divulgación, los términos "observador", "operador" y "usuario" se consideran equivalentes y se refieren al practicante, técnico u otra persona que ve y manipula una imagen de contorno que se forma a partir de una combinación de múltiples imágenes de luz estructuradas en un monitor de visualización.

Una "instrucción del observador", "instrucción del operador" o "comando del operador" puede obtenerse de los comandos explícitos introducidos por el observador o puede obtenerse o derivarse implícitamente en función de alguna otra acción del usuario, como realizar una configuración del equipo, por ejemplo. Con respecto a las entradas ingresadas en una interfaz de operador, tal como una interfaz que usa un monitor de visualización y un teclado, por ejemplo, los términos "comando" e "instrucción" pueden usarse indistintamente para referirse a una entrada de operador.

En el contexto de la presente divulgación, una sola línea de luz proyectada se considera un patrón "unidimensional", ya que la línea tiene un ancho casi insignificante, como cuando se proyecta desde un láser de línea, y tiene una longitud que es su dimensión predominante. Dos o más de estas líneas proyectadas una al lado de la otra, ya sea simultáneamente o en una disposición escaneada, proporcionan un patrón bidimensional. En realizaciones ejemplares, las líneas de luz pueden ser lineales, curvas o tridimensionales.

Los términos "modelo 3-D", "nube de puntos", "superficie 3-D" y "malla" pueden usarse como sinónimos en el contexto de la presente divulgación. La nube de puntos densa se forma utilizando técnicas familiares para los expertos en las artes de formación de imágenes de volumen para formar una nube de puntos y se refiere generalmente a procedimientos que identifican, a partir de la nube de puntos, los puntos de vértice correspondientes a las características de la superficie. Por tanto, la nube de puntos densa se genera utilizando los datos de contorno reconstruidos de una o más imágenes de reflectancia. La información densa de la nube de puntos sirve como base para un modelo poligonal de alta densidad para la superficie de los dientes y las encías.

Según la presente divulgación, la frase "primitiva geométrica" se refiere a formas geométricas bidimensionales básicas que el operador puede introducir para indicar áreas de una imagen. A modo de ejemplo, y no de limitación, las primitivas geométricas pueden incluir líneas, curvas, puntos y otras formas abiertas, así como formas cerradas que puede formar el operador, como círculos, curvas cerradas, rectángulos y cuadrados, polígonos y similares.

Las realizaciones de la presente divulgación proporcionan procedimientos y/o aparatos ejemplares que pueden ayudar a eliminar la necesidad de múltiples exploraciones CBCT para la visualización de estructuras de dientes y mandíbulas. Se pueden usar procedimientos y/o realizaciones de aparatos ejemplares para combinar un solo volumen de CBCT con exploraciones intraorales ópticas que tienen la capacidad de rastrear la posición de la raíz en varias etapas del tratamiento de ortodoncia, por ejemplo. Para lograr esto, las exploraciones intraorales se segmentan de modo que las partes expuestas, como las coronas dentales individuales, de la exploración intraoral se puedan alinear con el diente individual y la estructura radicular segmentada del volumen CBCT.

La figura 1 es un diagrama esquemático que muestra un aparato 70 de formación de imágenes para proyectar y formar imágenes usando patrones 46 de luz estructurados. El aparato 70 de formación de imágenes usa una cámara 24 portátil para la adquisición de imágenes según una realización de la presente divulgación. Un procesador 80 lógico de control, u otro tipo de ordenador que puede ser parte de la cámara 24 controla el funcionamiento de un conjunto 10 de iluminación que genera la luz estructurada y controla el funcionamiento de un conjunto 30 de sensores de imágenes. Los datos de imagen de la superficie 20, como los de un diente 22, se obtienen del conjunto 30 de sensores de imagen y se almacenan en una memoria 72. El procesador 80 lógico de control, en comunicación de señal con los componentes de la cámara 24 que adquieren la imagen, procesa los datos de la imagen recibida y almacena el mapeo en la memoria 72. La imagen resultante de la memoria 72 se representa entonces opcionalmente y se muestra en una visualización 74. La memoria 72 también puede incluir una memoria intermedia de visualización para almacenar temporalmente el contenido de la imagen de la visualización 74.

En la formación de imágenes de proyección de franjas de una superficie, se proyecta un patrón de líneas desde el conjunto 10 de iluminación hacia la superficie de un objeto desde un ángulo dado. El patrón proyectado desde la

superficie se ve luego desde otro ángulo como una imagen de contorno, aprovechando la triangulación para analizar la información de la superficie en base a la apariencia de las líneas de contorno. El cambio de fase, en el que el patrón proyectado se desplaza espacialmente de forma incremental para obtener mediciones adicionales en las nuevas ubicaciones, se aplica típicamente como parte de la proyección de imagen de franjas, utilizado para completar el mapeo de contorno de la superficie y para aumentar la resolución general en la imagen de contorno.

El diagrama esquemático de la figura 2 muestra, con el ejemplo de una sola línea de luz L, cómo se usa la luz modelada para obtener información del contorno de la superficie usando una cámara de mano u otro dispositivo de imágenes portátil. Se obtiene un mapeo cuando un conjunto 10 de iluminación dirige un patrón de luz sobre una superficie 20 y se forma una imagen correspondiente de una línea L' en un conjunto 30 de sensores de imágenes. Cada píxel 32 en el conjunto 30 de sensores de imágenes se asigna a un píxel 12 correspondiente en el conjunto 10 de iluminación según la modulación por la superficie 20. Los cambios en la posición del píxel, como se representa en la figura 2, proporcionan información útil sobre el contorno de la superficie 20. Se puede apreciar que el patrón básico que se muestra en la figura 2 se puede implementar de varias formas, usando una variedad de fuentes y secuencias de iluminación y usando uno o más tipos diferentes de conjuntos 30 de sensores. El conjunto 10 de iluminación puede utilizar cualquiera de varios tipos de conjuntos utilizados para la modulación de la luz, como un conjunto de cristal líquido o un conjunto de microespejos digitales, como la proporcionada utilizando el procesador de luz digital o el dispositivo DLP de Texas Instruments, Dallas, TX. Este tipo de modulador de luz espacial se utiliza en la ruta de iluminación para cambiar el patrón de luz según sea necesario para la secuencia de mapeo.

Al proyectar y capturar imágenes que muestran patrones de luz estructurados que duplican la disposición mostrada en las figuras 1 y 2 varias veces, la imagen de la línea de contorno en la cámara localiza simultáneamente varios puntos de la superficie del objeto fotografiado. Esto puede acelerar el proceso de recolección de muchos puntos de muestra, mientras que el plano de luz (y generalmente también la cámara receptora) se mueve lateralmente para "pintar" parte o toda la superficie exterior del objeto con el plano de luz.

La figura 3 muestra imágenes de superficie usando un patrón con múltiples líneas de luz. El cambio incremental del patrón de línea y otras técnicas ayudan a compensar las imprecisiones y la confusión que pueden resultar de transiciones abruptas a lo largo de la superficie, por lo que puede ser difícil identificar de manera positiva los segmentos que corresponden a cada línea proyectada. En la figura 3, por ejemplo, puede ser difícil determinar si el segmento 16 de línea es de la misma línea de iluminación que el segmento 18 de línea o el segmento 19 de línea adyacente.

Al conocer la posición instantánea de la cámara y la posición instantánea de la línea de luz dentro de un sistema de coordenadas relativas al objeto cuando se adquirió la imagen, un ordenador y un software pueden usar procedimientos de triangulación para calcular las coordenadas de numerosos puntos de superficie iluminados. A medida que el plano se mueve para intersectar eventualmente con parte o toda la superficie del objeto, se acumulan las coordenadas de un número creciente de puntos. Como resultado de esta adquisición de imágenes, una nube de puntos de vértices o vértices se puede identificar y utilizar para representar la extensión de una superficie dentro de un volumen. A modo de ejemplo, la figura 4 muestra una nube de puntos 50 densa generada a partir de un aparato de formación de imágenes de luz estructurada, cámara 3-D CS 3500 fabricada por Carestream Heath, Inc., Rochester NY, Estados Unidos, utilizando resultados de iluminación modelada como la que se muestra en la figura 3. La nube 50 de puntos modela la ubicación física de los puntos muestreados en las superficies de los dientes y otras superficies intraorales o, más generalmente, de las superficies de un objeto del mundo real. Se puede obtener una resolución variable. El ejemplo de la figura 4 muestra una resolución ejemplar de 100 micrones. Los puntos en la nube de puntos representan puntos reales medidos en la superficie tridimensional de un objeto.

La estructura de la superficie se puede aproximar a partir de la representación de la nube de puntos formando una malla poligonal, en la que los vértices adyacentes están conectados por segmentos de línea. Para un vértice, sus vértices adyacentes son los vértices más cercanos al vértice en términos de distancia euclidiana.

A modo de ejemplo, la figura 5 muestra un modelo 60 de malla poligonal tridimensional en la forma simple de una malla triangular. Una malla triangular forma una estructura de malla básica que puede generarse a partir de una nube de puntos y usarse como modelo digital para representar un objeto 3-D por su forma de superficie aproximada, en forma de segmentos planos triangulares que comparten límites adyacentes. Los procedimientos/aparatos para formar un modelo de malla poligonal, tal como una malla triangular o una estructura de malla más compleja, son bien conocidos por los expertos en la técnica de formación de imágenes de contorno. La unidad de polígono del modelo de malla, y las relaciones entre polígonos vecinos, pueden usarse en realizaciones de la presente divulgación para extraer características (por ejemplo, curvaturas, curvaturas mínimas, bordes, relaciones espaciales, etc.) en los límites de los dientes.

En la formación de imágenes intraorales, la segmentación de componentes individuales del contenido de la imagen de un modelo digital puede ser valiosa para el odontólogo en varios procedimientos, incluido el tratamiento de ortodoncia y la preparación de coronas, implantes y otros dispositivos protésicos, por ejemplo. Se han propuesto y demostrado varios procedimientos para la segmentación basada en malla de los dientes de las encías y de los dientes entre sí. Sin embargo, los inconvenientes de las soluciones de segmentación convencionales incluyen requisitos para un nivel significativo de habilidad del operador y un alto grado de complejidad computacional. Los enfoques convencionales al problema de segmentar los componentes de los dientes y otras características de la dentición han

dado resultados decepcionantes en muchos casos. Las realizaciones de procedimientos y/o aparatos ejemplares de acuerdo con la presente divulgación abordan tales problemas con la segmentación que pueden utilizar los datos de malla poligonal como un tipo de modelo digital de origen y pueden operar en más de una etapa: por ejemplo, en primer lugar, realizar un algoritmo/procedimientos de segmentación automatizados que puedan proporcionar al menos una aproximación cercana o aproximada de la segmentación necesaria del modelo digital; y segundo, permitir que las interacciones del operador mejoren, corrijan y/o limpien los errores e inconsistencias observados en los resultados automatizados, lo que puede producir resultados altamente precisos que son difíciles de lograr de una manera puramente automatizada, pero sin imponer requisitos importantes en cuanto al tiempo del operador o el nivel de habilidad y/o los recursos informáticos necesarios. Este enfoque híbrido en realizaciones de procedimientos y/o aparatos ejemplares puede ayudar a combinar la potencia de procesamiento de imágenes y computación con la percepción del operador para verificar, corregir y refinar los resultados del procesamiento automatizado.

El diagrama de flujo lógico de la figura 6A muestra una secuencia híbrida para la segmentación de la malla dental y la generación de un modelo digital para identificar características individuales o componentes intraorales tales como dientes desde el interior de la boca según una realización ejemplar de la presente divulgación. En una etapa S100 de adquisición de imágenes, se captura una pluralidad de imágenes de luz estructuradas de la dentición del paciente, proporcionando un conjunto de imágenes de contorno para su procesamiento. A continuación, una etapa S110 de generación de nubes de puntos genera una nube de puntos de la dentición del paciente utilizando el conjunto de imágenes de contorno. Una etapa S120 de generación de malla poligonal forma una malla poligonal conectando puntos adyacentes de los resultados de la nube de puntos. Una malla triangular proporciona un tipo de malla poligonal que se puede generar fácilmente para aproximar el contorno de una superficie; se pueden utilizar alternativamente configuraciones de malla poligonal más complejas.

Continuando con la secuencia de la figura 6A, dada la malla poligonal, se puede ejecutar una etapa S130 de segmentación. Para una imagen de contorno dental, por ejemplo, la etapa S130 de segmentación puede distinguir los dientes del tejido de las encías, así como distinguir un diente de otro. A continuación, se pueden mostrar los resultados de la segmentación, mostrando los resultados de este procesamiento de segmentación automatizado inicial. La etapa S130 de segmentación automatizado puede proporcionar una imagen intermedia. Por tanto, la etapa S130 automatizado puede realizar la mayor parte del procesamiento de segmentación, pero puede beneficiarse adicionalmente de la revisión del operador y del perfeccionamiento de los resultados. Para su procesamiento automático, la etapa S130 de segmentación puede utilizar cualquiera de las técnicas de segmentación conocidas, como los algoritmos de cuencas hidrográficas de marcha rápida, la denominada segmentación basada en serpentinillas y otros procedimientos conocidos por los expertos en las artes de la imagen, como se señaló anteriormente.

La figura 6A también muestra un bucle de repetición opcional que puede permitir la interacción del observador con la imagen intermedia para refinar los resultados del procesamiento de segmentación automatizado, por ejemplo, utilizando el aparato básico que se muestra en la figura 1. Se puede ejecutar una etapa S140 de aceptar instrucciones del operador, durante el cual el observador indica, en los resultados mostrados, puntos de siembra, líneas de siembra, líneas de bloque, características de los límites u otras marcas que identifican una o más características distintas de los resultados de la segmentación para permitir un mayor refinamiento y procesamiento de la segmentación. Las instrucciones de marcado del observador hacen que la etapa S130 de segmentación se ejecute al menos una segunda vez, esta segunda vez usando marcado (s) de entrada de las instrucciones del observador introducidas. Se puede apreciar que se pueden aplicar diferentes algoritmos de segmentación en varias etapas del procesamiento automatizado o manual. Los resultados finales del procesamiento de segmentación se pueden mostrar, almacenar y transmitir entre ordenadores, como a través de una red cableada o inalámbrica, por ejemplo.

El proceso que se muestra en la figura 6A puede permitir así la segmentación automatizada para realizar la segmentación gruesa (por ejemplo, la primera segmentación) que se puede lograr más fácilmente, como la segmentación de los dientes del tejido de las encías, por ejemplo. Así, por ejemplo, se puede automatizar el reparto de dientes y encías. En una realización, la partición de dientes y encías puede usar un procedimiento automatizado basado en la curvatura que calcula la curvatura de los vértices en la malla y luego usa un algoritmo de umbral para identificar los vértices de los márgenes que tienen una gran curvatura negativa. Alternativamente, la segmentación basada en el color se puede utilizar para la segmentación de los dientes de las encías. Este tipo de procedimiento puede obtener valores de tono promedio de regiones de la imagen y calcular valores de umbral que dividen el contenido de la imagen.

Una realización ejemplar del flujo de trabajo para el sistema de segmentación de dientes híbridos se representa en el diagrama de flujo lógico de la figura 6B. Al recibir una malla de dentición como la descrita en la etapa S120 y que se muestra en las figuras 4 y 5, el procesador 80 lógico de control (figura 1) inicia una etapa S202 de segmentación automatizada en la que se evoca una herramienta de segmentación de dientes completamente automática para delinear las regiones de los dientes y las encías y delinear las regiones de los dientes individuales. La herramienta de segmentación de dientes completamente automática emplea algoritmos ejemplares tales como modelos de contorno activos publicados en la bibliografía o bien conocidos por los expertos en las técnicas de procesamiento de imágenes. La delineación de los dientes produce dientes segmentados individualmente; sin embargo, estos dientes generados pueden contener componentes intraorales poco segmentados. Una primera etapa S204 de verificación luego verifica si hay componentes intraorales mal segmentados. La verificación de la segmentación incorrecta o incompleta en la etapa S204 se puede realizar de forma computacional, como aplicando algoritmos de inteligencia artificial entrenados

a los resultados de la segmentación, o mediante la interacción del observador, como la siguiente inspección visual del observador. A modo de ejemplo, la figura 7A muestra un ejemplo de diente 302 mal segmentado o mal segmentado. Como se muestra en la figura 7A, un límite 306 de diente segmentado no está alineado con un límite 308 de diente real.

- 5 Aun refiriéndose al proceso de flujo de trabajo en la Figura 6B, si la etapa de verificación S204 identifica uno o más dientes mal segmentados, ya sea computacional o visualmente, se ejecuta una etapa S206 de segmentación asistida primaria, activando un procedimiento de segmentación que también está automatizado, pero que permite cierto nivel de ajuste por parte del operador. La etapa S206 de segmentación asistida primaria aplica un algoritmo para la segmentación que permite al operador el ajuste de uno o más parámetros en una etapa S210 de ajuste de parámetros.
- 10 Se ejecuta otra etapa S208 de verificación para determinar si se necesita un procesamiento de segmentación adicional. El parámetro ajustable se puede modificar de forma computacional o explícita mediante una instrucción del operador en la etapa S210. Las figuras siguientes muestran una interfaz de operador ejemplar para el ajuste de parámetros.

