



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 206 952**

⑤① Int. Cl.7: **A61C 7/00**

⑫

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

⑧⑥ Número de solicitud europea: **98931428 .1**

⑧⑥ Fecha de presentación: **19.06.1998**

⑧⑦ Número de publicación de la solicitud: **0989828**

⑧⑦ Fecha de publicación de la solicitud: **05.04.2000**

⑤④ Título: **Método y sistema para mover progresivamente los dientes.**

③⑩ Prioridad: **20.06.1997 US 50342 P**
08.10.1997 US 947080

④⑤ Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.05.2004

④⑤ Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.05.2004

⑦③ Titular/es: **Align Technology, Inc.**
Suite 210, 2991 El Camino Real
Redwood City, California 94061, US

⑦② Inventor/es: **Chishti, Muhammad;**
Lerios, Apostolos;
Freyburger, Brian;
Wirth, Kelsey y
Ridgley, Richard

⑦④ Agente: **Díez de Rivera y Elizaburu, Ignacio**

ES 2 206 952 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

Método y sistema para mover progresivamente los dientes.

5 Antecedentes de la invención**1. Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere generalmente al campo de la ortodoncia. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método y a un sistema para mover progresivamente los dientes desde una disposición dental inicial hasta una disposición dental final.

15 La corrección de la posición de los dientes por motivos estéticos u otros se realiza convencionalmente llevando lo que se denominan comúnmente "aparatos de ortodoncia". Los aparatos de ortodoncia comprenden una variedad de aparatos, tales como brackets, arcos de alambre, ligaduras y juntas tóricas. La unión de los aparatos a los dientes del paciente es una labor tediosa y que lleva mucho tiempo, lo que requiere muchas citas con el ortodontista que le trate. En consecuencia, el tratamiento de ortodoncia convencional limita la capacidad de pacientes de un ortodontista y hace que el tratamiento de ortodoncia sea bastante caro.

20 Antes de fijar los aparatos de ortodoncia a los dientes de un paciente, al menos se concierta normalmente una cita con el ortodontista, dentista y/o laboratorio de rayos X, de manera que puedan tomarse radiografías y fotografías de los dientes y de la estructura mandibular del paciente. También durante esta cita preliminar, o posiblemente en una cita posterior, normalmente se realiza un molde de alginato de los dientes del paciente. Este molde proporciona un modelo de los dientes del paciente que el ortodontista usa junto con las radiografías y las fotografías para formular una estrategia de tratamiento. El ortodontista concierta normalmente entonces una o más citas durante las que los aparatos de ortodoncia se unirán a los dientes del paciente.

30 En la cita durante la que los aparatos de ortodoncia se unen por primera vez, las superficies de los dientes se tratan inicialmente con un ácido débil. El ácido optimiza las propiedades de adhesión de las superficies de los dientes para los brackets y las bandas que han de unirse a ellos. Los brackets y las bandas sirven como anclajes para otros aparatos que han de añadirse después. Tras la etapa del ácido, los brackets y las bandas se cementan a los dientes del paciente usando un material de unión adecuado. No se añaden aparatos que induzcan fuerza hasta que el cemento se haya fijado. Por este motivo, es común que el ortodontista concierte una cita posterior para asegurarse de que los brackets y las bandas se han unido bien a los dientes.

35 La principal herramienta que induce fuerza en un conjunto convencional de aparatos de ortodoncia es el arco de alambre. El arco de alambre es flexible y se une a los brackets a modo de ranuras en los brackets. El arco de alambre une los brackets entre sí y ejerce fuerzas sobre ellos para mover los dientes a lo largo del tiempo. Comúnmente se usan alambres curvados o juntas tóricas elastómeras para reforzar la unión del arco de alambre a los brackets. La unión del arco de alambre a los brackets se conoce en la técnica de la ortodoncia como "ligado" y los alambres usados en este procedimiento se denominan "ligaduras". Las juntas tóricas elastómeras se denominan "plásticos".

45 Una vez que el arco de alambre está en su sitio, se requieren citas periódicas con el ortodontista, durante las que los aparatos de ortodoncia del paciente se ajustarán instalando un arco de alambre diferente que tenga diferentes propiedades que induzcan fuerza o reemplazando o apretando las ligaduras existentes. Normalmente, estas citas se conciertan cada de tres a seis semanas.

50 Tal como se ilustró anteriormente, el uso de aparatos de ortodoncia convencionales es un proceso tedioso y que lleva mucho tiempo y requiere muchas visitas a la consulta del ortodontista. Además, desde el punto de vista del paciente, el uso de aparatos de ortodoncia es antiestético, incómodo, presenta un riesgo de infección y dificulta el cepillado, la limpieza de los dientes con hilo dental y otros procedimientos de la higiene dental.

55 Por estos motivos, sería deseable proporcionar métodos y sistemas alternativos para corregir la posición de los dientes. Tales métodos y sistemas deben ser económicos y, en particular, deben reducir la cantidad de tiempo requerida por el ortodontista para la planificación y la supervisión de cada paciente individual. Los métodos y sistemas también deben ser más aceptables para el paciente, siendo en particular menos visibles, menos incómodos, menos propensos a la infección y más compatibles con la higiene dental diaria. Al menos algunos de estos objetivos se cumplirán mediante los métodos y sistemas de la presente invención descritos más adelante en el presente documento.

60 2. Descripción de la técnica anterior

Los correctores dentales para completar el tratamiento de ortodoncia se describen por Kesling en *Am J. Orthod. Oral. Surg.* 31:297-304 (1945) y 32:285-293 (1946). El uso de correctores de silicona para la realineación dental completa de los dientes de un paciente se describe en Warunek et al. (1989) *J. Clin. Orthod.* 23:694-700. Retenedores de plástico transparente para completar y mantener las posiciones de los dientes están comercialmente disponibles de Raintree Essix, Inc., New Orleans, Louisiana 70125, y Tru-Tain Plastics, Rochester, Minnesota 55902. La fabricación de correctores dentales se describe en las patentes de los EE.UU. números 5.186.623; 5.059.118; 5.055.039; 5.035.613; 4.856.991; 4.798.534 y 4.755.139.

ES 2 206 952 T3

Otras publicaciones que describen la fabricación y el uso de correctores dentales incluyen Kleemann y Janssen (1996) *J. Clin. Orthodon.* 30:673-680; Cureton (1996) *J. Clin. Orthodon.* 30:390-395; Chiappone (1980) *J. Clin. Orthodon.* 14:121-133; Shilliday (1971) *Am. J. Orthodontics* 59:596-599; Wells (1979) *Am. J. Orthodontics* 58:351-366; y Cottingham (1969) *Am. J. Orthodontics* 55:23-31.

5

Kuroda et al. (1996) *Am. J. Orthodontics* 110:365-369 describe un método para la exploración por láser de un molde dental en yeso para producir una imagen digital del molde. Véase también la patente de los EE.UU. número 5.606.459.

10 Las patentes de los EE.UU. números 5.533.895; 5.474.448; 5.454.717; 5.447.432; 5.431.462; 5.395.238; 5.368.478 y 5.139.419, cedidas a Ormco Corporation, describen métodos para manipular las imágenes digitales de los dientes para diseñar aparatos de ortodoncia.

15 La patente de los EE.UU. número 5.011.405 describe un método para tomar imágenes digitales de un diente y determinar la colocación óptima del bracket para el tratamiento de ortodoncia. La exploración por láser de un diente moldeado para producir un modelo tridimensional se describe en la patente de los EE.UU. número 5.338.198. La patente de los EE.UU. número 5.452.219 describe un método para explorar por láser un modelo dental y tallar un molde dental. La manipulación digital mediante ordenador de los contornos de los dientes se describe en las patentes de los EE.UU. números 5.607.305 y 5.587.912. La toma de imágenes digitales por ordenador de la mandíbula se describe en las patentes de los EE.UU. números 5.342.202 y 5.340.309. Otras patentes de interés incluyen las patentes de los EE.UU. números 5.549.476; 5.382.164; 5.273.429; 4.936.862; 3.860.803; 3.660.900; 5.645.421; 5.055.039; 4.798.534; 4.856.991; 5.035.613; 5.059.118; 5.186.623 y 4.753.139.

25 La invención se explica en la reivindicación 1. Las características preferidas se explican en las reivindicaciones dependientes.

Se describen métodos y sistemas mejorados para corregir la posición de los dientes desde una disposición dental inicial hasta una disposición dental final. La corrección de la posición se lleva a cabo mediante un sistema que comprende una serie de aparatos configurados para alojar los dientes en una cavidad y corregir la posición de los dientes individuales progresivamente en una serie de al menos tres etapas sucesivas, incluyendo normalmente al menos cuatro etapas sucesivas, incluyendo a menudo al menos diez etapas, incluyendo a veces al menos veinticinco etapas e incluyendo ocasionalmente cuarenta o más etapas. Más a menudo, los métodos y sistemas corregirán la posición de los dientes en desde diez hasta veinticinco etapas sucesivas, aunque los casos complejos que implican la mayoría de los dientes del paciente pueden llevar cuarenta o más etapas. El uso sucesivo de varios de tales aparatos permite que cada aparato se configure para mover los dientes individuales en incrementos pequeños, normalmente menos de 2 mm, preferiblemente menos de 1 mm y, más preferiblemente, menos de 0,5 mm. Estos límites se refieren a la translación lineal máxima de cualquier punto en un diente como resultado de usar un único aparato. Naturalmente, los movimientos proporcionados por aparatos sucesivos normalmente no serán los mismos para ningún diente particular. Por tanto, un punto en un diente puede moverse una distancia particular como resultado del uso de un aparato y, posteriormente, moverse una distancia diferente y/o en una dirección diferente mediante un aparato posterior.

Los aparatos individuales comprenderán preferiblemente un armazón polimérico que tiene la cavidad para alojar los dientes formada en él, normalmente mediante moldeo, tras como se describe más adelante. Cada aparato individual se configurará de manera que su cavidad para alojar los dientes tenga una geometría correspondiente a una disposición dental intermedia o final dirigida por ese aparato. Es decir, cuando un paciente lleva por primera vez un aparato, algunos dientes se desalinearán con relación a una geometría no deformada de la cavidad del aparato. Sin embargo, el aparato es suficientemente flexible para albergar o adaptarse a los dientes desalineados y aplicará suficiente fuerza flexible contra tales dientes desalineados con el fin de corregir la posición de los dientes hasta la disposición intermedia o final deseada para esa etapa de tratamiento.

50

Los sistemas descritos incluyen al menos un primer aparato que tiene una geometría seleccionada para corregir la posición de los dientes de un paciente desde la disposición dental inicial hasta una primera disposición intermedia en la que los dientes individuales corregirán la posición progresivamente. El sistema comprenderá además al menos un aparato intermedio que tiene una geometría selectiva para corregir la posición de los dientes progresivamente desde la primera disposición intermedia hasta una o más disposiciones intermedias sucesivas. El sistema todavía comprenderá además un aparato final que tiene una geometría seleccionada para corregir la posición de los dientes progresivamente desde la última disposición intermedia hasta la disposición dental final deseada. En algunos casos, será deseable formar el aparato final o varios aparatos para "sobrecorregir" la posición dental final, tal como se trata con más detalle más adelante.

60

Tal como se describirán con más detalle más adelante, los sistemas pueden diseñarse y todos los aparatos individuales pueden fabricarse desde el comienzo del tratamiento y, por tanto, los aparatos pueden proporcionarse al paciente como un paquete o sistema individual. El orden en el que han de usarse los aparatos se marcará claramente (por ejemplo, mediante numeración secuencial) de manera que el paciente pueda colocar los aparatos sobre sus dientes con una frecuencia prescrita por el ortodoncista u otro profesional que le trate. A diferencia de los aparatos de ortodoncia, el paciente no necesita visitar al profesional que le trata cada vez que se realiza un ajuste en el tratamiento. Aunque que los pacientes normalmente querrán visitar a los profesionales que les tratan periódicamente para asegurarse de que el tratamiento está funcionando según el plan original, eliminar la necesidad de visitar al profesional que le trata cada

65

vez que ha de hacerse un ajuste permite que el tratamiento se lleve a cabo en muchas más etapas sucesivas, aunque más cortas, mientras que todavía se reduce el tiempo invertido por el profesional que trata con el paciente individual. Además, la capacidad de usar aparatos de armazón polimérico que son más cómodos, menos visibles y que el paciente puede quitarse, mejora enormemente la conformidad, la comodidad y la satisfacción del paciente.

5 Según un método descrito, se corrige la posición de los dientes de un paciente desde una disposición dental inicial hasta una disposición dental final mediante la colocación de una serie de aparatos de ajuste de la posición progresivamente en la boca del paciente. Convenientemente, los aparatos no se fijan y el paciente puede colocar y sustituir los aparatos en cualquier momento durante el procedimiento. El primer aparato de la serie tendrá una geometría seleccionada para corregir la posición de los dientes desde la disposición dental inicial hasta una primera disposición intermedia. Una vez aproximada o lograda la primera disposición intermedia, se colocarán uno o más aparatos adicionales (intermedios) sucesivamente sobre los dientes, teniendo tales aparatos adicionales geometrías seleccionadas para corregir progresivamente la posición de los dientes desde la primera disposición intermedia a través de sucesiva(s) disposición(es) intermedia(s). El tratamiento se completará colocando un aparato final en la boca del paciente, aparato final que tiene una geometría seleccionada para corregir progresivamente la posición de los dientes desde la última disposición intermedia hasta la disposición dental final. El aparato final o varios aparatos en la serie pueden tener una geometría o geometrías seleccionadas para sobre corregir la disposición dental, es decir, tienen una geometría que (si se logra totalmente) movería los dientes individuales más allá de la disposición dental que se ha seleccionado como la "final". Tal sobre corrección puede ser deseable con el fin de compensar la recaída potencial una vez terminado el método de corrección de la posición, es decir, para permitir cierto movimiento de los dientes individuales de nuevo hacia sus posiciones antes de ser corregidas. La sobre corrección también puede ser beneficiosa para acelerar la velocidad de corrección, es decir, teniendo un aparato con una geometría que se coloca más allá de una posición deseada intermedia o final, los dientes individuales se moverán hacia la posición en una velocidad mayor. En tales casos, el tratamiento puede terminarse antes de que los dientes alcancen las posiciones definidas por el aparato o aparatos finales. El método comprenderá normalmente colocar al menos dos aparatos adicionales, comprendiendo a menudo colocar al menos diez aparatos adicionales, colocando a veces al menos veinticinco aparatos adicionales y colocando ocasionalmente al menos cuarenta o más aparatos adicionales. Los aparatos sucesivos se sustituirán cuando los dientes se aproximen (dentro de una tolerancia preseleccionada) o hayan alcanzado la disposición final objetivo para esta fase del tratamiento, sustituyéndose normalmente en un intervalo que oscila desde 2 días hasta 20 días, normalmente en un intervalo desde 5 días hasta 10 días.

A menudo, puede ser deseable sustituir los aparatos en un momento antes de que se haya logrado realmente la disposición dental "final" de esa fase de tratamiento. Se apreciará que a medida que los dientes corrigen su posición gradualmente y se aproximan a la geometría definida por un aparato particular, la fuerza de corrección de la posición sobre los dientes individuales disminuirá enormemente. Por tanto, será posible reducir el tiempo global de tratamiento sustituyendo un aparato inicial por el aparato sucesivo en un momento en el que los dientes sólo hayan corregido su posición parcialmente por el aparato inicial. Por tanto, la CFDD puede representar en realidad una sobre corrección de la posición dental final. Esto acelera el tratamiento y puede compensar la recaída del paciente.

En general, la transición al aparato siguiente puede basarse en varios factores. Más simplemente, los aparatos pueden sustituirse sobre un programa predeterminado o en un intervalo fijo de tiempo (es decir, el número de días para cada aparato) determinado al comienzo basándose en una respuesta esperada o habitual del paciente. Alternativamente, puede tenerse en cuenta la respuesta real del paciente, por ejemplo, un paciente puede avanzar al siguiente aparato cuando ese paciente ya no percibe la presión sobre sus dientes procedente de un aparato actual, es decir, el aparato que ha estado llevado se fija fácilmente sobre los dientes del paciente y el paciente experimenta poca o ninguna presión o incomodidad sobre sus dientes. En algunos casos, para los pacientes cuyos dientes están respondiendo muy rápidamente, puede ser posible para un profesional que lo trate decidir saltarse uno o más aparatos intermedios, es decir, reducir el número total de aparatos que se están usando por debajo del número determinado al comienzo. De esta forma, puede reducirse el tiempo global de tratamiento para un paciente particular.

También se describen métodos que comprenden corregir la posición de los dientes usando aparatos que comprenden armazones poliméricos que tienen cavidades conformadas para alojar y corregir elásticamente la posición de los dientes, para producir una disposición dental final. La presente invención proporciona mejoras a tales métodos, que comprenden determinar al comienzo del tratamiento las geometrías para al menos tres de los aparatos que han de llevarse sucesivamente por un paciente para corregir la posición de los dientes desde una disposición dental inicial hasta la disposición dental final. Preferiblemente, al menos se determinarán cuatro geometrías al comienzo, a menudo al menos diez geometrías, frecuentemente al menos veinticinco geometrías y algunas veces cuarenta o más geometrías. Normalmente, las posiciones dentales definidas por las cavidades en cada geometría sucesiva difieren de las definidas por la geometría anterior en no más de 2 mm, preferiblemente no más de 1 mm y a menudo no más de 0,5 mm, tal como se definió anteriormente.

También se describen métodos para producir un conjunto de datos digitales que representan una disposición dental final. Los métodos comprenden proporcionar un conjunto de datos iniciales que representan una disposición dental inicial y que presenta una imagen visual basada en el conjunto de datos iniciales. La imagen visual se manipula entonces para corregir la posición de los dientes individuales en la imagen visual. Se produce entonces un conjunto final de datos digitales que representa la disposición dental final con los dientes en las posiciones corregidas, tal como se observan en la imagen visual. Convenientemente, el conjunto inicial de datos digitales puede proporcionarse mediante técnicas convencionales, incluyendo la digitalización de imágenes de rayos X, imágenes producidas por

ES 2 206 952 T3

tomografía computerizada (tomografía axial computerizada, TAC), imágenes producidas por formación de imágenes por resonancia magnética (IRM) y similares. Preferiblemente, las imágenes serán imágenes tridimensionales y la digitalización puede llevarse a cabo usando tecnología convencional. Normalmente, el conjunto inicial de datos digitales se proporciona produciendo un molde de yeso de los dientes del paciente (antes del tratamiento) mediante técnicas convencionales. El molde de yeso producido de esta manera puede explorarse entonces usando equipo de exploración por láser o de otro tipo para producir una representación digital de alta resolución del molde de yeso de los dientes del paciente. Se prefiere el uso del molde de yeso puesto que no expone al paciente a rayos X ni somete al paciente a las molestias de una exploración de IRM.

