

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 900**

51 Int. Cl.:

A61C 5/77 (2007.01)

A61C 13/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.03.2010 PCT/DK2010/050063**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.09.2010 WO10105628**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.03.2010 E 10722922 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2408394**

54 Título: **Sistema para la planificación, visualización y optimización de restauraciones dentales**

30 Prioridad:

20.03.2009 US 161903 P

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

19.11.2019

73 Titular/es:

**3SHAPE A/S (100.0%)
Holmens Kanal 7, 4
1060 Copenhagen, DK**

72 Inventor/es:

**FISKER, RUNE;
HOLLENBECK, KARL-JOSEF;
JØRGENSEN, SUNE y
CLAUSEN, TAIS**

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 731 900 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

Sistema para la planificación, visualización y optimización de restauraciones dentales

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un sistema para la planificación de trabajo restaurador dental. La invención se refiere, además, a un sistema para el diseño por CAD interactivo y la presentación y visualización 3D de restauraciones dentales, y su subsiguiente realización física por medio de CAM.

Antecedentes de la invención

10 En la práctica dental, se crean reproducciones de cera para diagnóstico, destinadas a visualizar y planificar el tratamiento restaurativo, por ejemplo, placas o coronas sobre los dientes anteriores / frontales. Las reproducciones de cera para diagnóstico son convencionalmente creadas de cera sobre moldes de yeso por los laboratorios dentales, para que el dentista las utilice para la planificación del tratamiento, así como para la visualización y la exposición del resultado restaurativo con el paciente. El diálogo entre el dentista y el paciente constituye una importante herramienta para la mejora de la satisfacción del paciente y a menudo hace posibles tratamientos más caros. A fin de transferir el diseño de la reproducción de cera para diagnóstico a los dientes del paciente, el técnico dental observa, por lo común, la reproducción de cera para diagnóstico inicial y trata manualmente de reproducir o copiar este diseño para las restauraciones reales, incorporando posibles comentarios del dentista al paciente. Este procedimiento de reproducción manual es tanto costoso como, posiblemente, impreciso, y lleva mucho tiempo.

15 Debido a la laboriosidad manual implicada, las reproducciones de cera para diagnóstico son generalmente caras, a menudo, de cientos de dólares norteamericanos. La creación de un modelo de reproducción de cera lleva también gran cantidad de tiempo, de manera que el paciente tiene generalmente que acudir a otra cita para su evaluación. Debido a que las reproducciones de cera para diagnóstico son modelos únicamente de los dientes, no consiguen tampoco trasladar todo el impacto estético de un tratamiento restaurativo. La impresión visual de la sonrisa de un paciente viene también determinada por las encías y por la totalidad del rostro [1]. Por otra parte, un modelo de reproducción de cera por sí solo no puede trasladar la iluminación a la que están sometidos los dientes en el interior de la boca. En el campo de la ortodoncia, la planificación de los tratamientos ha venido implicando de la manera más habitual modelos 3D tanto de los dientes como de la cara, o incluso de la cabeza. Las fuentes de datos incluyen imágenes 2D en color de la cara y barridos de CT [tomografía computerizada –“computed tomography”–] de la cabeza [2, 3].

20 El documento WO 2006/065955 divulga métodos y sistemas para el tratamiento ortodóntico que incluyen un método para generar una imagen con el realismo de una fotografía de un resultado predicho de un tratamiento dental en un paciente, de tal manera que el método comprende: captar una o más imágenes de la cara y los dientes del paciente previamente al tratamiento; generar un modelo digital 3D de la cara y los dientes del paciente previamente al tratamiento, a partir de las imágenes de la cara y los dientes del paciente previamente al tratamiento; captar un modelo digital 3D del arco dental del paciente previamente al tratamiento; captar un modelo digital 3D del arco dental predicho del paciente como resultado del tratamiento; generar un modelo digital 3D de la cara y los dientes predichos del paciente a partir de los modelos digitales 3D de la cara y los dientes del paciente previamente al tratamiento, del arco dental previamente al tratamiento y del arco dental predicho; y producir una imagen con el realismo de una fotografía a partir del modelo digital 3D de la cara y los dientes predichos del paciente.

25 El documento WO 2004/098378 se refiere a un tratamiento ortodóntico y divulga un sistema para uso en el tratamiento de diagnóstico y planificación de un paciente humano, el cual comprende: un sistema informático de propósito general que tiene un procesador y una interfaz de usuario; una memoria, accesible a dicho sistema informático de propósito general, que almacena a) un primer conjunto de datos digitales que representa información de imagen craneofacial del paciente, obtenida de un primer dispositivo de obtención de imagen, y b) un segundo conjunto de datos digitales que representa información de imagen craneofacial del paciente, obtenida de un segundo dispositivo de obtención de imagen diferente de dicho primer dispositivo de obtención de imagen, de tal modo que dichos primer y segundo conjuntos de datos representan, al menos en parte, estructuras anatómicas craneofaciales comunes de dicho paciente, de tal manera que al menos uno de dichos primer y segundo conjuntos de datos digitales incluye datos que representan el aspecto visual externo o configuración superficial de la cara del paciente; y un conjunto de instrucciones informáticas almacenadas en un medio de almacenamiento legible por una máquina y accesible a dicho sistema informático de propósito general, de tal modo que dicho conjunto de instrucciones comprende instrucciones para hacer que dicho sistema informático general: 1) automáticamente y/o con la ayuda de la interacción por parte del operario, superponga dicho primer conjunto de datos digitales y dicho segundo conjunto de datos digitales al objeto de proporcionar una representación digital compuesta y combinada de dichas estructuras anatómicas craneofaciales en un sistema de coordenadas común; 2) presente visualmente dicha representación digital compuesta y combinada de dichas estructuras anatómicas craneofaciales a un usuario de dicho sistema.

30 Así, en el campo de la ortodoncia, se conoce la planificación de tratamiento que implica modelos 3D tanto de los dientes como de la cara.

El documento US 2008/153061 divulga un método para planificar y llevar a cabo tratamientos dentales que comprende: una fase de captación de un conjunto de datos relativos a la posición, a la conformación y a la dimensión de al menos un emplazamiento dentro de la cavidad oral de un paciente que tiene que someterse a un tratamiento dental, y relativos a la conformación de al menos una parte de la cara de dicho paciente; una fase de diseño de un prototipo virtual de al menos una prótesis dental que puede ser ajustada en dicho emplazamiento durante dicho tratamiento, a partir de dicho conjunto de datos y por medio de un programa de software implementado en una computadora; una fase de determinación, por medio de dicho programa de software y partiendo de dicho conjunto de datos y de dicho prototipo virtual de la prótesis dental, de al menos un modelo virtual adecuado para reproducir visualmente dicha parte de la cara a continuación del ajuste de dicha prótesis dental; una fase de preparación de dicho emplazamiento por medio de un instrumento dental, con la ayuda de dicho software y partiendo de dicho prototipo virtual de la prótesis dental y de dicho modelo virtual, antes de la instalación y de la fabricación de dicha prótesis dental.

El documento US 2008/153061 no describe cómo combinar las diversas fuentes de información de geometría, especialmente de los dientes, que se representan tanto en el barrido de la cara como en el de la cavidad oral. Tampoco el documento US 2008/153061 describe el modo como transferir los resultados de la fase de diseño a la geometría dental real posterior a la preparación. Por otra parte, el documento US 2008/153061 supone que la fase de lectura de la impresión virtual se lleva a cabo por el mismo instrumento dental que ha realizado la preparación del emplazamiento oral.

El documento WO 2009/091438 divulga un método para diseñar un dispositivo dental personalizado para el cliente, que comprende las etapas de: obtener un conjunto de imágenes tridimensionales basadas en el tiempo, correspondientes a la anatomía oral de una persona durante el movimiento de las mandíbulas; obtener datos tridimensionales de un objeto dental de la persona; confrontar los datos tridimensionales del objeto dental con al menos una de las imágenes tridimensionales basadas en el tiempo; utilizar las imágenes tridimensionales basadas en el tiempo y los datos tridimensionales confrontados para diseñar un dispositivo dental.

El documento WO 2009/091438 supone que las imágenes tridimensionales se captan a una velocidad de 50 por segundo; sin embargo, no existe semejante escáner en el presente, ni se ha divulgado. Por otra parte, parece poco realista que la precisión supuestamente requerida para el seguimiento de objetos dentales, precisión que es aproximadamente 20 m, pueda ser alcanzada con cualquiera de las tecnologías a que se hace referencia, ni se ha divulgado ninguna tecnología nueva que sea apropiada.

Se pone como ejemplo otro documento de la técnica, el documento US 2009068617 A1.

En suma, sigue siendo un problema proporcionar sistemas mejorados que planifiquen y permitan visualizar restauraciones dentales en los dientes de un paciente.

Compendio de la invención

Las restauraciones dentales, tanto las restauraciones indirectas como, por ejemplo, las dentaduras parciales y las estructuras retenidas por implantes, se diseñan cada vez con mayor frecuencia utilizando software de CAD [diseño asistido por computadora –“Computer Assisted Design”–] y un modelo digital de los dientes del paciente, un modelo digital que se obtiene habitualmente por medio de un escáner 3D. Una vez diseñada en el software de CAD, la restauración puede ser producida por software de CAM [fabricación asistida por computadora –“Computer Aided Manufacturing”–]. El presente software de CAD dental, sin embargo, no permite la interacción con el paciente, en parte debido a que el presente procedimiento de modelización de CAD se inicia generalmente a partir de los dientes ya preparados –demasiado tarde para que el paciente pueda influir en el tratamiento en un grado significativo–. Así, pues, es un propósito principal de la invención proporcionar un diseño digital de restauraciones dentales en un estadio más temprano del procedimiento de diseño.

Esto se consigue gracias a un producto de programa informático que comprende medios de código de programa para hacer que un sistema de tratamiento de datos lleve a cabo un método para planificar una restauración dental en al menos una parte de los dientes previos a la preparación de un paciente, de tal manera que dicho método comprende las etapas de:

- proporcionar al menos un modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;
- diseñar al menos un modelo de CAD de restauración dental basado en el modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;
- proporcionar al menos un modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes preparados, de tal modo que los dientes preparados se proporcionan preparando los dientes previos a la preparación mediante un trabajo dental restaurativo, preferiblemente, al menos parcialmente basado en el modelo de CAD de restauración dental; y
- alinear los modelos 3D de los dientes previos a la preparación y de los dientes preparados.

Así, pues, es una ventaja que el producto de programa informático proporcione un alineamiento o confluencia de múltiples fuentes de datos 3D y la explotación de los resultados del análisis y la planificación previos al tratamiento.

Constituye una ventaja del producto de programa informático que el dentista pueda diseñar y mostrar un modelo de CAD de restauración dental, que es un modelo virtual, al paciente, antes de que el dentista comience a preparar los dientes del paciente, de tal manera que el paciente pueda ver el aspecto que tendrá la restauración dental. Puesto que el modelo de CAD de restauración dental está basado en el modelo digital 3D de los dientes previos a la preparación del paciente, la restauración dental proporcionará una imagen fidedigna del verdadero aspecto que tendrá la restauración dental. De esta forma, el paciente tiene la oportunidad de decir si desea que la restauración dental tenga una forma o un tamaño diferente, etc., antes de que el dentista comience a preparar el diente o dientes del paciente.

Entonces, una vez que el dentista ha preparado los dientes del paciente para recibir, o ajustarse a, la restauración dental acordada, se proporciona un modelo digital 3D de los dientes ya preparados. Existe ahora un modelo 3D de los dientes previos a la preparación y un modelo 3D de los dientes preparados, y estos dos modelos son entonces alineados. Cuando se alinean los dos modelos, es posible obtener una restauración dental con un ajuste perfecto debido a que tanto los dientes previos a la preparación como los dientes preparados se utilizan en el diseño, de tal manera que se tienen en cuenta los dientes originales y los dientes preparados.