- 15 Un algoritmo ejemplar empleado en la etapa S206 de segmentación asistida primaria puede ser una técnica bien conocida, tal como el procedimiento de segmentación basado en curvatura mínima de malla. El parámetro ajustable puede ser el valor umbral de la curvatura. Con la ayuda del ajuste de parámetros en la etapa S210, se puede realizar una corrección del diente mal segmentado. La figura 7B muestra una imagen del diente 312 que, en comparación con la figura 7A, muestra un límite 316 de diente segmentado ahora bien alineado con el límite real.

- 20 Sin embargo, como se desprende de la realización de flujo de trabajo ejemplar que se muestra en la figura 6B, la delimitación de los dientes realizada en la etapa S206 aún puede producir componentes o características intraorales poco segmentados, por lo que es útil un proceso de segmentación repetido. La comprobación de la mala segmentación en la etapa S208 se puede realizar de forma computacional, por ejemplo aplicando algoritmos de inteligencia artificial a los resultados de la segmentación, o más directamente, mediante inspección visual realizada por el usuario. Además del parámetro ajustable ajustado en la etapa S210, el sistema híbrido de segmentación de dientes permite
- 25 opcionalmente al usuario agregar primitivas geométricas ejemplares como líneas de siembras en la región del diente y agregar líneas de bloqueo entre los dientes o entre los dientes y la encía para ayudar al proceso de segmentación de los dientes. La figura 8A muestra una línea 406 de siembra ejemplar para marcar un diente, añadida a una imagen 62 de malla. La figura 8B muestra una línea 408 de bloque ejemplar para indicar el espacio entre dos dientes, añadida a una imagen 62 de malla.

- 30 Las tres etapas básicas, etapa S206, etapa S208 y etapa S210 en la secuencia de la figura 6B constituyen un bucle 54 de segmentación primario ejemplar que sigue la segmentación completamente automática de la etapa S202 y la etapa de verificación S204. Este bucle 54 de segmentación primario ejemplar está destinado a corregir errores de segmentación de la segmentación completamente automatizada de la etapa S202 de segmentación automatizado, como se identifica en la etapa S204. El bucle 54 de segmentación primaria ejemplar se puede ejecutar una o más veces, según sea necesario. Cuando el bucle 54 de segmentación primario ejemplar tiene éxito, la segmentación puede completarse.

- En algunos casos, sin embargo, se necesita un procesamiento de segmentación adicional más allá de lo que proporciona el bucle 54 de segmentación primario. El procesamiento de la segmentación puede complicarse por varios factores, como apiñamiento de dientes, formas irregulares de los dientes, artefactos de escaneo, contornos dentales
- 40 indistintos e intersticios indistinguibles, entre otros. Cuando se necesita segmentación adicional, se puede usar un bucle 56 de segmentación secundaria ejemplar para proporcionar enfoques de segmentación más interactivos. El bucle 56 de segmentación secundaria puede incluir una etapa S212 de segmentación interactivo, otra etapa S214 de verificación y una etapa S216 de marcado de operador. La etapa S212 de segmentación interactiva puede activar un proceso de segmentación que trabaja con el operador para indicar áreas de la imagen a segmentar de otras áreas. La
- 45 etapa S212 de segmentación interactiva puede tener una secuencia automatizada, implementada mediante un algoritmo ejemplar tal como un procedimiento de "marcha rápida" conocido por los expertos en las técnicas de segmentación de imágenes. La etapa S212 puede requerir la población de las imágenes de la región del diente mediante siembras o líneas de siembras operadas por operación u otros tipos de primitivas geométricas antes de la activación o durante el procesamiento. En ciertas realizaciones ejemplares, las líneas de siembras u otras
- 50 características se pueden generar automáticamente en las etapas S100, S110 y S120 cuando se ingresa la malla de dentición en el sistema para un ajuste opcional del operador (por ejemplo, operaciones posteriores como el bucle 56 de segmentación secundaria o la etapa 212). Además, las características, siembras o líneas de siembras pueden ser añadidas por el usuario al proceso de segmentación en la etapa S216 de marcado del operador. Los resultados de la etapa S212 están sujetos a inspección por parte del usuario en la etapa S216. Los resultados del procesamiento de
- 55 segmentación híbrido automatizado/interactivo pueden visualizarse entonces en una etapa S220 de visualización, así como almacenarse y transmitirse a otro ordenador.

Siguiendo la secuencia de la figura 6B, algunos procedimientos/aparatos ejemplares de la presente divulgación proporcionan una segmentación dental híbrida que proporciona los beneficios de la segmentación interactiva con la sinergia hombre-máquina.

Las figuras 9A-9C muestran pantallas 52 de interfaz de operador para partes de una secuencia para revisión e introducción de instrucciones de marcado para refinar el procesamiento de segmentación de la malla de acuerdo con ciertas realizaciones ejemplares de la presente divulgación. Los resultados provisionales de la segmentación de la malla se muestran en un área de visualización 86 en la pantalla 52. Están disponibles varios controles 90 para el ajuste del proceso de segmentación, tales como un control 84 de ajuste para establecer un nivel de agresividad general u otro parámetro o característica del algoritmo de procesamiento de segmentación. Los controles 88 de selección opcionales permiten al observador especificar uno o más algoritmos de segmentación a aplicar. Esto le da al operador la oportunidad de evaluar si un tipo particular de algoritmo de segmentación u otro parece tener más éxito en la realización de la tarea de segmentación para el modelo digital de malla dado. El operador puede comparar los resultados con el original y ajustar los parámetros para ver los resultados de los intentos de segmentación sucesivos, con y sin marcado del operador.

La figura 9A también muestra un patrón 96 de traza que se ingresa como una instrucción de línea siembra del operador para corregir o refinar el procesamiento de segmentación, como se mostró anteriormente con respecto a la figura 8A. De acuerdo con una realización de la presente divulgación, se puede usar una marca de operador en forma de patrón 96 de traza u otra marca/geométrica arbitraria para proporcionar puntos de siembra que indiquen una característica específica para la segmentación, como un molar u otra característica del diente que puede ser difícil de procesar para las rutinas de segmentación convencionales. Las marcas de siembras se pueden utilizar como entrada para un algoritmo de marcha rápida u otro tipo de algoritmo, como se describió anteriormente. En algunos casos, por ejemplo, es posible que los dientes adyacentes no estén segmentados con precisión entre sí; el marcado del operador puede proporcionar una guía útil para el procesamiento de segmentación donde la lógica de segmentación estándar no funciona bien. Como muestra la figura 9A, el operador puede tener controles 90 disponibles que permitan borrar o proporcionar al procesador de segmentación el marcado introducido. Como muestra la figura 9B, el color o el sombreado se pueden usar para diferenciar varios dientes u otras estructuras identificadas por segmentación. También se pueden utilizar controles adicionales 90 para visualizar elementos individuales segmentados, como dientes individuales, por ejemplo. Como destaca la figura 9C, en algunas realizaciones ejemplares, los controles 90 individuales pueden usarse individualmente o en combinación.

En una realización, la segmentación de dientes individuales entre sí puede usar umbrales de curvatura para calcular márgenes y vértices de borde, luego usar varias técnicas de crecimiento para definir los límites de cada diente en relación con la detección de márgenes.

En algunas realizaciones ejemplares, los controles 90 pueden incluir, pero no se limitan a ingresar/ajustar la siembra o geometrías de límites, ingresar/ajustar procedimientos de segmentación seleccionados, ingresar/ajustar el número de objetos a segmentar, subdividir el objeto seleccionado, modificar la visualización del objeto segmentado, etc.

El diagrama de flujo lógico de la figura 10 muestra una realización ejemplar de un flujo de trabajo para la extracción de aparatos de una malla 3D de dentición según la aplicación. Como se muestra en la figura 10, un modelo de malla 3D de dentición virtual o digital se obtiene en la etapa 1002. Por ejemplo, se puede obtener un modelo de malla 3D de dentición digital utilizando un escáner intraoral. La figura 11 es un diagrama que muestra una malla 3D de dentición ejemplar que se puede adquirir en la etapa 1002. Como se muestra en la figura 11, la malla 1100 de dentición 3D puede incluir aparatos 1102, encías 1104 y dientes 1106. Preferiblemente, un resultado del proceso de flujo de trabajo ejemplar de la figura 10 será una malla 3D de dentición que incluye los dientes 1106 y encías 1104 de la malla 1100 de dentición 3D, pero sin los aparatos 1102 y las superficies dentales previamente cubiertas por aparatos 1102 reconstruidas con precisión.

Como se muestra en la figura 10, las etapas 1004 y 1006 constituyen un procedimiento/sistema de segmentación dental para una malla 3D de dentición obtenida. Como se describe en el presente documento, en una realización, las etapas 1004 y 1006 pueden implementarse mediante etapas similares de una secuencia híbrida para la segmentación de la malla dental representada en la figura 6A. Alternativamente, en otra realización, las etapas 1004 y 1006 pueden implementarse mediante etapas similares de un procedimiento/sistema de segmentación de dientes híbrido representado en la figura 6B.

Continuando con el flujo de trabajo en la figura 10, los aparatos 1102 se quitan automáticamente de la malla 1100 de dentición 3D (por ejemplo, superficies dentales) en la etapa 1008. En una realización ejemplar, los dientes separados (o segmentados) que resultan de la etapa 1006 pueden sufrir individualmente la extracción del aparato y la reconstrucción de la superficie que se describe a continuación. La figura 12 es un diagrama que muestra dientes 1202 separados resultantes ejemplares contenidos dentro de la malla 1100 de dentición 3D.

En la etapa 1008, para retirar automáticamente los aparatos de las superficies de los dientes 1202 separados, se examina y procesa cada diente (o corona) segmentado individualmente. En la figura 13A se muestra un diente 1202 segmentado ejemplar con el aparato 1302 que se va a retirar. En una realización ejemplar, un algoritmo de extracción automática de aparatos detecta en primer lugar los límites del aparato 1302. Se pueden utilizar varios enfoques conocidos por un experto en la técnica de formación de imágenes para detectar los límites del aparato en la malla 1100 de dentición 3D. En una realización ejemplar, la detección de límites del aparato puede usar un algoritmo automatizado basado en curvaturas que calcula las curvaturas de los vértices en la malla de superficies dentales y luego usa un algoritmo de umbral para identificar los vértices de los márgenes que tienen grandes curvaturas

negativas. Como se muestra en la figura 13A, estos vértices de margen identificados forman una curva cerrada 3D o un límite 1303 del aparato (o los vértices del límite del aparato) que rodea el aparato 1302. Luego, los vértices de la malla dentro del límite cerrado 3D se quitan en la malla 1100 de dentición 3D, lo que da como resultado un agujero 1304 en la superficie del diente. La figura 13B es un diagrama que muestra un diente 1202 segmentado ejemplar con el aparato 1302 retirado. Como se muestra en la figura 13B, pueden estar presentes pequeños parches blancos en el agujero 1304 del aparato; estos parches blancos no pertenecen al aparato 1302 en sí, pero pueden ser otros artefactos detrás del aparato original. Estos artefactos pueden volverse visibles después de que el aparato 1302 se haya quitado de la malla de dentición 3D 100 mediante un algoritmo de extracción automática del aparato.

En la etapa 1010, las superficies dentales del diente segmentado 1202 al que se ha quitado el aparato se reconstruyen automáticamente. Se pueden utilizar varios enfoques conocidos por un experto en las técnicas de formación de imágenes para rellenar agujeros en la malla 1100 de dentición 3D. En la figura 13C se muestra un diente 1202 segmentado ejemplar que tiene la superficie 1306 del diente reconstruida automáticamente. En realizaciones ejemplares, los procedimientos de llenado de agujeros (por ejemplo, reconstrucción de la superficie del diente o de la corona) puede incluir una primera etapa para generar un parche inicial para llenar el agujero y una segunda etapa para suavizar la malla reconstruida para obtener polígonos de mejor calidad (por ejemplo, triángulos) en el mismo.

La figura 13D muestra una parte de la malla 1100 de dentición 3D que forma una superficie de malla de corona 3D después de retirar las porciones de malla que representan un aparato. Un polígono 1303' cerrado representa un límite del aparato (quitado). Una región 1308 encerrada por el polígono 1303' cerrado es el agujero dejado por la extracción del aparato. Primero, en la etapa 1010, se genera un parche inicial para rellenar la superficie del diente o el agujero 1308 (por ejemplo, dentro del polígono 1303' cerrado). En una realización, el parche inicial contiene una pluralidad de triángulos 1310 dispuestos en un patrón prescrito ejemplar tal como uno formado conectando vértices en el polígono 1303' cerrado para formar el patrón mostrado en la figura 13E. Luego, en la etapa 1010, los triángulos/polígonos 1310 del parche inicial se pueden modificar u optimizar más. Un procedimiento ejemplar para modificar u organizar de manera óptima los triángulos 1310 se ilustra en la figura 13F donde cuatro puntos A, B, C y D forman dos triángulos ABD y CDB en los triángulos 1310, que se reorganizan para convertirse en triángulos ABC y CDA en un conjunto mejorado de triángulos 1310'. Una disposición de triángulos mejorada puede reducir o evitar triángulos largos y delgados.

En una segunda parte de la etapa 1010, la malla 3D con el parche inicial se puede suavizar para obtener una mejor calidad. En una realización, la segunda parte de la etapa 1010 puede corregir posiciones de puntos creados en el parche inicial usando información local globalmente. Por lo tanto, la malla 3D que incluye el parche inicial (por ejemplo, los triángulos 1310, 1310' dentro del agujero 1303') y las regiones circundantes, como los triángulos 1312 que rodean (o cerca) el agujero 1308' en la figura 13D) se pueden suavizar usando un procedimiento de suavizado laplaciano que ajusta la ubicación de cada vértice de la malla al centro geométrico de sus vértices vecinos.

Por ejemplo, una implementación de suavizado de malla es descrita por Wei Zhao et al. en "Un algoritmo robusto de llenado de agujeros para malla triangular" que puede implementar un algoritmo de refinamiento de parches usando la ecuación de Poisson con condiciones de contorno de Dirichlet. La ecuación de Poisson se formula como $\Delta f = \text{div}(h)$ $\Delta f = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ donde f es una función escalar desconocida, Δ es el operador laplaciano, h es el campo del vector de guía, $\text{div}(h)$ es la divergencia de h y f^* es una función escalar conocida que proporciona la condición de frontera. El campo de vector de guía en una malla de triángulo discreto en el artículo de Wei Zhao se define como una función de vector constante por partes cuyo dominio es el conjunto de todos los puntos en la superficie de la malla. El vector constante se define para cada triángulo y este vector es coplanar con el triángulo.

En la etapa 1012, se puede visualizar el diente 1202 segmentado ejemplar que tiene la superficie 1306 del diente reconstruida automáticamente (véase la figura 13C). Aunque se describe para un diente 1202 segmentado ejemplar, las etapas 1008, 1010 y 1012 se pueden realizar repetidamente hasta que se quiten todos los aparatos de la malla 1100 de dentición 3D. De esta manera, la malla 1100 de dentición 3D corregida resultante puede visualizarse en la etapa 1012 después de que se corrija cada superficie de diente segmentada adicional. Alternativamente, las etapas 1008 y 1010 se pueden realizar para todos los dientes en la malla 1100 de dentición 3D, antes de que se muestre la malla 1100 de dentición 3D corregida resultante en la etapa 1012. La figura 20 muestra un ejemplo de malla de dentición 3D corregida completa resultante.

Ciertas formas de realización de procedimientos y/o aparatos ejemplares pueden utilizar procedimientos alternativos para reconstruir las superficies de los dientes. Por ejemplo, en una realización ejemplar, una malla de dentición 3D de un escaneo intraoral de la dentición antes de que se unieran los aparatos de ortodoncia puede usarse en la reconstrucción de la superficie del diente. En otras realizaciones ejemplares, se pueden usar modelos de dientes específicos tomados de conjuntos de modelos de dientes de boca completa para diferentes edades, tamaños de arcos dentales, etnia, sexo del paciente en la reconstrucción de la superficie del diente. En otra realización ejemplar, se pueden utilizar los correspondientes dientes "espejo" del paciente.

La figura 14 es un diagrama que muestra un flujo de trabajo de otra realización ejemplar de la presente invención de extracción de aparatos en una malla de dentición 3D. Una diferencia principal entre el flujo de trabajo que se muestra en la figura 10 y el flujo de trabajo que se muestra en la figura 14 es que la segmentación de los dientes no es necesaria

en el flujo de trabajo que se presenta en la figura 14. Nuevamente, se recibe una malla de dentición 3D en la etapa 1402 que contiene dientes, aparatos y encías. Luego, en la etapa 1404, se reciben instrucciones de un operador con respecto a los aparatos en la malla de dentición 3D.

La figura 15 es un diagrama que muestra una interfaz GUI ejemplar que permite al usuario ingresar información para identificar aparatos en la malla de dentición 3D. Como se muestra en la figura 15, una interfaz 1500 ejemplar GUI permite que el usuario coloque los nodos para una operación de "serpentina", que rodea automáticamente los límites del aparato 1502, según los nodos ingresados. En la figura 15 se muestra un límite 1503 de aparato ejemplar generado por la operación "serpentina". La "serpentina" es un modelo de forma activa que se utiliza con frecuencia en la segmentación automática de objetos en el procesamiento de imágenes, por ejemplo, al delinear el contorno de un objeto a partir de una imagen 2D posiblemente ruidosa. El modelo de forma activa de serpentina se utiliza en aplicaciones como seguimiento de objetos, reconocimiento de formas, segmentación, detección de bordes y coincidencia estéreo. El modelo de forma activa serpentina o el modelo de contorno activo es conocido por los expertos en la técnica de formación de imágenes.

