

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 048**

51 Int. Cl.:

**A61C 9/00** (2006.01)

**A61C 1/08** (2006.01)

**A61C 13/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2012 PCT/EP2012/073605**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.06.2013 WO13079437**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2012 E 12795398 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019 EP 2785272**

54 Título: **Guía de preparación dental**

30 Prioridad:

**28.11.2011 DK 201100925**

**28.11.2011 US 201161564191 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.07.2019**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FISKER, RUNE y  
DEICHMANN, NIKOLAJ**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

**ES 2 719 048 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**

Guía de preparación dental

5 Esta invención se refiere, en general, a una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente para una restauración dental. Más particularmente, la invención se refiere a un método para generar la guía de preparación dental, a un método para usar dicha guía de preparación dental y a una interfaz de usuario y un sistema para diseñar y usar dicha guía de preparación dental.

10 Cuando un diente de un paciente está enfermo o muerto, normalmente se recomienda la extracción de una parte del diente y su sustitución por una restauración dental, tal como una restauración coronal, la cual puede restablecer la resistencia mecánica y el aspecto estético del diente. En otros casos, el diente está demasiado enfermo o está roto de tal manera que no puede soportar una restauración y debe ser extraído por completo. En tales casos, la restauración dental puede ser una restauración en forma de puente con un pónico que está diseñado para sustituir el diente enfermo o roto y dos coronas que rodean el pónico. A continuación, los dientes contiguos se preparan para las coronas de la restauración dental.

15 Tanto cuando se prepara un diente individual para una restauración coronal como cuando se preparan dientes contiguos para las coronas de un puente, el dentista lima parte del material del diente para formar un diente o dientes preparados que pueden aceptar la restauración dental. El material que se elimina deja espacio para la restauración dental de tal manera que, cuando la restauración dental se dispone en la boca del paciente, el diente o dientes restaurados pueden tener una forma o tamaño iguales o similares a los anteriores a la preparación.

20 En ocasiones, la forma deseada de la restauración dental se conoce cuando el dentista comienza a preparar los dientes, y este conocimiento se puede usar para crear una guía de preparación dental que puede ser usada por el dentista para guiar la preparación del diente.

25 En algunos métodos de la técnica anterior para la fabricación de guías de preparación dental, la superficie de validación se define a partir de un modelo de dientes físico, tal como un modelo de yeso limado hasta obtener lo que podría ser una forma y un tamaño adecuados de preparación y que se cree que deja espacio para la inserción de la restauración dental en el diente preparado. Una imprecisión en la producción de este modelo de dientes físico dará como resultado una precisión en la forma de la guía de preparación dental y, por lo tanto, en la forma del diente preparado.

En el método de la técnica anterior dado a conocer en el documento US2011/0159451, la guía de preparación dental se genera superponiendo un modelo virtual del diente antes de la preparación con un modelo virtual que expresa una forma objetivo del diente restaurado. Este planteamiento también presenta ventajas según se describe posteriormente.

30 El documento WO2010/086459 se refiere a un método para producir una herramienta de dentista formada por una cubierta destinada a ser usada por un dentista en la extracción de una estructura de diente. El método incluye: adquirir datos tridimensionales referentes a una forma de un diente y por lo menos una parte de un diente contiguo; procesar dichos datos tridimensionales con un ordenador con el fin de determinar una cubierta que encaja en dicho diente y que encaja en al menos dicha parte de dicho diente contiguo; procesar adicionalmente dichos datos tridimensionales con dicho ordenador con el fin de determinar una parte predeterminada de la estructura de diente a extraer de dicho diente para preparar dicho diente con vistas a un tratamiento adicional; determinar por lo menos dos bordes de guía de los cuales un primer y un segundo bordes de guía están separados entre sí por una distancia  $d$  de por lo menos 0,5 mm, estando configurados dichos bordes de guía para permitir el guiado de dicha herramienta de corte de dentista contactando simultáneamente con dicho primer y dicho segundo bordes de guía de tal manera que se posibilite una extracción guiada de al menos parcialmente dicha parte predeterminada de estructura de diente; producir dicha cubierta determinada que tiene dichos bordes de guía determinados.

45 El documento WO2008/043056 se refiere a un método para realizar un modelo de ordenador de las mandíbulas de un paciente basándose en información digital. Datos digitales sobre las mandíbulas, los dientes, tejidos blandos y dientes artificiales se juntan en un espacio informático para crear planes estéticos y funcionales con vistas a la extracción de dientes, la conformación de hueso de soporte y la colocación de implantes dentales. Se realizan dientes artificiales y dispositivos protésicos prefabricados y los mismos se fijan a los implantes dentales en el momento de la cirugía. La posición estética y funcional de los dientes artificiales se determina antes de la extracción quirúrgica de los dientes naturales, y la posición ideal de los implantes y la forma correcta del hueso restante se determinan antes de la cirugía. Usando fresado por ordenador o fabricación por capas se elaboran guías quirúrgicas usadas para conformar hueso, registrar la orientación oclusal y posicionar implantes dentales.

50 La presente invención soluciona los problemas de los métodos de la técnica anterior. La presente invención se describe en las reivindicaciones adjuntas 1 a 15 y se describe en lo sucesivo.