Los dientes previos a la preparación pueden ser los dientes del paciente antes de que se haya aplicado cualquier tratamiento. Sin embargo, los dientes previos a la preparación pueden ser también los dientes del paciente antes del trabajo de preparación que a menudo se requiere antes de una restauración dental. Por lo tanto, los dientes previos a la preparación pueden haber recibido algún tratamiento (por lo común, menor), tal como una limpieza, pulido, fresado menor y/u otro similar, pero los dientes previos a la preparación no han sido preparados para una restauración dental. Una preparación para una restauración dental requiere, por lo común, de fresado, taladrado, extracción, tratamiento ortodóntico y/u otro similar, del diente / dientes en cuestión. En definitiva: gracias a la presente invención, puede proporcionarse una posible restauración dental mediante CAD, sobre la base de un modelo 3D de los dientes previos a la preparación.

Así, pues, las realizaciones de la presente invención se refieren a la planificación, visualización, optimización y/o ejecución de trabajo dental restaurativo por medio de CAD.

Antes del trabajo dental restaurativo, se prepara el diente / dientes en cuestión. De esta forma, puede también prepararse el modelo 3D de los dientes previos a la preparación. En una realización adicional de la invención, se diseña un modelo de CAD de preparación dental al menos parcialmente basado en el modelo de los dientes previos a la preparación.

De esta forma, la presente invención proporciona procedimientos para transferir de manera efectiva trabajo de diseño de preparación al procedimiento de preparación real, e incluso a la fase de diseño ulterior a la preparación. Esto se ilustra en la Figura 1. Y, por otra parte, se evita un trabajo de diseño duplicado para los dientes previos a la preparación y ya preparados.

Un objetivo relacionado consiste en evitar la producción manual de reproducciones de cera en lo que se refiere a la planificación, evaluación y ejecución de restauraciones dentales.

Los documentos de la técnica anterior relativos a la ortodoncia no divulgan el diseño de restauraciones dentales, ya que la ortodoncia se refiere al movimiento de los dientes por medio de aparatos tales como férulas dentales, máscaras faciales, etc., y, por tanto, no se diseñan restauraciones dentales en ortodoncia.

Los modelos tales como modelos 3D virtuales, mencionados con respecto a la ortodoncia, son modelos de las configuraciones o disposiciones de dientes en las diferentes etapas de un tratamiento y planificación ortodónticos, debido a que los dientes serán movidos por etapas a lo largo de un tiempo más prolongado por medio de los aparatos.

El documento de la técnica anterior US 2008/0153061 no explica, por ejemplo, las etapas de alineamiento de los modelos 3D de los dientes previos a la preparación y de los dientes ya preparados.

En algunas realizaciones, el producto de programa informático comprende, de manera adicional, medios para transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental al modelo de los dientes preparados. A la hora de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental al modelo de los dientes preparados, el diseño puede ser ajustado de manera que se ajuste al modelo automática y/o manualmente.

Es un propósito adicional de la invención visualizar las restauraciones propuestas, posiblemente de manera conjunta con la cara del paciente. Esto se consigue proporcionando un modelo digital 3D facial del paciente, preferiblemente de manera que al menos una parte de los dientes es visible y/o queda al descubierto, preferiblemente proporcionado por medio del barrido de al menos una parte de la cara del paciente, de preferencia, un barrido óptico.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de alinear, al menos parcialmente, el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o el modelo de CAD de restauración dental con los dientes visibles en el modelo facial 3D.

5 En una realización adicional de la invención, el modelo de CAD de restauración dental es diseñado, al menos parcialmente, basándose en el modelo facial 3D.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de proporcionar una guía de preparación para el dentista antes de la preparación de los dientes, de tal manera que dicha guía de preparación está preferiblemente basada, al menos parcialmente, en el modelo de CAD de preparación dental.

10 En una realización adicional de la invención, dicha guía de preparación proporciona asistencia en relación con el alargamiento de la(s) corona(s), la posición y/o el tipo de margen, y/o aspectos similares, y en ella la generación de dicha guía de preparación está basada, al menos parcialmente, en el modelo de CAD de restauración dental y/o en el modelo 3D de los dientes previos a la preparación, y/o en el modelo de CAD de preparación dental, y/o en una segmentación de dichos modelos.

15 En una realización adicional de la invención, dicha guía de preparación comprende instrucciones para la ejecución de una preparación y/o un modelo de preparación generados por máquina.

En una realización adicional de la invención, dicha guía de preparación comprende un modelo dental de la preparación, tal como un modelo de yeso y/o un modelo de reproducción de cera, tal como un modelo dental marcado.

20 Una realización adicional de la invención comprende la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental, que comprende alinear el modelo de CAD de preparación dental con el modelo 3D de los dientes preparados.

En una realización adicional de la invención, el alineamiento se basa, al menos parcialmente, en detectar y/o demarcar y/o alinear líneas marginales de los modelos.

25 En una realización adicional de la invención, la transferencia del diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende remodelar informáticamente parte del modelo de CAD de restauración dental hasta que coincida con el modelo 3D de los dientes preparados.

En una realización adicional de la invención, el remodelado informático se aplica cerca de la línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y/o del modelo 3D de los dientes preparados.

30 En una realización adicional, el impacto del remodelado informático es más alto cerca de la línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y/o del modelo 3D de los dientes preparados, con un impacto decreciente del remodelado informático conforme aumenta la distancia a la línea marginal.

35 En una realización adicional de la invención, la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende crear una superficie interior del modelo de CAD de restauración dental como un descuadre con el modelo 3D de los dientes preparados, de tal manera que dicho descuadre es, preferiblemente, en la dirección oclusal / incisal desde la línea marginal del modelo 3D de los dientes preparados.

En una realización adicional de la invención, dicho descuadre se proporciona automáticamente.

40 En una realización adicional de la invención, se conserva una parte significativa de la superficie exterior del modelo de CAD de restauración dental cuando se transfiere al modelo 3D de los dientes preparados, de tal manera que el contorno de la superficie interior del modelo de CAD de restauración dental es sustancialmente similar a la superficie exterior del modelo 3D de los dientes preparados, y la zona de línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y el modelo 3D de los dientes preparados son remodelados informáticamente de manera conjunta.

45 Aún otra realización de la invención comprende la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental, que comprende remodelar informáticamente el modelo de CAD de preparación dental junto con el modelo 3D de los dientes preparados, por lo que se proporciona una transformación del modelo de CAD de preparación dental hasta el modelo 3D de los dientes preparados, y esta transformación se aplica de forma subsiguiente al modelo de CAD de restauración dental.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de modificar el diseño del modelo de CAD de restauración dental subsiguientemente a la etapa de transferir dicho modelo de CAD de restauración dental a los dientes preparados.

50 Aún otra realización de la invención se refiere a un producto de programa informático que implementa un método para la planificación, visualización y/u optimización de un trabajo dental restaurativo en al menos una parte de los dientes de un paciente, de tal manera que dicho método comprende las etapas de:

- proporcionar un modelo digital 3D de al menos una parte de la cara del paciente, preferiblemente de tal manera que es visible y/o queda expuesta o al descubierto al menos una parte de los dientes del paciente, preferiblemente proporcionada por medio de un barrido óptico de al menos una parte de la cara del paciente,
- 5 - obtener al menos un modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes preparados, de tal manera que los dientes preparados se preparan mediante un trabajo dental restaurativo,
- alinear el modelo 3D de los dientes preparados con los dientes visibles en el modelo facial 3D, y
- diseñar al menos un modelo de CAD de restauración dental basado en el modelo 3D de los dientes preparados, y al menos parcialmente basado en el modelo facial 3D.
- 10 En una realización adicional de la invención, el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o el modelo 3D de los dientes preparados son proporcionados por medio de barrido o exploración, tal como barrido de forma intraoral, barriendo una impresión de los dientes y/o de la antagonista o contraria, barriendo un molde de los dientes y/o del antagonista o contrario, y/o métodos de barrido similares.
- Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de calcular líneas marginales de los modelos 3D.
- 15 En una realización adicional de la invención, la cara del modelo facial 3D, el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o el modelo 3D de los dientes preparados, y/o el modelo de CAD de restauración dental, y/o el modelo de CAD de la preparación dental, comprenden información de la geometría y/o de la textura (color).
- En una realización adicional de la invención, el color es detectado por medio de al menos un sensor sensible al color, y/o por medio del apilamiento de canales de color.
- 20 En una realización adicional de la invención, el modelo facial 3D se proporciona mediante el alineamiento y/o la combinación de múltiples barridos subordinados, o subbarridos, de la cara, preferiblemente subbarridos proporcionados desde diferentes ángulos.
- En una realización adicional de la invención, al menos parte de los subbarridos se encuentran, al menos parcialmente, en solapamiento.
- 25 En una realización adicional de la invención, al menos una parte de las texturas subordinadas, o subtexturas, de al menos una parte de los subbarridos se ajustan en color y/o se interpolan con respecto al color, tal como mediante entramado de texturas, a fin de proporcionar la textura del modelo facial 3D.
- En una realización adicional de la invención, al menos parte del pelo del paciente se empolva con un polvo reflectante.
- 30 En una realización adicional de la invención, se extruden siluetas obtenidas de múltiples subbarridos y, subsiguientemente, se hacen intersectar para proporcionar una aproximación visual de la cubierta.
- Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de cortar y/o retirar del modelo facial 3D al menos una parte de los dientes.
- 35 En una realización adicional de la invención, el diseño del modelo de CAD de restauración dental está, al menos parcialmente, basado en información biométrica para optimizar la impresión estética de la restauración dental, información biométrica que es tal como el grado de exposición de los dientes maxilarmente anteriores (relación de Morley), la cobertura del labio superior y la exposición de las encías.
- En una realización adicional de la invención, la línea media facial está sustancialmente alineada con la línea media del arco, y/o el plano incisal y la línea interpupilar están dispuestos sustancialmente paralelos.
- 40 En algunas realizaciones de la invención, el barrido de la cara de utiliza para medir características de la cara del paciente, tales como la línea media facial, la línea media del arco, el plano incisal y/o la línea interpupilar.
- Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de proporcionar al menos una imagen de rayos X de al menos una parte de la cabeza, de la mandíbula, de los dientes previos a la preparación o de los dientes ya preparados.
- 45 En una realización adicional de la invención, múltiples imágenes de rayos X obtenidas desde diferentes ángulos son combinadas para proporcionar un modelo 3D de rayos X.
- En una realización adicional de la invención, el modelo 3D de rayos X se alinea con, y/o se visualiza a lo largo de, uno o más de los modelos 3D y/o de los modelos de CAD.
- En una realización adicional de la invención, se proporciona una asistencia automática y/o semiautomática en el diseño del modelo de CAD de restauración dental y/o del modelo de CAD de preparación dental, asistencia tal como

sugerencias automáticas, evaluación de reglas y requisitos básicos y/u otros similares, siendo los requisitos tales como requisitos médicos y/o biológicos.

5 En una realización adicional de la invención, se proporciona una biblioteca de restauraciones estándar y/o preparaciones estándar a la hora de diseñar el modelo de CAD de restauración dental y/o el modelo de CAD de preparación dental, una biblioteca tal como una biblioteca de modelos de CAD.

Aún una realización adicional de la invención comprende la etapa de estimar la resistencia de una restauración dental planificada, tal como una estimación por medio de simulación de elementos finitos.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de visualizar el modelo de CAD de restauración dental, por ejemplo, para el paciente, dentista y/o técnico dental.