La figura 16 muestra los vértices 1602 rodeados por el límite 1503 que se resaltan en la malla de dentición 3D después de que el usuario presionó el botón 1504 'ejecutar' en la figura 15. Los vértices 1602 identificados deben retirarse de la malla de dentición 3D original. En una realización ejemplar, el sistema 1500 GUI puede permitir que el usuario inspeccione los resultados 1602 intermedios, y si está satisfecho, el usuario presiona el botón 1506 'cortar', luego los vértices 1602 cambian su resaltado (por ejemplo, color, textura, etc.) para indicar que estos vértices deben retirarse de la malla de dentición 3D original. En una realización ejemplar, el operador puede realizar la extracción automática de los aparatos de la superficie de los dientes en base a las instrucciones del operador en la etapa 1406 presionando el botón 1506 "cortar".

A continuación, las superficies de los dientes se rellenan o reconstruyen en la etapa 1408. En una realización ejemplar, la etapa 1408 se realiza cuando el usuario presiona el botón 1508 "llenar" en la figura 15 para reconstruir las superficies de los dientes. La etapa 1408 se puede realizar usando algoritmos conocidos como los descritos aquí con respecto a la figura 10. Luego, los resultados pueden visualizarse para inspección en la etapa 1410. La figura 17 muestra un ejemplo de una superficie 1702 de diente reconstruida después de que se quita el aparato. Alternativamente, los resultados de la etapa 1408 podrían almacenarse o transmitirse a través de una red a un ordenador remoto para su uso.

De nuevo, en la figura 14, las operaciones se pueden realizar diente a diente, en una pluralidad de dientes o en todos los dientes simultáneamente a la vez con respecto a la malla de dentición 3D. Las figuras 18-20 son diagramas que muestran una extracción completa de todos los aparatos al mismo tiempo de una malla 3D de mandíbula. La figura 18 es un diagrama que muestra una malla 1800 de dentición 3D con dientes, aparatos y encía. La figura 19 es un diagrama que muestra los resultados intermedios de la operación de corte "serpentina" con los vértices 1802 que deben retirarse resaltados. La figura 20 es un diagrama que muestra cada una de las superficies 1806 finales de los dientes reconstruidos después de que se quitan todos los aparatos y se completan todas las operaciones de relleno.

Cabe señalar que las acciones del usuario descritas anteriormente, como presionar el botón "cortar", presionar el botón "llenar" y presionar el botón "ejecutar", son ilustrativas. En realidad, estas acciones no son necesarias y pueden realizarse automáticamente mediante un software de ordenador.

En algunos casos, los modelos 3D de dentición producidos por un escáner intraoral pueden contener alambres que unen dos aparatos vecinos. En esta situación, las realizaciones descritas anteriormente son insuficientes para retirar los aparatos y los cables. La figura 21A es un diagrama que muestra otro modelo de dentición ejemplar. Como se muestra en la figura 21A, el modelo 2100 de dentición incluye aparatos 2102, encías 2104, dientes 2106 y aparatos con puente donde un cable 2108 conecta al menos el aparato 2110 y el aparato 2112. Generalmente, los cables 2108 conectan todos los aparatos 2102. Como se muestra en la figura 21B, el cable 2108 puede borrarse de forma automática o interactiva de acuerdo con ciertos procedimientos ejemplares y/o realizaciones de aparatos de la aplicación.

La figura 23 es un diagrama de flujo lógico que muestra una secuencia ejemplar para la extracción del aparato en puente de las superficies de malla de los dientes de acuerdo con una realización de la aplicación. Como se muestra en la figura 23, en la etapa 2302 se obtiene un modelo de dentición con aparatos en puente, al que sigue inmediatamente la etapa 2304 que incluye "romper automáticamente el puente". Una realización de detección ejemplar que puede usarse para romper automáticamente el puente (o cable) se describe a continuación.

Dado un vértice V en el modal de malla de dentición, realice una búsqueda de vecino más cercano con un radio ejemplar de 5 mm que resulte en un conjunto de vértices vecinos VN. Verifica la normal de cada uno de los vértices en VN. Si se encuentra que hay al menos un vértice en VN cuya normal apunta a la dirección opuesta a la normal de V (por ejemplo, si el producto escalar de estos dos vectores normales $<-0,9$), entonces V es un vértice candidato en el cable (o puente). Este procedimiento se aplica a toda la malla dando como resultado una pluralidad de vértices candidatos. Dichos vértices candidatos se utilizan para calcular una pluralidad de regiones conectadas. Cada una de dichas regiones conectadas se analiza utilizando el algoritmo de análisis de componentes principales comúnmente utilizado por los expertos en la técnica para la detección de forma (por ejemplo, alambre). En la figura 21C se muestra

un resultado 2118 ejemplar de detección de puente (cable) resultante de la etapa 2306. Estos vértices de la malla de dentición 3D detectados en la etapa 2306 (por ejemplo, asociados con los cables 2108) se excluyen o quitan de la malla de dentición 3D en las etapas 2306-2308 posteriores.

La etapa 2306 emplea procedimientos ejemplares automáticos o interactivos para retirar los aparatos desconectados. La superficie del diente que quitó el aparato se reconstruye automáticamente en la etapa 2308 y los resultados se muestran para su inspección en la etapa 2310. Por ejemplo, las etapas 2306 y 2308 se pueden realizar como se describió anteriormente para las figuras 10 y 14, respectivamente.

En la figura 22, se muestra un resultado 2204 real para la extracción de los aparatos en puente. La superficie reconstruida del diente 2210 y el diente 2212 en la figura 22 corresponden al aparato 2110 y al aparato 2112 en la figura 21A antes de que se quiten los aparatos y el alambre 2108.

La figura 24 es un diagrama de flujo lógico que muestra otra realización de procedimiento ejemplar que trata con la extracción de aparatos en puente. Como se muestra en la figura 24, en la etapa 2402 se adquiere un modelo de dentición con aparatos en puente, que es seguido inmediatamente por una etapa 2404 de "romper interactivamente dicho puente". En una realización ejemplar, la operación interactiva borra efectivamente los alambres delgados con la ayuda de un humano seleccionando y eliminando los vértices de malla que pertenecen a los alambres delgados en la etapa 2404. En una realización ejemplar, la etapa 2404 puede usar una GUI con acciones de operador seleccionables para "borrar", "pintar" (por ejemplo, el operador identifica píxeles que muestran cables), "pintar automáticamente", "aprobar" (por ejemplo, pintar o pintar automáticamente), y "borrar" para romper interactivamente los puentes o retirar los alambres de la malla de dentición 3D en base a las instrucciones del operador. Luego, la etapa 2406 emplea un procedimiento automático o interactivo para retirar los aparatos desconectados como se describió previamente. Las superficies del diente que quitó el aparato se pueden reconstruir automáticamente en la etapa 2408 como se describió anteriormente. Luego, los resultados se muestran para su inspección en la etapa 2410.

Como se describe en el presente documento, las realizaciones de procedimientos y/o aparatos ejemplares para retirar los aparatos con puente y restaurar las superficies de los dientes en un modelo de dentición 3D pretenden ser ejemplos ilustrativos y la aplicación no está limitada a ello. Por ejemplo, en una realización ejemplar, Los aparatos con puente se pueden retirar y las superficies de los dientes restauradas identificando automáticamente partes de un aparato y/o alambre sin intervención humana en un modelo de dentición 3D obtenido al hacer crecer las partes identificadas en una región que cubre los aparatos y/o alambres por completo (por ejemplo, y preferiblemente ligeramente más allá de los límites de los aparatos y/o cables). retirar la región de la superficie del modelo de dentición 3D y restaurar las superficies de la región retirada mediante técnicas de relleno de agujeros. En algunas formas de realización ejemplares, el relleno de agujeros puede rellenar partes de la encía.

De acuerdo con una realización, la presente divulgación puede usar un programa informático con instrucciones almacenadas que controlan las funciones del sistema para la adquisición de imágenes y el procesamiento de datos de imágenes para datos de imágenes que se almacenan y se accede desde una memoria electrónica. Como pueden apreciar los expertos en las técnicas de procesamiento de imágenes, un programa informático de una realización de la presente invención puede ser utilizado por un sistema informático de propósito general adecuado, tal como un ordenador personal o estación de trabajo que actúa como procesador de imágenes, cuando se proporciona un programa de software adecuado para que el procesador funcione para adquirir, procesar, transmitir, almacenar y mostrar datos como se describe en el presente documento. Se pueden usar muchos otros tipos de arquitecturas de sistemas informáticos para ejecutar el programa informático de la presente invención, incluida una disposición de procesadores en red, por ejemplo.

El programa de ordenador para realizar el procedimiento de la presente invención puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador. Este medio puede comprender, por ejemplo; medios de almacenamiento magnéticos como un disco magnético como un disco duro o un dispositivo extraíble o cinta magnética; medios de almacenamiento óptico como un disco óptico, cinta óptica o codificación óptica legible por máquina; dispositivos de almacenamiento electrónico de estado sólido, como memoria de acceso aleatorio (RAM) o memoria de solo lectura (ROM); o cualquier otro dispositivo físico o medio empleado para almacenar un programa de ordenador. El programa de ordenador para realizar el procedimiento de la presente invención también puede almacenarse en un medio de almacenamiento legible por ordenador que está conectado al procesador de imágenes a través de Internet u otra red o medio de comunicación. Los expertos en la técnica del procesamiento de datos de imágenes reconocerán además fácilmente que el equivalente de tal producto de programa informático también puede construirse en hardware.

Se observa que el término "memoria", equivalente a "memoria accesible por ordenador" en el contexto de la presente divulgación, puede referirse a cualquier tipo de espacio de trabajo de almacenamiento de datos temporal o más duradero utilizado para almacenar y operar con datos de imagen y accesible a un sistema informático, incluida una base de datos. La memoria podría ser no volátil, utilizando, por ejemplo, un medio de almacenamiento a largo plazo como un almacenamiento magnético u óptico. Alternativamente, la memoria podría ser de naturaleza más volátil, usando un circuito electrónico, como una memoria de acceso aleatorio (RAM) que se usa como un búfer temporal o espacio de trabajo por un microprocesador u otro dispositivo procesador de lógica de control. Los datos de visualización, por ejemplo, se almacenan típicamente en un búfer de almacenamiento temporal que está directamente asociado con un dispositivo de visualización y se actualiza periódicamente según sea necesario para proporcionar

datos visualizados. Este búfer de almacenamiento temporal también puede considerarse una memoria, como se usa el término en la presente divulgación. La memoria también se utiliza como espacio de trabajo de datos para ejecutar y almacenar resultados intermedios y finales de cálculos y otros procesos. La memoria accesible por ordenador puede ser volátil, no volátil o una combinación híbrida de tipos volátiles y no volátiles.

5 Se entiende que el producto de programa informático de la presente divulgación puede hacer uso de varios algoritmos y procesos de manipulación de imágenes que son bien conocidos. Se entenderá además que la realización del producto de programa informático de la presente invención puede incorporar algoritmos y procesos no mostrados o descritos específicamente en el presente documento que son útiles para la implementación. Dichos algoritmos y procesos pueden incluir utilidades convencionales que se encuentran dentro del conocimiento ordinario de las técnicas de procesamiento de imágenes. Aspectos adicionales de tales algoritmos y sistemas, y hardware y/o software para producir y procesar las imágenes o cooperar con el producto de programa informático de la presente invención, no se muestran o describen específicamente en el presente documento y pueden seleccionarse de tales algoritmos, sistemas, hardware, componentes y elementos conocidos en la técnica.

15 En este documento, los términos "un" o "una" se usan, como es común en los documentos de patente, para incluir uno o más de uno, independientemente de cualquier otro caso o uso de "al menos uno" o "uno o más". En este documento, el término "o" se usa para referirse a un o no exclusivo, tal que "A o B" incluye "A pero no B", "B pero no A" y "A y B", a menos que se indique lo contrario. En este documento, los términos "que incluye" y "en el cual" se utilizan como equivalentes en inglés simple de los términos respectivos "que comprende" y "en el que". Además, en las siguientes reivindicaciones, los términos "que incluye" y "que comprende" son de final abierto, es decir, un sistema, dispositivo, artículo o proceso que incluye elementos además de los enumerados después de dicho término en una reclamación todavía se considera que están dentro del alcance de esa reclamación.

20 Las realizaciones ejemplares de acuerdo con la solicitud pueden incluir varias características descritas en el presente documento (individualmente o en combinación).

25 Si bien la invención se ha ilustrado con respecto a una o más implementaciones, se pueden realizar alteraciones y/o modificaciones a los ejemplos ilustrados sin apartarse del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Por lo tanto, las realizaciones divulgadas actualmente se consideran en todos los aspectos ilustrativas y no restrictivas. Además, aunque una característica particular de la invención puede haber sido divulgadas con respecto a una de varias implementaciones, dicha característica puede combinarse con una o más características de las otras implementaciones según se desee y sea ventajoso para cualquier función dada o particular. El término "al menos uno de" se utiliza para indicar que se pueden seleccionar uno o más de los elementos enumerados. El término "aproximadamente" indica que el valor enumerado se puede alterar algo, siempre que la alteración no dé como resultado la no conformidad del proceso o la estructura con la realización ilustrada. Otras realizaciones de la invención resultarán evidentes para los expertos en la técnica a partir de la consideración de la especificación y la práctica de la invención divulgada en el presente documento. Se pretende que la memoria descriptiva y los ejemplos se consideren únicamente a modo de ejemplo, con el alcance de la invención indicado por las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento implementado por ordenador para generar un modelo digital de la dentición reconstruida a partir de un modelo digital de la dentición de un paciente, el procedimiento comprende:

5 obtener (1002; 1402; 2302; 2402) un primer modelo digital 3-D de malla de la dentición que incluye aparatos de ortodoncia, dientes y encías;
generar un segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición retirando (1008; 1406; 2306; 2406) porciones de alambre de los aparatos de ortodoncia del primer modelo digital 3-D de malla de la dentición;
generar un tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición retirando (1008; 1406; 2306; 2406) porciones de aparato de los aparatos de ortodoncia del segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición;
10 reconstruir (1010; 1408; 2308; 2408) las superficies de los dientes del tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición previamente cubierto por las porciones de alambre y las porciones de aparato de los aparatos de ortodoncia; y
mostrar (1012; 1410; 2310; 2410), transmitir o almacenar el modelo digital 3-D de malla de la dentición reconstruida.

15 2. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que la retirada de las porciones de alambre de los aparatos de ortodoncia separa los aparatos de ortodoncia en una pluralidad de secciones de aparato.

3. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que la reconstrucción (1010; 1408; 2308; 2408) de las superficies de los dientes utiliza un algoritmo de llenado de agujeros que comprende:

20 primero rellenar cada uno de una pluralidad de agujeros en el tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición usando un proceso de relleno poligonal para generar una superficie parcheada; y
alisar las superficies parcheadas en el tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición para generar el modelo digital 3-D de malla de la dentición reconstruida.

25 4. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que la reconstrucción (1010; 1408; 2308; 2408) de las superficies de los dientes utiliza datos de un modelo digital 3-D de malla de la dentición obtenido previamente del paciente antes de colocar los aparatos de ortodoncia.

5. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, que comprende además realizar la segmentación (S202) automática de los componentes del diente en el primer modelo digital 3-D de malla obtenido y mostrar (S220) los resultados de la segmentación automatizada, en el que los resultados de la segmentación automatizada distinguen uno o más dientes del tejido de la encía del paciente, y en el que los resultados de la segmentación automatizada distinguen los dientes individuales entre sí en dichos uno o más dientes.

6. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 5, que comprende además realizar la segmentación (S212) interactiva de los resultados de la segmentación automatizada según una instrucción (S216) del operador, en el que los resultados de la segmentación automatizada distinguen dichos dientes individuales entre sí.

35 7. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que retirar (1008; 1406; 2306; 2406) las porciones del aparato de los aparatos de ortodoncia del segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición comprende

realizar la segmentación interactiva de las partes del aparato de acuerdo con una instrucción del operador en el segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición; y

retirar, utilizando un procesador lógico de control, las porciones de aparatos segmentadas del segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición.

40 8. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 7, en el que la instrucción del operador comprende un segmento de línea trazada.

9. El procedimiento implementado por ordenador de la reivindicación 1, en el que obtener el primer modelo digital 3-D de malla de la dentición comprende adquirir una pluralidad de imágenes de luz estructuradas de una cámara intraoral portátil.

45 10. Un aparato que tiene medios adaptados para ejecutar las etapas del procedimiento implementado por ordenador de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, el aparato configurado para generar un modelo digital de dentición, que comprende:

50 medios para obtener primero un modelo digital 3-D de malla tridimensional de la dentición del paciente, incluidos los aparatos de ortodoncia, los dientes y la encía;
medios para generar un segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición retirando porciones de alambre de los aparatos de ortodoncia del primer modelo digital 3-D de malla de la dentición;
medios para generar un tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición retirando porciones de aparato de los aparatos de ortodoncia del segundo modelo digital 3-D de malla de la dentición;

medios para reconstruir las superficies de los dientes del tercer modelo digital 3-D de malla de la dentición previamente cubierto por las porciones de alambre y las porciones de aparato de los aparatos de ortodoncia; y medios para mostrar, almacenar o transmitir a través de una red a otro ordenador, el modelo digital 3-D de malla de la dentición reconstruida.