En una realización preferida, también se obtiene una mordida en cera del paciente usando métodos estándar. La mordida en cera permite que los moldes de yeso de la dentición superior e inferior de un paciente se coloquen uno en relación con el otro en la posición de cierre céntrica. El par de moldes se exploran entonces para proporcionar información sobre la posición relativa de la mandíbula en esta posición. Esta información se incorpora entonces en el CIDD para ambas arcadas.

Una vez que se obtiene el conjunto de datos digitales, puede presentarse y manipularse una imagen en un sistema informático adecuado equipado con software de diseño asistido por ordenador, tal como se describe más adelante en mayor detalle. La manipulación de la imagen comprenderá normalmente definir límites alrededor de al menos algunos de los dientes individuales y hacer que las imágenes de los dientes se muevan en relación con la mandíbula y el resto de los dientes mediante la manipulación de la imagen a través del ordenador. También se prevén métodos para detectar información sobre la cúspide para los dientes. La manipulación de la imagen puede hacerse enteramente de forma subjetiva, es decir, el usuario puede corregir simplemente la posición de los dientes de una manera estética y/o terapéuticamente deseada, basándose en la observación de la imagen sola. Alternativamente, el sistema informático podría proporcionarse con reglas y algoritmos que ayuden al usuario a corregir la posición de los dientes. En algunos casos será posible proporcionar reglas y algoritmos que corrijan la posición de los dientes de una manera totalmente automática, es decir, sin la intervención del usuario. Una vez que se ha corregido la posición de los dientes individuales, se generará y se almacenará un conjunto final de datos digitales que representan la disposición dental final deseada.

Un método preferido para determinar la disposición dental final es que el profesional que trata defina las posiciones dentales finales, por ejemplo, escribiendo una prescripción. El uso de prescripciones para definir los resultados deseados de los procedimientos de ortodoncia es bien conocido en la técnica. Cuando se proporciona una prescripción u otra designación final, la imagen puede manipularse entonces para que coincida con la prescripción. En algunos casos, sería posible proporcionar software que pudiera interpretar la prescripción con el fin de generar la imagen final y, por tanto, el conjunto de datos digitales que representan la disposición dental final.

También se describen métodos para producir una pluralidad de conjuntos de datos digitales que representan una serie de disposiciones dentales diferenciadas que progresan desde una disposición dental inicial hasta una disposición dental final. Tales métodos comprenden proporcionar un conjunto de datos digitales que representan una disposición dental inicial (que puede llevarse a cabo según cualquiera de las técnicas explicadas anteriormente). También se proporciona un conjunto de datos digitales que representan una disposición dental final. Tal conjunto final de datos digitales puede determinarse mediante los métodos descritos anteriormente. La pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales se produce entonces basándose en el conjunto inicial de datos digitales y en el conjunto final de datos digitales. Normalmente, los conjuntos sucesivos de datos digitales se producen determinando diferencias en las posiciones entre los dientes individuales seleccionados en el conjunto inicial de datos y en el conjunto final de datos e interpolando dichas diferencias. Tal interpolación puede realizarse con tantas fases diferenciadas como pudieran desearse, normalmente al menos tres, a menudo al menos cuatro, más a menudo al menos diez, a veces al menos veinticinco y ocasionalmente cuarenta o más. Muchas veces, la interpolación será una interpolación lineal para algunas o todas las diferencias en las posiciones. Alternativamente, la interpolación puede ser no lineal. En una realización preferida, la interpolación no lineal se calcula automáticamente por el ordenador usando técnicas de planificación de la trayectoria y detección de colisión para evitar las interferencias entre los dientes individuales. Las diferencias en las posiciones corresponderán a movimientos dentales en los que el máximo movimiento lineal de cualquier punto en un diente es de 2 mm o menos, siendo normalmente de 1 mm o menos y siendo a menudo de 0,5 mm o menos.

A menudo, el usuario especificará ciertas disposiciones dentales intermedias objetivo, denominadas “entramados clave”, que se incorporan directamente en los conjuntos intermedios de datos digitales. Los métodos de la presente invención determinan entonces conjuntos sucesivos de datos digitales entre los entramados clave en la manera descrita anteriormente, por ejemplo, mediante interpolación lineal o no lineal entre los entramados clave. Los entramados clave pueden determinarse por un usuario, por ejemplo, el individuo que manipula una imagen visual en el ordenador usada para generar los conjuntos de datos digitales o, alternativamente, puede proporcionarse por el profesional que trata como una prescripción, de la misma forma que la prescripción para la disposición dental final.

Además, se describen métodos que prevén la fabricación de una pluralidad de aparatos de ajuste de la posición dental progresivamente. Dichos métodos comprenden proporcionar un conjunto inicial de datos digitales, un conjunto final de datos digitales y producir una pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales que representan las disposiciones dentales sucesivas objetivo, generalmente tal como se acaba de describir. Los aparatos dentales se fabrican entonces basándose en al menos algunos de los conjuntos de datos digitales que representan las disposiciones dentales sucesivas. Preferiblemente, la etapa de fabricación comprende controlar una máquina de fabricación basándose en los conjuntos sucesivos de datos digitales para producir modelos positivos sucesivos de las disposiciones dentales

deseadas. Los aparatos dentales se producen entonces como negativos de los modelos positivos usando técnicas convencionales de fabricación al vacío o por presión positiva. La máquina de fabricación puede comprender una máquina de estereolitografía u otra similar que se base en endurecer selectivamente un volumen de una resina polimérica no endurecida mediante exploración por láser para endurecer selectivamente la resina en una forma basada en el conjunto de datos digitales. Otras máquinas de fabricación que podrían utilizarse en los métodos de la presente invención incluyen máquinas de mecanización y máquinas de deposición de cera.

Se describen métodos para fabricar un aparato dental que comprenden proporcionar un conjunto de datos digitales que representan una disposición dental modificada para un paciente. Se usa entonces una máquina de fabricación para producir un modelo positivo de la disposición dental modificada basándose en el conjunto de datos digitales. El aparato dental se produce entonces como un negativo del modelo positivo. La máquina de fabricación puede ser una máquina de estereolitografía u otra, tal como se describió anteriormente, y el modelo positivo se produce mediante técnicas convencionales de moldeo al vacío o por presión.

Métodos adicionales para la fabricación de un aparato dental pueden comprender proporcionar un primer conjunto de datos digitales que representen una disposición dental modificada para un paciente. Un segundo conjunto de datos digitales se produce entonces a partir del primer conjunto de datos digitales, en el que el segundo conjunto de datos representa un modelo negativo de la disposición dental modificada. La máquina de fabricación se controla entonces basándose en el segundo conjunto de datos digitales para producir el aparato dental. La máquina de fabricación se basará normalmente en endurecer selectivamente una resina no endurecida para producir el aparato. El aparato comprende normalmente un armazón polimérico que tiene una forma de cavidad para alojar y corregir la posición de los dientes de forma elástica desde una disposición dental inicial hasta la disposición dental modificada.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1A ilustra la mandíbula de un paciente y proporciona una indicación general de cómo pueden moverse los dientes mediante los métodos y el aparato de la presente invención.

La figura 1B ilustra un único diente de la figura 1A y define cómo se determinan las distancias de movimiento del diente.

La figura 1C ilustra la mandíbula de la figura 1A, junto con un aparato de ajuste de la posición progresivamente que se ha configurado según los métodos de la presente invención.

La figura 2 es un diagrama de bloques que ilustra las etapas de la presente invención para producir un sistema de aparatos de ajuste de la posición progresivamente.

La figura 3 es un diagrama de bloques que expone las etapas para manipular un conjunto inicial de datos digitales que representan una disposición dental inicial para producir un conjunto final de datos digitales que corresponden a una disposición dental final deseada.

La figura 4A es un diagrama de flujo que ilustra una herramienta de borrado para los métodos del presente documento.

La figura 4B ilustra el volumen del espacio que se está borrando mediante el programa de la figura 4A.

La figura 5 es un diagrama de flujo que ilustra un programa para corresponder los componentes de alta resolución y de baja resolución en la manipulación de los conjuntos de datos de la figura 3.

La figura 6A es un diagrama de flujo que ilustra un programa para realizar la fase de “detección” del algoritmo de detección de la cúspide.

La figura 6B es un diagrama de flujo que ilustra un programa para realizar la fase de “rechazo” del algoritmo de detección de la cúspide.

La figura 7 ilustra el método para generar múltiples conjuntos intermedios de datos digitales que se usan para producir los aparatos de ajuste de la presente invención.

La figura 8A es un diagrama de flujo que ilustra las etapas realizadas por el algoritmo de planificación de la trayectoria.

La figura 8B es un diagrama de flujo que ilustra las etapas para realizar la función de “visibilidad” según una realización de la presente invención.

La figura 8C es un diagrama de flujo que ilustra las etapas para realizar la función “hija” según una realización de la presente invención.

ES 2 206 952 T3

La figura 8D es un diagrama de flujo que ilustra las etapas para realizar la etapa 128 de planificación de la trayectoria de la figura 8A.

5 La figura 9A es un diagrama de flujo que ilustra las etapas para realizar las pruebas de colisión recurrente durante la detección de colisión.

La figura 9B es un diagrama de flujo que ilustra la división de nodos realizada durante la detección de colisión según una realización de la presente invención.

10 La figura 9C es un diagrama de flujo que ilustra las etapas para proporcionar información adicional de movimiento al procedimiento de detección de colisión.

15 La figura 10 ilustra procedimientos alternativos para producir una pluralidad de aparatos según los métodos de la presente invención utilizando conjuntos de datos digitales que representan los diseños intermedio y final del aparato.

La figura 11 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema de tratamiento de datos que incorpora una realización de la presente invención.

20 Descripción de las realizaciones específicas

Se describen sistemas y métodos para mover los dientes progresivamente usando una pluralidad de aparatos diferenciados, en los que cada aparato mueve sucesivamente uno o más de los dientes del paciente en cantidades relativamente pequeñas. Los movimientos dentales serán los normalmente asociados con el tratamiento de ortodoncia, incluyendo la translación en las tres direcciones ortogonales en relación con una línea central vertical, la rotación de la línea central dental en las dos direcciones de ortodoncia (“angulación de la raíz” y “momento de torsión”), así como la rotación alrededor de la línea central.

En referencia ahora a la figura 1A, una mandíbula 100 representativa incluye dieciséis dientes 102. La presente invención está destinada a mover al menos algunos de estos dientes desde una disposición dental inicial hasta una 30 disposición dental final. Para comprender cómo pueden moverse los dientes, se dibuja una línea central (CL) arbitraria a través de uno de los dientes 102. Con referencia a esta línea central (CL), los dientes pueden moverse en las direcciones ortogonales representadas por los ejes 104, 106 y 108 (donde 104 es la línea central). La línea central puede rotarse alrededor del eje 108 (angulación de la raíz) y 104 (momento de torsión), tal como se indica por las flechas 110 y 112, respectivamente. Adicionalmente, el diente puede rotarse alrededor de la línea central, tal como se representa por la flecha 114. Por tanto, pueden realizarse todos los posibles movimientos de forma libre del diente. En referencia ahora a la figura 1B, la magnitud de cualquier movimiento dental logrado mediante los métodos y dispositivos de la presente invención se definirá en lo que se refiere a la translación lineal máxima de cualquier punto P en un diente 102. Cada punto P_i experimentará una translación acumulativa, ya que ese diente se mueve en cualquiera de las direcciones ortogonales o rotacionales definidas en la figura 1A. Es decir, aunque el punto seguirá normalmente una trayectoria no lineal, habrá una distancia lineal entre cualquier punto en el diente cuando se determine en dos momentos cualesquiera durante el tratamiento. Por tanto, un punto P_i arbitrario podría experimentar, de hecho, una verdadera translación de lado a lado, tal como se indica por la flecha d₁, mientras que un segundo punto P₂ arbitrario, podría desplazarse a lo largo de una trayectoria en forma de arco, dando como resultado una translación d₂ final. Muchos aspectos de la presente invención se definen en lo que se refiere al movimiento máximo permisible de un punto P_i inducido por los 45 métodos en cualquier diente particular. Tal movimiento dental máximo, a su vez, se define como la translación lineal máxima de ese punto P_i en el diente que experimenta el movimiento máximo para ese diente en cualquier etapa de tratamiento.

En referencia ahora a la figura 1C, los sistemas según la presente invención comprenderán una pluralidad de aparatos de ajuste progresivo de la posición. Los aparatos están destinados a realizar la corrección progresiva de la posición de los dientes individuales en la mandíbula, tal como se describió generalmente antes. En un sentido más amplio, los métodos de la presente invención pueden emplear cualquiera de los correctores, retenedores conocidos, u otros aparatos extraíbles que se conocen para finalizar y mantener las posiciones de los dientes junto con el tratamiento de ortodoncia convencional. Los sistemas de la presente invención, a diferencia con los aparatos y sistemas anteriores, 55 proporcionarán una pluralidad de tales aparatos destinados a que los lleve un paciente sucesivamente con el fin de lograr la corrección gradual de la posición de los dientes, tal como se describe en el presente documento. Un aparato 100 preferido comprenderá un armazón polimérico que tiene una cavidad conformada para alojar y corregir elásticamente la posición de los dientes desde una disposición dental hasta una disposición dental sucesiva. El armazón polimérico se ajustará preferible, pero no necesariamente, sobre todos los dientes presentes en la mandíbula superior o inferior. A menudo, sólo se corregirá(n) la(s) posición(es) de alguno(s) de lo(s) diente(s), mientras que los demás dientes proporcionarán una base o región de anclaje para sostener el aparato de corrección de la posición en su sitio cuando aplica la fuerza elástica de corrección de la posición contra el diente o dientes cuya posición ha de corregirse. Sin embargo, en los casos complejos, se corregirá la posición de muchos o de la mayoría de los dientes en algún punto durante el tratamiento. En tales casos, los dientes que se mueven pueden servir también como una base o región de 65 anclaje para sostener el aparato de corrección de la posición. Adicionalmente, las encías y/o el paladar pueden servir como una región de anclaje, permitiendo así que todos o casi todos los dientes corrijan su posición simultáneamente.

El aparato 100 polimérico de la figura 1C se forma preferiblemente a partir de una fina lámina de un material dental

ES 2 206 952 T3

de termoformado, polimérico y elastómero adecuado, tal como Tru-Tain 0,76 mm (0,03 pulgadas), Tru-Tain Plastics, Rochester, Minnesota 55902. Normalmente no se proporcionarán alambres ni otros medios para sostener el aparato en su sitio sobre los dientes. Sin embargo, en algunos casos, será deseable o necesario proporcionar anclajes individuales sobre los dientes con receptáculos o aberturas correspondientes en el aparato 100, de manera que el aparato puede
5 aplicar una fuerza hacia arriba sobre el diente, lo que no sería posible en ausencia de tal anclaje. Métodos específicos para producir los aparatos 100 se describen más adelante en el presente documento.

En referencia ahora a la figura 2, se describirá el método global para producir los aparatos de ajuste progresivo de la posición para el uso posterior por un paciente para corregir la posición de los dientes del paciente. Como una
10 primera etapa, se obtiene un conjunto de datos digitales que representan una disposición dental inicial, denominado más adelante en el presente documento como CIDD. El CIDD puede obtenerse de varias formas. Por ejemplo, los dientes del paciente pueden explorarse o tomarse su imagen usando tecnología bien conocida, tal como rayos X, rayos X tridimensionales, conjuntos de datos o imágenes tomográficas computerizadas, imágenes de resonancia magnética, etc. Los métodos para digitalizar tales imágenes convencionales para producir conjuntos de datos útiles en la presente
15 invención son bien conocidos y se describen en la bibliografía médica y de patentes. Sin embargo, normalmente la presente invención se basará en obtener primero un molde de yeso de los dientes del paciente mediante técnicas bien conocidas, tales como las descritas en Graber, *Orthodontics: Principle and Practice*, Segunda Edición, Saunders, Filadelfia, 1969, págs. 401-415. Una vez obtenido el molde dental, puede explorarse digitalmente usando un dispositivo de exploración por láser convencional u otro sistema de adquisición de distancias para producir el CIDD. Naturalmente,
20 el conjunto de datos producido por el sistema de adquisición de distancias puede convertirse en otros formatos para que sean compatibles con el software que se usa para manipular las imágenes dentro del conjunto de datos, tal como se describe en más detalle más adelante. Técnicas generales para producir moldes de yeso de los dientes y generar modelos digitales usando técnicas de exploración por láser se describen, por ejemplo, en la patente de los EE.UU. número 5.605.459.

Hay varios sistemas de adquisición de distancias, clasificados generalmente por si el procedimiento de adquisición requiere el contacto con el objeto tridimensional. El sistema de adquisición de distancias de tipo con contacto utiliza una sonda que tiene múltiples grados de libertad translacional y/o rotacional. Mediante el registro del desplazamiento físico de la sonda tal como se dibuja a través de la superficie de la muestra, se realiza una representación que puede
30 leer un ordenador del objeto de muestra. Un dispositivo de adquisición de distancias de tipo sin contacto puede ser un sistema, o bien de tipo de reflexión o de tipo de transmisión. Hay varios sistemas de reflexión en uso. Algunos de esos sistemas de reflexión utilizan fuentes de energía incidente no ópticas, tales como el sónar o el radar de microondas. Otros utilizan energía óptica. Estos sistemas de tipo sin contacto que funcionan mediante energía óptica reflejada contienen además instrumentación especial configurada para permitir que se realicen ciertas técnicas de medición (por
35 ejemplo, radar de imagen, triangulación e interferometría).

Un sistema de adquisición de distancias preferido es un explorador de tipo sin contacto, de reflexión, óptico. Los exploradores de tipo sin contacto se prefieren porque son intrínsecamente no destructivos (es decir, no dañan el objeto de muestra) y generalmente se caracterizan por una mayor resolución de captura y por la exploración de una
40 muestra en un periodo de tiempo relativamente corto. Uno de tales exploradores es Cyberware Modelo 15 fabricado por Cyberware, Inc., Monterrey, California.

Tanto los exploradores de tipo con contacto como los de sin contacto también pueden incluir una cámara en color, que cuando se sincroniza con las capacidades de exploración, proporciona un medio para capturar, en formato digital,
45 una representación en color del objeto de muestra. La importancia de esta capacidad adicional para capturar no sólo la forma del objeto de muestra, sino también su color, se trata más adelante.