10 En una realización adicional de la invención, el modelo de CAD de restauración dental se visualiza lado con lado con, a lo largo de y/o encima de, el modelo de los dientes previos a la preparación.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de visualizar el modelo de CAD de restauración dental alineado en el modelo facial.

15 Una realización adicional de la invención comprende la etapa de predecir y/o visualizar el cambio en los tejidos blandos faciales que se produce como resultado del trabajo dental restaurativo.

En una realización adicional de la invención, se proporciona visualización en 3D, tal como visualización de modelos 3D y de modelos de CAD.

20 En una realización adicional de la invención, se proporciona visualización por medio de al menos una pantalla de computadora y/o por medio de la fabricación de al menos una reproducción de cera para diagnóstico. De esta forma, los modelos 3D y/o los modelos de CAD pueden ser presentados en una pantalla de computadora, si bien los modelos pueden también realizarse físicamente, por ejemplo, mediante impresión 3D con yeso o cera.

En aún otra realización adicional de la invención, la visualización se proporciona a través de una red informática, tal como la internet.

25 Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de predecir y/o visualizar el cambio en los tejidos faciales que se produce como resultado del trabajo dental restaurativo.

Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de segmentar, al menos parcialmente, dientes y tejido, tal como gingival, en el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o en el modelo 3D de los dientes preparados, y/o en el modelo facial 3D.

30 En una realización adicional de la invención, la segmentación es, al menos parcialmente, proporcionada por medio de un algoritmo implementado por computadora, tal como un algoritmo de camino más corto aplicado en una matriz 3D que representa la curvatura de la superficie de los dientes.

En una realización adicional de la invención, la segmentación está basada, al menos parcialmente, en información de color contenida en el (los) modelo(s) 3D.

35 Un aspecto adicional de la invención se refiere a un producto de programa informático que implementa un método para planificar, visualizar y/u optimizar la restauración dental en al menos una parte de los dientes previos a la preparación de un paciente, de tal manera que el método comprende las etapas de:

- proporcionar al menos un modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;

- diseñar al menos un modelo de CAD de restauración dental basándose en el modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;

40 de tal manera que el método comprende adicionalmente la etapa de:

- simular y estimar interferencias oclusales dinámicas, y

de modo que dichas interferencias son deducidas, al menos en parte, de una pluralidad de barridos que registran la articulación de la mandíbula de dicho paciente, al efectuar un seguimiento de al menos un objeto de referencia fijado a los dientes del paciente.

45 Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de calcular la articulación de la mandíbula y, con ello, simular y/o estimar interferencias oclusales dinámicas.

En algunas realizaciones de la invención, el escáner de la cara se utiliza para medir movimientos 3D de las mandíbulas y de la cara del paciente en tiempo real.

En algunas realizaciones de la invención, el escáner de la cara se utiliza para medir la posición de la mandíbula superior y/o de la mandíbula inferior con respecto al cráneo. De esta forma, el escáner de la cara puede, entonces, reemplazar un arco facial extraoral, que se utiliza convencionalmente para esta medición.

5 Así, pues, el escáner de la cara puede utilizarse para medir planos de la cara, tales como la determinación del plano central o la línea media, puede utilizarse también para medir el movimiento de las mandíbulas, y/o puede utilizarse para medir el aseguramiento y/o el movimiento de las mandíbulas con respecto al resto del cráneo.

10 De esta forma, los movimientos medidos de las mordazas, que son, físicamente, verdaderos desplazamientos o movimientos, se utilizan para simular el movimiento de un articulador virtual dinámico, de manera que pueden diseñarse restauraciones dentales de forma tal, que las restauraciones dentales presentan una capacidad funcional y una estética mejoradas. De este modo, el escáner de la cara puede llevar a cabo las mediciones relevantes para proporcionar una restauración dental y, con ello, reemplazar el uso de, por ejemplo, arcos faciales extraorales, etc.

15 En una realización adicional de la invención, el cálculo y/o la estimación de la articulación de la mandíbula y/o de las interferencias oclusales dinámicas está basado, al menos parcialmente, en una pluralidad de barridos de la cara y en al menos un modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o de los dientes ya preparados, un modelo 3D que comprende el antagonista o contrario. Para una exactitud y precisión óptimas, resulta ventajoso fijar una o más esferas u objetos de referencia a los dientes.

20 Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de modificar y/u optimizar de forma interactiva el diseño del modelo de CAD de restauración dental, preferiblemente basándose en la introducción de datos por parte de un dentista y/o del paciente, y/o a partir de consideraciones relativas al aspecto estético, biométrica, reglas y/o requisitos mediales y/o biológicos, estimación de resistencia, cambios en los tejidos blandos, interferencias oclusales, aspectos de color, coste de la restauración y/o consideraciones similares.

25 El diseño y/o las modificaciones de diseño del modelo de CAD de restauración dental pueden ser proporcionados por un dentista y/o un técnico dental en cooperación con el paciente. Sin embargo, con modelos digitales, los pacientes implicados no tienen por qué encontrarse en el mismo lugar, debido a que los modelos pueden ser distribuidos, presentados y/o visualizados a través de una red informática. De esta forma, en una realización adicional de la invención en la que se proporcionan una modificación y una optimización interactivas del modelo de CAD de restauración dental a través de una red informática, el paciente, el dentista y/o el técnico dental están situados en lugares geográficos diferentes. Por ejemplo, el paciente puede encontrarse en su casa mientras el dentista está presentando el modelo de CAD de restauración dental, tal como a través de una página web. O bien el dentista y el paciente pueden encontrarse en una clínica dental, juntos, evaluando un modelo de restauración dental para el paciente proporcionado por un técnico dental en un laboratorio dental sito en otro lugar.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de evaluar y/o validar una guía de preparación y/o un conjunto de dientes preparados, preferiblemente basándose, al menos parcialmente, en un modelo 3D de dichos dientes preparados.

35 En una realización adicional de la invención, la evaluación y/o validación comprende estimar y/o evaluar una restauración dental propuesta, elección de materiales, elección del método restaurativo, y/o aspectos similares.

En una realización adicional de la invención, una restauración dental puede consistir en uno o más empastes, carillas, placas, coronas, puentes o combinaciones de los mismos, y/o una restauración puede consistir en un armazón de dentadura parcial retirable y/o en una estructura retenida por implante.

40 En otra realización de la invención, la planificación, visualización, optimización y/o ejecución de trabajo dental restaurativo se combinan con la planificación, visualización, optimización y/o ejecución de cirugía plástica aplicada a la cabeza y/o a la cara.

45 En una realización adicional, el método implementado por computadora comprende, adicionalmente, la planificación, visualización y/u optimización de al menos una «pieza de ajuste por salto elástico», de manera que se crea un modelo de CAD de «pieza de ajuste por salto elástico» restando el modelo 3D de los dientes previos a la preparación, del modelo de CAD de restauración dental.

Aún otra realización adicional de la invención comprende la etapa de fabricar una restauración dental para los dientes preparados basándose en el modelo de CAD de restauración dental, preferiblemente por medio de CAM.

50 Una realización adicional de la invención comprende la etapa de fabricar una reproducción de cera para diagnóstico basándose en el modelo de CAD de restauración dental, preferiblemente por medio de CAM.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de fabricar una guía de preparación para los dientes preparados, basándose en el modelo de CAD de preparación dental, preferiblemente por medio de CAM.

Una realización adicional de la invención comprende la etapa de fabricar una reproducción de cera para diagnóstico basándose en el modelo de CAD de preparación dental y/o en la guía de preparación, preferiblemente por medio de

CAM.

En una realización adicional de la invención, se proporcionan y/o distribuyen instrucciones de CAM para la fabricación de la restauración dental, por medio de una red informática, tal como mediante su transferencia a un centro de tratamiento a través de la internet.

- 5 En una realización adicional de la invención, cualquier etapa referida, al menos parcialmente, se proporciona por medio de CAD o puede ser proporcionada por medio de CAD.

En una realización adicional, el método implementado por computadora comprende, adicionalmente, diseñar una corona temporal, de tal manera que la corona temporal es obtenida del diseño de CAD.

- 10 Una realización adicional de la invención se refiere al diseño y/o a la fabricación de piezas de ajuste por salto elástico.

La totalidad del procedimiento de toma de decisiones –preferiblemente de forma interactiva con el paciente– y de diseño subsiguiente de una restauración dental queda ahora digitalmente soportado de manera completa.

- 15 La invención se refiere, de manera adicional, a un producto de programa informático que tiene un medio legible por computadora, de tal manera que dicho producto de programa informático comprende medios para llevar a cabo cualquiera de los métodos referidos.

Una realización preferida de la invención hace posible un diseño interactivo del tratamiento restaurativo, con lo que se aumenta la oportunidad de satisfacción completa del paciente. Por lo que respecta a la interactividad, esta invención está basada en modelos 3D, contrariamente a, por ejemplo, el documento US 6.786.726, que únicamente se refiere a imágenes digitales 2D.

- 20 Una realización de la invención proporciona un sistema para planificar y ejecutar un tratamiento dental restaurativo principalmente fundamentándose en datos 3D y sin la necesidad de una reproducción física de cera para diagnóstico. Preferiblemente, también se obtienen escaneos 3D en color de la cabeza del paciente que se utilizan dentro del procedimiento de planificación, haciéndolo más exhaustivo y realista. Los métodos que se describen en esta Solicitud pueden ser interactivos entre el paciente y el dentista, con lo que se asegura la aceptación por parte del paciente del tratamiento propuesto. Como otra ventaja, los datos 3D obtenidos en la fase de tratamiento previo pueden ser explotados a la hora de diseñar realmente la restauración para su fabricación mediante CAM.

- 25 En una realización, la invención se refiere a un sistema para planificar un tratamiento dental restaurativo y diseñar una restauración dental basándose en un modelo digital 3D de los dientes del paciente en el estado previo a la preparación, de tal manera que esta planificación y diseño se implementan únicamente en software. Por ello, el sistema tiene las ventajas de una reproducción de cera para diagnóstico sin sus desventajas de elevados costes y una fabricación tediosa y que lleva mucho tiempo.

- 30 El dentista puede incluso diseñar la restauración de forma interactiva con el paciente. Una vez que se ha decidido sobre un diseño, el dentista preparará, generalmente, los dientes en correspondencia, y generará otro modelo 3D de los dientes preparados. El diseño final estará basado en el estado preparado, pero puede servirse del diseño de preparación.

- 35 Opcionalmente en dicha realización, la invención incluye un sistema para obtener un modelo 3D coloreado de la cabeza del paciente. Este último modelo se obtiene, habitualmente, con otro tipo de escáner, y no es necesario que este tenga el mismo grado de detalle elevado que el modelo 3D de los dientes. A fin de visualizar los efectos del tratamiento, los dientes del modelo de la cabeza son reemplazados por los dientes diseñados por CAD (esto es, los dientes con el aspecto que tendrían tras el tratamiento), utilizando alguna clase de técnica de alineamiento e información obtenida del modelo 3D de los dientes antes del diseño por CAD. El resultado es un modelo 3D compuesto de la cabeza y los dientes con el que se puede visualizar el efecto del posible trabajo restaurativo incluso mejor que solo con un modelo 3D de los dientes.

- 40 En otra realización de la invención, es necesario el modelo 3D coloreado de la cabeza del paciente, mientras que el modelo digital de los dientes en su estado previo a la preparación no lo es. El diseño de la restauración una vez obtenido un modelo de los dientes preparados puede sacar provecho de la información del modelo de la cara de la misma manera que en la realización previa.