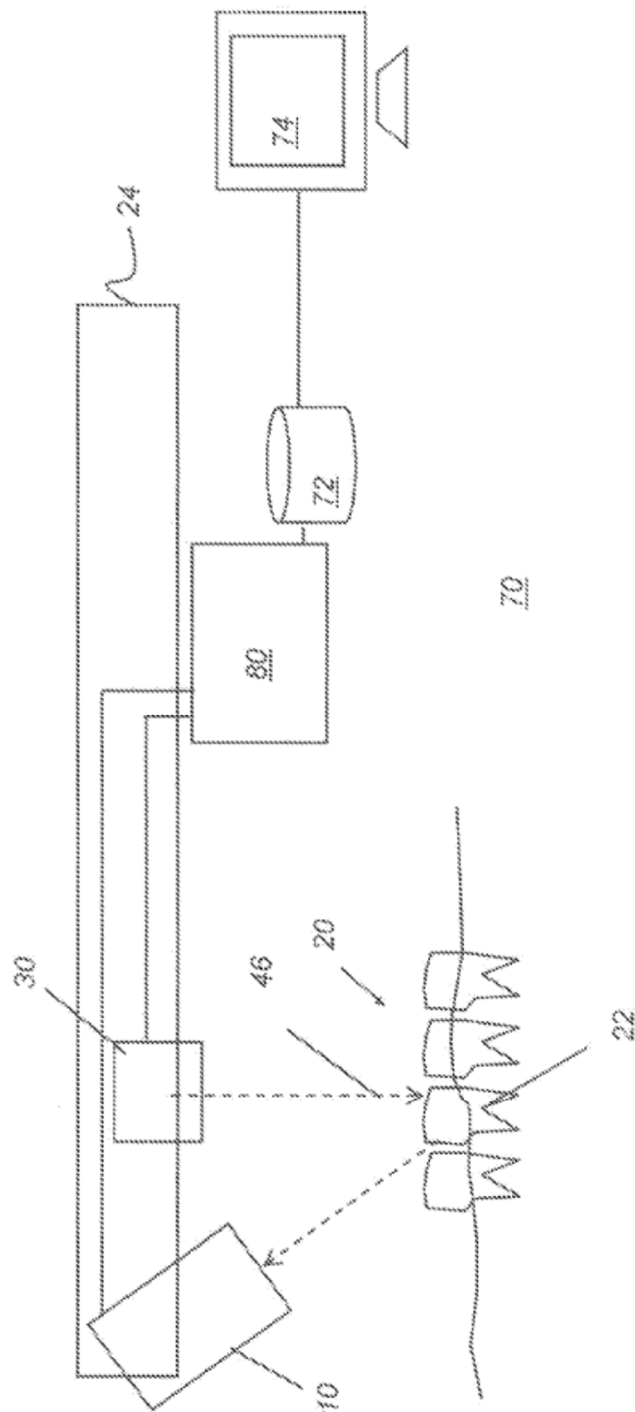


FIG. 1

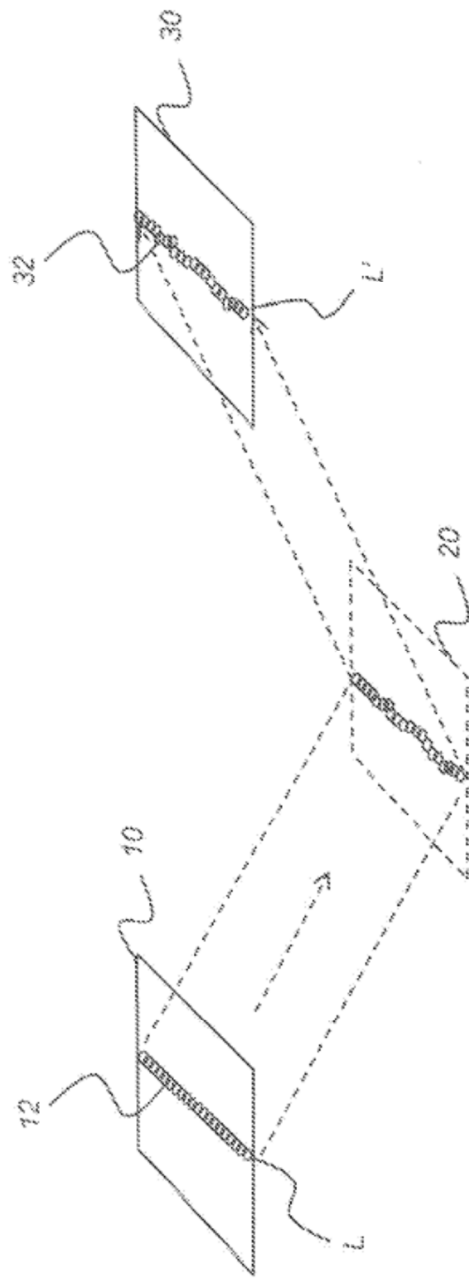


FIG. 2

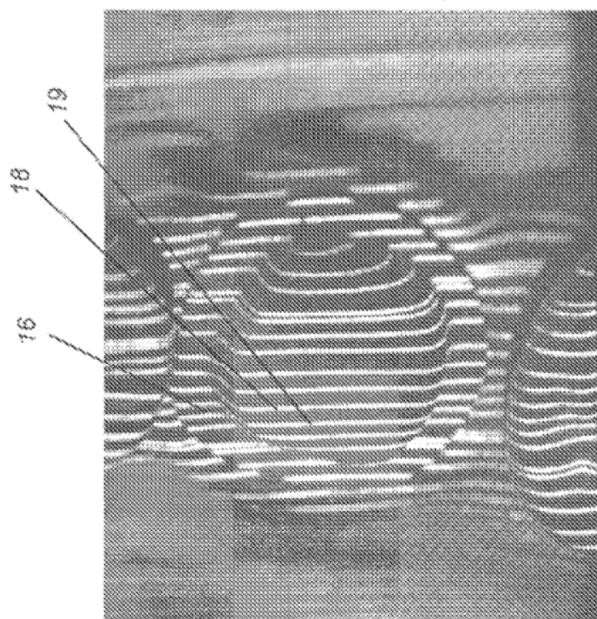


FIG. 3

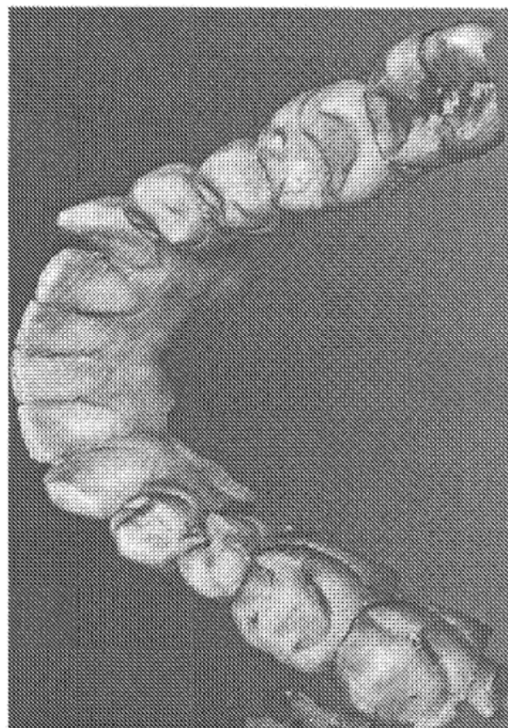


FIG. 4



60

FIG. 5

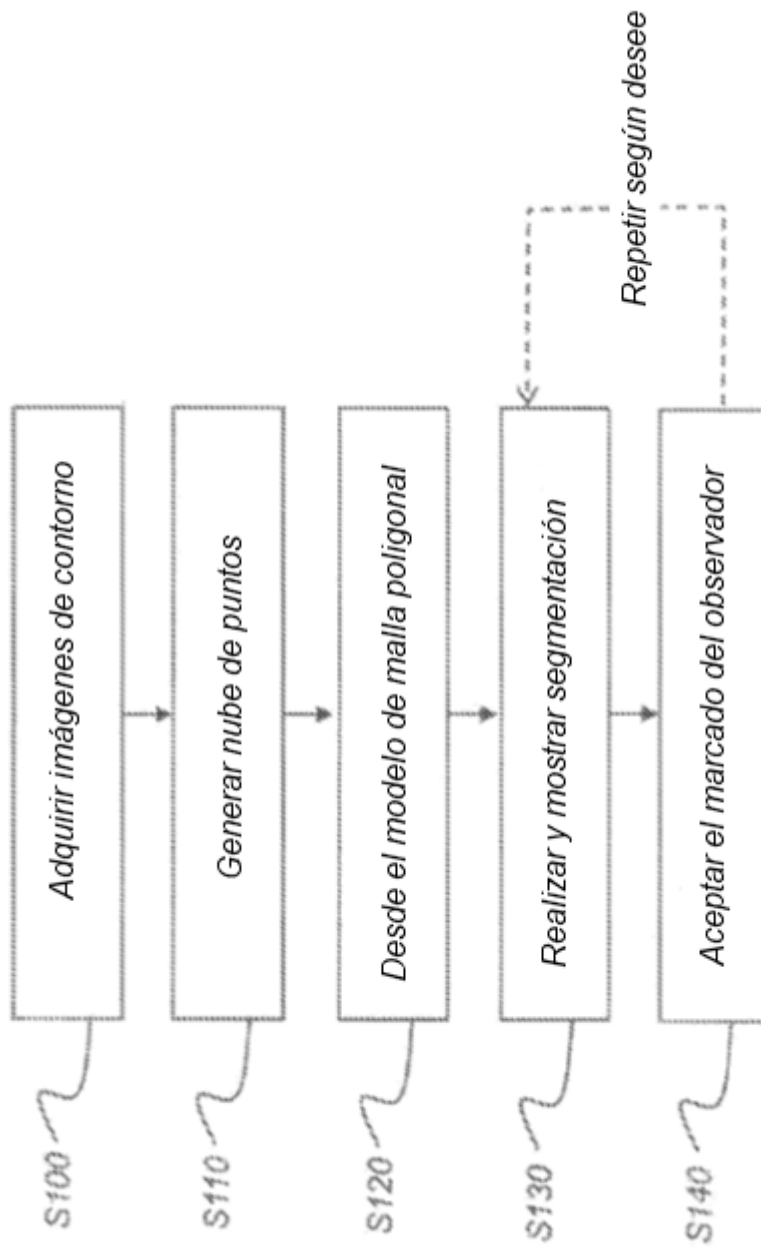


FIG. 6A

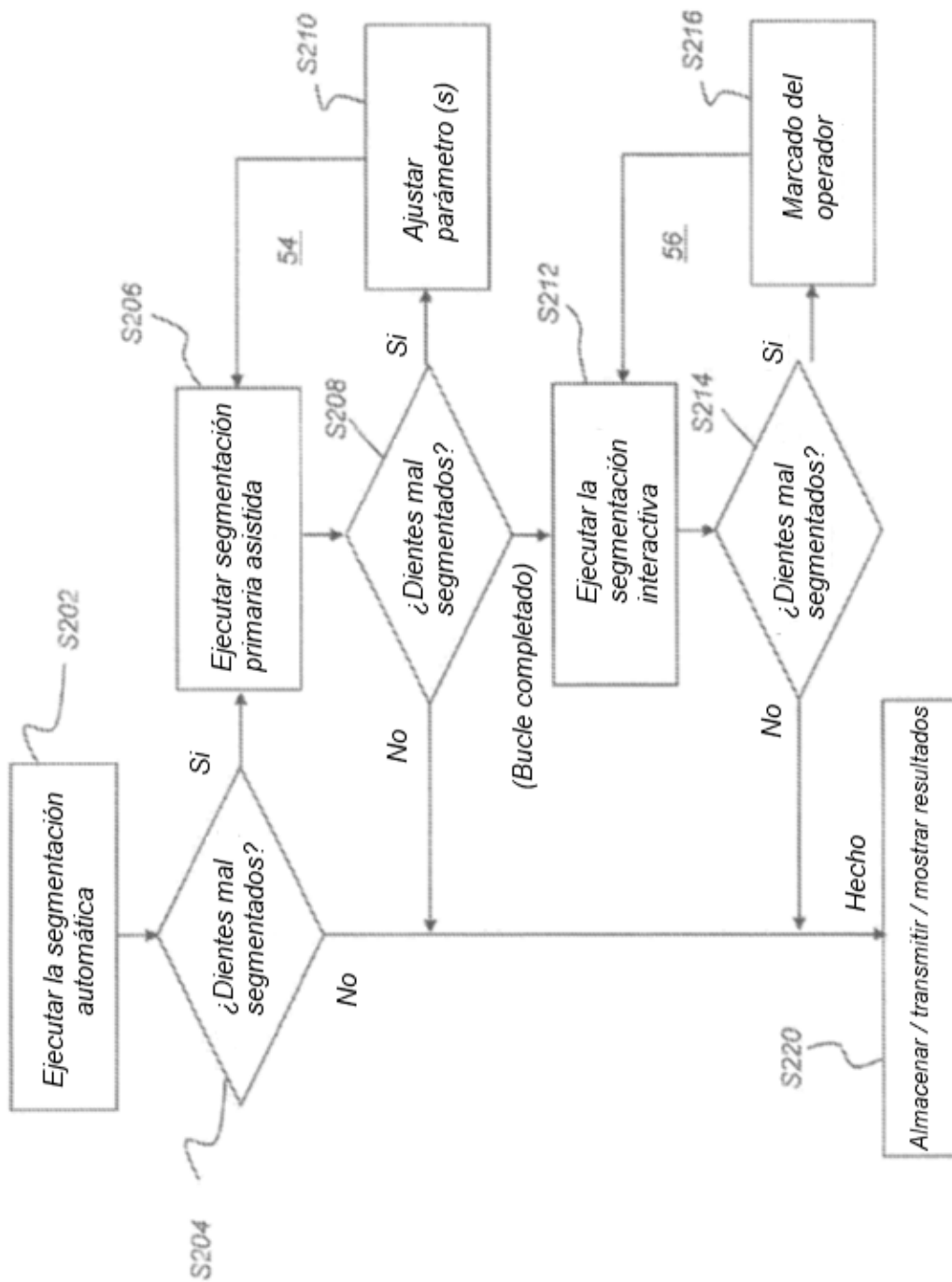


FIG. 6B

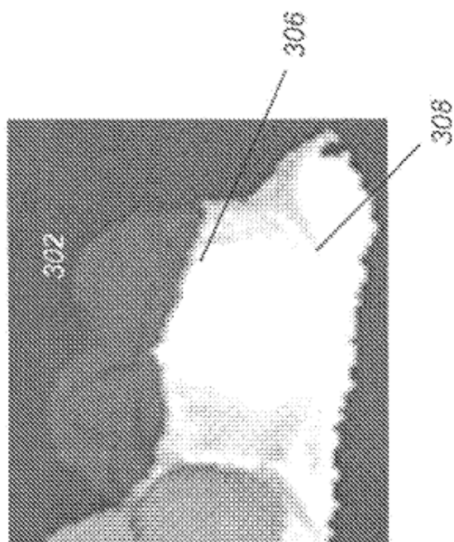


FIG. 7A

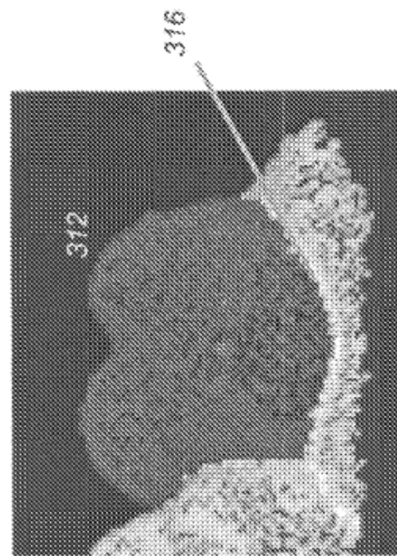


FIG. 7B

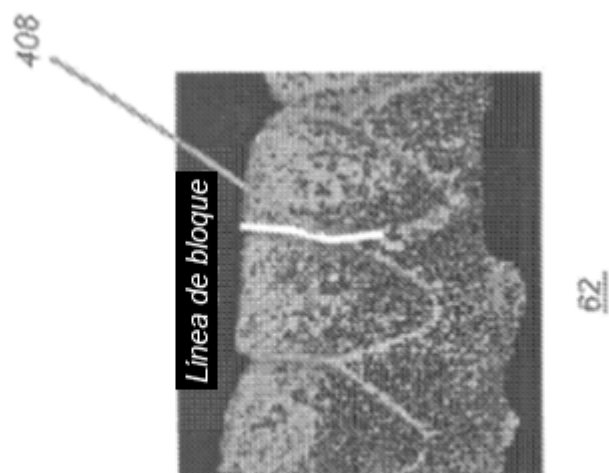


FIG. 8B

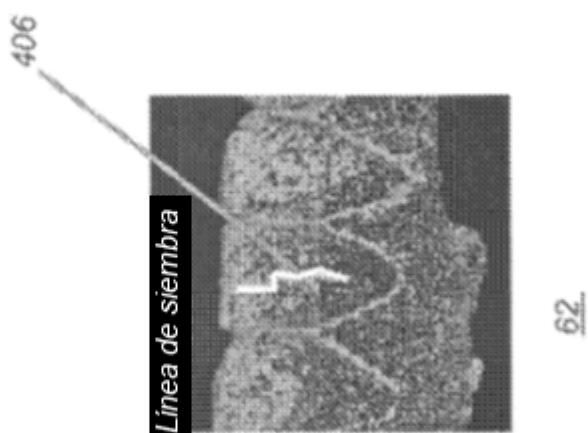
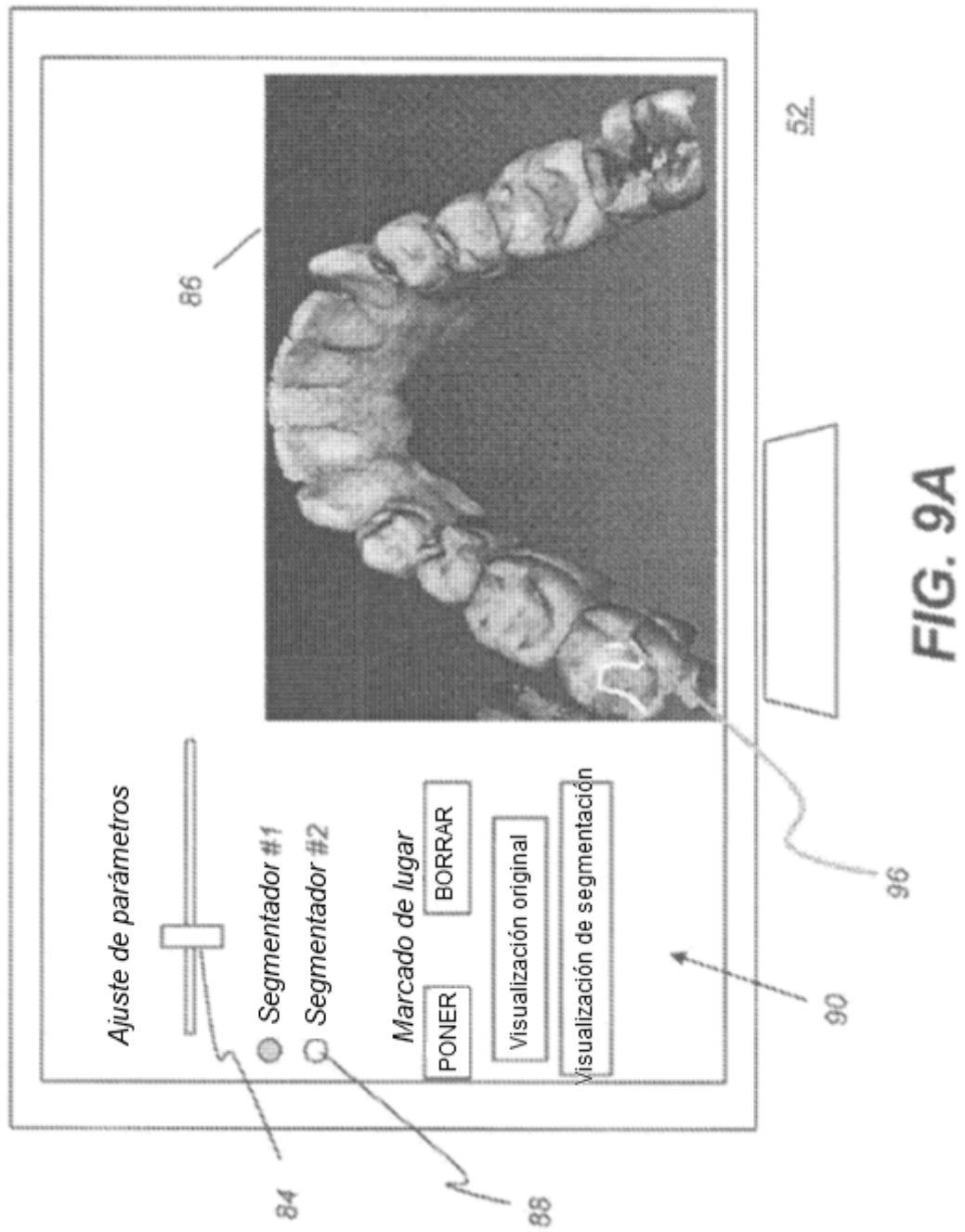


FIG. 8A



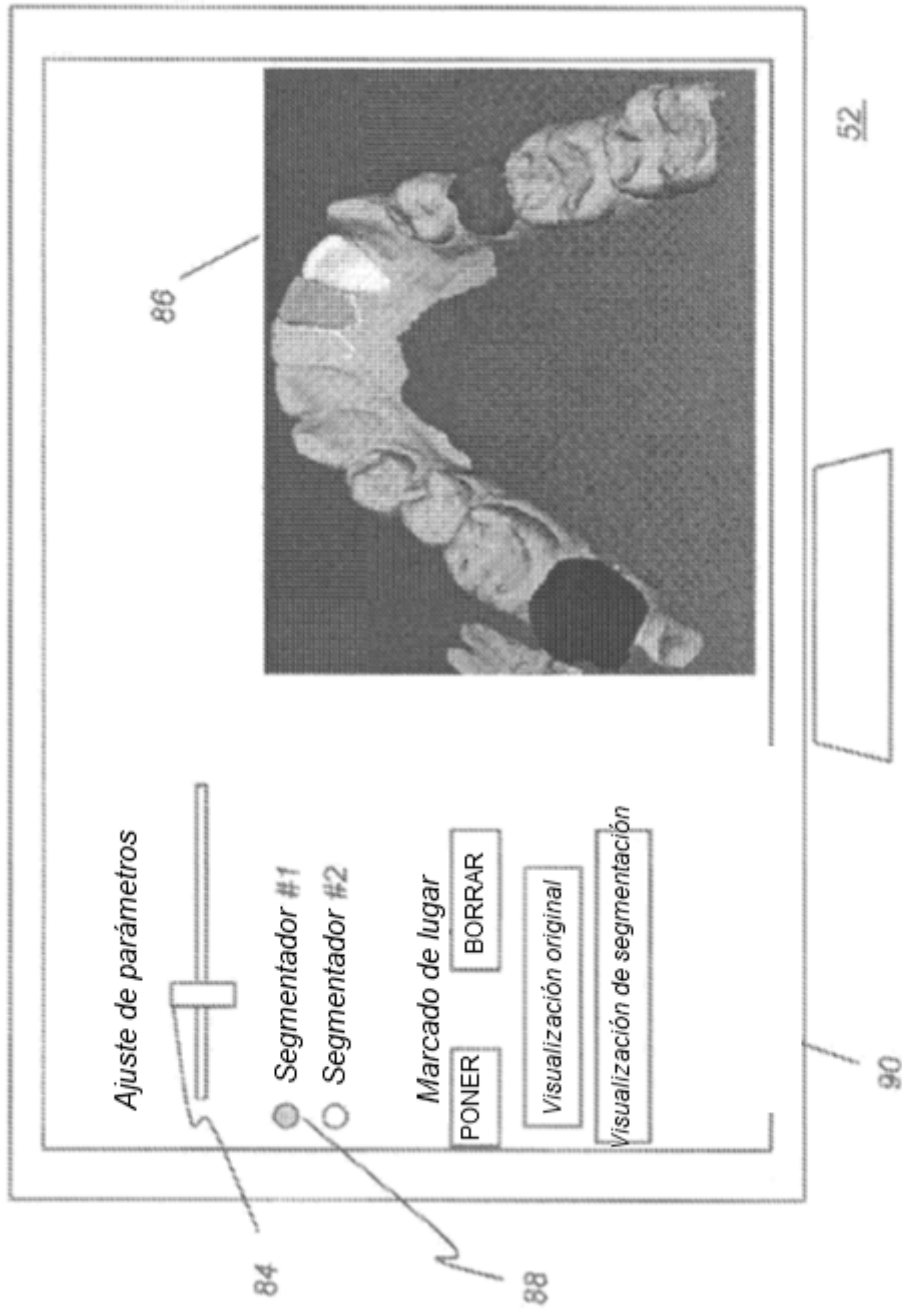
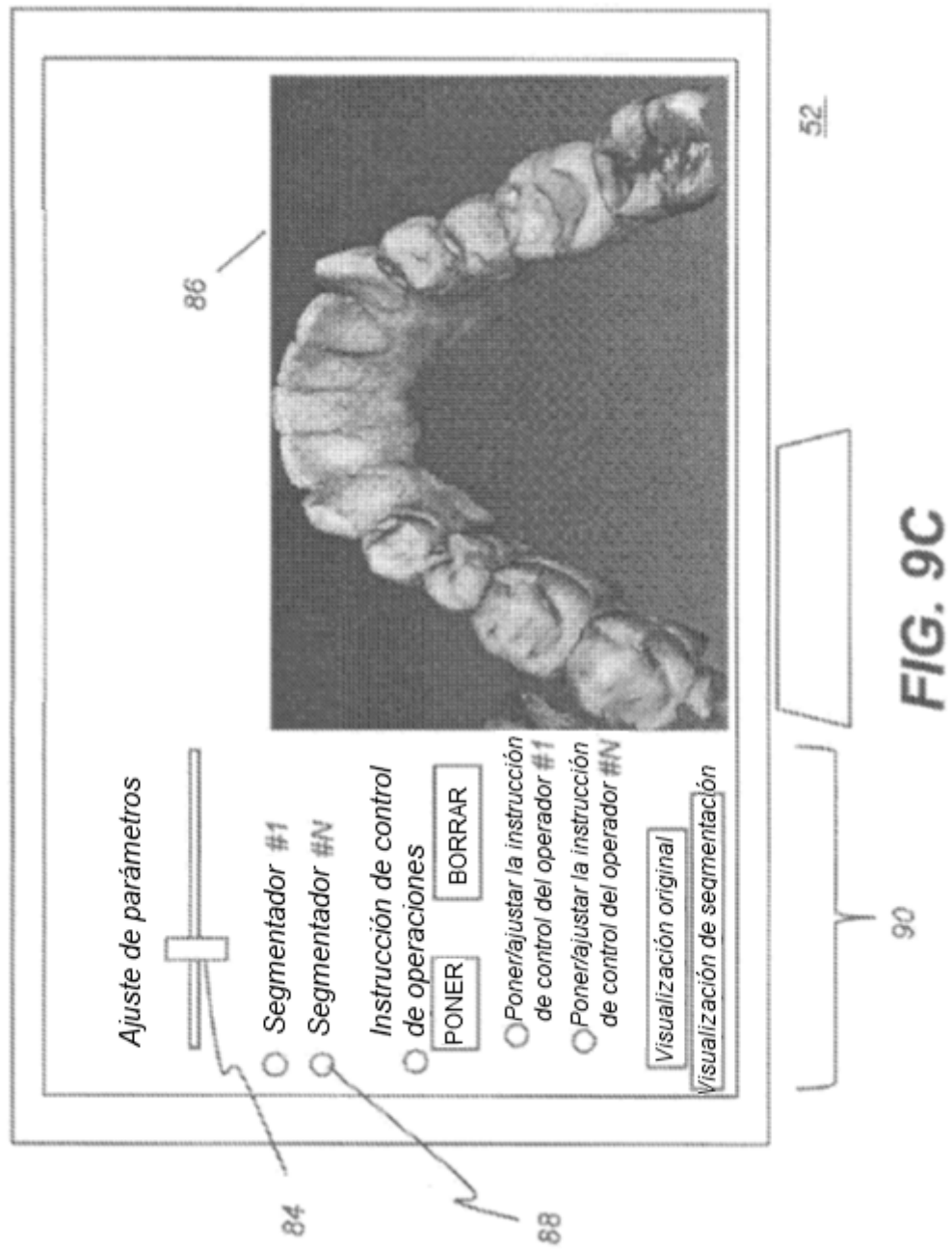