En una realización preferida, también se obtiene una mordida en cera del paciente. La mordida en cera permite explorar las posiciones relativas de la dentición superior e inferior en el cierre céntrico. Normalmente, esto se lleva
50 a cabo colocando primero el molde inferior delante del explorador, con los dientes hacia arriba, colocando luego la mordida en cera sobre la parte superior del molde inferior y, finalmente, colocando el molde superior sobre la parte superior del molde inferior, con los dientes hacia abajo, descansando sobre la mordida en cera. Se obtiene entonces una exploración cilíndrica para los moldes inferior y superior en sus posiciones relativas. Los datos explorados proporcionan un modelo digital de resolución media que representan un objeto que es la combinación de las arcadas del
55 paciente colocadas en la misma configuración relativa que en la boca.

El modelo digital actúa como una plantilla que guía la colocación de los dos modelos digitales individuales (uno por arcada). Más precisamente, usando un software, por ejemplo el software de alineación CyberWare, cada arcada digital se alinea a su vez a la exploración del par. Los modelos individuales se colocan entonces uno con relación al
60 otro, correspondiendo con las arcadas en la boca del paciente.

Los métodos se basarán en la manipulación del CIDD en un ordenador o estación de trabajo que tenga una interfaz gráfica de usuario (GUI) adecuada y software apropiado para ver y modificar las imágenes. Los aspectos específicos del software se describirán en detalle más adelante en el presente documento. Aunque los métodos se basarán en
65 la manipulación informática de los datos digitales, los sistemas de la presente invención que comprenden múltiples aparatos dentales que tienen geometrías que difieren progresivamente pueden producirse mediante técnicas no asistidas por ordenador. Por ejemplo, pueden cortarse moldes de yeso obtenidos tal como se describió anteriormente usando cuchillos, sierras u otras herramientas de corte, con el fin de permitir la corrección de la posición de los dientes

ES 2 206 952 T3

individuales dentro del molde. Los dientes desconectados pueden mantenerse entonces en su sitio mediante cera blanda u otro material maleable y puede prepararse entonces una pluralidad de disposiciones dentales intermedias usando tal moldeo en yeso modificado de los dientes del paciente. Las diferentes disposiciones pueden usarse para preparar conjuntos de múltiples aparatos, generalmente tal como se describe más adelante, usando técnicas de moldeo al vacío y por presión. Aunque tal creación manual de los sistemas del aparato de la presente invención será generalmente mucho menos preferida, los sistemas así producidos estarán dentro del alcance de la presente invención.

En referencia de nuevo a la figura 2, una vez obtenido el CIDD, se introducirá la información digital en el ordenador o en otra estación de trabajo para su manipulación. En el enfoque preferido, los dientes individuales y otros componentes se “cortarán” para permitir la corrección individual de su posición o la eliminación de los datos digitales. Tras esta “liberación” de los componentes, el usuario a menudo seguirá una prescripción u otra especificación por escrito proporcionada por el profesional que le trate. Alternativamente, el usuario puede corregir la posición de los mismos basándose en el aspecto visual o usando reglas y algoritmos programados en el ordenador. Una vez que el usuario está satisfecho con la disposición final, la disposición dental final se incorpora en el conjunto final de datos digitales (CFDD).

Basándose tanto en el CIDD como en el CFDD, se genera una pluralidad de conjuntos intermedios de datos digitales (CINTDD).

La figura 3 ilustra una técnica representativa para manipular el CIDD para producir el CFDD en el ordenador. Normalmente, los datos procedentes del explorador digital estarán en una forma de alta resolución. Con el fin de reducir el tiempo de ordenador necesario para generar imágenes, se creará un conjunto paralelo de conjunto de datos digitales que representen al CIDD a una resolución inferior. El usuario manipulará las imágenes de resolución inferior, mientras que el ordenador actualizará el conjunto de datos de alta resolución, según sea necesario. El usuario también puede ver/manipular el modelo de alta resolución si el detalle extra proporcionado en ese modelo es útil. El CIDD también se convertirá en una estructura de datos quad-edge (borde cuádruple) si no está ya presente en esa forma. Una estructura de datos quad-edge es una estructura de datos topológicos estándar definida en *Primitives for the Manipulation of General Subdivisions and the Computation of Voronoi Diagrams*, ACM Transactions of Graphics, Vol. 4, Nº 2, abril de 1985, págs. 74-123. También podrían usarse otras estructuras de datos topológicos, tales como la estructura de datos winged-edge (borde con alas).

Como etapa inicial, mientras se visualiza la imagen tridimensional de la mandíbula del paciente, incluyendo los dientes, las encías y otros tejidos bucales, el usuario borrará normalmente la estructura innecesaria para la manipulación de la imagen y/o para la producción final de un aparato. Estas secciones no deseadas del modelo pueden eliminarse usando una herramienta de borrado para realizar una sustracción del modelo sólido. La herramienta se representa por un cuadro gráfico. El usuario establece el volumen que ha de borrarse (las dimensiones, la posición y la orientación del cuadro) empleando la GUI. Normalmente, las secciones no deseadas incluirían zonas de encía superfluas y la base del molde explorado originalmente. Otra aplicación para esta herramienta es estimular la extracción de los dientes y el “raspado” de las superficies dentales. Esto es necesario cuando se necesita espacio adicional en la mandíbula para la colocación final de un diente que ha de moverse. El profesional que trate puede escoger determinar qué dientes se rasparán y/o qué dientes se extraerán. El raspado permite que el paciente mantenga sus dientes cuando sólo se necesita una pequeña cantidad de espacio. Normalmente la extracción y el raspado, naturalmente, se utilizarán en la planificación del tratamiento sólo cuando realmente han de extraerse y/o rasparse los dientes del paciente antes de iniciar la corrección de la posición según los métodos de la presente invención.

Eliminando las secciones no deseadas y/o innecesarias del modelo, aumenta la velocidad del tratamiento de los datos y mejora la presentación visual. Las secciones innecesarias incluyen aquellas que no se necesitan para la creación del aparato para corregir la posición de los dientes. La eliminación de estas secciones no deseadas reduce la complejidad y el tamaño del conjunto de datos digitales, acelerando así las manipulaciones del conjunto de datos y otras operaciones.

Una vez que el usuario coloca y conforma la herramienta de borrado y da instrucciones al software para que borre la sección no deseada, todos los triángulos dentro del cuadro establecido por el usuario se eliminarán y los triángulos del límite se modifican para dejar un límite uniforme y lineal. El software borra todos los triángulos dentro del cuadro y recorta todos los triángulos que cruzan el límite del cuadro. Esto requiere generar nuevos vértices en el límite del cuadro. Los agujeros creados en el modelo en las caras del cuadro se vuelven a triangular y se cierran usando los nuevos vértices creados.

La herramienta de sierra se usa para definir los dientes individuales (o posiblemente grupos de dientes) que han de moverse. La herramienta separa la imagen explorada en componentes gráficos individuales, lo que permite que el software mueva el diente u otras imágenes del componente independientemente de las partes restantes del modelo. En una realización, la herramienta de sierra define una trayectoria para cortar la imagen gráfica usando dos curvas B-spline cúbicas que están en planos separados, probablemente forzados a ser paralelos, o bien abiertas o bien cerradas. Un conjunto de líneas conecta las dos curvas y muestra al usuario la trayectoria general de corte. El usuario puede editar los puntos de control sobre las B-splines cúbicas, el espesor del corte de sierra y el número de borradores usados, tal como se describe más adelante.

En una realización alternativa preferida, los dientes se separan usando la sierra como un dispositivo de “eliminación

ES 2 206 952 T3

del centro”, que corta el diente desde arriba con cortes de sierra verticales. La corona del diente, así como el tejido de la encía inmediatamente debajo de la corona, se separan del resto de la geometría y se tratan como una unidad individual, denominada diente. Cuando este modelo se mueve, el tejido de la encía se mueve en relación con la corona, creando una aproximación de primer orden de la forma en que las encías se volverán a formar dentro de la boca de un paciente.

Cada diente también puede separarse del modelo recortado original. Adicionalmente, puede crearse una base a partir del modelo recortado original cortando las coronas de los dientes. El modelo resultante se usa como base para mover los dientes. Esto facilita la fabricación final de un molde físico a partir del modelo geométrico, tal como se describe más adelante.

Grosor: Cuando se usa un corte para separar un diente, el usuario querrá normalmente que el corte sea lo más fino posible. Sin embargo, el usuario puede querer hacer un corte más grueso, por ejemplo, cuando se raspa alrededor del diente, tal como se describió anteriormente. Gráficamente, el corte parece una curva delimitada por el grosor del corte en un lado de la curva.

Número de borradores: Un corte se compone de múltiples cuadros de borrado dispuestos unos cerca de otros como una aproximación lineal de trazos de la trayectoria curva de la herramienta de sierra. El usuario escoge el número de borradores, lo que determina la sofisticación de la curva creada - cuanto mayor sea el número de segmentos, más exactamente seguirá el corte a la curva. El número de borradores se muestra gráficamente mediante el número de líneas paralelas que conectan las dos curvas B-spline cúbicas. Una vez que se ha especificado completamente un corte de sierra, el usuario aplica el corte al modelo. El corte se realiza como una secuencia de borrados. En la figura 4A se expone un algoritmo preferido. La figura 4B muestra una iteración de borrado simple del corte, tal como se describe en el algoritmo para una curva B-spline de extremo abierto. Para un corte vertical, las curvas se cierran siendo $P_A[O]$ y $P_A[S]$ el mismo punto y $P_B[O]$ y $P_B[S]$ el mismo punto.

En una realización, el software puede dividir automáticamente la herramienta de sierra en un conjunto de borradores, basándose en una medida de la uniformidad introducida por el usuario. La sierra se subdivide adaptativamente hasta que una métrica de error mide que la desviación desde la representación ideal hasta la representación aproximada es menor que un umbral especificado por el ajuste de la uniformidad. La métrica de error preferida usada compara la longitud lineal de la curva subdividida hasta la longitud del arco de la curva spline ideal. Cuando la diferencia es mayor que un umbral calculado a partir del ajuste de la uniformidad, se añade un punto de subdivisión a lo largo de la curva spline.

También puede proporcionarse una característica de visualización previa en el software. La característica de visualización previa representa visualmente un corte de sierra como las dos superficies que representan los lados opuestos del corte. Esto permite que el usuario considere el corte final antes de aplicarlo al conjunto de datos del modelo.

Una vez que el usuario ha completado todas las operaciones de corte deseadas con la herramienta de sierra, existen múltiples sólidos gráficos. Sin embargo, en este punto, el software no ha determinado qué triángulos de la estructura de datos quad-edge pertenecen a qué componentes. El software elige un punto de partida aleatorio en la estructura de datos y atraviesa la estructura de datos usando información de adyacencia para encontrar todos los triángulos que se unen entre sí, identificando un componente individual. Este proceso se repite comenzando con el triángulo cuyo componente todavía no se ha determinado. Una vez que se atraviesa la totalidad de la estructura de datos, todos los componentes se han identificado.

Al usuario, todos los cambios hechos en el modelo de alta resolución le parece que se producen simultáneamente en el modelo de baja resolución, y viceversa. Sin embargo, no hay correlación de uno a uno entre los diferentes modelos de resolución. Por tanto, el ordenador “hace corresponder” los componentes de alta resolución con los de baja resolución lo mejor que puede sometido a límites definidos. El algoritmo se describe en la figura 5.

Detección de la cúspide: En una realización preferida, el software proporciona la capacidad para detectar cúspides para un diente. Las cúspides son proyecciones puntiagudas sobre la superficie de masticación de un diente. La detección de la cúspide puede realizarse antes o después de que se haya realizado la fase de corte. El algoritmo usado para la detección de la cúspide se compone de dos fases: (1) fase de “detección”, durante la que se determina un conjunto de puntos del diente como candidatos para localizaciones de cúspide; y (2) fase de “rechazo”, durante la que se rechazan los candidatos del conjunto de puntos si no satisfacen un conjunto de criterios asociados con las cúspides.

En la figura 6A se expone un algoritmo preferido para la fase de “detección”. En la fase de detección se visualiza una posible cúspide como una “isla” sobre la superficie del diente, con la cúspide candidata en el punto más elevado sobre la isla. Se mide “la mayor altura” con respecto al sistema de coordenadas del modelo, aunque podría medirse fácilmente con respecto al sistema de coordenadas local de cada diente, si se realiza la detección tras la fase de corte del tratamiento.

Se determina un conjunto de todas las cúspides posibles buscando todos los máximos locales sobre el modelo dental que están dentro de una distancia especificada de la parte superior del cuadro de límites del modelo. En primer lugar, el punto más elevado sobre el modelo se designa como la primera cúspide candidata. Se hace pasar un plano a través de este punto, perpendicular a la dirección a lo largo de la que se mide la altura de un punto. Se baja entonces el plano una pequeña distancia predeterminada a lo largo del eje Z. A continuación, todos los vértices conectados al

ES 2 206 952 T3

diente y que están por encima del plano y sobre algún componente conectado, se asocian con la cúspide candidata como cúspides. Esta etapa también se denomina etapa de “flood fill” (relleno por inundación). A partir de cada punto de cúspide candidata, se realiza una “inundación” externa, marcando cada vértice en el modelo visitado en esta materia como “parte de” la cúspide candidata correspondiente. Una vez completa la etapa de flood fill, se examina cada vértice del modelo. Cualquier vértice que esté por encima del plano y que no haya sido visitado por un flood fill se añade a la lista de cúspides candidatas. Estas etapas se repiten hasta que el plano se desplaza una distancia especificada.

Aunque este enfoque iterativo puede llevar más tiempo que una búsqueda de máximos locales, el enfoque descrito anteriormente conduce a una lista más corta de cúspides candidatas. Puesto que el plano se baja una distancia finita en cada etapa, pueden producirse máximos locales muy pequeños debido a que los datos de ruido están escapando.

Tras la fase de “detección”, el algoritmo de detección de la cúspide continúa con la fase de “rechazo”. En la figura 6B se expone un algoritmo preferido para la fase de “rechazo”. En esta fase, se analizan las geometrías locales alrededor de cada candidato a cúspide para determinar si tienen “características no similares a cúspides”. Los candidatos a cúspide que muestran “características no similares a cúspides” se eliminan de la lista de candidatos a cúspide.

Pueden usarse varios criterios para identificar las “características no similares a cúspides”. Según una prueba, se usa la curvatura local de la superficie alrededor del candidato a cúspide para determinar si el candidato tiene características no similares a cúspides. Tal como se representa en la figura 6B, la curvatura local de la superficie alrededor del candidato a cúspide se aproxima y luego se analiza para determinar si es demasiado grande (superficie muy puntiaguda) o demasiado pequeña (superficie muy plana), en cuyo caso el candidato se elimina de la lista de candidatos a cúspide. Se usan valores por lo bajo para los valores de curvatura mínima y máxima para garantizar que las cúspides verdaderas no se rechacen por error.

Según una prueba alternativa, se calcula una medida de la uniformidad basándose en la normal media en un área alrededor de la cúspide candidata. Si la normal media se desvía de la normal en la cúspide en más de una cantidad especificada, la cúspide candidata se rechaza. En una realización preferida, la desviación de un vector N normal de la normal CN de la cúspide se aproxima por la fórmula:

$$1 - \text{Abs}(N * CN),$$

que es cero en ausencia de desviación y 1 cuando N y CN son perpendiculares.

Una vez que se han separado los dientes, puede crearse el CFDD a partir del CIDD. El CFDD se crea siguiendo la prescripción de los ortodoncistas, moviendo los dientes a su prescripción final. En una realización, la prescripción se introduce en un ordenador, que calcula algorítmicamente la posición final de los dientes. En realizaciones alternativas, un usuario puede mover los dientes a sus posiciones finales manipulando independientemente uno o más dientes mientras satisface las restricciones de la prescripción. Debe apreciarse que también pueden usarse varias combinaciones de las técnicas anteriormente descritas para llegar a la posición dental final.

El método preferido para crear el CFDD supone mover los dientes en una secuencia especificada. En primer lugar, los centros de cada diente se alinean a una arcada estándar. Luego, los dientes se giran hasta que sus raíces estén en la posición vertical apropiada. A continuación, los dientes se giran alrededor de sus ejes verticales en la orientación apropiada. Los dientes se observan entonces desde el lateral y se trasladan verticalmente a su posición vertical apropiada. Finalmente, las dos arcadas se colocan juntas y los dientes se mueven ligeramente para garantizar que las arcadas superior e inferior concuerdan apropiadamente juntas. La concordancia de las arcadas superior e inferior juntas se visualiza usando el algoritmo de detección de colisión para destacar los puntos de contacto de los dientes en rojo.

Una vez colocados o eliminados los dientes y otros componentes de manera que se haya producido la disposición dental final, es necesario generar un plan de tratamiento, tal como se ilustra en la figura 7. El plan de tratamiento producirá en última instancia la serie de CINTDD y CFDD, tal como se describió anteriormente. Para producir estos conjuntos de datos es necesario definir o mapear el movimiento de los dientes individuales seleccionados desde la posición inicial hasta la posición final, a lo largo de una serie de etapas sucesivas. Además, puede ser necesario añadir otras características a los conjuntos de datos con el fin de producir las características deseadas en los aparatos de tratamiento. Por ejemplo, puede ser deseable añadir parches de cera a la imagen con el fin de definir cavidades o huecos para propósitos particulares. Por ejemplo, puede ser deseable mantener un espacio entre el aparato y regiones particulares de los dientes o la mandíbula, con el fin de reducir el dolor de las encías, evitar problemas periodontales, tener en cuenta una funda, y similares. Adicionalmente, a menudo será necesario proporcionar un receptáculo o abertura destinada a albergar un anclaje que ha de colocarse sobre un diente con el fin de permitir que el diente se manipule de manera que requiera que el anclaje, por ejemplo, se eleve con relación a la mandíbula.

Algunos métodos para la fabricación de los aparatos de corrección de la posición dental requieren que se unifiquen los dientes y otros componentes separados de posición corregida en una estructura continua individual, con el fin de permitir la fabricación. En estos casos, se usan “parches de cera” para unir los componentes desconectados en caso contrario de los CINTDD. Estos parches se añaden al conjunto de datos por debajo de los dientes y por encima de la encía, de manera que no afecten a la geometría de los aparatos de corrección de la posición dental. El software de

ES 2 206 952 T3

aplicación prevé que se añada una variedad de parches de cera al modelo, incluyendo cuadros y esferas de dimensiones ajustables. Los parches de cera que se añaden son tratados por el software como piezas adicionales de geometría, idénticas a todas las demás geometrías. Por tanto, se puede corregir la posición de los parches de cera durante la trayectoria de tratamiento, así como los dientes y otros componentes. El método preferido de separación de los dientes usando la eliminación vertical del centro, tal como se describió anteriormente, elimina la necesidad de la mayoría de estos “parches de cera”.