Definiciones

- 50 Un **modelo 3D** (es decir, un **modelo digital 3D**) puede ser, bien de nubes de puntos, bien superficial (facetado / mallado), o bien volumétrico. Se prefieren los modelos facetados / mallados frente a los de nubes de puntos, si bien los modelos facetados / mallados pueden ser generados a partir de nubes de puntos, por ejemplo, por triangulación. Los modelos volumétricos pueden ser obtenidos con un escáner que aplique radiación penetrante, tal como escáneres de CT [tomografía computerizada –“computed tomography”–].

Un **modelo de CAD de restauración** es un modelo informático virtual de una **restauración**. Similarmente, un **modelo de CAD de preparación** es un modelo informático virtual de una **preparación**. Los modelos de CAD son creados en un programa de software y pueden estar basados en uno o más modelos 3D de los dientes del paciente. De esta forma, mientras que un **modelo 3D** es, por lo común, una representación digital de un objeto físico, un **modelo de CAD** es un modelo digital virtual, que, sin embargo, comprende posiblemente, al menos parcialmente, una representación digital de al menos una parte de un objeto físico.

Una **restauración** es una restauración fija convencional tal como empastes / carillas, placas, coronas, puentes, estructuras retenidas mediante implante, etc., pero, por analogía, también restauraciones retirables tales como dentaduras. Una restauración requiere trabajo dental restaurativo.

Una **guía de preparación** es un procedimiento recomendado para llevar a cabo una preparación dental. Puede darse en forma de documentos, material audiovisual, o artefactos físicos tales como modelos dentales proporcionados a modo de ejemplo. Puede contener información relativa al equipo que se ha de utilizar y al modo como utilizarlo. De esta forma, una guía de preparación está, por lo común, dirigida a un dentista, a un técnico dental, a un laboratorio dental y/o a entidades similares. Una guía de preparación puede comprender instrucciones (de software) que pueden ser ejecutadas por una máquina utilizada para la preparación.

Un **paciente** es la persona para la que se diseña una restauración. Pueden existir indicaciones médicas para el tratamiento dental de este paciente, pero también consideraciones cosméticas pueden constituir una importante motivación para hacer diseñar una restauración dental.

Descripción de los dibujos

Los anteriores y/u otros propósitos, características y ventajas adicionales de la presente invención serán adicionalmente elucidados por la siguiente descripción detallada, ilustrativa y no limitativa, de realizaciones de la presente invención, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es una motivación para esta invención, un esbozo de diagrama de flujo con ilustraciones gráficas en aras de la claridad.

La Figura 2 es un diagrama de flujo detallado para una variante V1 del método descrito en esta invención.

La Figura 3 es un diagrama de flujo detallado para una variante V2 del método descrito en esta invención.

La Figura 4 es una sección sagital de un diente esquemático, de manera que se visualizan diversas etapas del método descrito en esta invención.

La Figura 5 es una sección sagital ampliada de un diente esquemático, que ilustra la etapa de transferir el diseño previo a la preparación a los dientes preparados.

La Figura 6 es una representación gráfica de algunas etapas de esta invención.

La Figura 7 son capturas de pantalla proporcionadas a modo de ejemplo de software de CAD que muestra el modelo de la cara del que se ha recortado parte de la sonrisa, y el modelo de la restauración (que afecta a los dientes 6-11) y el tejido (segmentado) alineado con el de la cara. En aras de poder distinguir el barrido de la cara y el modelo de restauración en esta figura, no se ha tratado, intencionadamente, de hacer coincidir el color de la restauración con el de los dientes en el barrido de la cara (esto es visible incluso en las imágenes en blanco y negro). (a): vista anterior; (b): vista lateral.

Descripción detallada

En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras que se acompañan, las cuales muestran a modo de ilustración el modo como puede llevarse a la práctica la invención.

En una realización de la invención (que se ha denominado, en lo que sigue, "V1" y se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 2), se utiliza un modelo 3D de los dientes del paciente previos al tratamiento (antes de la preparación), preferiblemente obtenido con un escáner 3D. Opcionalmente, se aprovecha otro modelo 3D de la cara del paciente (posiblemente obtenido con otro tipo de escáner) para un alineamiento y/o aspecto estético óptimos de la restauración.

En otra realización de la invención (que se ha denominado, en lo que sigue, "V2" y se ilustra en el diagrama de flujo de la Figura 3), es necesario el modelo facial 3D, mientras que el modelo 3D previo al tratamiento es opcional.

Tanto V1 como V2 pueden comprender etapas similares, si bien en una combinación diferente y con ligeras diferencias. Etapas y modelos opcionales en V1 y V2 se indican por recuadros en línea discontinua en los elementos de los diagramas de flujos. Algunas etapas son opcionales únicamente en V1 o V2.

Algunas etapas pueden ser implementadas en software, mientras que otras pueden representar trabajo manual y/o

aplicación de maquinaria. El software consiste, preferiblemente, en un único programa, para una óptima facilidad de uso.

Algunas etapas se ilustran también gráficamente en las Figuras 4 – 7.

Etapa 1: Obtener un modelo digital 3D de los dientes y de las encías previamente al tratamiento (necesario en V1, no aplicable en V2)

Existen diversos sistemas comerciales disponibles para obtener modelos digitales 3D 100 de los dientes (por ejemplo, Cadent iTero, 3M ESPE Lava, 3Shape D640). Entre estos se encuentran escáneres intraorales y escáneres para impresiones dentales o moldes de las mismas (por ejemplo, 3Shape D640). Los escáneres pueden ser, por ejemplo, escáneres ópticos (láser, luz estructurada). Deberán seguirse, para obtener el modelo 3D 100, las instrucciones del manual de funcionamiento del fabricante para el escáner en cuestión. Este modelo 100 se denominará también, en lo que sigue, modelo previo a la preparación. Su contorno es C100 en la Figura 4.

Potencialmente, escáneres con radiación penetrante tales como escáneres de CT (haz de cono) (el iCAT, de Imaging Science International; el Iluma, de Kodak/Imtec) pueden ser utilizados para obtener el modelo 100. Estos tienen la ventaja de proporcionar modelos volumétricos que muestran también el decaimiento en el interior de los dientes, mientras que sus desventajas incluyen aspectos concernientes a la dosis de radiación o al elevado precio del tratamiento. En la Figura 6, etapa 1, se muestra un escaneo de dientes.

Etapa 2: Segmentar dientes previos al tratamiento, a partir de la encía (opcional en V1, no aplicable en V2):

Los barridos ópticos generalmente obtienen un modelo digital 3D de la superficie de un objeto. Si bien este modelo describe la geometría, no diferencia entre materiales ni subobjetos que componen la superficie. Específicamente para aplicaciones dentales, el modelo 3D no diferencia entre dientes en encías, algunas de las cuales pueden ser inadvertidamente incluidas en un barrido de los dientes. Para la visualización y el diseño por CAD de restauraciones dentales, puede resultar ventajoso, en consecuencia, segmentar el modelo 3D combinado en dientes y tejido, respectivamente. La segmentación puede aplicarse por medio de un algoritmo implementado en software, que da como resultado el modelo 101. En la Figura 6 se muestra un modelo de dientes segmentado.

En una realización de la invención, el algoritmo de segmentación utiliza vectores perpendiculares a cada diente, o bien un único vector, perpendicular a todo el modelo, así como un punto en el medio de cada diente, o bien dos puntos en los lados distal y mesial del diente. Una versión preferida del algoritmo de separación está basada en el uso de un algoritmo 3D de camino más corto, preferiblemente capaz de manejar pesos, factores de ponderación, negativos, por ejemplo, el algoritmo Bellman-Ford. El algoritmo se aplica, preferiblemente, en una matriz 3D con elementos que representan la curvatura de la superficie del modelo 100 de los dientes.

En otra realización, el escáner que se utiliza para generar el modelo 100 puede captar también el color. La segmentación puede entonces estar basada en información de color.

Si se salta la etapa 2, los modelos 100 y 101 son idénticos.

Etapa 3: Obtener un modelo(s) digital(es) 3D de la cara / cabeza (opcional en V1, necesario en V2):

Se dispone de varios sistemas para obtener modelos digitales 3D de la cabeza, particularmente de la cara (por ejemplo, Konica Minolta Vivid, Breuckmann faceScan). Los escáneres de cabeza / cara y los dentales son, por lo general, instrumentos diferentes, debido a que la resolución que se requiere para los barridos de cabeza / cara es generalmente más baja, en tanto que el volumen de interés es mayor. La mayoría de escáneres ópticos de cabeza / cara emplean luz estructurada.

En una realización preferida de esta invención, el escáner de cabeza / cara puede detectar no solo la geometría de la superficie, sino también el color. La información del color (también denominada textura) es importante en la visualización. El color puede ser detectado directamente mediante la elección de un sensor sensible al color en la(s) cámara(s) del escáner. Otra solución es utilizar un sensor que sea sensible únicamente a la intensidad de luz total, pero tomando varias imágenes en las que la iluminación sea, en cada una de ellas, un color de una sola base, y reconstruyendo entonces el color por combinación de esas imágenes. Este procedimiento también recibe el nombre de apilamiento de canales de color, y colores de base típicos son el rojo, el verde y el azul.

Es preferible hacer un barrido de la cabeza / cara de modo que el o la paciente deje al descubierto sus dientes. Esta constelación puede ser aprovechada en la etapa 6. Generalmente, el paciente deseará sonreír, debido a que el aspecto estético de una restauración dental se aprecia, a menudo, de la manera más crucial en una sonrisa.

Un modelo 3D de la cabeza puede requerir varios barridos desde diferentes ángulos. Ha de alinearse una multiplicidad de dichos barridos para obtener un modelo combinado. Existen muchos algoritmos para este propósito, por ejemplo, el Iterative Closest Point (punto más cercano iterativo). Todos ellos requieren un cierto solapamiento de al menos pares de subbarridos. Como la iluminación de cada subbarrido generalmente diferirá, es necesario ajustar en color las subtexturas para obtener la textura combinada. Por ejemplo, puede emplearse el entramado de texturas

para suavizar las diferencias entre los diferentes subbarridos [4].

Debido a su reflectividad limitada, la parte del cabello de la cabeza es generalmente difícil de captar con escáneres ópticos. Esta limitación puede ser superada empolvando el cabello con un polvo reflectante. Otro método para reconstruir la parte del cabello en 3D es extrudir las siluetas de múltiples imágenes de la cabeza (tomadas en diferentes ángulos) y, a continuación, hacerlas intersectar para formar la aproximación visual de la cubierta.

Subsiguientemente a la etapa 3, los diagramas de flujo se dividen en dos ramas. Estas ramas no son alternativas, sino que se pueden ejecutar ambas. Comienzan con las etapas 4a y 4b, respectivamente.

Etapas 4a: Deducir el movimiento de la mandíbula (opcional en V1, opcional en V2):

Especialmente para el diseño de las coronas, puede resultar ventajoso tener en cuenta las interferencias oclusales dinámicas. Con una pluralidad de modelos 200 de barrido de la cara, es posible deducir la articulación de la mandíbula y, de esta forma, simular las interferencias oclusales dinámicas dado un modelo 3D de los dientes que incluye el antagonista. Para deducir la articulación a partir de modelos faciales 3D, puede resultar ventajoso fijar una o más esferas de referencia a los dientes mandibulares del paciente, preferiblemente entre el labio inferior y los incisivos mandibulares, y realizar un seguimiento del movimiento de la esfera. El procedimiento se describe para una única esfera e imágenes 2D en [9], pero cabe esperar tener más precisión con datos 3D, y detectar correctamente los movimientos de rotación si se utiliza más de una esfera. Puede también fijarse una(s) esfera(s) u objeto(s) adicional(es) en los dientes maxilares del paciente. Con datos 3D, puede separarse cualquier movimiento concurrente de la cabeza del movimiento de la mandíbula durante la masticación. El documento WO 2009/091439 divulga un procedimiento en el que se deducen movimientos 3D mediante el seguimiento de objetos dentales. Esto es, sin embargo, mucho menos preciso que utilizar una(s) esfera(s) de referencia, debido a que las esferas, a diferencia de los objetos dentales, tienen una superficie geométrica perfecta a partir de la cual es posible determinar una posición central con alta exactitud y precisión. De acuerdo con ello, muchas normas metrológicas emplean esferas de referencia, por ejemplo, la ISO 10360-3.