FIG. 9B



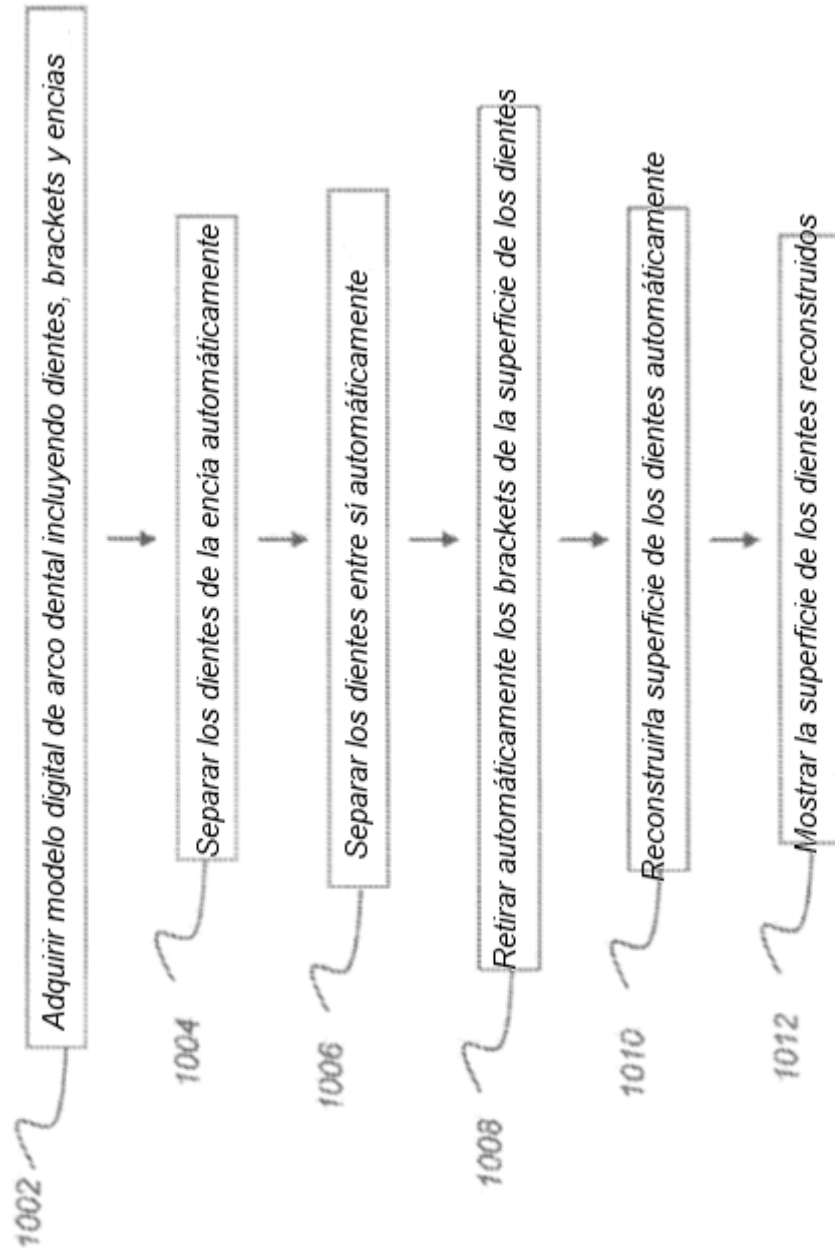


FIG. 10

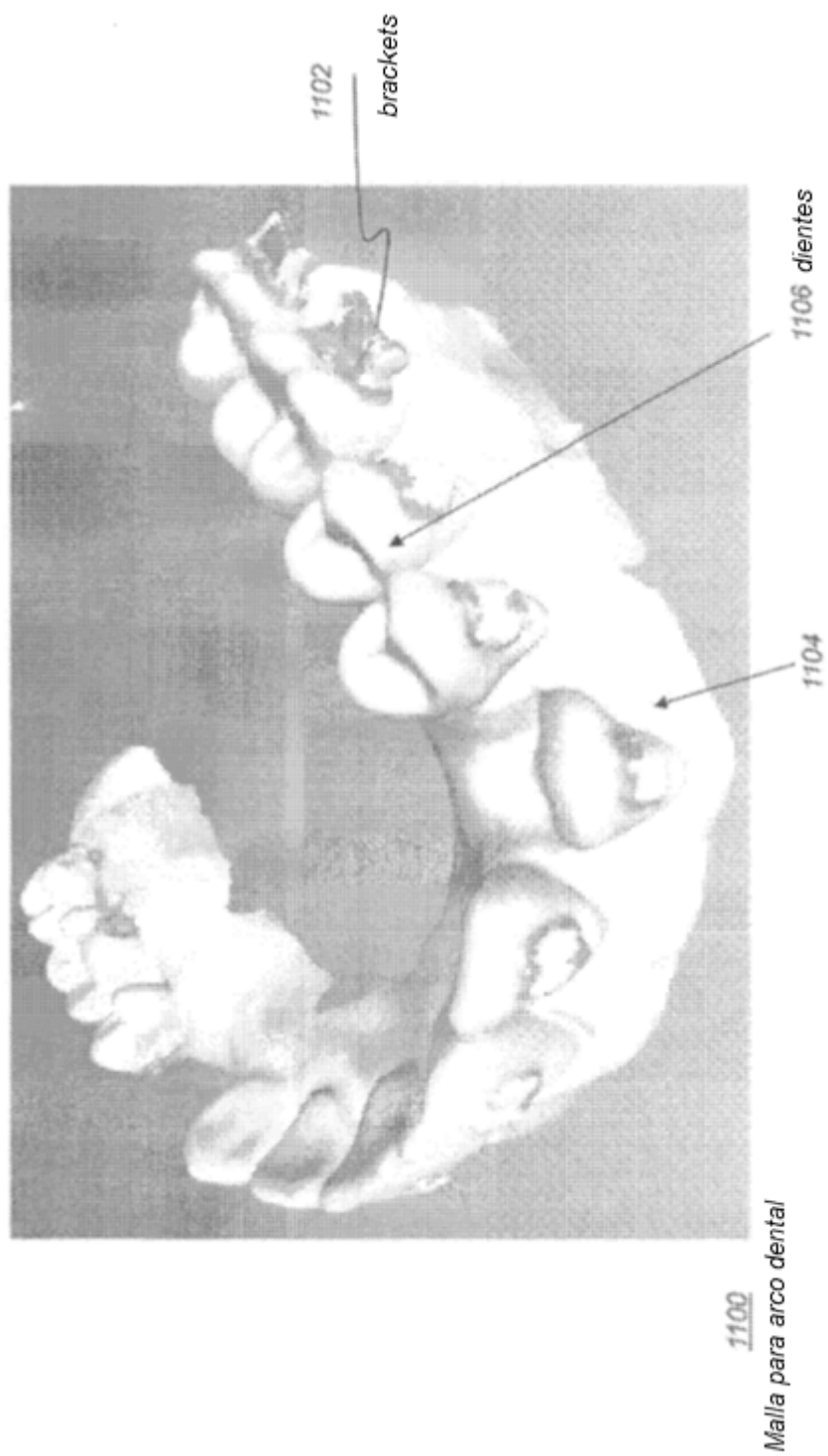
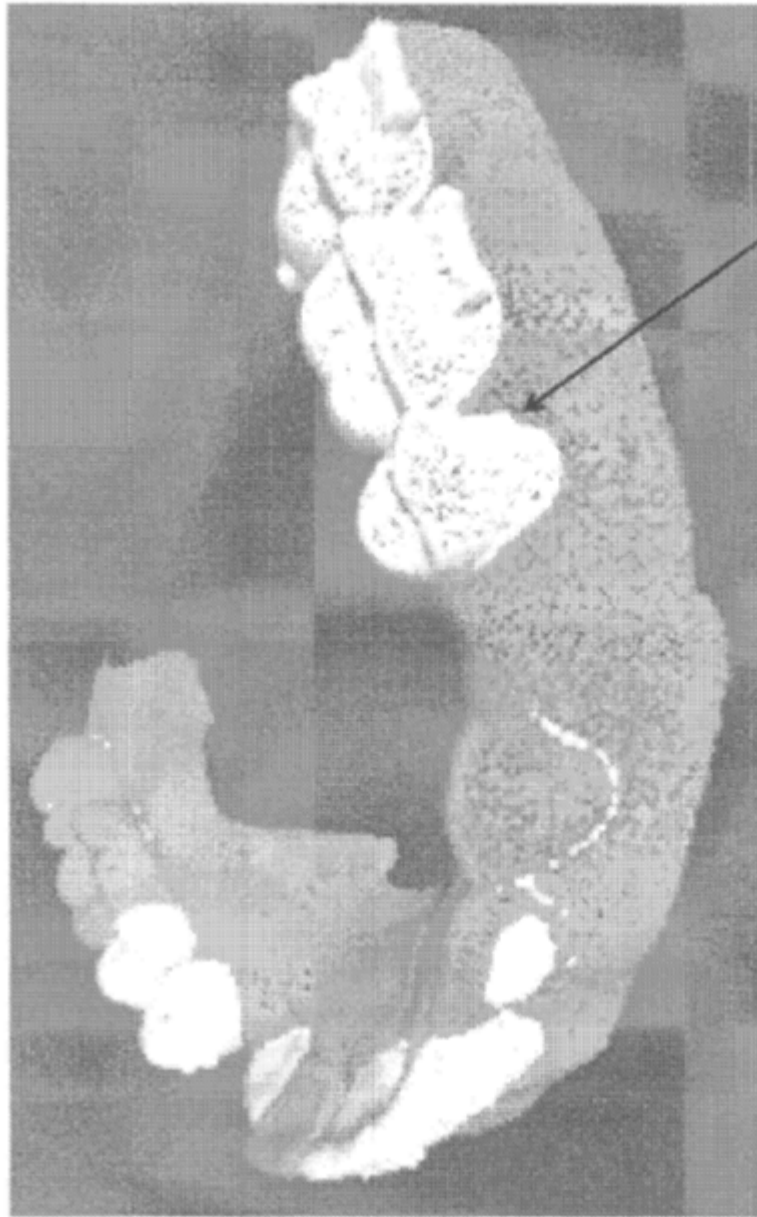