En el proceso de fabricación, que se basa en la generación de modelos positivos para producir el aparato de corrección de la posición, la adición de un parche de cera al modelo gráfico generará un molde positivo que tiene la misma geometría del parche de cera añadido. Dado que el molde es un positivo de los dientes y que el aparato es un negativo de los dientes, cuando el aparato se forma sobre el molde, el aparato también se formará alrededor del parche de cera que se ha añadido al molde. Cuando se coloca en la boca del paciente, el aparato dejará por tanto un espacio entre la superficie de la cavidad interna del aparato y los dientes o las encías del paciente. Adicionalmente, el parche de cera puede usarse para formar un hueco o apertura dentro del aparato que se ajuste a un anclaje situado sobre los dientes, con el fin de mover el diente en las direcciones que no se conseguirían en caso contrario.

Además de tales parches de cera, puede reducirse o aumentarse a escala hasta un tamaño menor o mayor un componente individual, normalmente un diente, lo que dará como resultado un aparato fabricado que tendrá un ajuste más apretado o más suelto, respectivamente.

La planificación del tratamiento es extremadamente flexible en la definición del movimiento de los dientes y otros componentes. El usuario puede cambiar el número de fases del tratamiento, así como controlar individualmente la trayectoria y la velocidad de los componentes.

Número de fases del tratamiento: El usuario puede cambiar el número de fases deseadas del tratamiento desde los estados inicial hasta el objetivo de los dientes. Se supone que cualquier componente que no se mueva permanece estacionario y, por tanto, se supone que su posición final es la misma que en la posición inicial (de la misma manera para todas las posiciones intermedias, a menos que se defina uno o más entramados clave para ese componente).

Entramados clave: El usuario también puede especificar “entramados clave” seleccionando un estado intermedio y realizando cambios en la(s) posición(es) del componente. A menos que se den instrucciones en sentido contrario, el software automáticamente interpola linealmente entre todas las posiciones especificadas por el usuario (incluyendo la posición inicial, todas las posiciones del entramado clave y la posición objetivo). Por ejemplo, si sólo se define una posición final para un componente particular, cada fase posterior tras la fase inicial simplemente mostrará el componente en una distancia lineal igual y la rotación (especificada por un cuaternión) más cerca hasta la posición final. Si el usuario especifica dos entramados clave para ese componente, lo “moverá” linealmente desde la posición inicial a través de diferentes fases hasta la posición definida por el primer entramado clave. Entonces lo moverá, posiblemente en una dirección diferente, linealmente hasta la posición definida por el segundo entramado clave. Finalmente, lo moverá, posiblemente todavía en una dirección diferente, linealmente hasta la posición objetivo.

El usuario también puede especificar interpolación no lineal entre los entramados clave. Se usa una curva spline para especificar la función de interpolación de una manera convencional.

Estas operaciones pueden realizarse independientemente para cada componente, de manera que un entramado clave para un componente no afectará a otro componente, a menos que el usuario también mueva el otro componente en ese entramado clave. Un componente se puede acelerar a lo largo de una curva entre las fases 3 y 8, mientras que otro se mueve linealmente desde la fase 1 a la 5 y después cambia de dirección repentinamente y se ralentiza a lo largo de una trayectoria lineal hasta la fase 10. Esta flexibilidad permite una gran libertad en la planificación del tratamiento de un paciente.

En una realización, el software determina automáticamente la trayectoria de tratamiento, basándose en el CIDD y en el CFDD. Esto se lleva a cabo normalmente usando un algoritmo de planificación de la trayectoria que determina la velocidad a la que se mueve cada componente, es decir, un diente, a lo largo de una trayectoria recta desde la posición inicial hasta la posición final. El algoritmo de planificación de la trayectoria usado por la presente invención determina la trayectoria de tratamiento, mientras que evita el “viaje de ida y vuelta” que es el término usado por los ortodoncistas en referencia al movimiento de un diente a lo largo de una distancia mayor a la absolutamente necesaria para enderezar los dientes. Tal movimiento es sumamente indeseable y tiene efectos secundarios negativos potenciales en el paciente. Con el fin de evitar el “viaje de ida y vuelta”, el algoritmo de planificación de la trayectoria programa u organiza los movimientos de todos los dientes limitándolos a la trayectoria más corta en línea recta, entre la posición inicial y la final, mientras que se evitan todas las interferencias entre los dientes separados.

El algoritmo de planificación de la trayectoria utiliza una técnica de búsqueda aleatoria para encontrar una trayectoria no obstruida a través de un espacio de configuración que describe las posibles planificaciones de tratamiento. Más adelante, se describe una realización preferida del algoritmo para programar el movimiento entre dos entramados clave globales definidos por el usuario. La planificación durante un intervalo de tiempo que incluye los entramados clave intermedios se lleva a cabo dividiendo el intervalo de tiempo en subintervalos que no incluyen entramados clave intermedios, programando cada uno de estos intervalos independientemente y luego concatenando los programas resultantes.

ES 2 206 952 T3

El diagrama 120 de flujo en la figura 8A representa un algoritmo de planificación de la trayectoria simplificado según una realización de la presente invención. Tal como se muestra en la figura 8A, la primera etapa 122 supone la construcción de la descripción del “espacio de configuración”. Una “configuración”, en este contexto, se refiere a un conjunto dado de posiciones de todos los dientes que se están considerando para su movimiento. Cada una de estas 5 posiciones puede describirse de múltiples formas. En una realización preferida de la presente invención, las posiciones se describen mediante una transformación afín para especificar el cambio en la localización y una transformación rotacional para especificar el cambio en la orientación de un diente desde su posición inicial hasta su posición final. Las posiciones intermedias de cada diente se describen mediante un par de números que especifican lo lejos que se interpola la localización y la orientación entre los dos criterios de valoración. Por tanto, una “configuración” consiste 10 en dos números para cada diente que se está moviendo y, el “espacio de configuración” se refiere al espacio de todos estos pares de números. Por tanto, el espacio de configuración es un espacio cartesiano, en la que cualquier localización puede interpretarse especificando las posiciones de todos los dientes.

La transformación afín que describe el movimiento de cada diente desde su posición inicial hasta su posición 15 final se descompone en componentes translacionales y rotacionales; estas transformaciones se interpolan independientemente con parámetros escalares que se consideran dos dimensiones del espacio de configuración. Por tanto, la totalidad del espacio de configuración consiste en dos dimensiones por diente movido, que se tratan equivalentemente durante la búsqueda posterior.

El espacio de configuración se compone de “espacio libre” y “espacio obstruido”. Las configuraciones “libres” 20 son las que representan posiciones válidas y físicamente realizables de los dientes, mientras que las configuraciones “obstruidas” son las que no lo son. Para determinar si una configuración es libre u obstruida, se crea un modelo para las posiciones de los dientes que la configuración describe. Se aplica entonces un algoritmo de detección de colisión para determinar si cualquiera de las geometrías que describen las superficies dentales intersecta. Si no hay obstrucciones, el 25 espacio se considera libre, en caso contrario es obstruido. El algoritmo de detección de colisión se trata más adelante en mayor detalle.

En la etapa 124 se define una función de “visibilidad” $V(s_1, s_2)$ que toma dos vectores en el espacio de configuración, “ s_1 ” y “ s_2 ”, como entrada y devuelve un valor booleano verdadero o falso. Esta función de visibilidad devuelve 30 un valor verdadero si y sólo si una trayectoria de línea recta que conecta s_1 y s_2 pasa totalmente a través de una región libre y no obstruida del espacio de configuración. Un algoritmo preferido de la función de visibilidad se expone en la figura 8B. La función de visibilidad se calcula aproximadamente probando el modelo dental para determinar las interferencias en los puntos tomados como muestra de manera diferenciada a lo largo de la línea s_1-s_2 . Pueden usarse técnicas, tales como la terminación temprana en caso de fracaso o la elección del orden de los puntos de muestra 35 subdividiendo recurrentemente el intervalo que ha de probarse, para aumentar la eficacia de la función de visibilidad.

En la etapa 126 de la figura 8A, se define una función $C(s)$ “hija” cuyo parámetro de entrada, “ s ”, es un vector en el espacio de configuración y que devuelve un conjunto de vectores, “ s_c ” en el espacio de configuración. La figura 8C describe un diagrama de flujo simplificado que ilustra las etapas seguidas para el cálculo de la función $C(s)$ hija. Cada 40 vector dentro del conjunto s_c satisface la propiedad de que $V(s, s_c)$ es verdadera y que cada uno de sus componentes es mayor o igual al componente correspondiente de “ s ”. Esto supone que cualquier estado representado por tal vector puede alcanzarse desde “ s ” sin encontrar ninguna interferencia y sin realizar ningún movimiento que no sea en la dirección prescrita por el tratamiento. Cada vector del conjunto “ s_c ” se crea alterando cada componente de “ s ” en alguna cantidad aleatoria y positiva. La función $V(s, s_c)$ de visibilidad se calcula entonces y se añade “ s ” al conjunto 45 “ s_c ” si la función de visibilidad devuelve un valor booleano verdadero. Adicionalmente, para cada uno de tales vectores generados, se registra un indicador para su “ s ” precursor para su uso posterior.

Una vez que se ha definido el espacio de configuración, en la etapa 128, se realiza la planificación de la trayectoria entre un estado “ s_{inic} ” inicial y un estado “ s_{final} ” final. La figura 8D describe un diagrama de flujo preferido para realizar 50 la etapa 128 descrita en la figura 8A. Tal como se ilustra en la figura 8D, en la etapa 128a, se define un conjunto de estados “ W ” para que contenga inicialmente sólo el estado s_{inic} inicial. A continuación, en la etapa 128b, se invoca la función de visibilidad para determinar si $V(s, s_{final})$ es verdadera para al menos un estado s_i en W . Si la función de visibilidad devuelve un valor booleano falso, en la etapa 128c, el conjunto de estados “ W ” se sustituye con la unión de $C(s_i)$ para todos los s_i en W . Las etapas 128b y 128c se repiten hasta que $V(s_i, s_{final})$ devuelve un valor booleano 55 verdadero para cualquier s_i que pertenece a W .

En la etapa 128d, para cualquier s_i para el que $V(s_i, s_{final})$ sea cierto, se construye una trayectoria P_i no obstruida desde s_i hasta s_{inic} siguiendo los indicadores precursores de nuevo hasta s_{inic} . En la etapa 128e, la trayectoria desde s_{inic} hasta s_{final} se construye entonces concatenando las trayectorias P_i con la etapa final desde s_i hasta s_{final} . Si hay múltiples 60 trayectorias desde s_{inic} hasta s_{final} , se calcula la longitud total de cada trayectoria en la etapa 128f. Finalmente, en la etapa 128g, la trayectoria con la longitud más corta se escoge entonces como la trayectoria final. La longitud de la trayectoria escogida corresponde a las fases y al tiempo totales requeridos para un plan de tratamiento.

La trayectoria final resultante consiste en una serie de vectores, cada uno de los cuales representa un grupo de 65 valores de los parámetros de interpolación de los componentes translacionales y rotacionales de las transformaciones de los dientes en movimiento. Tomados en conjunto, éstos constituyen un programa de movimiento dental que evita las interferencias diente-diente.

Algoritmo de detección de colisión: el algoritmo de detección de colisión o interferencia empleado por la presente invención se basa en el algoritmo descrito en el artículo de SIGGRAPH, Stefan Gottschalk et al. (1996): “*OBTree: A Hierarchical Structure for Rapid Interference Detection*.” Los contenidos del artículo de SIGGRAPH se incorporan al presente documento como referencia.

El algoritmo gira en torno a una subdivisión recurrente del espacio ocupado por un objeto, que se organiza en forma de árbol binario. Se usan triángulos para representar los dientes en CDD. Cada nodo del árbol se denomina cuadro delimitador orientado (OBB, oriented bounding box) y contiene un subconjunto de triángulos que aparecen en el precursor del nodo. El hijo de un nodo precursor contiene entre ellos los datos de triángulo almacenados en el nodo precursor.

El cuadro delimitador de un nodo se orienta de manera que se ajuste de forma apretada alrededor de los triángulos en ese nodo. Los nodos de hoja en el árbol contienen idealmente un único triángulo, pero pueden contener posiblemente más de un triángulo. La detección de colisiones entre dos objetos supone determinar si los árboles OBB de los objetos intersectan. La figura 9A expone un diagrama de flujo que representa una versión simplificada de una prueba de colisión recurrente para comprobar si un nodo “N1” de un primer objeto intersecta con el nodo “N2” de un segundo objeto. Si los OBB de los nodos raíz de los árboles se solapan, se comprueba el solapamiento del hijo de la raíz. El algoritmo continúa de una forma recurrente hasta que se alcanzan los nodos de las hojas. En este punto, se usa una rutina robusta de intersección de triángulos para determinar si los triángulos de las hojas están implicados en una colisión.

La presente invención proporciona varias mejoras al algoritmo de detección de colisión descrito en el artículo de SIGGRAPH. En una realización, la presente invención proporciona un método único de construcción de árboles OBB en una forma vaga para ahorrar memoria y tiempo. Este enfoque proviene de la observación de que hay partes del modelo que nunca estarán implicadas en una colisión y, en consecuencia no es necesario calcular el árbol OBB para tales partes del modelo. Los árboles OBB se extienden dividiendo los nodos internos del árbol según sea necesario durante el algoritmo de determinación de colisión recurrente, tal como se representa en la figura 9B.

En otra realización de la presente invención, también puede excluirse específicamente la consideración de los triángulos en el modelo que no se requieren para los datos de colisión cuando se construye un árbol OBB. Tal como se representa en la figura 9C, se proporciona información adicional al algoritmo de colisión para especificar objetos en movimiento. El movimiento puede visualizarse en dos niveles. Los objetos pueden conceptualizarse como “en movimiento” en un sentido global, o pueden conceptualizarse como “en movimiento” en relación con otros objetos. La información adicional mejora el tiempo que se tarda para detectar la colisión evitando el nuevo cálculo de la información de colisión entre objetos que están en reposo en relación con otros, puesto que el estado de colisión entre tales objetos no cambia.

El software de la presente invención también puede incorporar y el usuario puede usar en cualquier punto una característica de “película” para animar automáticamente el movimiento desde los estados inicial hasta el objetivo. Esto es útil para la visualización del movimiento global de los componentes durante todo el proceso de tratamiento.

Anteriormente se describió que la interfaz de usuario preferida para la identificación del componente es una GUI interactiva tridimensional. Una GUI tridimensional también se prefiere para la manipulación del componente. Tal interfaz proporciona al profesional que trate o al usuario una interacción instantánea y visual con los componentes del modelo digital. Se prefiere sobre interfaces que sólo permitan instrucciones simples de bajo nivel para indicar al ordenador que manipule un segmento particular. En otras palabras, una GUI adaptada para la manipulación se prefiere sobre una interfaz que acepte instrucciones, por ejemplo, sólo del tipo: “traslade este componente 0,1 mm hacia la derecha”. Tales instrucciones de bajo nivel son útiles para la manipulación de ajuste fino, pero si hubiera una sola interfaz, los procesos de manipulación del componente se convertirían en una interacción tediosa y que llevaría mucho tiempo.

Antes o durante el proceso de manipulación, pueden aumentarse uno o más componentes dentales con modelos de plantilla de raíces dentales. La manipulación de un modelo dental aumentado con una plantilla de la raíz es útil, por ejemplo, en situaciones en las que el impacto de los dientes bajo la línea de la encía es una preocupación. Por ejemplo, estos modelos de plantilla podrían comprender una representación digitalizada de la radiografía de los dientes del paciente.

El software también permite añadir anotaciones a los conjuntos de datos que pueden comprender texto y/o los números secuenciales del aparato. La anotación se añade como texto acoplado (es decir, es geometría 3D), de manera que aparecerá sobre el modelo positivo impreso. Si la anotación puede situarse sobre una parte de la boca que se cubrirá con un aparato corrector, pero no es importante para el movimiento de los dientes, la anotación puede aparecer sobre el(los) aparato(s) corrector(es) suministrado(s).

El software de identificación del componente y de manipulación del componente anteriormente descrito se diseña para que funcione con una complejidad acorde con el nivel de formación del operario. Por ejemplo, el software de manipulación del componente puede ayudar a un usuario del ordenador, que carezca de formación en ortodoncia, proporcionando retroalimentación en lo que se refiere a las manipulaciones permisibles y prohibidas de los dientes. Por otra parte, un ortodoncista que tenga mayor experiencia en fisiología intrabucal y dinámica de movimiento de los

ES 2 206 952 T3

dientes puede usar simplemente el software de identificación y manipulación del componente como una herramienta e inhabilitar o en caso contrario hacer caso omiso del consejo.

Una vez que se han creado los conjuntos de datos intermedios y finales, los aparatos pueden fabricarse tal como se ilustra en la figura 10. Preferiblemente, los métodos de fabricación emplearán un dispositivo 200 de creación rápida de prototipos, tal como una máquina de estereolitografía. Una máquina de creación rápida de prototipos particularmente adecuada es el Modelo SLA-250/50 disponible de 3D System, Valencia, California. La máquina 200 de creación rápida de prototipos endurecerá selectivamente un líquido u otra resina no endurecida para dar una estructura tridimensional que pueda separarse de la resina no endurecida restante, lavarse y usarse o bien directamente como el aparato, o indirectamente como un molde para producir el aparato. La máquina 200 de creación de prototipos recibirá los conjuntos individuales de datos digitales y producirá una estructura correspondiente a cada uno de los aparatos deseados. Generalmente, dado que la máquina 200 de creación rápida de prototipos puede utilizar una resina que no tenga propiedades mecánicas óptimas y que no sea generalmente aceptable para el uso por el paciente, se preferirá usar la máquina de creación de prototipos para producir moldes que son, en efecto, modelos dentales positivos para cada fase sucesiva del tratamiento. Una vez preparados los modelos positivos, puede usarse una máquina de moldeo al vacío o por presión convencional para producir los aparatos de un material más adecuado, tal como material dental termoformado de 0,76 mm (0,03 pulgadas), disponible de Tru-Tain Plastics, Rochester, Minnesota 55902. Equipo de moldeo por presión adecuado está disponible con el nombre comercial de BIOSTAR de Great Lakes Orthodontics, Ltd., Tonawanda, Nueva York, 14150. La máquina 250 de moldeo produce cada uno de los aparatos directamente a partir del modelo dental positivo y del material deseado. Máquinas de moldeo al vacío adecuadas están disponibles de Raintree Essix, Inc.