Etapas 4b: Retirar dientes (opcional en V1, opcional en V2):

Si algún modelo 200 de cara / cabeza muestra los dientes (y, posiblemente, el cerco gingival), puede resultar ventajoso recortarlos y, más adelante (por ejemplo, en la etapa 6), presentar visualmente el modelo 101 (V1) o el 401 (V2) de los dientes / encías en su lugar. Este último modelo a menudo tendrá un grado más alto de detalle, ya que se requiere un elevado grado de detalle para modelizar la restauración dental en la etapa 6. También puede aplicarse el corte solamente a algunos de los dientes, por ejemplo, en caso de que el modelo 101, o el 401, respectivamente, tenga tan solo algunos dientes, o incluso un solo diente. Dicho corte se lleva a cabo en software, en el que puede ser realizado de forma interactiva o al menos parcialmente automatizada.

El corte interactivo puede, por ejemplo, ser realizado en software 3D colocando una línea 3D sobre el modelo, y recortando todos los puntos y/o facetas en el interior de la línea. Posiblemente, las facetas o caras pueden ser subdivididas a lo largo de la línea de corte, de tal modo que la línea de corte se respeta de manera precisa. Una forma de introducir la línea de corte en el software 3D es hacer clic en algunos puntos de referencia y utilizar una línea compuesta para unirlos. La línea compuesta ha de seguir la superficie del modelo 200.

El corte automático puede llevarse a cabo detectando los dientes (y, posiblemente, las encías) por algoritmos de software. Por ejemplo, pueden detectarse dientes como tales por su color y/o su simetría.

Si el modelo 101 o 401, respectivamente, incluye un conjunto completo de dientes, la comisura interior es la sección preferida para recortar en el modelo 200, según está delineada por las confluencias más internas de los labios en las esquinas o ángulos de la boca [1].

Etapas 5: Alinear el modelo de dientes con el barrido de la cara (opcional en V1, no aplicable en V2)

En esta etapa, el modelo 101 de los dientes / encías es alineado con algún modelo 200 de la cabeza / cara, o –si se ha llevado a cabo la etapa 4–, el modelo de cabeza y cara cortado 201. En otras palabras, la posición del modelo 101 se convierte en la de la parte correspondiente del modelo 200/201. El alineamiento es, así, una transformación rígida de al menos un modelo, ya sea en el sistema de coordenadas local del otro, ya sea en algún otro sistema de coordenadas común.

El alineamiento se lleva a cabo, preferiblemente, en software, de forma iterativa y/o automáticamente. El alineamiento iterativo puede ser llevado a cabo en la interfaz de usuario gráfica proporcionada por el software, arrastrando un modelo (traslación) o arrastrando algunos puntos de control para rotaciones. Otra manera de transformar un modelo es introducir o ajustar la matriz de transformación directamente.

El criterio para el alineamiento puede ser un ajuste visual subjetivo o puede ser definido matemáticamente. Un tal criterio común es la suma de los cuadrados de las distancias entre los dos modelos. Las distancias se miden habitualmente medidas en la dirección de las normales a superficie. Otros criterios pueden estar basados en las distancias entre ciertos rasgos, tales como los planos incisales, o la(s) línea(s) medias entre incisivos.

El alineamiento automático puede llevarse a cabo utilizando los mismos algoritmos que en la etapa 3. Posiblemente, el usuario tendrá que colocar puntos de control para puntos correspondientes de los modelos que se han de alinear, de manera que estos sirven como una primera tentativa para el alineamiento fino automatizado. El alineamiento automatizado es una optimización del criterio de ajuste definido matemáticamente. En el caso de que el modelo de cabeza / cara 200 no deje al descubierto los dientes sobre la superficie en el alineamiento con el modelo 101 de dientes / encías, el alineamiento puede aún ser posible si el modelo de cabeza / cara es un encefalograma (rayos X de la cabeza) [5].

Etapa 6: Diseñar la restauración en el sistema de CAD (requerido en V1, requerido en V2):

Esta etapa es en gran medida idéntica en ambas variantes (esto es, en la V1 y en la V2), pero comienza a partir de los dientes previos a a preparación en la variante V1, en tanto que, en la variante V2, comienza a partir de los dientes ya preparados. La posición más temprana en el diagrama de flujo de la variante V1 permite algunas posibilidades adicionales en esta variante.

Características comunes de la etapa 6 en las dos variantes V1 y V2:

Las restauraciones dentales que pueden ser diseñada en el sistema de CAD incluyen empastes, carillas, placas, coronas, puentes, combinaciones de los mismos, y otros elementos. Por analogía, el término «restauración» también cubre armazones de dentadura parciales retirables y estructuras retenidas por implante. Se dispone de varios paquetes de software de CAD dental que hacen posible tal diseño, por ejemplo, el 3Shape DentalDesigner (Diseñador dental 3Shape). El modelo 300 es el de la restauración solamente. En esta etapa 6, se trata únicamente de un modelo digital. Su contorno es el C300 en la Figura 4. La restauración implica requisitos para la preparación. Como el modelo 300 es digital, la preparación es también virtual en esta etapa 6. Para un modelo de restauración 300 dado, puede haber muchas preparaciones virtuales C102 posibles, si bien algunas pueden ser más aconsejables que otras (véase la etapa 7). Un contorno proporcionado a modo de ejemplo de una preparación virtual en la Figura 4 es el C102. Principalmente, C102 está desviado con respecto a C300 por el espacio del cemento. Es de apreciar que el espesor del espacio del cemento se ha exagerado en la Figura 4 únicamente por claridad gráfica.

El software utilizado en esta etapa 6 deberá, preferiblemente, ayudar al dentista / técnico dental a la hora de diseñar la restauración, por ejemplo, realizando sugerencias automáticas y/o evaluando las reglas y requisitos básicos.

Las reglas y requisitos básicos, preferiblemente implementados en el software, pueden incluir el espesor mínimo para la restauración (generalmente dependiente del material) y la anchura biológica. Otras reglas podrían cerciorarse de la altura circunferencial continua obligatoria de una preparación para una corona. La resistencia de una restauración podría determinarse numéricamente, por ejemplo, midiendo el espesor o, preferiblemente, por una simulación de elementos finitos. Aún otra regla puede ser no penetrar en el antagonista ni en los dientes proximales.

En el caso común de que el modelo 101 de cabeza no sea un modelo volumétrico, puede ser ventajoso integrar las imágenes de rayos X en esta etapa 6, debido a que la magnitud del decaimiento visible en ellas limitará la elección de la restauración. En el caso de que se tomen múltiples imágenes de rayos X desde diferentes ángulos, será posible crear un modelo 3D aproximado a partir de las siluetas de todas las imágenes, análogamente al modo como puede reconstruirse el cabello en 3D en la etapa 3. La resolución en 3D de este modelo será, sin embargo, generalmente deficiente, debido a que únicamente pueden tomarse unas pocas imágenes de rayos X. A causa de esta deficiente calidad, dicha integración de imágenes de rayos X en la etapa 6 puede no ser un alineamiento apropiado para los otros modelos, pero sí al menos una visualización concurrente en el software. Cabe la posibilidad de que el software pueda detectar los planos de imagen de los rayos X en el modelo 3D de los dientes (referencia 101 en la variante V1, 401 en la variante V2) realizando el mejor ajuste entre sus secciones y, a continuación, estableciendo automáticamente el punto de vista en la visualización 3D de los últimos modelos, a fin de hacer coincidir los planos de imagen de los rayos X.

Una importante ventaja de esta invención es que permite un diálogo entre el paciente y el dentista en lo que se refiere al tratamiento, que implica opcionalmente también el laboratorio. Por ejemplo, el dentista puede ver la restauración propuesta en una pantalla de computadora. De preferencia, el software de CAD que el técnico dental / dentista utiliza para el diseño virtual de la restauración en sí, proporciona tal visualización y puede ser utilizado de forma interactiva para actualizar el diseño en el diálogo con el paciente. El técnico / dentista puede proponer un aspecto visual y estético, así como explicar las ventajas y desventajas funcionales de las posibles restauraciones, conjuntamente con su coste. Puede fabricarse también una reproducción física de cera para diagnóstico por medio de CAM, de forma aún más barata y rápida que las reproducciones de cera para diagnóstico convencionales.

Resulta ventajoso tener la posibilidad de presentar los modelos 3D disponibles de una forma fotográficamente realista. La capacidad funcional de gráficos en PCs, como el OpenGL, contribuye a este propósito. Resulta igualmente ventajosa una coloración apropiada, o incluso ajustable, de las encías y los dientes, respectivamente, o de regiones de los mismos, en los modelos de dientes / encías (referencia 101 en la variante V1, 401 en la variante V2). Incluso aunque dichos modelos se hubieran obtenido con un escáner con posibilidad de color, la luz utilizada para la captación es generalmente diferente de la que se aplica cuando se captura el modelo 200, lo que conduce a un desajuste visual en la presentación visual de todos los modelos alineados (etapa 5). Técnicas gráficas

informáticas especiales, como el rastreo, pueden mejorar el aspecto visual, conjuntamente con la modelización de más de una sola fuente de luz.

5 Cuando se dispone de un modelo 201 de cara / cabeza, puede aprovecharse la información biométrica para optimizar la impresión estética de la restauración dental [6]. Por ejemplo, parece a menudo ideal alinear la línea media facial con la línea media del arco, o conseguir un paralelismo entre el plano incisal y la línea interpupilar. La métrica con respecto a la anatomía de la sonrisa incluye el grado de exposición de los dientes maxilarmente anteriores (relación de Morley), la cubrición del labio superior y la exposición de las encías [1].

10 En caso de que la restauración dental se desvíe significativamente de las condiciones existentes, ello puede tener un efecto en el tejido blando cercano a la boca. La predicción 3D de los cambios en los tejidos blandos tras la planificación quirúrgica ortognática simulada ya ha sido presentada en la literatura (véase, por ejemplo, la referencia [7]), de manera que puede aplicarse un procedimiento análogo en el contexto de esta invención. El resultado de cualquier simulación de cambios en los tejidos blandos (opcional) puede visualizarse como modelo 202.

15 En caso de que se haya llevado a cabo la etapa 4a y se haya determinado una trayectoria de los dientes mandibulares, es posible ensayar en la invención que se presenta las interferencias oclusales dinámicas, lo que permite al dentista / técnico dental modificar el modelo 300 con el fin de evitar tales interferencias. Este procedimiento puede ser al menos parcialmente automatizado eliminando las partes del modelo 300 que colisionan con los antagonistas, dada dicha trayectoria.

20 Una vez terminado el diseño por CAD, puede fabricarse mediante CAM un modelo físico de reproducción de cera para diagnóstico del modelo digital 300, o bien partes del mismo. Tal fabricación no necesita esencialmente de trabajo manual y es mucho menos cara que la producción manual convencional. La reproducción física de cera proporciona al dentista y/o al paciente otra oportunidad de evaluar el tratamiento propuesto antes de que este se ejecute. Esto puede ser un procedimiento relevante especialmente cuando el diseño de restauración se lleva a cabo en un laboratorio dental situado en otro lugar, o el dentista es muy tradicional. Si se crea una reproducción física de cera para diagnóstico, puede ser requerido el técnico de laboratorio para un fresado en el modelo previo a la preparación, antes del barrido. En el caso de que no exista ningún modelo físico, puede fabricarse uno por CAM.