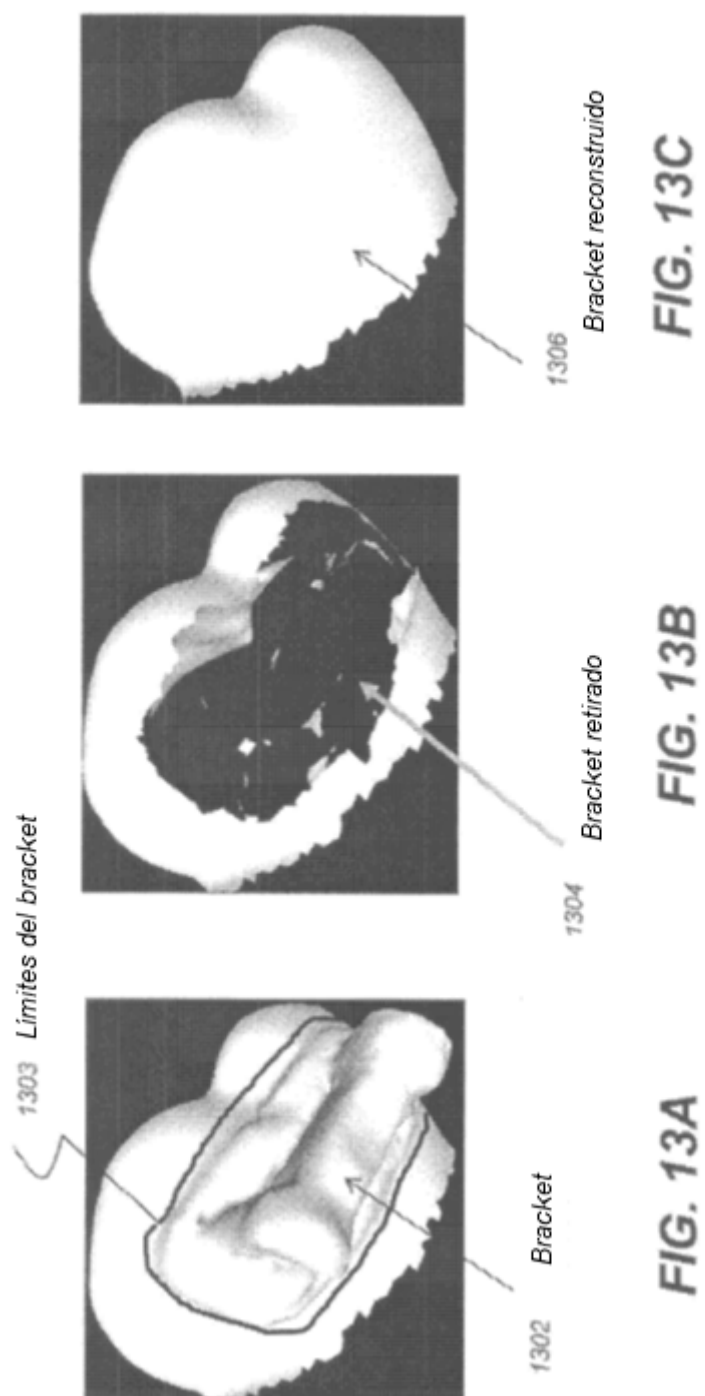
FIG. 11



Dientes separados

1202

FIG. 12



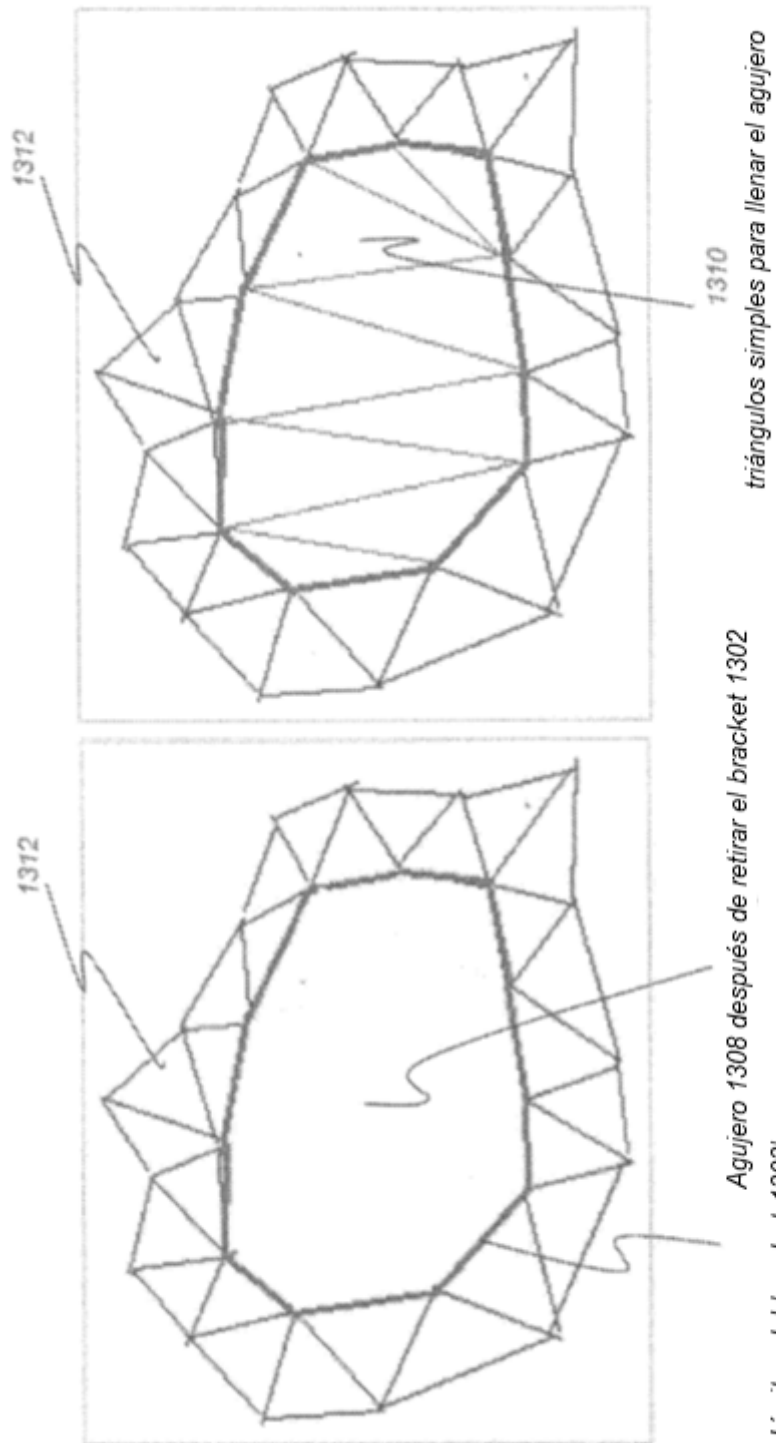


FIG. 13E

FIG. 13D

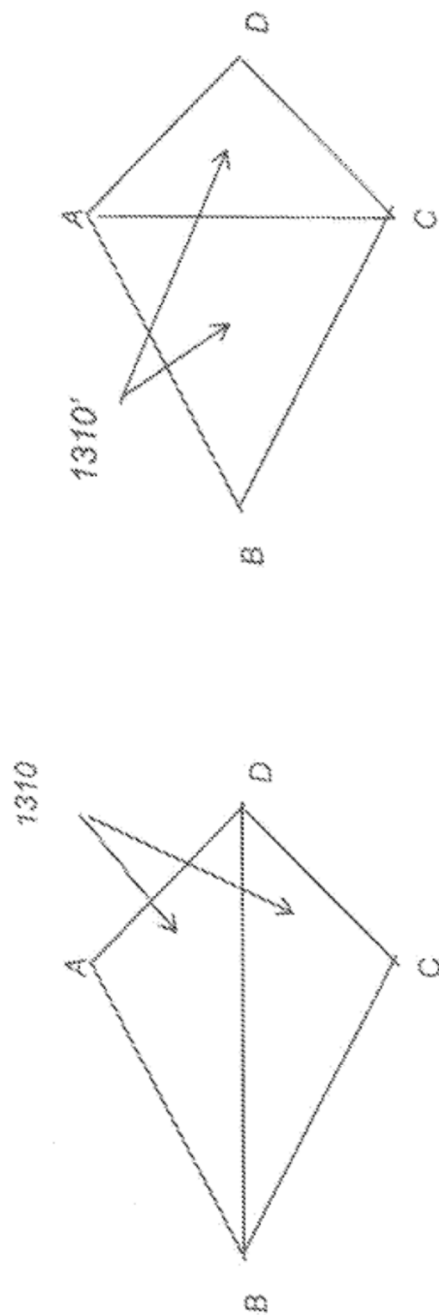


FIG. 13F

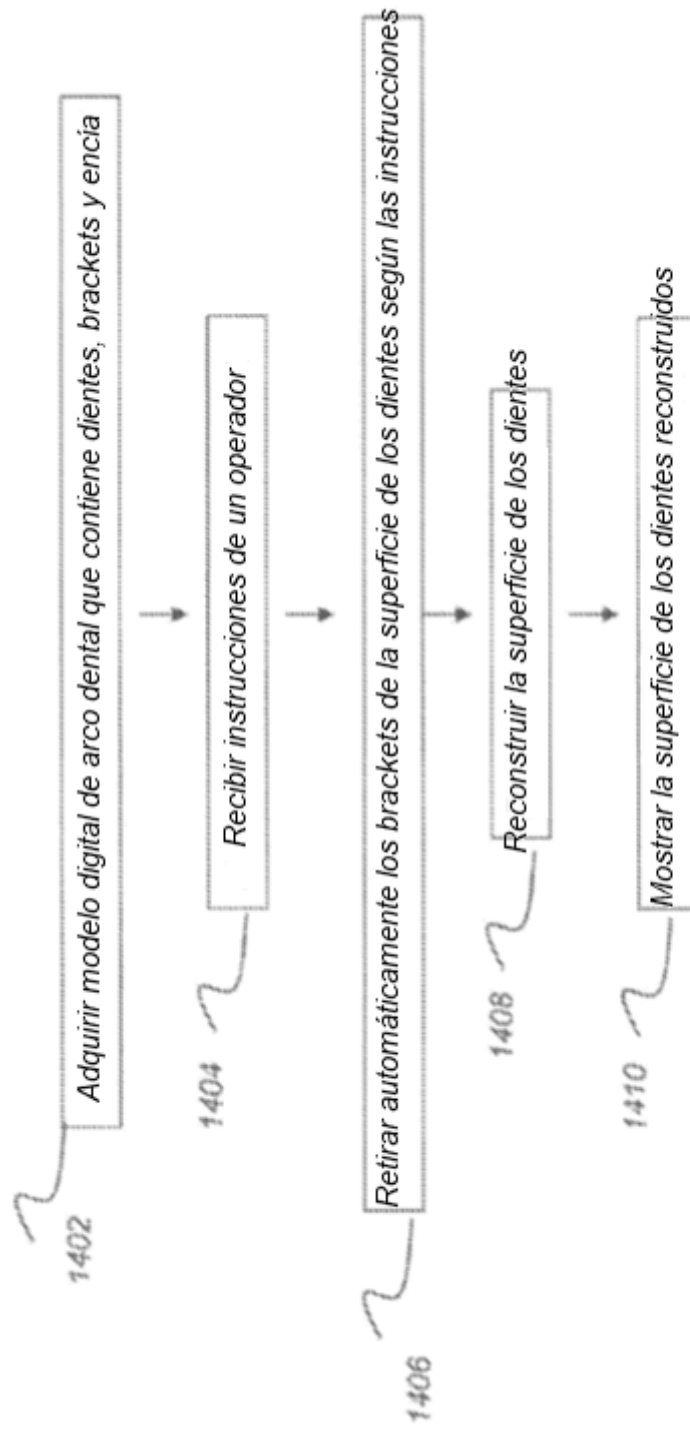


FIG. 14

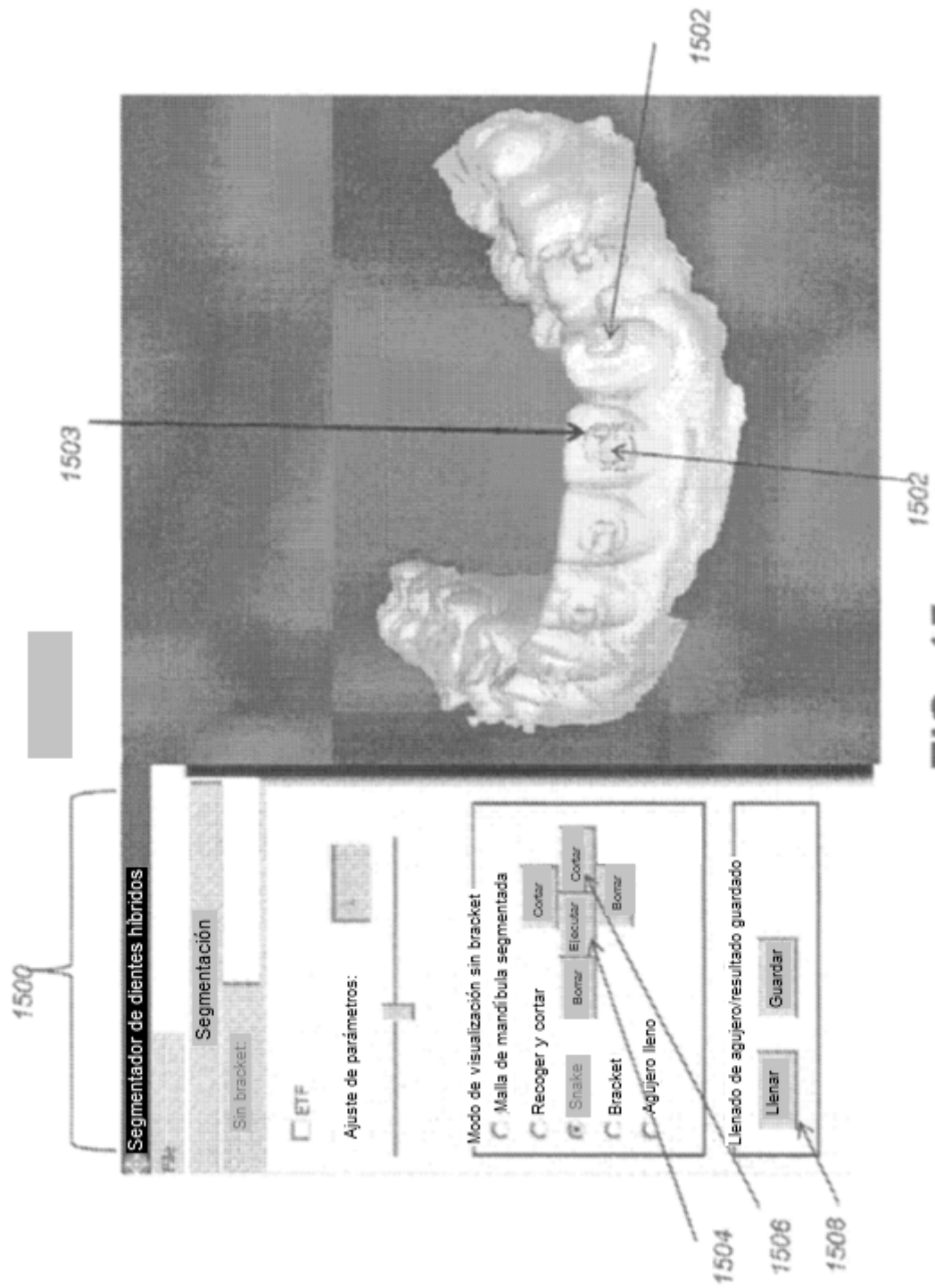