Tras la producción, la pluralidad de aparatos que comprende el sistema de la presente invención se suministran preferiblemente al profesional que trata al mismo tiempo. Los aparatos se marcarán de alguna manera, normalmente mediante numeración secuencial directamente sobre los aparatos o en etiquetas, bolsas u otros artículos que se fijen o que encierren cada aparato, para indicar su orden de uso. Opcionalmente, el sistema puede ir acompañado por instrucciones por escrito que expliquen que el paciente va a llevar los aparatos individuales en el orden marcado sobre los aparatos o en cualquier sitio en el envase. El uso de los aparatos de tal forma corregirá la posición de los dientes del paciente progresivamente hacia la disposición dental final.

La figura 11 es un diagrama de bloques simplificado de un sistema 300 de tratamiento de datos que realiza la presente invención. El sistema 300 de tratamiento de datos normalmente incluye al menos un procesador 302 que comunica con varios dispositivos periféricos mediante el subsistema 304 de bus. Estos dispositivos periféricos normalmente incluyen un subsistema 306 de almacenamiento (subsistema 308 de memoria y subsistema 314 de almacenamiento de archivos), un conjunto de dispositivos 318 de entrada y salida de interfaz del usuario y una interfaz para redes 316 exteriores, incluyendo la red pública de conmutación telefónica. Esta interfaz se muestra esquemáticamente como el bloque 316 de "Interfaz de Red y Modems" y está acoplada a dispositivos de interfaz correspondientes en otros sistemas de tratamiento de datos mediante la interfaz 324 de red de comunicación. El sistema 300 de tratamiento de datos podría ser un terminal o un ordenador personal de terminación ordinario o un ordenador personal, estación de trabajo o unidad de proceso de alta calidad.

Los dispositivos de entrada de interfaz del usuario normalmente incluyen un teclado y pueden incluir además un dispositivo apuntador y un explorador. El dispositivo apuntador puede ser un dispositivo apuntador indirecto tal como un ratón, una bola de seguimiento, una plaqueta táctil o una tablilla de datos, o un dispositivo apuntador directo, tal como una pantalla sensible al tacto incorporada en la representación. También son posibles otros tipos de dispositivos de entrada de interfaz del usuario, tales como sistemas de reconocimiento de voz.

Los dispositivos de salida de la interfaz de usuario normalmente incluyen una impresora y un subsistema de representación, que incluye un controlador de representación y un dispositivo de representación acoplado al controlador. El dispositivo de representación puede ser un tubo de rayos catódicos (CRT), un dispositivo de panel plano tal como una pantalla de cristal líquido (LCD) o un dispositivo de proyección. El subsistema de representación también puede proporcionar una representación no visual tal como una salida de audio.

El subsistema 306 de almacenamiento mantiene las construcciones básicas de datos y programación que proporcionan la funcionalidad de la presente invención. Los módulos de software tratados anteriormente se almacenan normalmente en el subsistema 306 de almacenamiento. El subsistema 306 de almacenamiento normalmente comprende un subsistema 308 de memoria y un subsistema 314 de almacenamiento de archivos.

El subsistema 308 de memoria normalmente incluye varias memorias que incluyen una memoria de acceso aleatorio (RAM) 310 principal para el almacenamiento de instrucciones y datos durante la ejecución del programa y una memoria de sólo lectura (ROM) 312 en la que se almacenan instrucciones fijas. En el caso de los ordenadores personales compatibles con Macintosh, la ROM incluiría partes del sistema operativo; en el caso de los ordenadores personales compatibles con IBM, ésta incluiría el BIOS (sistema básico de entrada/salida).

El subsistema 314 de almacenamiento de archivos proporciona almacenamiento constante (no volátil) para archivos de datos y programas y normalmente incluye al menos una unidad de disco duro y al menos una unidad de disco flexible (con medios extraíbles asociados). También puede haber otros dispositivos, tales como una unidad de CD-ROM y unidades ópticas (todos con sus medios extraíbles asociados). Adicionalmente, el sistema puede incluir

ES 2 206 952 T3

unidades del tipo con cartuchos de medios extraíbles. Los cartuchos de medios extraíbles pueden, por ejemplo, ser cartuchos de disco duro, tal como los comercializados por Syquest y otros, y cartuchos de disco flexible, tales como los comercializados por Iomega. Una o más de las unidades pueden localizarse en una localización remota, tal como un servidor en una red de área local o en un sitio en la malla mundial (World Wide Web) de Internet.

5

En este contexto, la expresión “subsistema de bus” se usa genéricamente de manera que incluya cualquier mecanismo para permitir que varios componentes y subsistemas se comuniquen entre sí, según se desee. Con la excepción de los dispositivos de entrada y de representación, no es necesario que los demás componentes estén en la misma localización física. Por tanto, por ejemplo, partes del sistema de almacenamiento de archivos podría conectarse a través de varios medios de red de área local o de área amplia, incluyendo las líneas telefónicas. De manera similar, no es necesario que los dispositivos de entrada y de representación estén en la misma localización que el procesador, aunque se prevé que la presente invención se pondrá en práctica más a menudo en el contexto de los PC y de las estaciones de trabajo.

10

15

El subsistema 304 de bus se muestra esquemáticamente como un bus individual, aunque un sistema habitual tiene varios buses, tal como un bus local y uno o más buses de expansión (por ejemplo, ADB, SCSI, ISA, EISA, MCA, NuBus o PCI), así como puertos en serie y en paralelo. Las conexiones en red se establecen normalmente a través de un dispositivo tal como un adaptador en red en uno de estos buses de expansión o un módem o un puerto en serie. El ordenador del cliente puede ser un sistema de escritorio o un sistema portátil.

20

El explorador 320 es el responsable de explorar los moldes de los dientes del paciente obtenido, o bien del paciente, o de un ortodoncista y de proporcionar la información de conjunto de datos digitales explorados al sistema 300 de tratamiento de datos para el tratamiento adicional. En un entorno distribuido, el explorador 320 puede localizarse en una localización remota y comunicar la información del conjunto de datos digitales explorados al sistema 300 de tratamiento de datos a través de la interfaz 324 de red.

25

La máquina 322 de fabricación fabrica aparatos dentales basándose en la información del conjunto de datos intermedio y final recibida a partir del sistema 300 de tratamiento de datos. En un entorno distribuido, la máquina 322 de fabricación puede localizarse en una localización remota y recibir la información del conjunto de datos a partir del sistema 300 de tratamiento de datos a través de la interfaz 324 de red.

30

Lo anterior es una descripción completa de las realizaciones preferidas de la invención. Por tanto, la descripción anterior no debe tomarse como limitante del alcance de la invención que se define mediante las reivindicaciones adjuntas.

35

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

- 5 1. Método para producir un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental final, comprendiendo dicho método:
- proporcionar un conjunto inicial de datos digitales que representen una disposición dental inicial;
- 10 presentar una imagen visual basada en el conjunto inicial de datos;
- manipular la imagen visual para corregir la posición de los dientes individuales en la imagen visual; y
- producir un conjunto final de datos digitales que representen la disposición dental final con los dientes con su posición corregida, tal como se observa en la imagen.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de proporcionar un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental inicial comprende la exploración de un modelo tridimensional de los dientes de un paciente.
- 20 3. Método según la reivindicación 2, en el que la etapa de manipulación comprende:
- definir límites alrededor de al menos alguno de los dientes individuales; y
- mover al menos alguno de los límites dentales con relación a los demás dientes en una imagen basada en el conjunto de datos digitales.
- 25 4. Método según la reivindicación 1 para producir una pluralidad de conjuntos de datos digitales que representen una serie de disposiciones dentales diferenciadas que progresan desde una disposición inicial hasta una final, comprendiendo además dicho método:
- 30 producir una pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales basados en los conjuntos de datos digitales proporcionados, en los que dicha pluralidad de conjuntos de datos digitales representen una serie de disposiciones dentales sucesivas que progresan desde la disposición dental inicial hasta la disposición dental final.
- 35 5. Método según la reivindicación 4, en el que la etapa de proporcionar un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental inicial, comprende explorar un modelo tridimensional de los dientes de un paciente.
6. Método según la reivindicación 4, en el que la etapa de proporcionar un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental final comprende:
- 40 definir límites alrededor de al menos alguno de los dientes individuales; y
- mover al menos alguno de los límites dentales con relación a los demás dientes en una imagen basada en el conjunto de datos digitales para producir el conjunto final de datos.
- 45 7. Método según la reivindicación 4, en el que la etapa de producir una pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales comprende determinar las diferencias posicionales entre el conjunto inicial de datos y el conjunto final de datos e interpolar dichas diferencias.
- 50 8. Método según la reivindicación 7, en el que la etapa de interpolación comprende la interpolación lineal.
9. Método según la reivindicación 7, en el que la etapa de interpolación comprende la interpolación no lineal.
10. Método según la reivindicación 7, que comprende además definir uno o más entramados clave entre la disposición dental inicial y la disposición dental final e interpolar entre los entramados clave.
- 55 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 4-10, que comprende además fabricar aparatos basados en al menos alguno de los conjuntos de datos digitales producidos.
- 60 12. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de proporcionar un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental inicial comprende explorar un modelo tridimensional de los dientes de un paciente.
13. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de proporcionar un conjunto de datos digitales que representen una disposición dental final comprende:
- 65 definir límites alrededor de al menos alguno de los dientes individuales; y

ES 2 206 952 T3

mover al menos alguno de los límites dentales con relación a los demás dientes en una imagen basada en el conjunto de datos digitales para producir el conjunto final de datos.

5 14. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de producir una pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales comprende determinar las diferencias posicionales entre el conjunto inicial de datos y el conjunto final de datos e interpolar dichas diferencias.

15. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de interpolación comprende la interpolación lineal.

10 16. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de interpolación comprende la interpolación no lineal.

17. Método según la reivindicación 11, que comprende además definir uno o más entramados clave entre la disposición dental inicial y la disposición dental final e interpolar entre los entramados clave.

15 18. Método según la reivindicación 11, en el que la etapa de fabricación comprende:

controlar una máquina de fabricación basada en los conjuntos sucesivos de datos digitales para producir modelos positivos sucesivos de las disposiciones dentales sucesivas; y

20 producir el aparato dental como un negativo del modelo positivo.

19. Método según la reivindicación 18, en el que la etapa de control comprende:

25 proporcionar un volumen de resina polimérica no endurecida; y

explorar por láser para endurecer selectivamente la resina en una forma basada en el conjunto de datos digitales para producir el modelo positivo.

30 20. Método según la reivindicación 18, en el que la etapa de producción comprende modelar el aparato sobre el modelo positivo.

21. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 17, que comprende además,

35 controlar una máquina de fabricación basada en el conjunto final de datos digitales o uno de dicha pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales para producir un modelo positivo de una disposiciones dental modificada; y

producir un aparato dental como un negativo del modelo positivo.

40 22. Método según la reivindicación 21, en el que la etapa de control comprende:

proporcionar un volumen de resina polimérica no endurecida; y

45 explorar por láser para endurecer selectivamente la resina en una forma basada en el conjunto de datos digitales para producir el modelo positivo.

23. Método según la reivindicación 21, en el que la etapa de producción comprende moldear el aparato sobre el modelo positivo.

24. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-17, que comprende además:

50 producir un segundo conjunto de datos digitales a partir del conjunto final de datos digitales o uno de dicha pluralidad de conjuntos sucesivos de datos digitales, en el que el segundo conjunto de datos representa un modelo negativo de una disposición dental modificada; y

55 controlar una máquina de fabricación basada en el segundo conjunto de datos digitales para producir un aparato dental.

25. Método según la reivindicación 24, en el que la etapa de control comprende endurecer selectivamente una resina no endurecida para producir el aparato y separar el aparato de la resina líquida restante.

60

65

ES 2 206 952 T3

26. Método según la reivindicación 24, en el que el aparato comprende un armazón polimérico que tiene una cavidad conformada para alojar y corregir de forma elástica la posición de los dientes desde una disposición dental inicial hasta la disposición dental modificada.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

NOTA INFORMATIVA: Conforme a la reserva del art. 167.2 del Convenio de Patentes Europeas (CPE) y a la Disposición Transitoria del RD 2424/1986, de 10 de octubre, relativo a la aplicación del Convenio de Patente Europea, las patentes europeas que designen a España y solicitadas antes del 7-10-1992, no producirán ningún efecto en España en la medida en que confieran protección a productos químicos y farmacéuticos como tales.

65

Esta información no prejuzga que la patente esté o no incluida en la mencionada reserva.

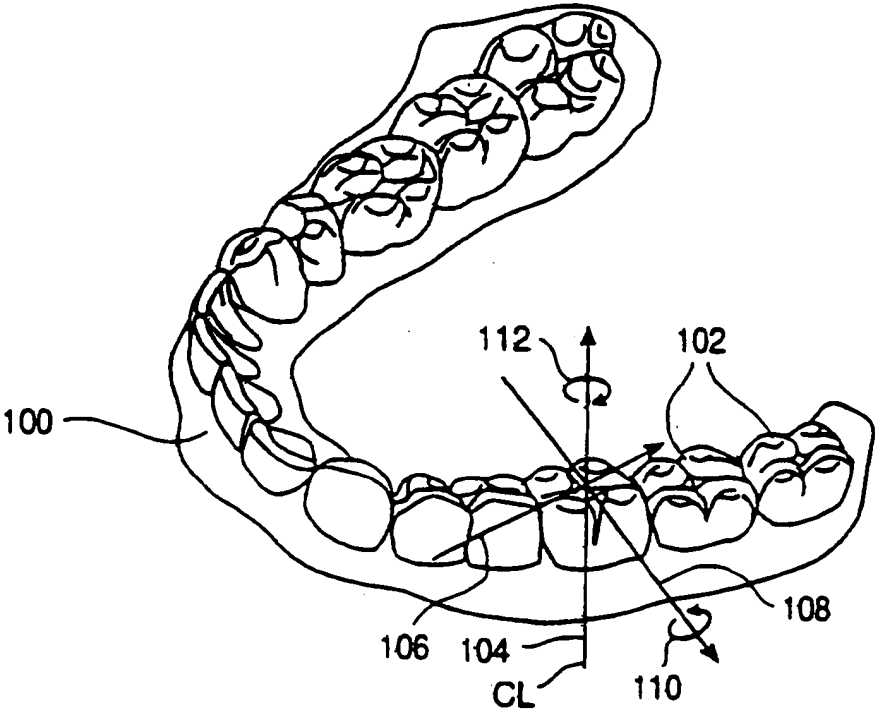


FIG. 1A

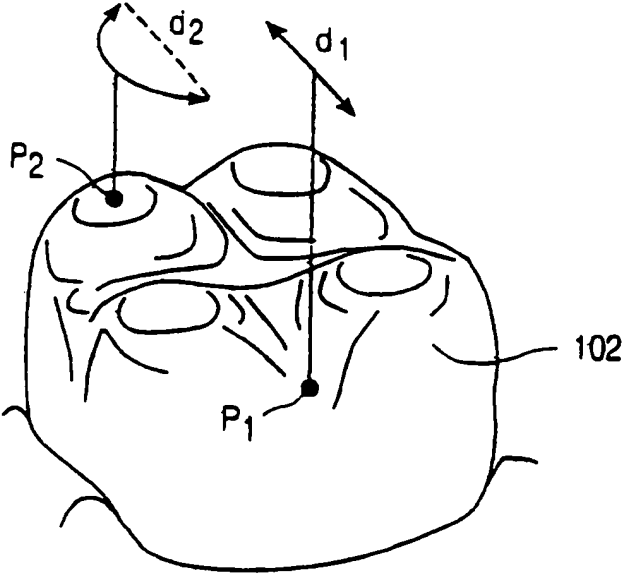


FIG. 1B

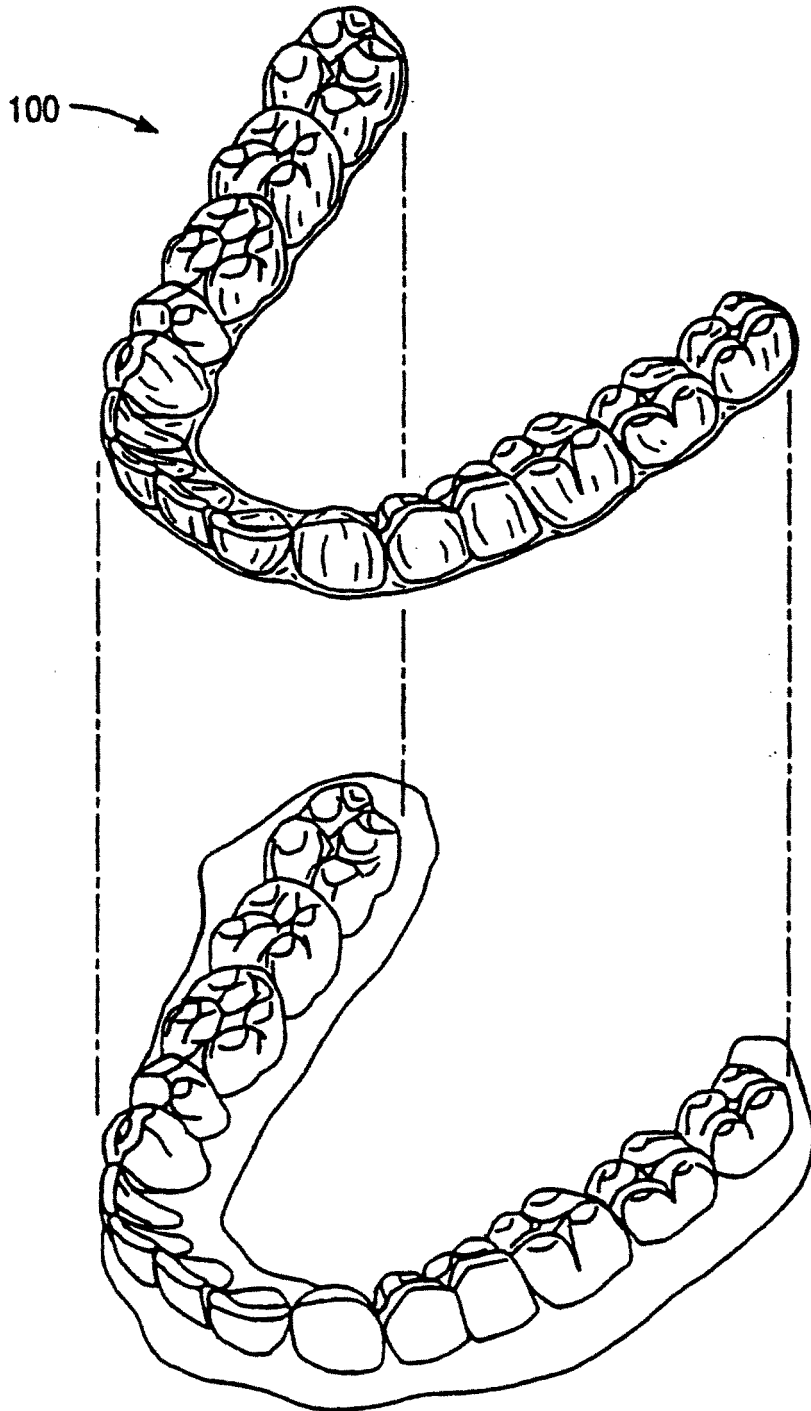


FIG. 1C

DIGITALIZAR LA DISPOSICIÓN
DENTAL INICIAL PARA
PRODUCIR EL CONJUNTO
INICIAL DE DATOS DIGITALES
(CIDD)