25 En otra realización de la invención, el diseño de CAD puede ser utilizado para crear «piezas de ajuste por salto elástico» que pueden ser montadas directamente en los dientes del paciente, con lo que se ve el resultado del tratamiento. Las «piezas de ajuste por salto elástico» se crean directamente restando del diseño los dientes previos a la preparación. Es decir, el modelo 3D de los dientes previos a la preparación es restado del modelo de CAD de la «pieza de ajuste por salto elástico». El diseño restado resultante proporciona un modelo de las piezas de ajuste por salto elástico que subsiguientemente puede ser fabricado por CAM, con lo que las piezas de ajuste por salto elástico quedan listas para utilizar.

30 Las redes de comunicación proporcionan otros medios para establecer interactividad con el paciente y/o con el dentista en una situación en la que el diseño de la restauración se lleva a cabo en otro lugar. Por ejemplo, el paciente y/o el dentista pueden seguir el procedimiento de diseño a través de una conexión en directo por internet con la computadora del diseñador.

35 Variante V1 únicamente: En una realización de esta invención, el dentista o técnico dental demarca el margen deseado para el diseño restaurativo en el modelo 101 de los dientes, en el software. En otra realización, el dentista escoge una superficie deseada para la restauración, por ejemplo, de una biblioteca de coronas (posible, pero necesariamente, de la misma manera que en las partes correspondientes del modelo 101), y el software calcula una línea marginal. Cualquier combinación de dichas realizaciones es también posible, particularmente para puentes. Posibles sugerencias automáticas del software incluyen colocación de márgenes, particularmente colocación apical, dependiente del número de dientes. Puede también ofrecerse al dentista una selección de entre una biblioteca de restauraciones estándar, que pueden ser entonces modificadas.

40 En esta etapa 6, pero también de manera relevante para la preparación (etapa 7, más adelante), también es posible diseñar coronas temporales. La corona temporal será directamente deducida de todo el diseño por CAD de la etapa 6, pero con espacio de cemento adicional de, por ejemplo, 0,2 mm entre la preparación virtual y el interior de la corona temporal. El espacio de cemento incrementado se crea con el fin de dar acomodo a las inexactitudes en la preparación real llevada a cabo por el dentista.

50 Etapa 7: Generar guía de preparación (opcional en V1, no aplicable en V2):

En una realización preferida de la invención, el software ayuda al dentista con los trabajos preparativos. En muchos casos, las guías de preparación generales son proporcionadas por los fabricantes de material y equipos dentales. Para facilitar el trabajo del dentista y mejorar la resistencia de la restauración y la calidad global, la invención puede proporcionar las guías de preparación automáticamente para el diseño particular obtenido al final de la etapa 6.

55 Posiblemente, el software puede ayudar en la planificación del alargamiento de la corona. En este contexto, la etapa 2 puede ser beneficiosa, al evitar que el margen sea colocado en posición demasiado subgingival. También puede

ser sugerido por el software el tipo de margen (bisel, hombro).

Además de proporcionar detalles de la preparación, cabe la posibilidad de que el software que genera una guía de preparación pueda también validar una preparación que el dentista y/o el técnico dental hayan contemplado por otros medios. Por ejemplo, el software puede evaluar la resistencia de la restauración y/o la elección de materiales, y/o incluso la elección del método de tratamiento restaurativo.

La guía de preparación puede adoptar muchas formas, incluyendo el texto de introducción, múltiples capturas de pantalla 2D, animaciones 3D, visualización por computadora, vídeos y/o instrucciones para la preparación mecanizada / robotizada. Una guía de preparación puede también incluir un modelo físico de la preparación deseada, positiva, o bien una representación física negativa que puede ser probada en la boca del paciente. Por ejemplo, en el caso de que el modelo 100 sea un modelo de molde obtenido por barrido, el técnico dental puede preparar este molde. Debido a que la preparación virtual se encuentra también disponible en forma digital (el modelo de CAD de preparación dental, el contorno C102 en la Figura 4), esta puede también ser fabricada por CAM.

Etapa 8: Preparar los dientes (necesario en V1, necesario en V2):

Basándose en el tratamiento restaurativo acordado, y con o sin guía a partir de la etapa 7, el dentista prepara los dientes del paciente. La preparación se lleva a cabo, por lo común, por el dentista rebajando los dientes por fresado de tal modo que el trabajo restaurativo pueda ser pegado. En la variante V1, la preparación será para la restauración diseñada en la etapa 6, en tanto que, en la variante V2, ningún diseño previo determina el trabajo de preparación.

Las piezas de ajuste por salto elástico (un producto comercial de la Snap-on Smile) no requieren ninguna preparación invasiva.

Etapa 9: Obtener un modelo digital 3D de los dientes preparados y las encías (necesario en V1 y necesario en V2):

En términos de procedimiento, esta etapa de barrido es idéntica a la etapa 1, si bien, en esta etapa, los dientes preparados son explorados o barridos. El contorno de la preparación real es, en la Figura 4, C400. En aras de la simplicidad de la figura, este es idéntico al de la preparación virtual C102, pero no es necesariamente el caso.

Etapa 10: Segmentar los dientes preparados a partir de las encías (opcional en V1, opcional en V2):

La segmentación de dientes y encías en el modelo preparado puede ser ejecutada análogamente a la etapa 2, pero se aplica al modelo preparado, en lugar de al modelo previo a la preparación. Si se salta esta etapa, los modelos 400 y 401 son idénticos.

Etapa 11: Alinear (necesario en V1, necesario en V2):

En el aspecto lógico y procedimental, esta etapa es similar a las variantes V1 y V2; sin embargo, esta etapa se refiere a modelos diferentes en cada variante.

Variante V1: El alineamiento de la restauración diseñada para los dientes previos a la preparación (etapa 6, modelo 101) y los dientes preparados (modelo 401) puede llevarse a cabo por los mismos algoritmos de software según se ha descrito en la etapa 3. De nuevo, es importante tener un cierto solapamiento de los modelos. Tales áreas generalmente existirán, a menos que la preparación afecte a todos los dientes. El modelo de la restauración 300 está ya en el mismo sistema de coordenadas local que el modelo 101, sobre la base del cual se ha diseñado. Por lo tanto, el modelo 300 se alinea también con el modelo 401 sin ningún tratamiento adicional. Si se dispone del barrido de la cabeza / cara (modelo 201), este puede ser alineado con los modelos 101/300 y 401 de tal manera que los tres modelos se correspondan. La Figura 7 muestra un resultado típico de esta etapa 11 para tal constelación.

Variante V2: El alineamiento de los dientes preparados (modelo 401) y del barrido de cabeza / cara (modelo 201) puede llevarse a cabo por los mismos algoritmos de software según se ha descrito en la etapa 3.

Etapa 12: Transferir el diseño por CAD de los dientes previos a la preparación a los dientes preparados (necesario en V1, no aplicable en V2):

Debido a la preparación manual, la preparación real C402 (Figura 5) diferirá en general, al menos ligeramente, de la preparación virtual C102 creada en la etapa de diseño 6. De esta forma, el diseño de la restauración necesita ser modificado en correspondencia, pero, preferiblemente, la transferencia deberá mantener tanto como sea posible del diseño creado en la etapa 6. Este procedimiento es, preferiblemente, implementado en software.

La automatización proporcionada por esta etapa 12 es lo que falta en el procedimiento manual y subjetivo que constituye el estado actual de la tecnología. Por lo común, hoy en día, a fin de transferir el diseño, el técnico dental observa la reproducción de cera para diagnóstico inicial y trata manualmente de reproducir este diseño para las restauraciones reales, incorporando posibles comentarios del dentista y del paciente. Este procedimiento de reproducción o copia manual es tanto costoso como impreciso, y lleva mucho tiempo.

Un algoritmo preferido para esta etapa 12 comienza demarcando la línea marginal tanto en la preparación virtual

(referencia 600 en la Figura 5) como en la preparación real (referencia 601 en la Figura 5). Aunque los márgenes son puntos en la sección transversal 2D que se encuentra en la Figura 5, en realidad son curvas en 3D y pueden, por ejemplo, representarse por líneas compuestas (B-). Software de CAD dental como el DentalDesigner de 3Shape puede detectar automáticamente líneas marginales y colocar dichas líneas compuestas, si bien debe también permitirse la interacción con el usuario. La transformación entre 600 y 601 se denota por la referencia T.

Puede utilizarse un modelo de deformación de forma libre (FFD –“free form deformation”– para generalizar T para superficies. Este procedimiento también recibe a menudo el nombre de «remodelación informática». La operación de remodelación informática afecta a la parte cercana al margen del modelo 300, con un impacto decreciente para las partes de superficie a distancias crecientes del margen. Los parámetros relevantes del algoritmo pueden ser ajustados por el usuario. Se ha propuesto en la referencia [8] un procedimiento similar para el «encaje de coronas», si bien se encuentra fuera del alcance de las restauraciones dentales. Coloquialmente hablando, la remodelación informática es como estirar un globo de goma tirando de sus «labios» (el grueso anillo a través del cual es soplado el aire a su interior, que se corresponde con la línea marginal) o empujándolos.

Es de apreciar que, en el ejemplo mostrado en la Figura 5, el margen preparado está situado en posición gingival con respecto al virtual, de manera que, en consecuencia, es necesario prolongar la superficie exterior del modelo 300 para llegar al modelo 301. El caso opuesto es, sin embargo, también posible. Si la preparación finaliza retirando menos material del que se suponía cuando se creó el modelo 300, la superficie exterior del modelo 301 puede ser más pequeña que la del modelo 300. En otras palabras, la remodelación informática puede ser tanto una contracción como una operación de estiramiento. Para un diente dado, la remodelación puede ser incluso una combinación de contracción y estiramiento a lo largo de diversas secciones del margen, a saber, cuando hay desviaciones entre la preparación virtual y la real tanto en la dirección gingival como en la oclusal / incisal.

Lejos del margen hacia las partes interiores de preparación / restauración, no es necesario aplicar la remodelación informática. En lugar de ello, la superficie interna de la restauración puede ser computada de la manera normal, es decir, la superficie se crea por un descuadre de la preparación por encima de la línea marginal controlada por diversos parámetros.

Lejos del margen a lo largo del exterior de la restauración y más allá del radio de influencia de la operación de remodelación informática (sección 600 a 602 de la Figura 5), las superficies del diseño previo a la preparación y del diseño final son idénticas, es decir, los contornos C300 y C301 se superponen el uno al otro.

Combinando la superficie idéntica, la remodelada informáticamente y la generada por la preparación, se completa el diseño por CAD final 301 (contorno C301). A la hora de crear un diseño por CAD final, deben incluirse requisitos de material y de procedimiento de fabricación, por ejemplo, el diseño real puede ser dividido en dos archivos para su compresión. Si se saltase la etapa 7 y, por tanto, el modelo 102 no se encontrase ciertamente disponible (es lo mismo que con el modelo 101), la línea marginal virtual podría también tomarse del modelo de restauración 300.

Modificaciones adicionales en el diseño de la restauración pueden realizarse con los mismos procedimientos que se han mencionado bajo la etapa 6. Si se hubiera ajustado el color en la etapa 6, puede resultar ventajoso transferir la información de color al diseño y, más adelante, fabricar la restauración.