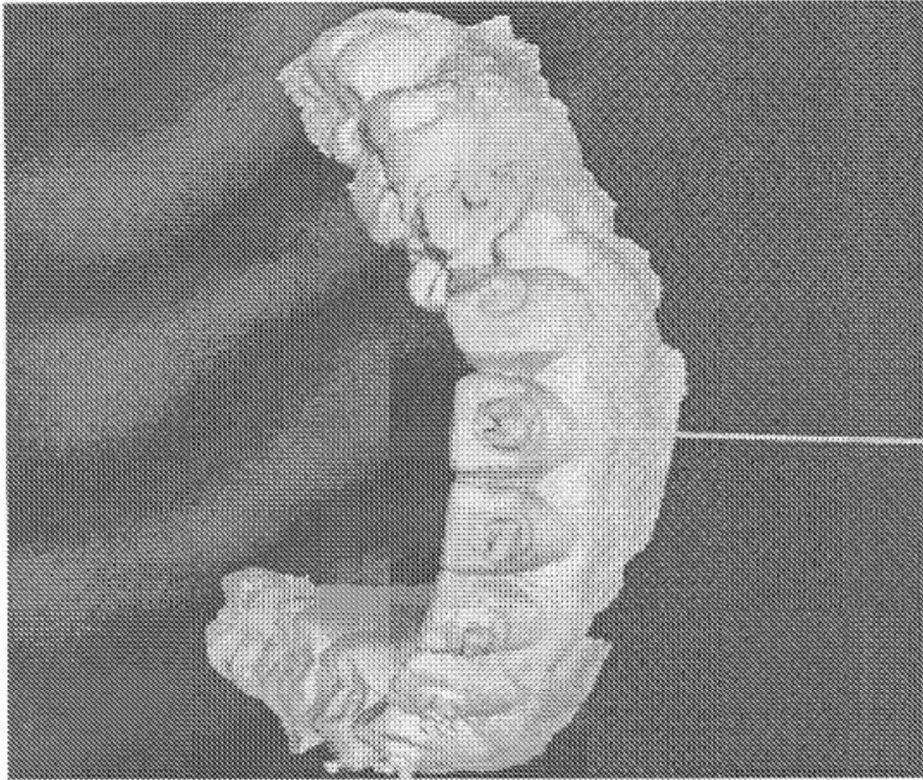


FIG. 15



1602

FIG. 16

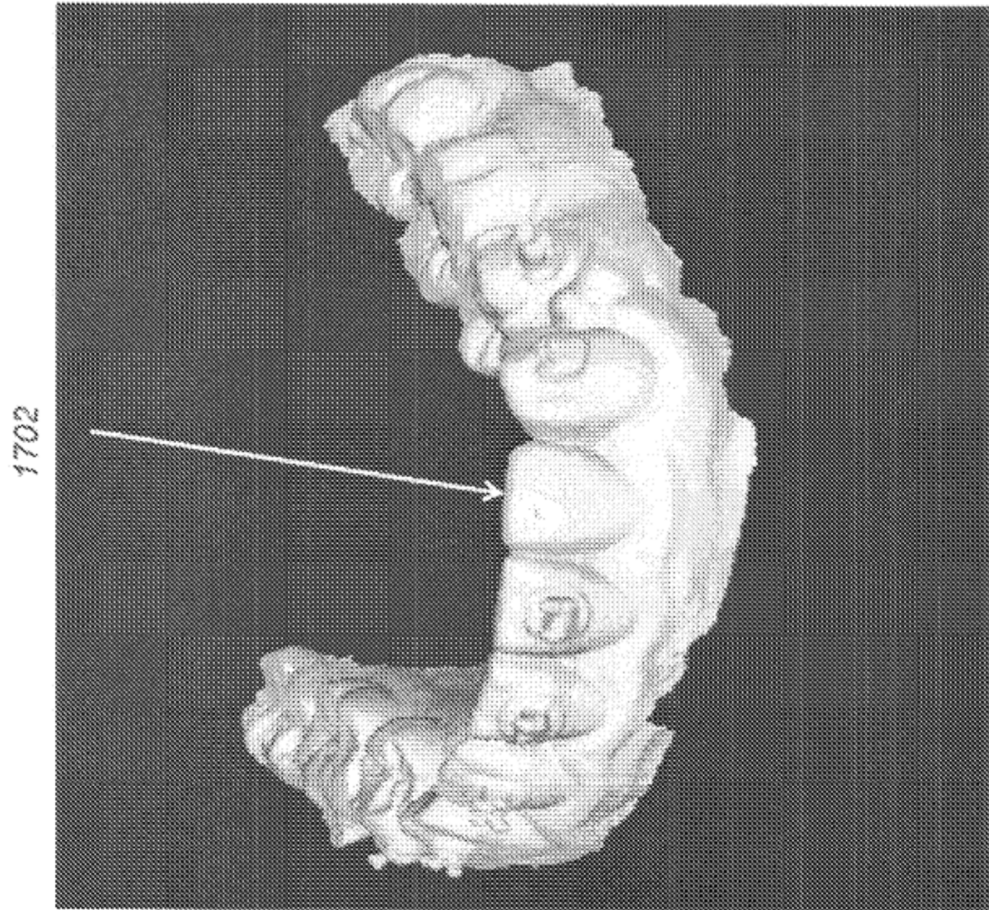
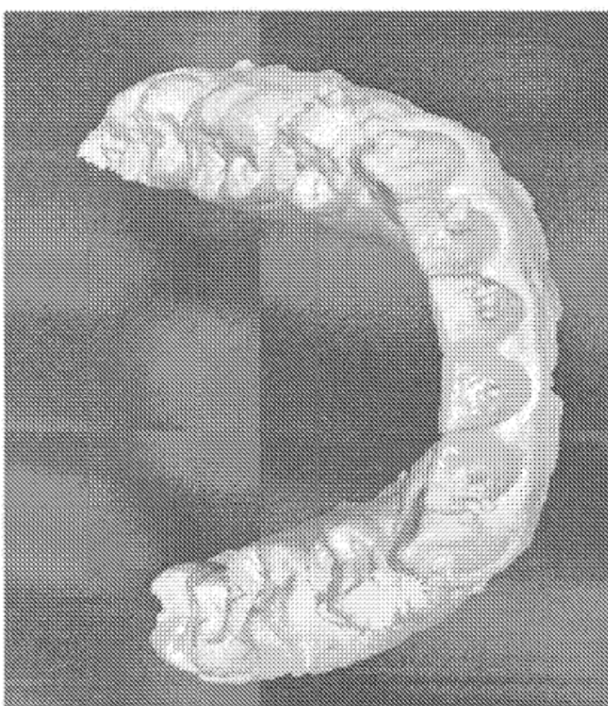
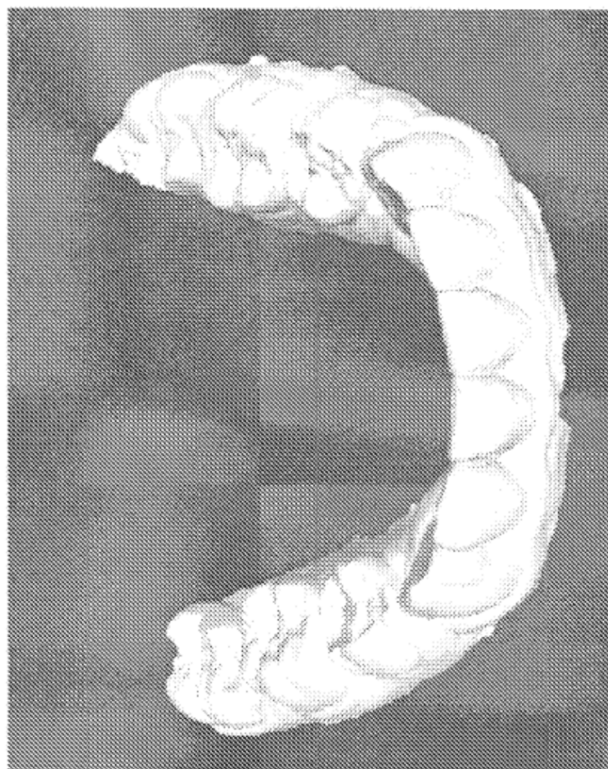


FIG. 17



1800

FIG. 18



1806

FIG. 20

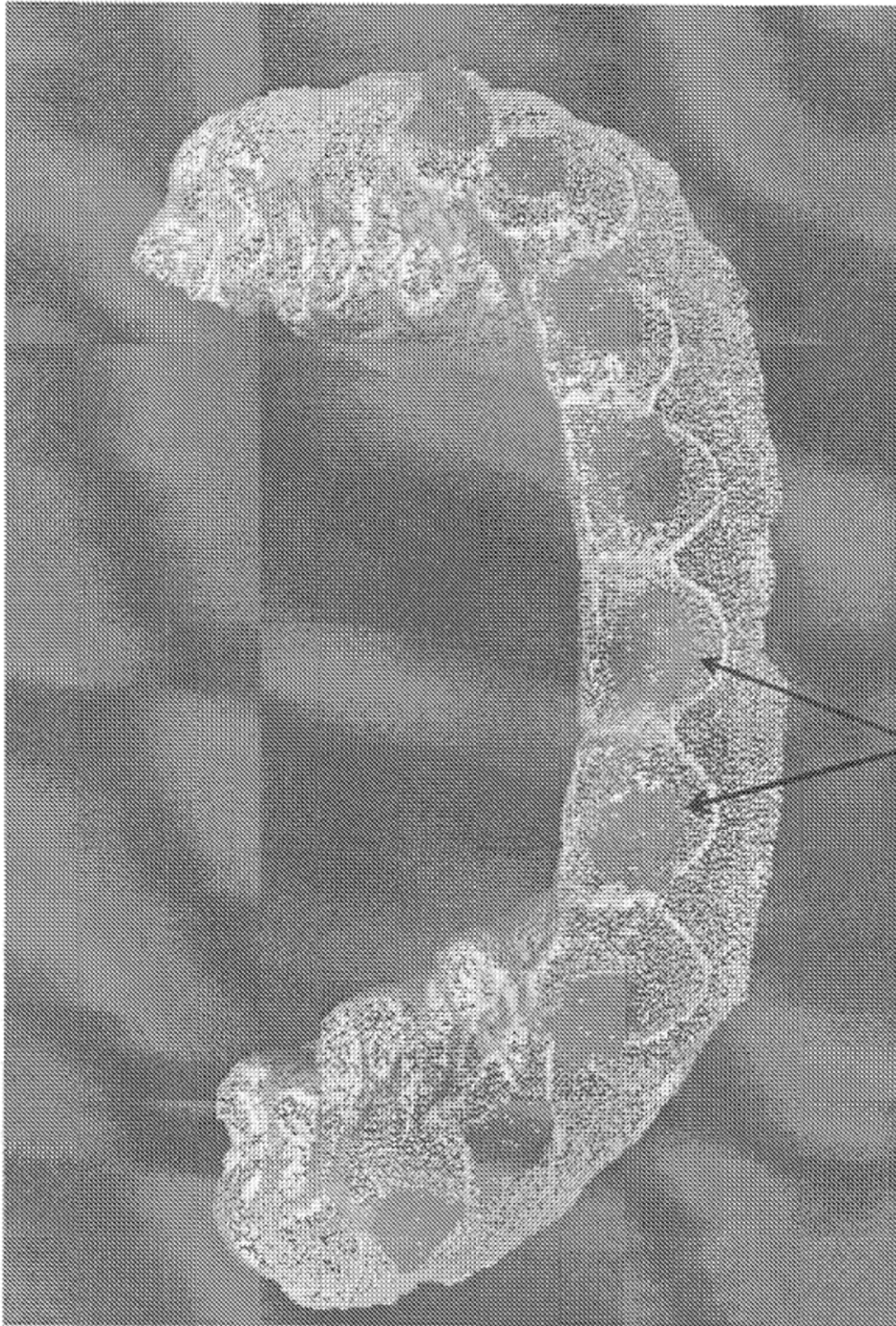
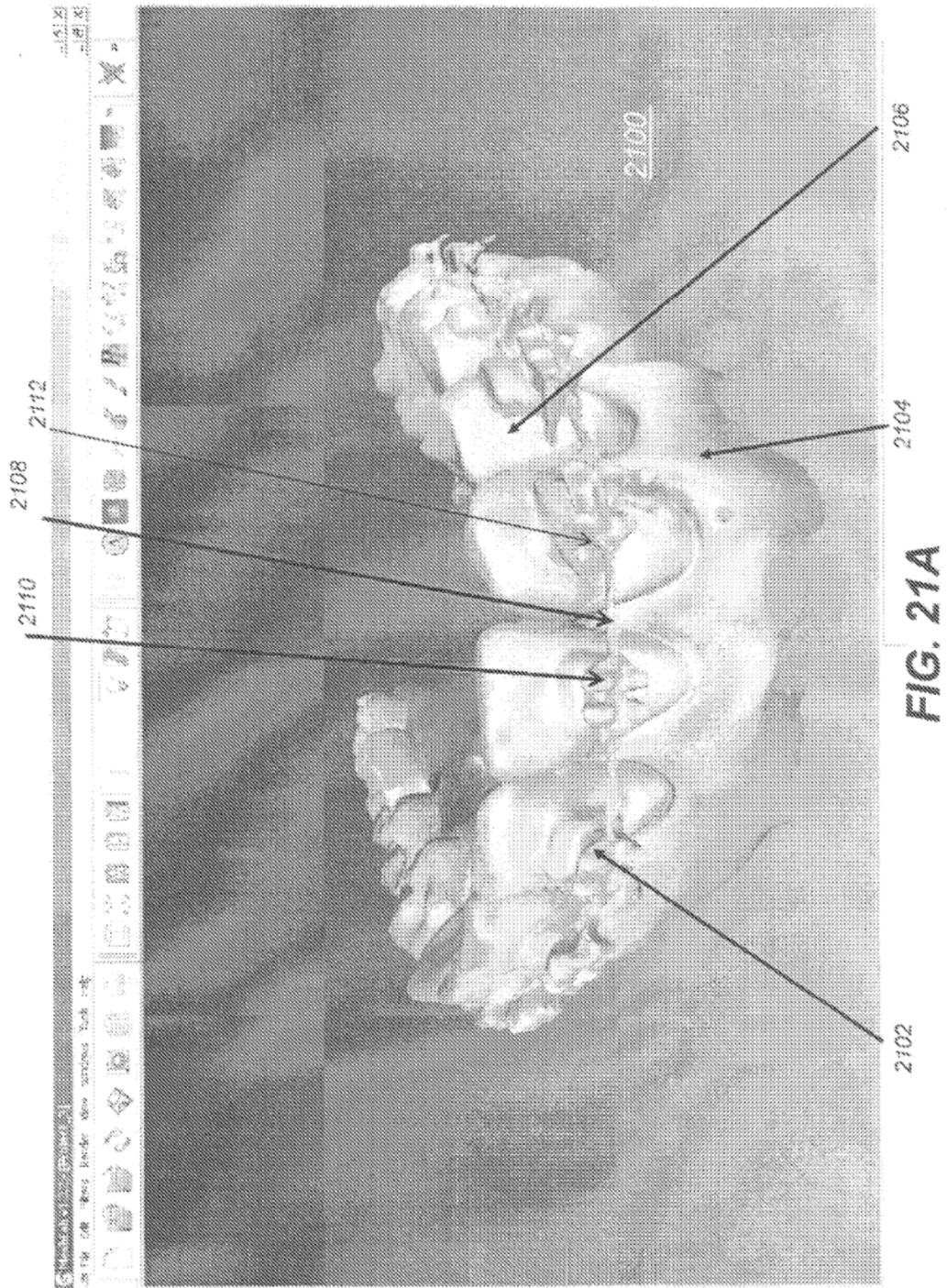