MANIPULAR EL CIDD PARA
PRODUCIR EL CONJUNTO
FINAL DE DATOS DIGITALES
(CFDD) CORRESPONDIENTE A
UNA DISPOSICIÓN DENTAL
FINAL DESEADA

REFERENCIA A LA
FIGURA 3

GENERAR MÚLTIPLES
CONJUNTOS INTERMEDIOS DE
DATOS DIGITALES (CINTDD)
CORRESPONDIENTES A
DISPOSICIONES
DENTALES SUCESIVAS DESDE
LA INICIAL HASTA LA FINAL

REFERENCIA A LA
FIGURA 6

PRODUCIR APARATOS DE
AJUSTE PROGRESIVO DE LA
POSICIÓN BASÁNDOSE EN LOS
CINTDD Y EL CFDD

FIG. 2

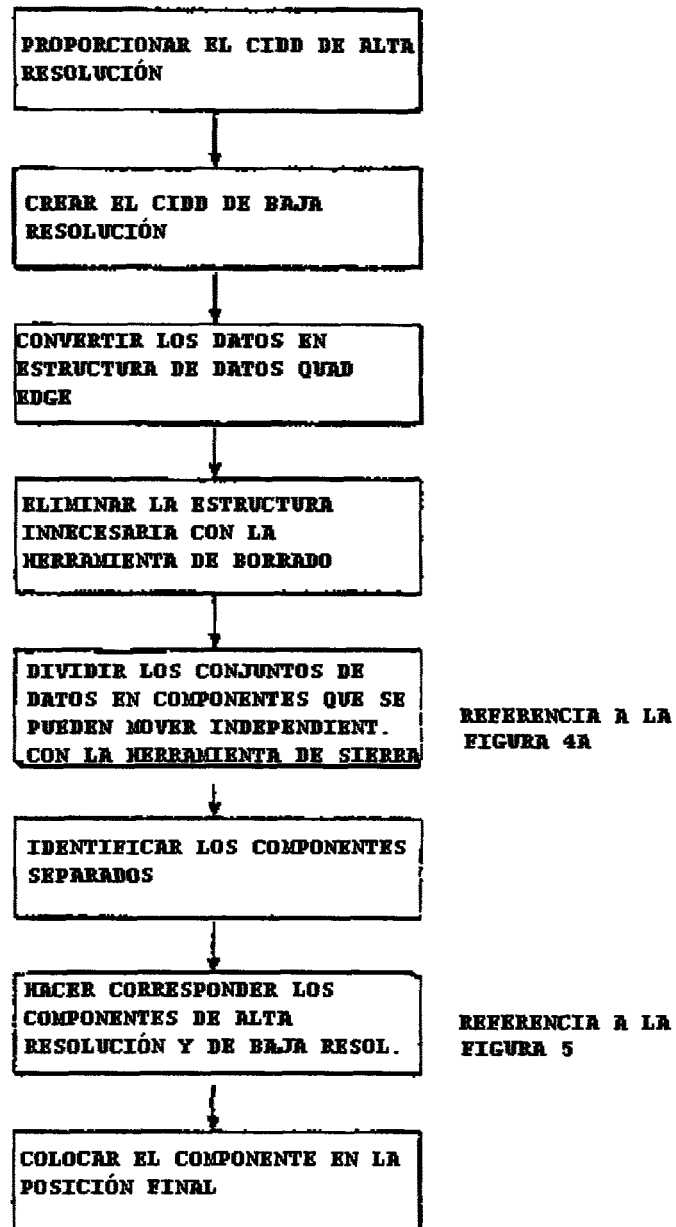


FIG. 3

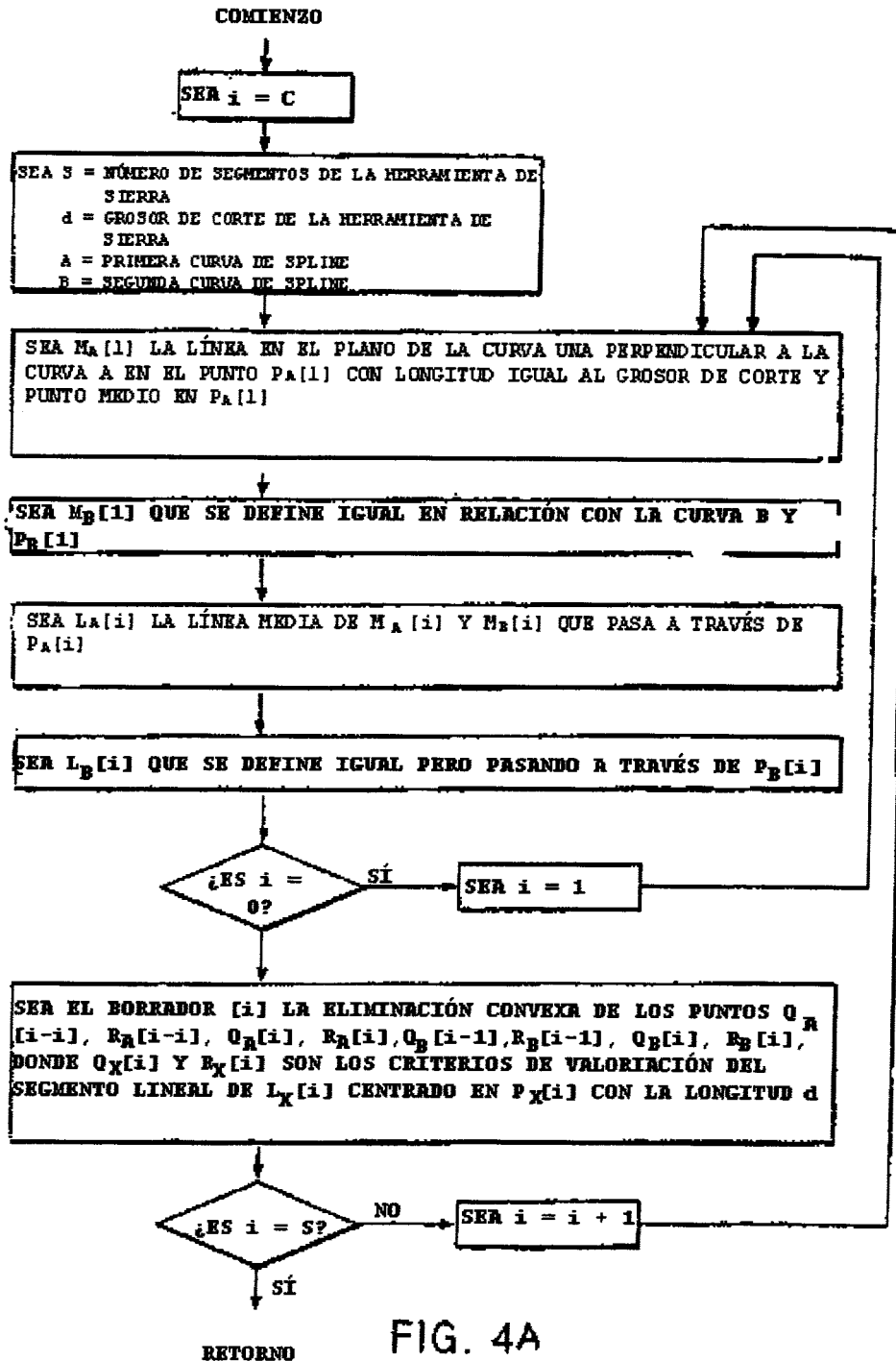


FIG. 4A

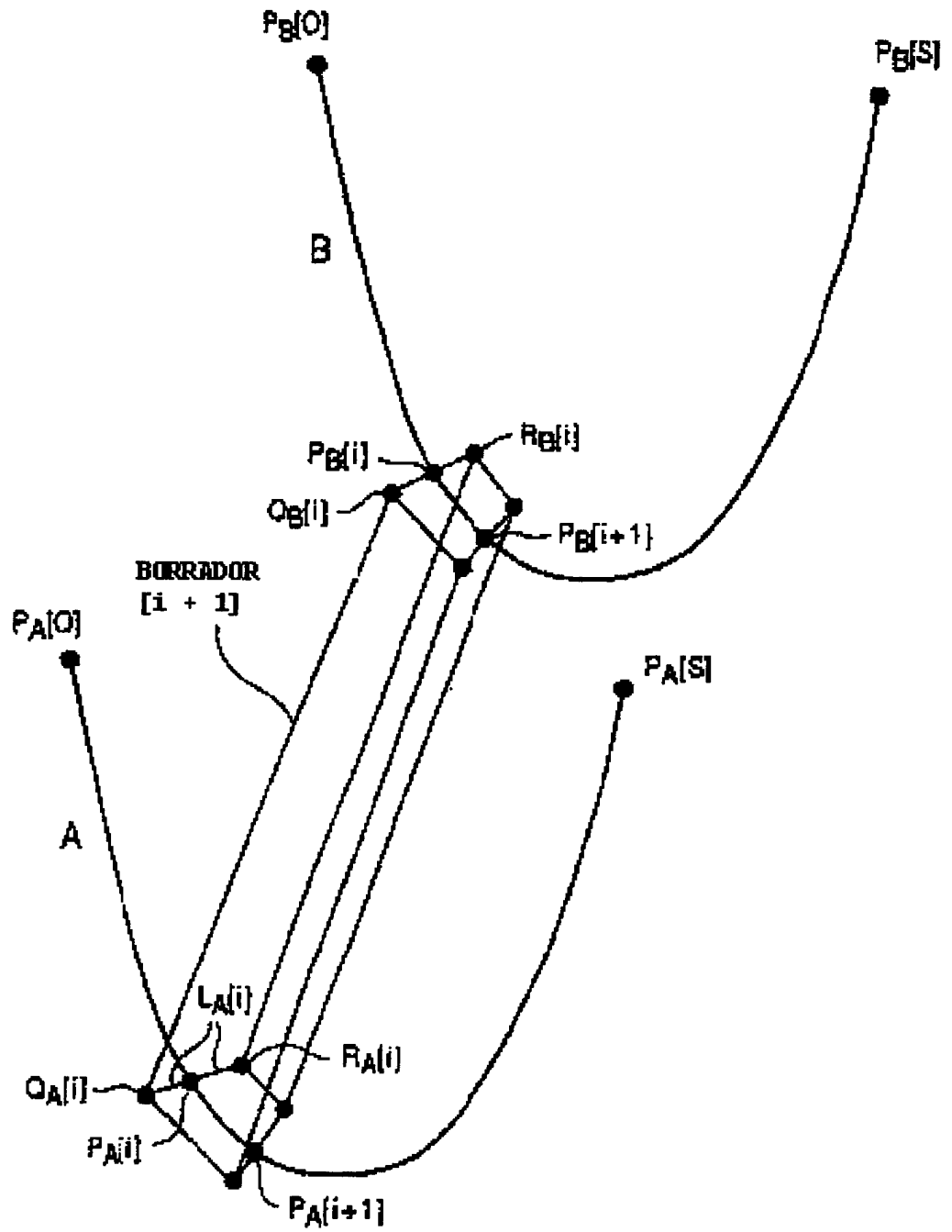


FIG. 4 B

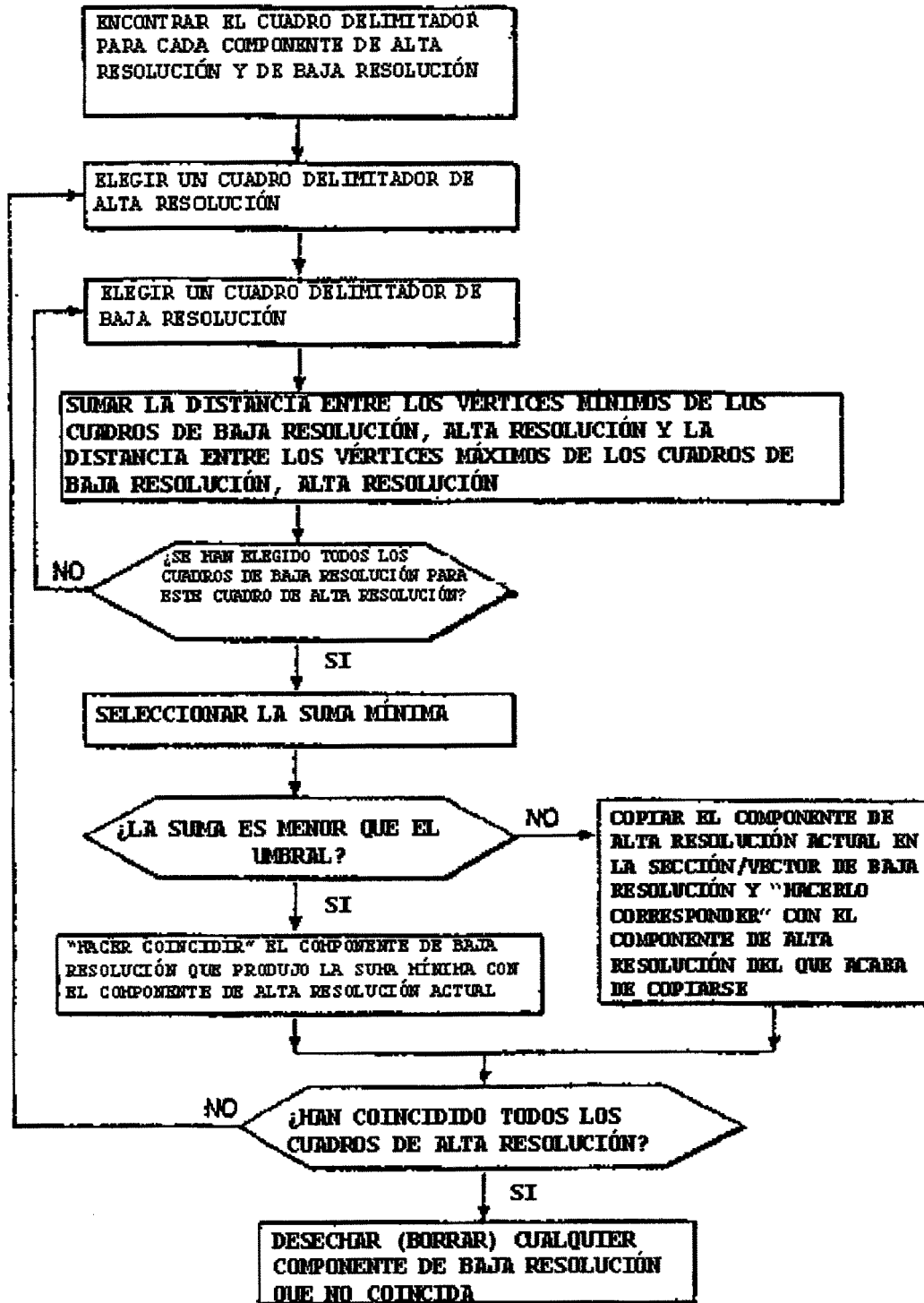


FIG. 5

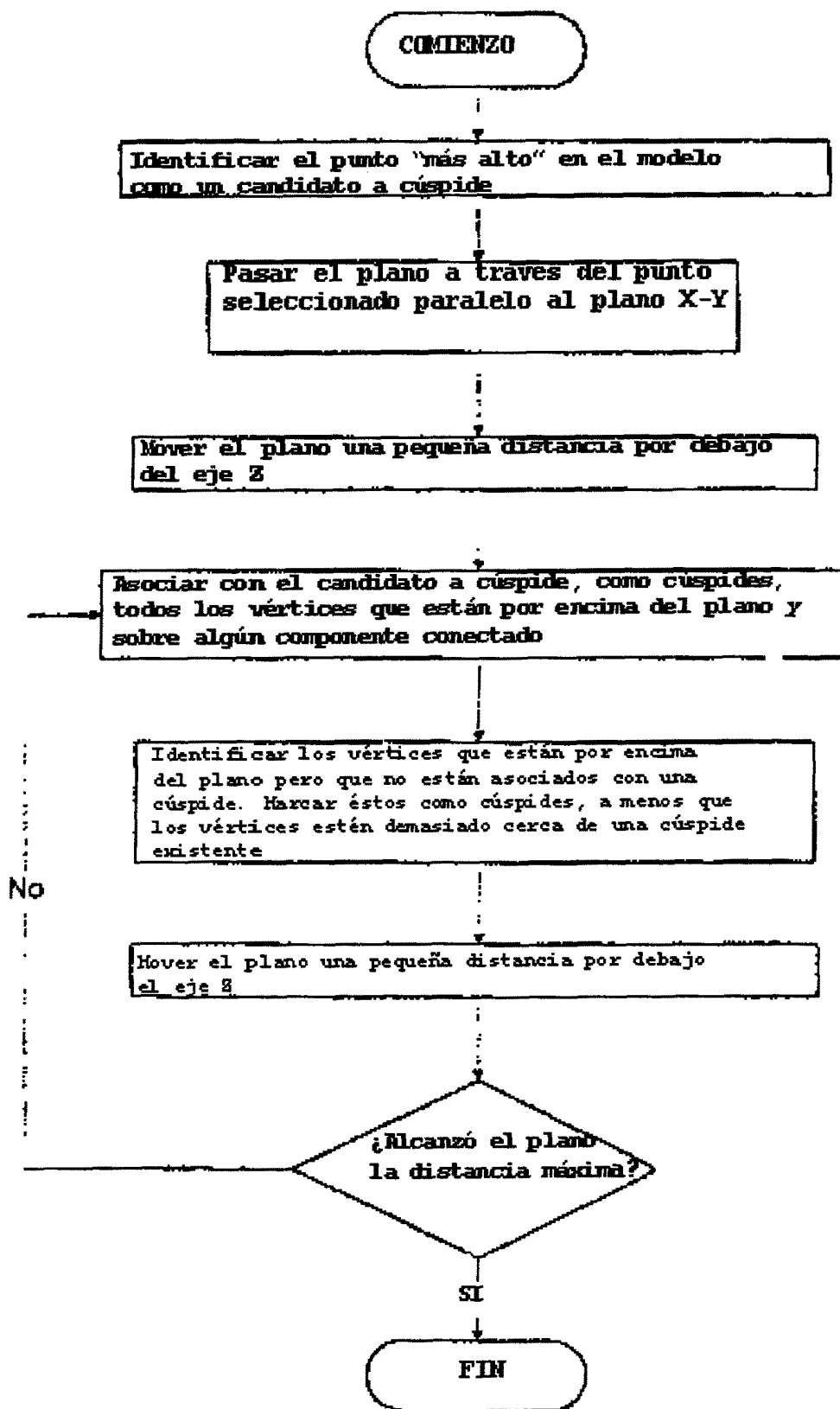


FIG. 6A

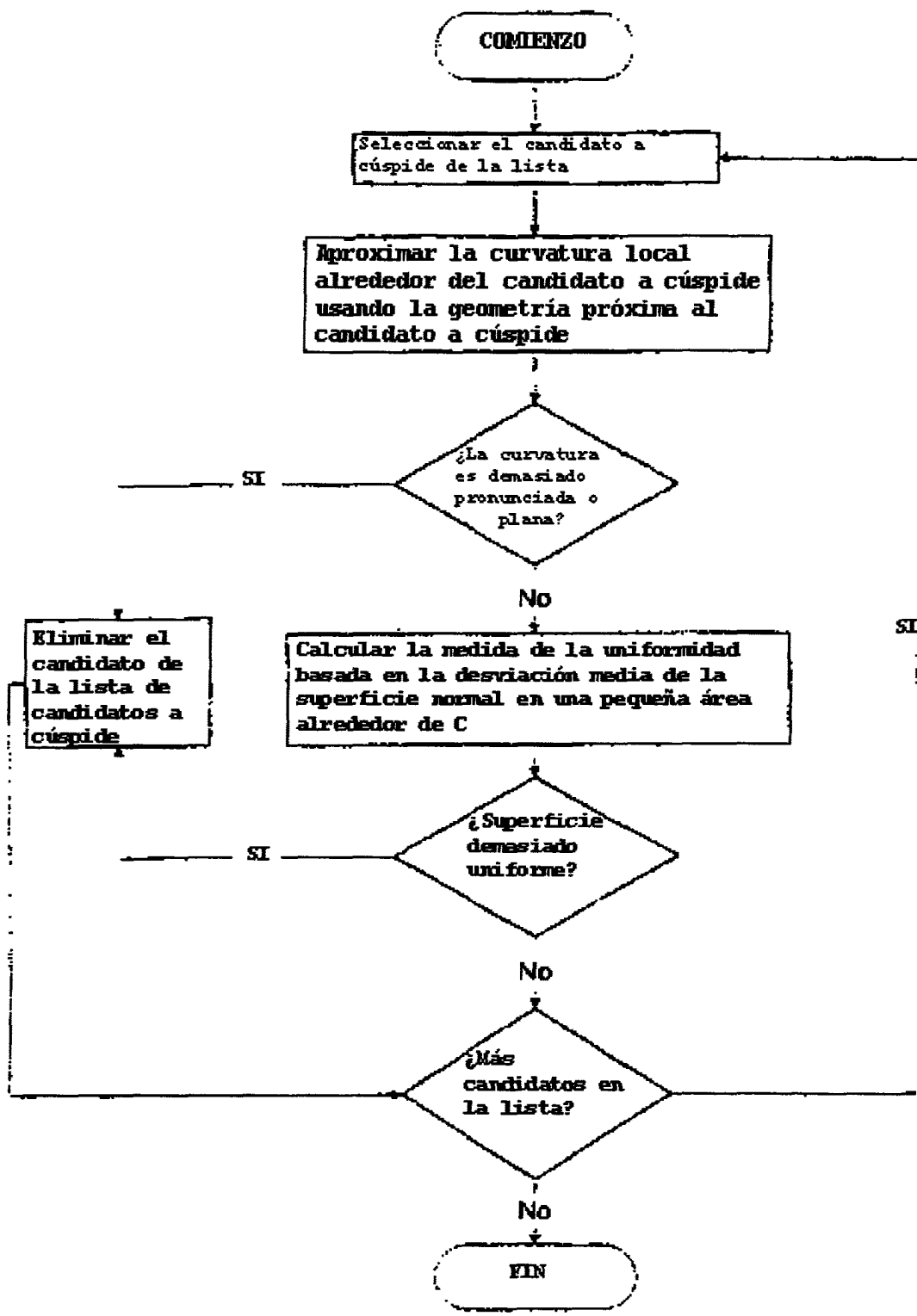


FIG. 6B

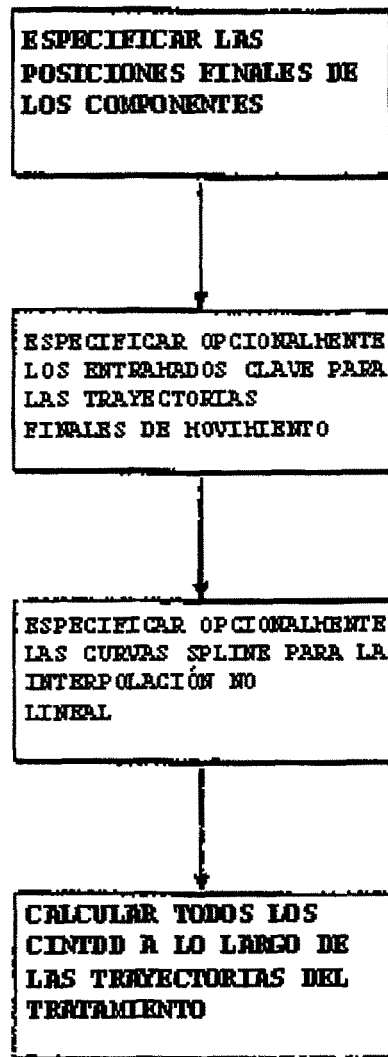


FIG. 7

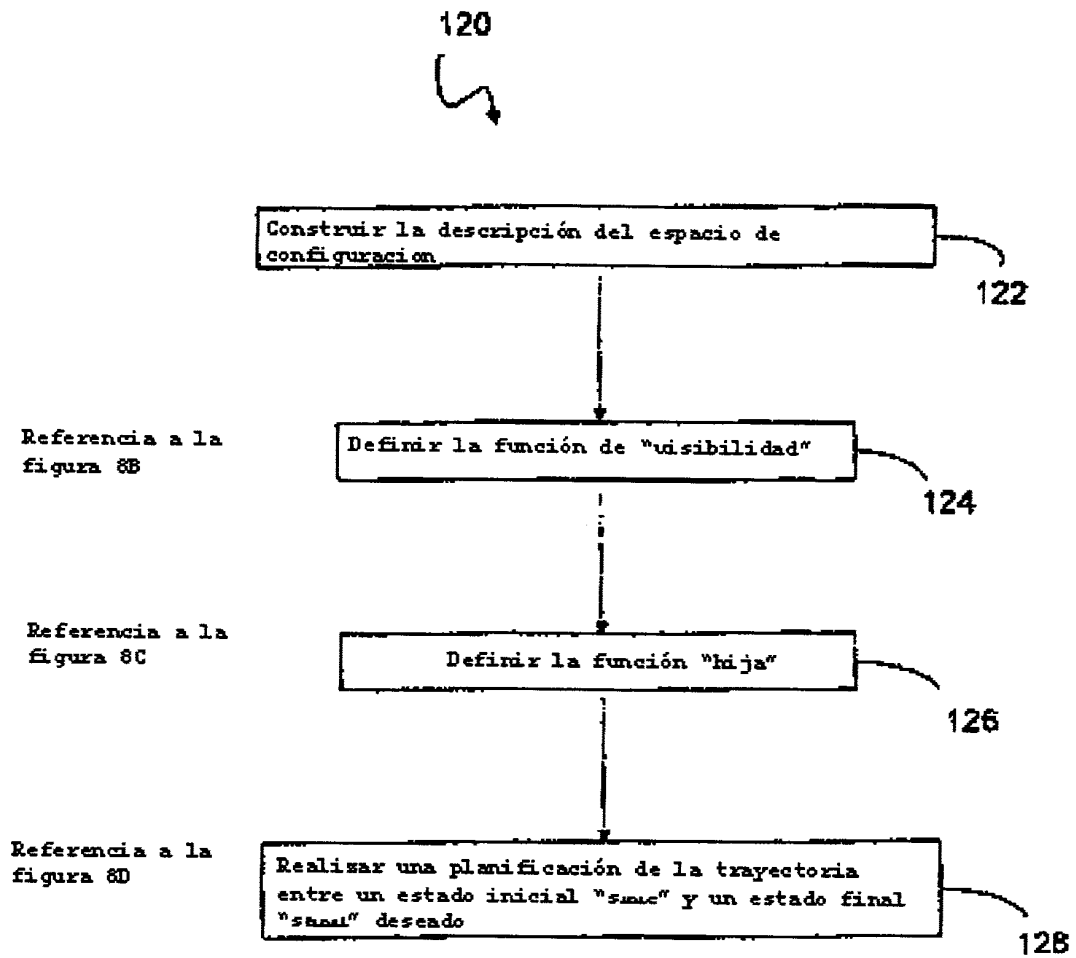


FIG. 8A