Únicamente en la improbable eventualidad de que la preparación real coincidiese con la virtual, y no siendo deseable ninguna otra modificación, los modelos 300 y 301 serán idénticos.

Etapa 13: Producir (opcional en V1, opcional en V2):

Una vez que se ha finalizado el modelo 301, este puede producirse utilizando CAM (fabricación asistida por computadora –“Computer Aided Manufacturing”–). Pueden utilizarse tanto máquinas de prototipado rápido (RP –“rapid prototyping”–) como máquinas de fresado para la producción real. Un software de CAM (por ejemplo, el CAMbridge de 3Shape) prepara los datos (incluyendo el modelo 301) para la producción. Para máquinas de RP, esta preparación implica por lo común rotación 3D, colocación (encaje), soportes, rebanado, etiquetas de ID, etc. Para máquinas de fresado, la preparación implica, por lo común, rotación 3D, colocación (encaje), esprúes (patillas conectadoras), gotas, grabado, generación de trayectoria de fresado y postratamiento, etc. Algunas soluciones de CAD / CAM dental incluyen las mismas etapas internas de preparación para la producción y son, por tanto, técnicamente adecuadas para el método descrito en esta invención, si bien no están abiertas en el momento presente a modelos 3D generados por equipos de otros fabricantes (por ejemplo, CEREC de Sirona).

El procedimiento de fabricación puede, bien fabricar la restauración de inmediato (por ejemplo, a partir de bloques de óxido de zirconio), o bien indirectamente. En el procedimiento indirecto, por ejemplo, se fresa o imprime cera y, a continuación, se cuela utilizando técnicas convencionales de «cera perdida». Muchos fabricantes ofrecen RP (SLA, SLS, SLM, DLP, FDM, Polyjet, etc.) y/o máquinas de fresado adecuadas para semejante trabajo, por ejemplo, Roland, 3DSystems, EnvisionTec, Solidscape, DWS, EOS, ProMetal, y otros.

La fabricación puede, en muchos casos, llevarse a cabo en otro lugar distinto del de las etapas precedentes. Pueden transferirse, por ejemplo, modelos y diseños digitales a un centro de tratamiento a través de internet.

Aunque se han descrito y mostrado en detalle algunas realizaciones, la invención no está restringida a ellas, sino que puede también materializarse de otras maneras dentro del alcance de la materia objeto definida en las reivindicaciones que siguen. En particular, ha de entenderse que es posible utilizar otras realizaciones y que pueden realizarse modificaciones estructurales y funcionales sin apartarse del alcance de la presente invención.

- 5 En las reivindicaciones de dispositivo que enumeran varios medios, algunos de estos medios pueden ser materializados por un mismo elemento o hardware. El mero hecho de que ciertas medidas sean referidas en reivindicaciones dependientes diferentes entre sí, o de que se describan en realizaciones diferentes, no indica que no pueda utilizarse ventajosamente una combinación de estas medidas.

- 10 Ha de ponerse énfasis en que el término / expresión «comprende / que comprende», cuando se utiliza en esta memoria, se adopta para especificar la presencia de características, integrantes, etapas o componentes referidos, pero no excluye la presencia o adición de una o más de otras características, integrantes, etapas, componentes, o de grupos de los mismos.

- 15 Las características del método que se ha descrito anteriormente y en lo que sigue se implementan en software y se llevan a efecto en un sistema de tratamiento de datos u otros medios de tratamiento, como consecuencia de la ejecución de instrucciones ejecutables por computadora. Las instrucciones son medios de código de programa radicados en una memoria, tal como una RAM, procedentes de un medio de almacenamiento o de otra computadora a través de una red informática. Alternativamente, fuera del alcance de la invención reivindicada, las características descritas pueden ser implementadas por circuitos materializados en hardware en lugar de en software, o en combinación con software.

20

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Un producto de programa informático que comprende medios de código de programa para hacer que un sistema de tratamiento de datos lleve a cabo un método para planificar, visualizar y/u optimizar una restauración dental en al menos una parte de los dientes previos a la preparación de un paciente, cuando dichos medios de código de programa son ejecutados en el sistema de tratamiento de datos, de tal manera que dicho método comprende las etapas de:
- proporcionar al menos un modelo digital 3D (100) de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;
 - diseñar al menos un modelo de CAD (300) de restauración dental basándose en el modelo digital 3D de al menos una parte de los dientes previos a la preparación;
- 10 - proporcionar al menos un modelo digital 3D (400) de al menos una parte de los dientes preparados, de tal manera que los dientes preparados son proporcionados preparando los dientes previos a la preparación por medio de un trabajo dental restaurativo; y
- alinear los modelos 3D de los dientes previos a la preparación y de los dientes preparados.
- 15 2.- El producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de diseñar un modelo de CAD de preparación dental basándose, al menos parcialmente, en el modelo de los dientes previos a la preparación.
- 3.- El producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual el método comprende, de manera adicional, transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental al modelo de los dientes preparados.
- 20 4.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el método comprende, adicionalmente, las etapas de:
- proporcionar un modelo digital 3D facial del paciente, de tal manera que al menos una parte de los dientes es visible y/o se deja al descubierto, de modo que el modelo digital 3D facial se proporciona por medio de un barrido óptico de al menos una parte de la cara del paciente;
- 25 • alinear, al menos parcialmente, el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o el modelo de CAD de restauración dental con los dientes visibles del modelo facial 3D; y
- diseñar, al menos parcialmente, el modelo de CAD de restauración dental basándose en el modelo facial 3D.
- 30 5.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2 a 4, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de proporcionar una guía de preparación para el dentista antes de la preparación de los dientes, de tal modo que dicha guía de preparación está, al menos parcialmente, basada en el modelo de CAD de preparación dental.
- 35 6.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 5, en el cual la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende alinear el modelo de CAD de preparación dental con el modelo 3D de los dientes previos a la preparación.
- 40 7.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en el cual la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende remodelar informáticamente parte del modelo de CAD de restauración dental hacia el modelo 3D de los dientes preparados, de tal modo que la remodelación informática se aplica cerca de la línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y/o del modelo 3D de los dientes preparados.
- 8.- El producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 7, en el cual el impacto de remodelar informáticamente es el más alto cerca de la línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y del modelo 3D de los dientes preparados, con un impacto decreciente de la remodelación informática cuando aumenta la distancia a la línea marginal.
- 45 9.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 8, en el cual la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende crear una superficie interior del modelo de CAD de restauración dental como un descuadre hacia el modelo 3D de los dientes preparados, de tal manera que dicho descuadre parta de la línea marginal del modelo 3D de los dientes preparados, en la dirección oclusal / incisal.
- 50 10.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual una parte significativa de la superficie exterior del modelo de CAD de restauración dental se mantiene cuando se

transfiere al modelo 3D de los dientes preparados, de tal modo que el contorno de la superficie interior del modelo de CAD de restauración dental es sustancialmente similar a la superficie exterior del modelo 3D de los dientes preparados, y el área de línea marginal del modelo de CAD de restauración dental y del modelo 3D de los dientes preparados se remodelan informáticamente de manera conjunta.

- 5 11.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 10, en el cual la etapa de transferir el diseño del modelo de CAD de restauración dental comprende remodelar informáticamente el modelo de CAD de preparación dental con el modelo 3D de los dientes preparados, por lo que se proporciona una transformación del modelo de CAD de preparación dental en el modelo 3D de los dientes preparados, y, subsiguientemente, aplicar esta transformación al modelo de CAD de restauración dental.
- 10 12.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 11, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de modificar el diseño del modelo de CAD de restauración dental subsiguientemente a la etapa de transferir dicho modelo de CAD de restauración dental al modelo 3D de los dientes preparados.
- 15 13.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 3 a 12, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de cortar y/o retirar al menos una parte de los dientes del modelo facial 3D.
- 14.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual el modelo de CAD de restauración dental se visualiza lado con lado con, a lo largo de y/o encima de, el modelo digital 3D de los dientes previos a la preparación.
- 20 15.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 14, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de visualizar el modelo de CAD de restauración dental, alineado con el modelo facial.
- 25 16.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 4 a 15, en el cual el método comprende, adicionalmente, la etapa de segmentar, al menos parcialmente, dientes y tejido, tal como el gingival, en el modelo 3D de los dientes previos a la preparación y/o en el modelo 3D de los dientes preparados, y/o en el modelo facial 3D.
- 30 17.- El producto de programa informático de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual una restauración dental puede consistir en uno o más empastes, carillas, placas, coronas, puentes y combinaciones de los mismos, y/o una restauración dental puede consistir en un armazón de dentadura parcial retirable y/o en una estructura retenida por implante.