FIG. 19

1803



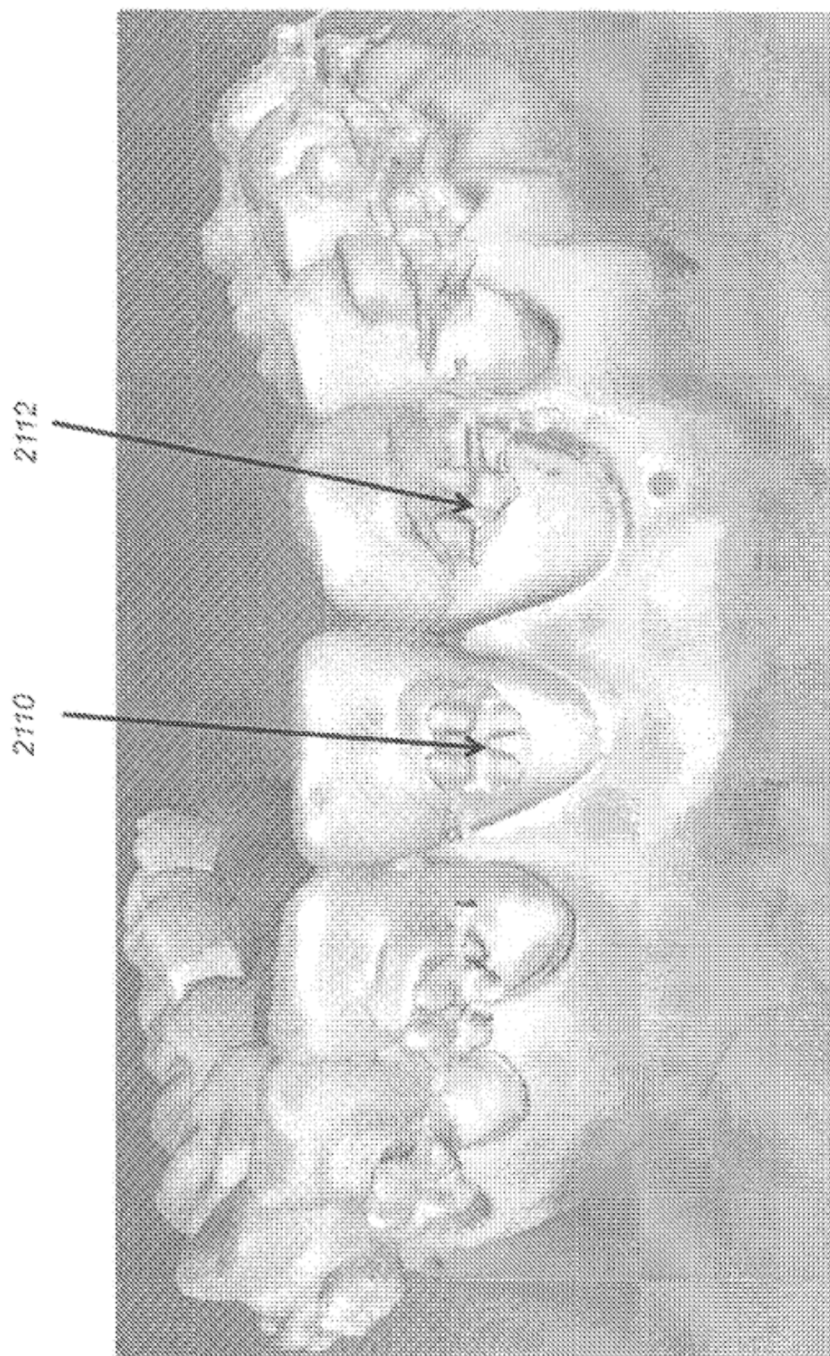


FIG. 21B

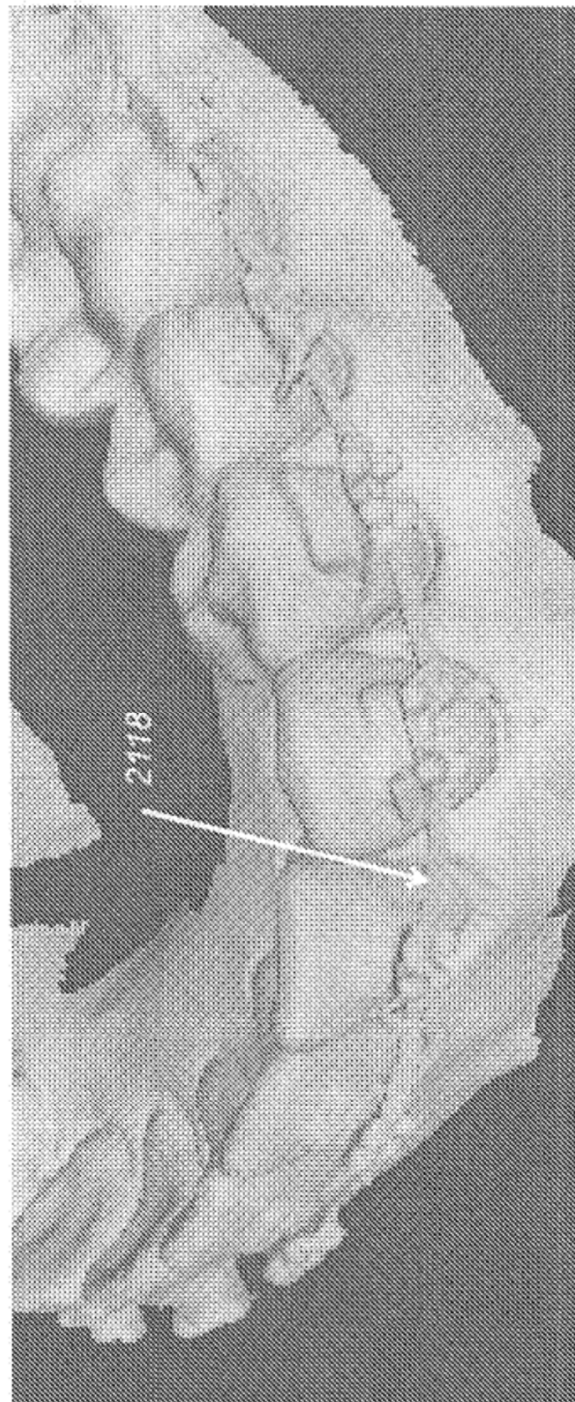
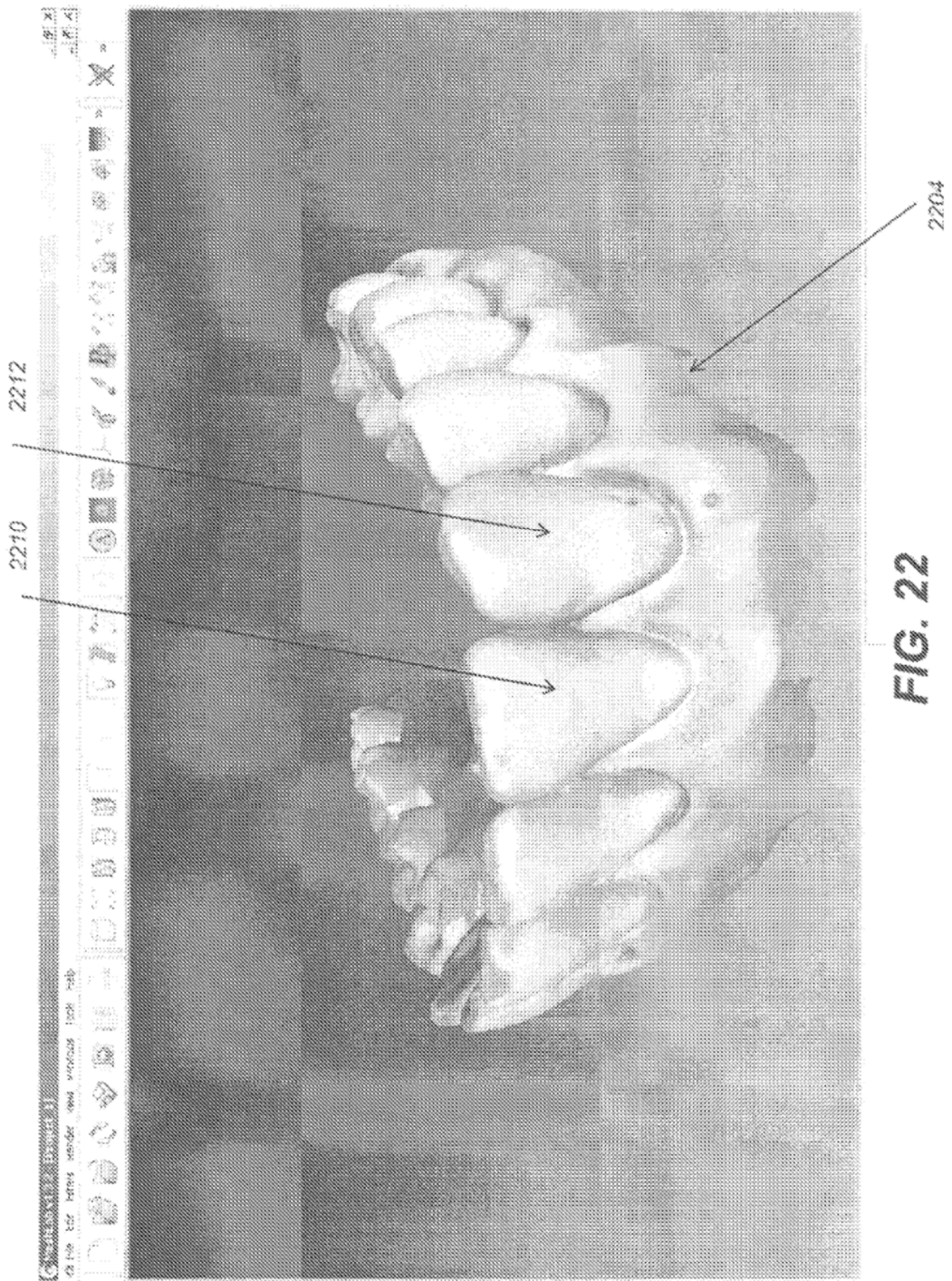


FIG. 21C



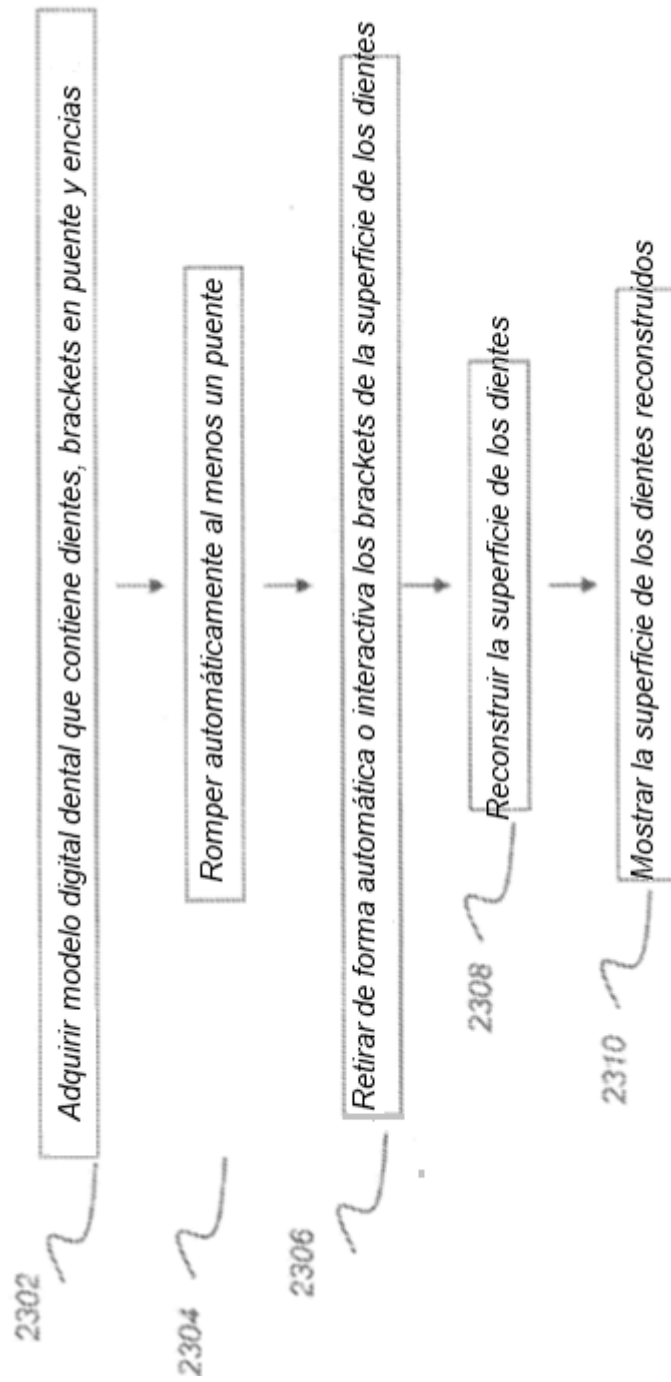


FIG. 23

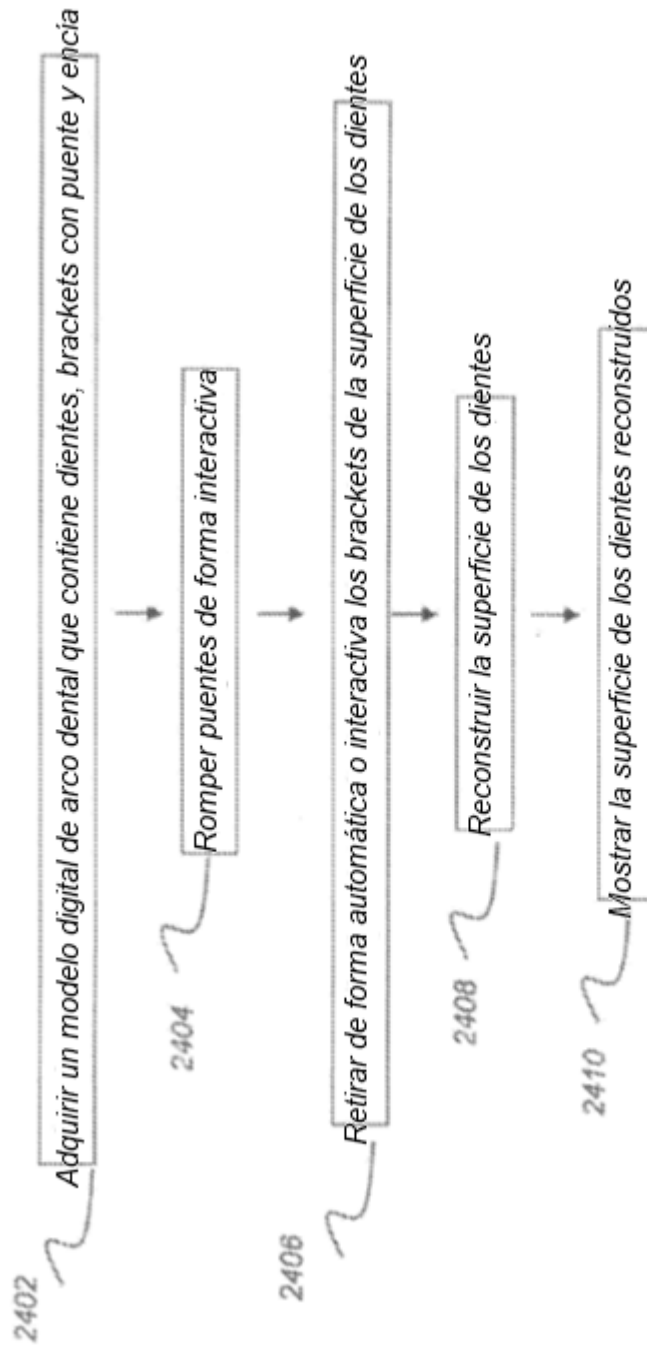


FIG. 24