124

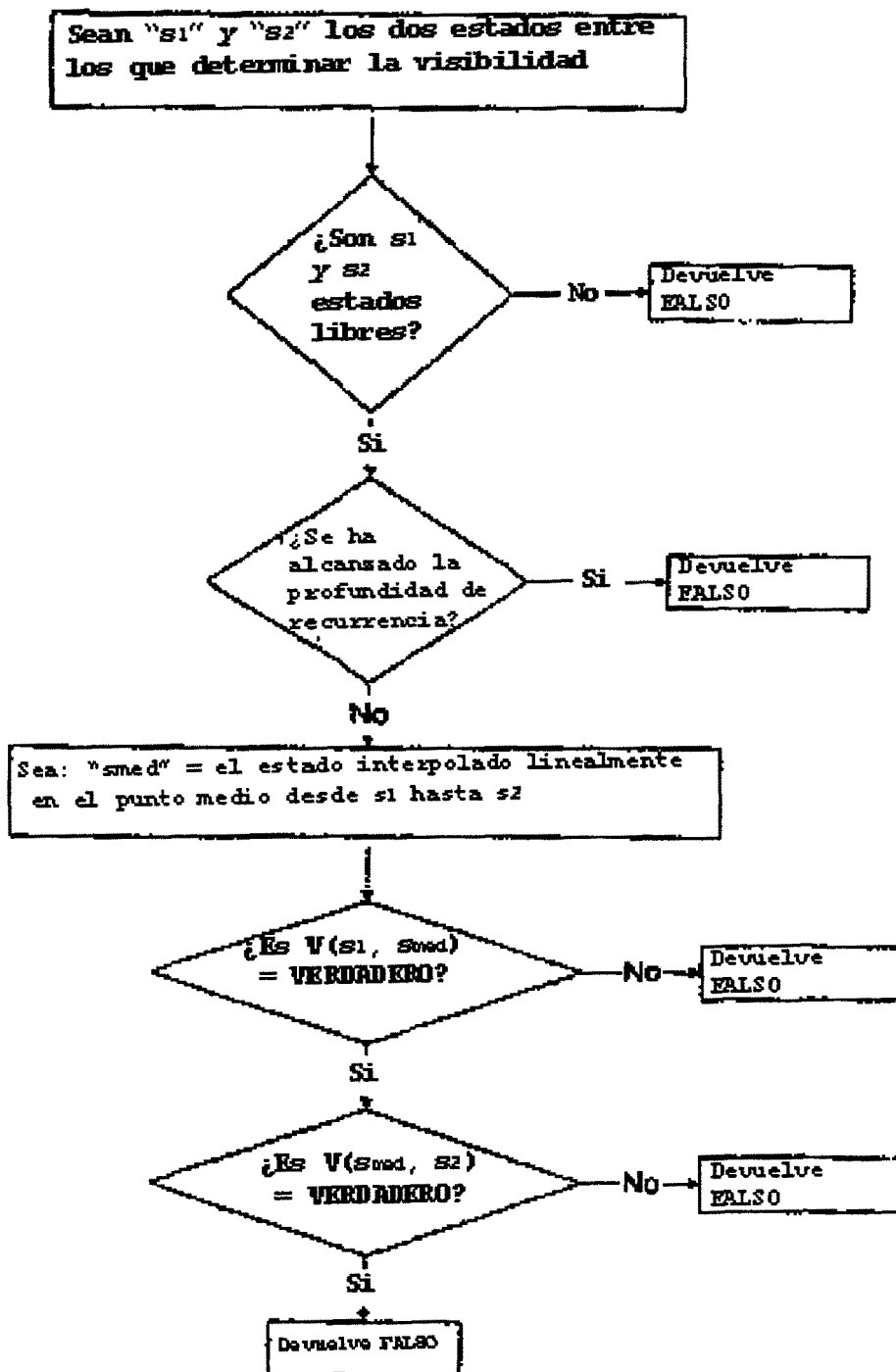


FIG. 8B

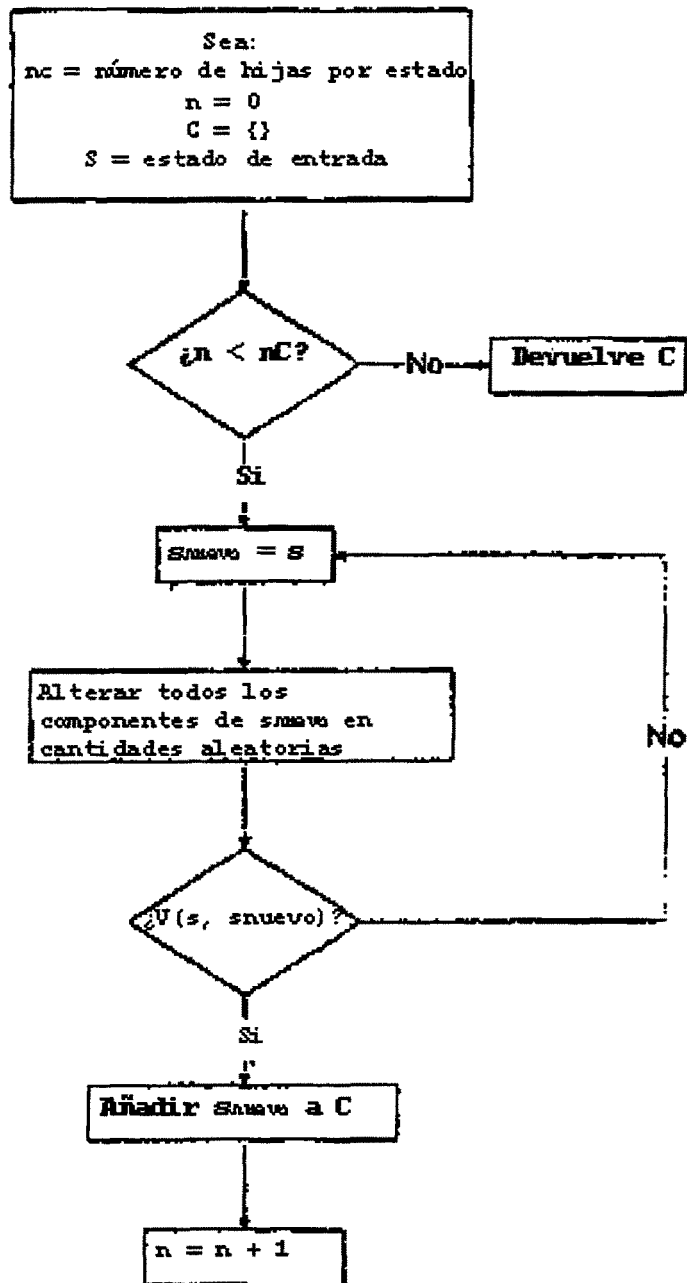


FIG. 8C

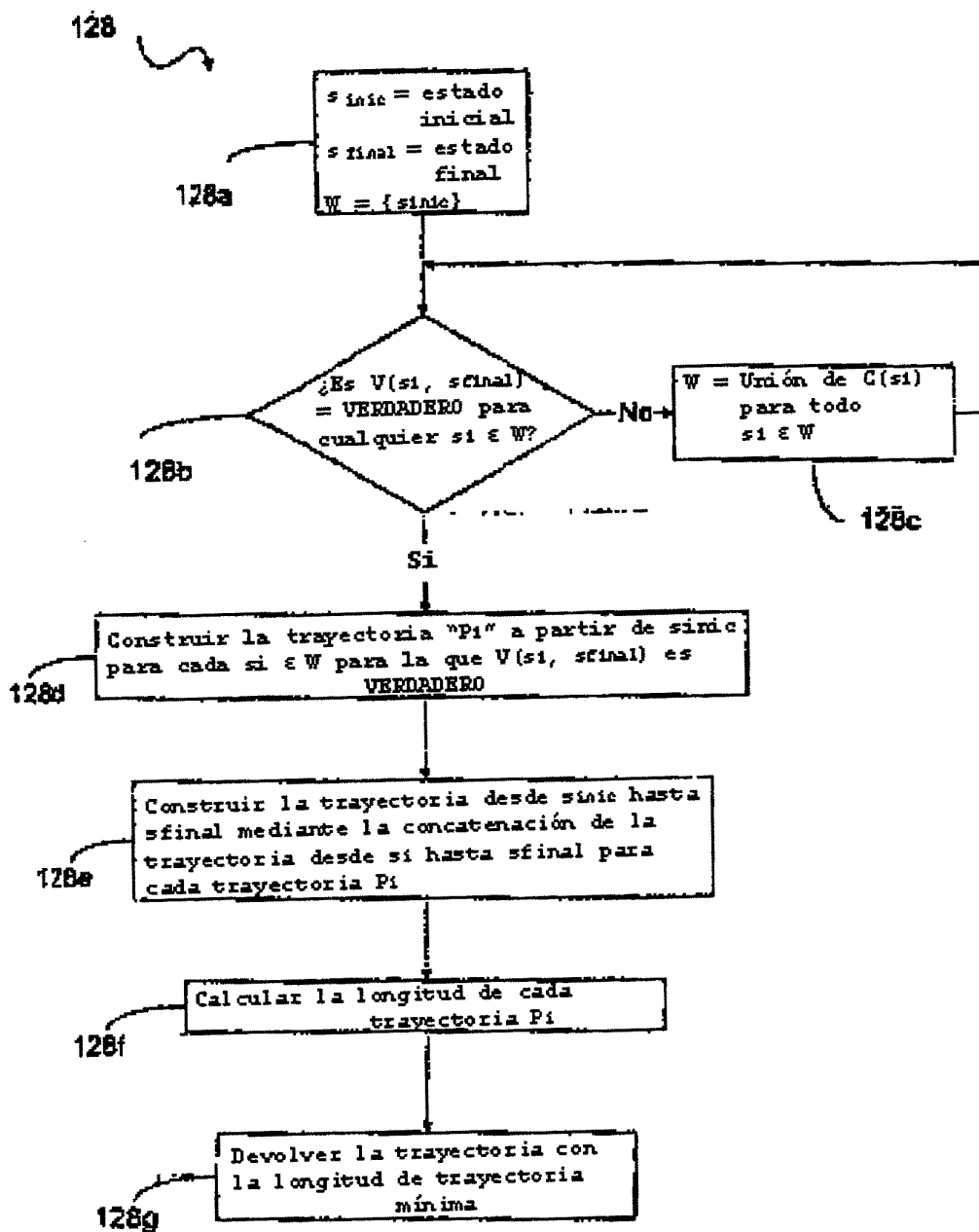


FIG. 8D

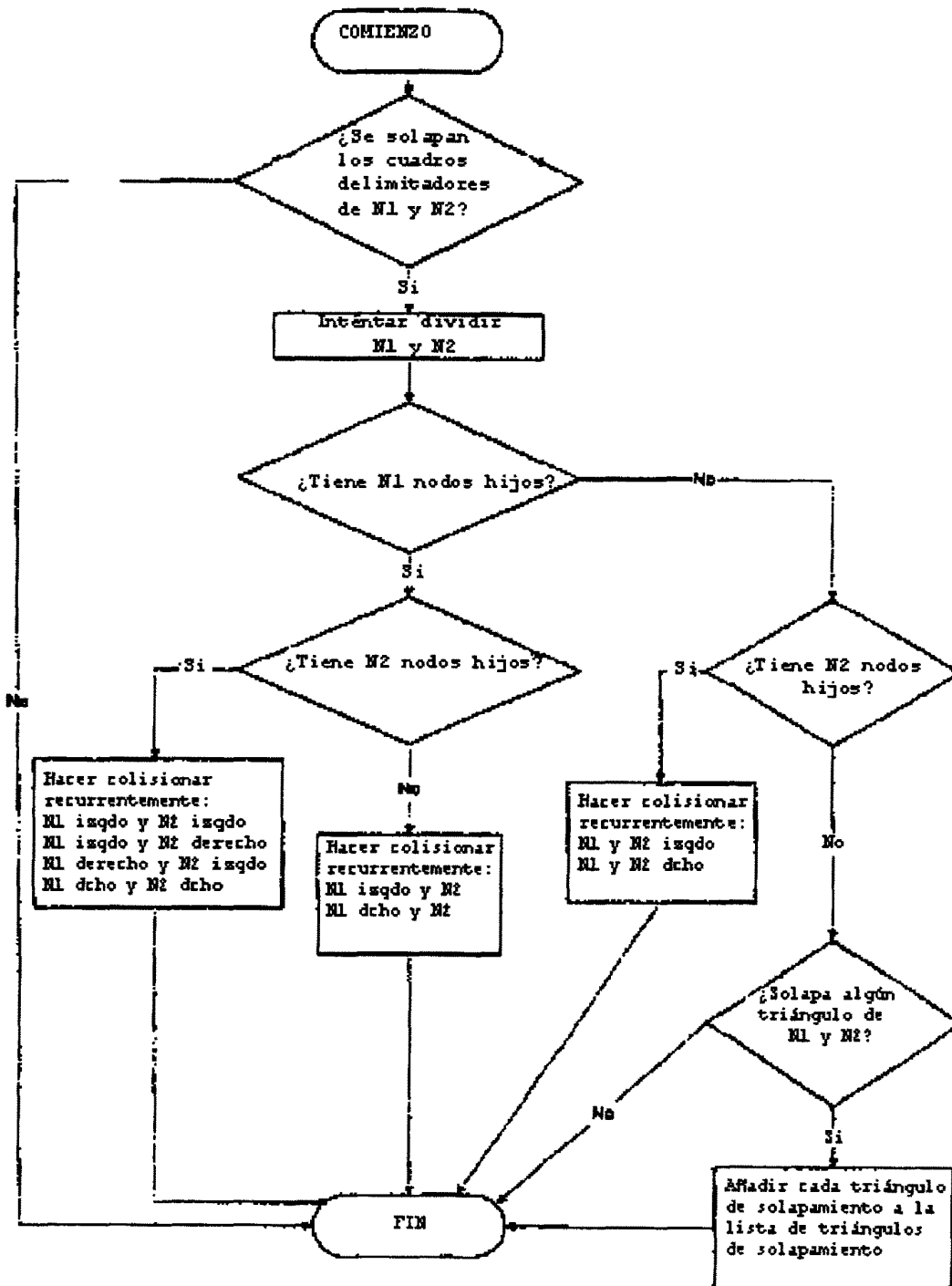


FIG. 9A

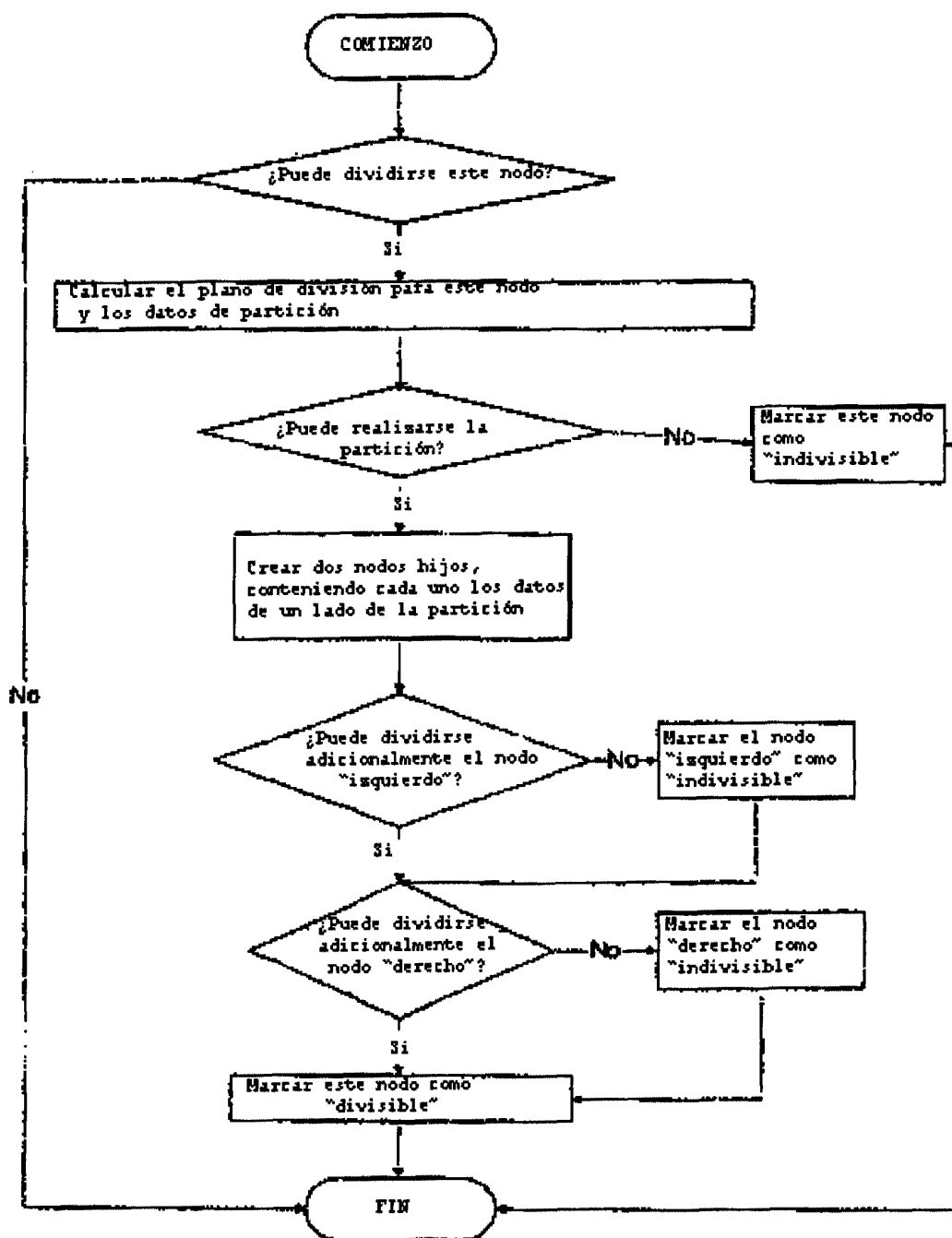


FIG. 9B

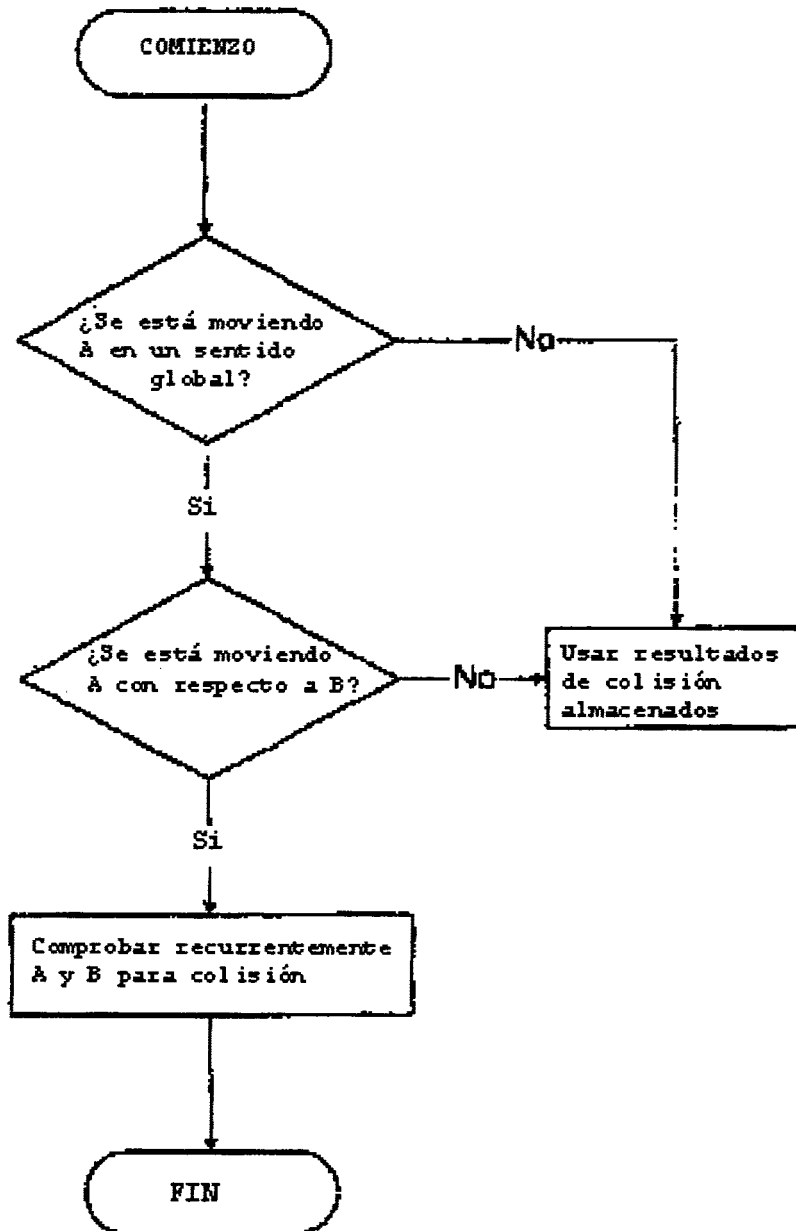


FIG. 9C

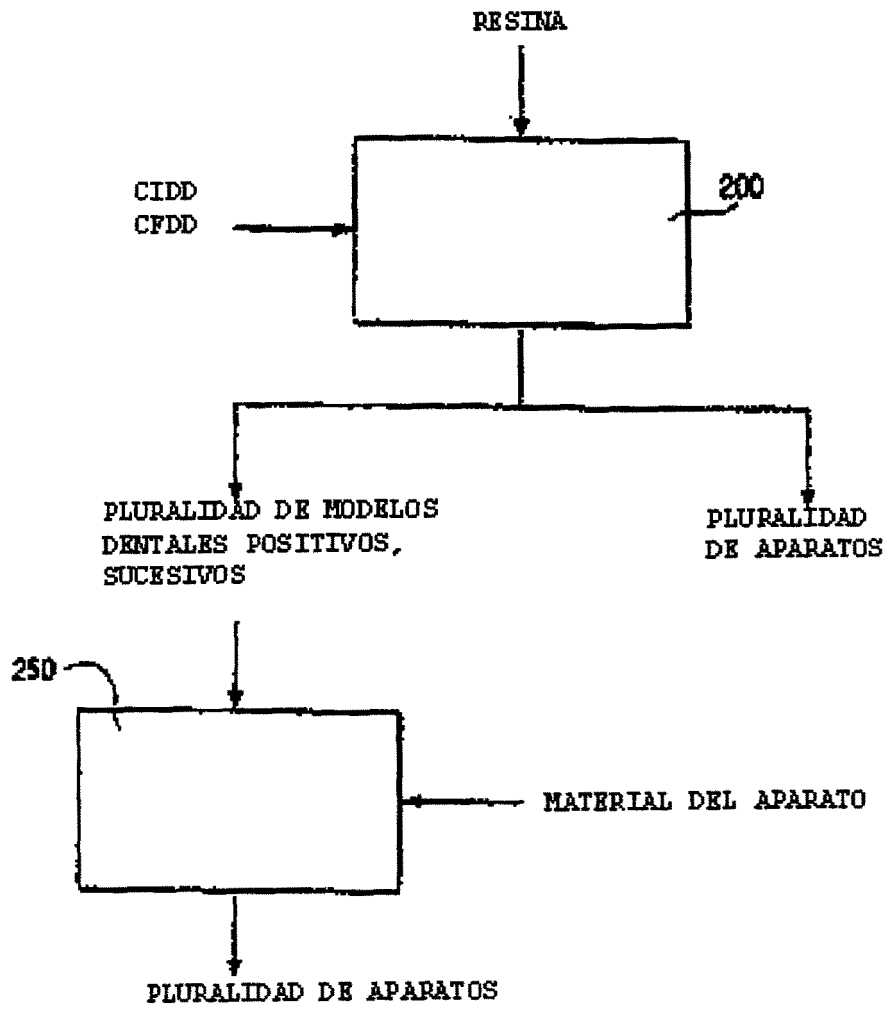


FIG. 10

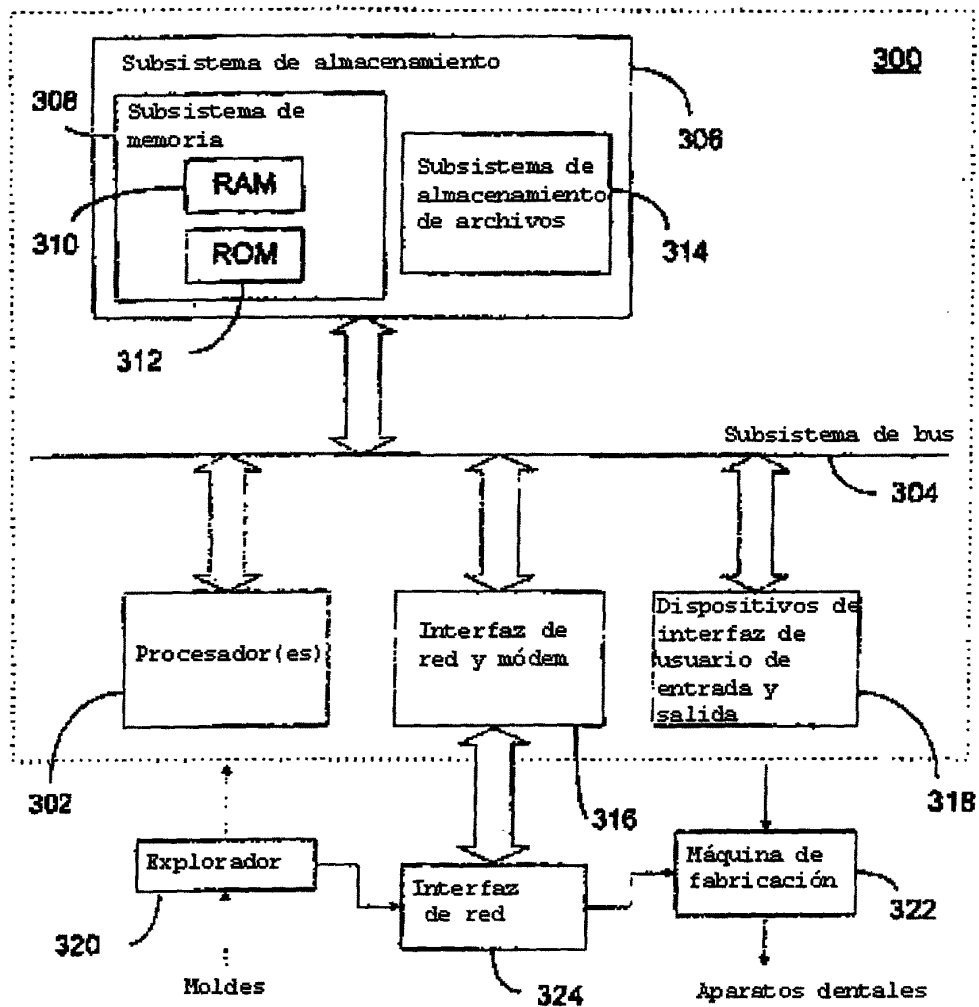


FIG. 11