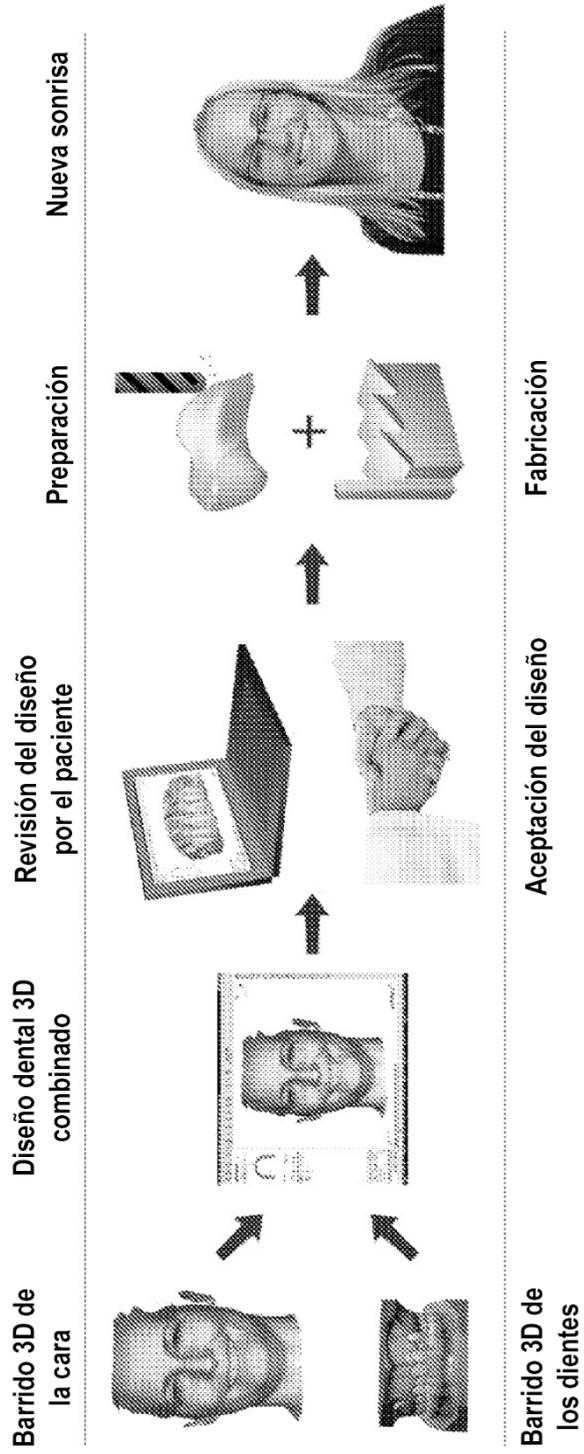


Figura 1

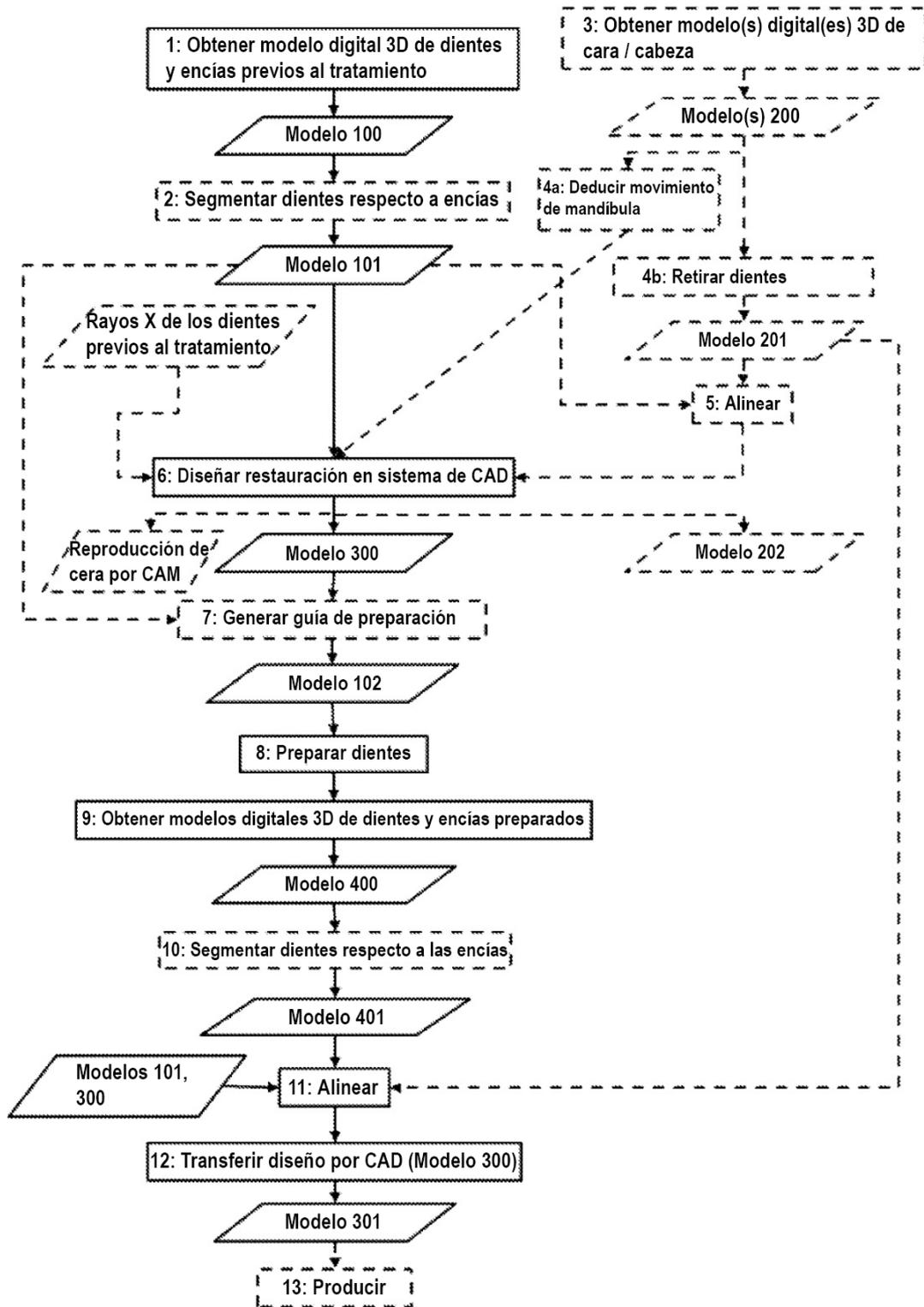


Figura 2

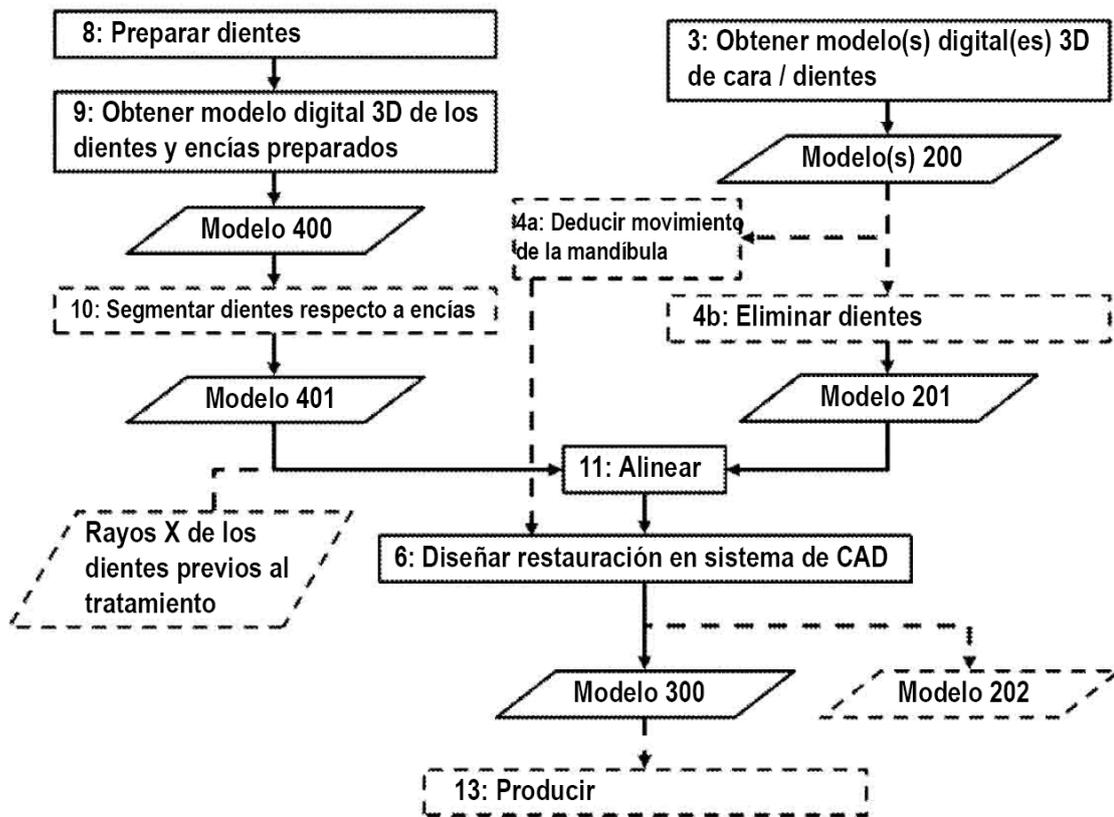


Figura 3

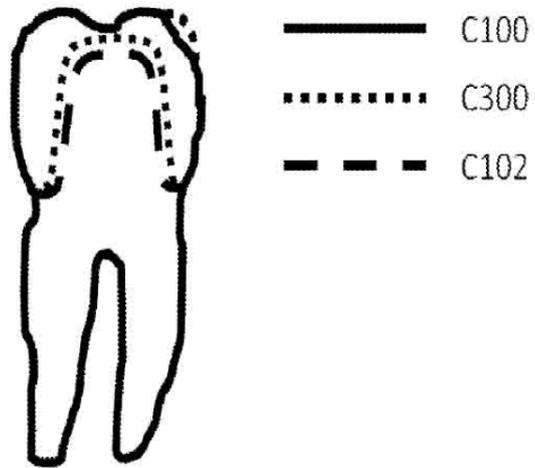


Figura 4

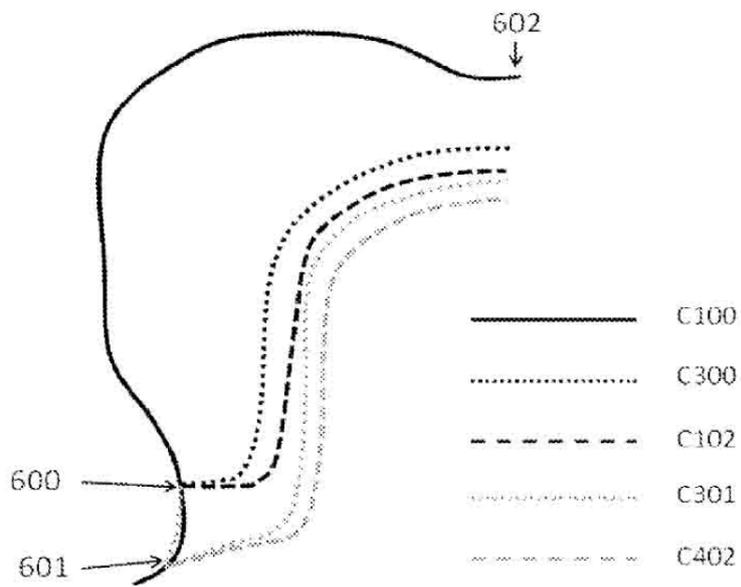
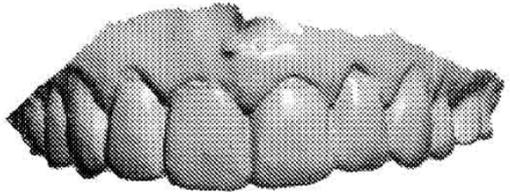
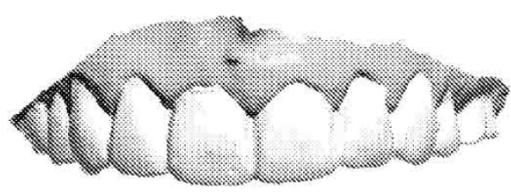
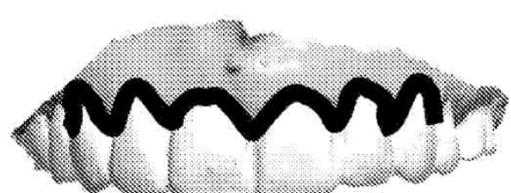
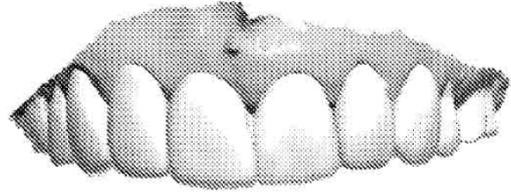
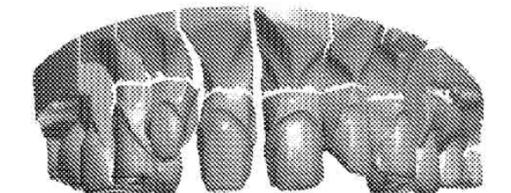
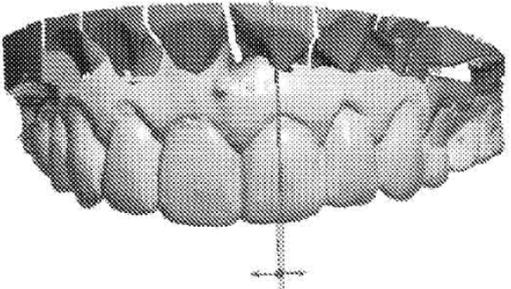


Figura 5

Etapa	Número del modelo	Gráfico del modelo
1	100	
2	101	
6 Línea marginal		
6 Restauración diseñada	300 (encías solo como referencia)	
9	400	
11	300, 400 alineados (101 no mostrado por claridad)	

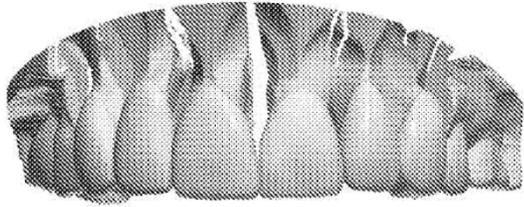
<p>12</p>	<p>301 (encías solo como referencia)</p>	
-----------	--	--

Figura 6



(a)

(b)

Figura 7