Se da a conocer un método para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho método:

55 a: obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado;

b: extraer virtualmente el por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante;

c: proporcionar una restauración dental objetivo virtual que expresa una forma objetivo de la restauración dental;

5 d: crear una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual, donde la superficie de validación es tal que la preparación del por lo menos un diente se puede validar por medio de la guía de preparación dental; y

e: crear una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y por lo menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

10 Se da a conocer un método para validar una preparación de por lo menos un diente en un conjunto de dientes preparado con el fin de determinar si el diente preparado es capaz de aceptar una restauración dental, que no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, comprendiendo dicho método:

- obtener una guía de preparación dental virtual configurada para validar la preparación de por lo menos un diente;

- obtener una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado;

15 - visualizar la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado; y

- validar, a partir de la visualización de la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado, si el por lo menos un diente preparado está conformado de tal manera que puede aceptar la restauración dental.

20 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental virtual obtenida se crea usando una realización del método para generar una guía de preparación dental.

Los métodos dados a conocer en los que se crea una superficie de validación de una guía de preparación dental para validar la preparación de un diente, al menos en parte usando representaciones digitales 3D del conjunto de dientes del paciente, soluciona el problema de las imprecisiones que surge cuando la superficie de validación se define únicamente a partir de un modelo de dientes físico.

25 La guía de preparación dental puede ser una guía virtual o una guía física, en donde la superficie de validación, en ambos casos es tal que puede validarse la preparación del diente.

30 En el caso virtual, la guía de preparación dental es una unidad virtual que se puede disponer en relación con una representación digital 3D del conjunto de dientes del paciente. En el caso físico, la guía de preparación dental física se fabrica a partir de la guía de preparación virtual creada y se puede disponer en la boca del paciente y, para la validación, puede usarse el contacto físico o la distancia entre superficies.

35 La guía de preparación dental física se puede fabricar basándose en la guía de preparación dental virtual, de tal manera que la guía de preparación dental física comprende una superficie de validación correspondiente a la superficie de validación virtual. En algunos casos, la guía de preparación dental física es tal que, cuando se dispone en relación con el conjunto de dientes en la boca del paciente, la superficie de validación define un límite dentro del cual debe confinarse el diente preparado.

Generando la guía de preparación dental a partir de superficies virtuales creadas de representaciones digitales 3D del conjunto de dientes del paciente, o usando las propias superficies virtuales como parte de una guía de preparación dental virtual, la presente invención soluciona el problema de la imprecisión que se puede experimentar cuando se trabaja con modelos físicos del conjunto de dientes.

40 Para una guía de preparación dental virtual, la validación de la preparación del diente se puede basar en una visualización de la guía de preparación dental junto con una representación digital 3D del conjunto de dientes del paciente, por ejemplo, cuando se ha llevado a cabo al menos parte de la preparación del diente y el dentista desea validar la preparación para comprobar si se requiere una preparación adicional.

45 Para algunas realizaciones de una guía de preparación dental física de acuerdo con la presente invención, la validación de la preparación del diente se basa en un registro del contacto físico entre la guía de preparación dental y el diente o dientes preparados. Después de cierta preparación del diente, puede que el dentista desee validar la preparación de un diente para comprobar si se requiere una preparación adicional. Entonces, el mismo coloca la guía de preparación dental en los dientes del paciente y evalúa si la preparación está completa o si se requiere una extracción adicional de material de los dientes. En algunos casos, la guía de preparación dental está diseñada para prever que la misma no choque con el diente preparado cuando la preparación está completa.

50 En algunas realizaciones, la representación digital 3D del conjunto de dientes restante comprende una sección de la encía del paciente. La superficie de guía de preparación virtual puede incluir, entonces, por lo menos una parte de la

encia, y una guía de preparación dental fabricada podrá acoplarse a esta sección de la encía cuando la guía de preparación dental se use en la boca del paciente. Por tanto, la encía proporciona soporte para la guía de preparación dental la cual se puede disponer de manera correcta con respecto al diente preparado incluso cuando se modifica la superficie completa del diente.

5 En algunas realizaciones, la representación digital 3D del conjunto de dientes restante comprende parte de por lo menos uno de los dientes contiguos. Este puede ser el diente o dientes contiguos más próximos, y/o los dientes más alejados del diente preparado. Entonces, la superficie de guía de preparación virtual puede incluir por lo menos una parte de la superficie de los dientes contiguos, y una guía de preparación dental fabricada podrá acoplarse a estos  
10 dientes cuando la guía de preparación dental se use en la boca del paciente. Por tanto, los dientes contiguos proporcionan soporte para la guía de preparación dental la cual se puede disponer de manera correcta con respecto al diente preparado incluso cuando se modifica la superficie completa del diente. La parte de la guía de preparación dental que está en contacto con los dientes contiguos se puede formar a manera de aletas que rodean la parte de la guía de preparación dental que está encarada al diente preparado.

15 Métodos de la técnica anterior, tales como el método descrito en el documento US2011/0159451, en donde la guía de preparación dental se diseña únicamente a partir de la superficie del diente que se va a preparar, son inadecuados en casos en los que se va a modificar la superficie completa del diente por medio de la preparación del mismo. En tales casos, por ejemplo, cuando la restauración dental es una corona completa, la guía de preparación dental de la técnica anterior no dispone de ninguna superficie que pueda sustentar la guía de preparación dental para garantizar que la misma está alineada correctamente con el diente preparado. Realizaciones de la presente  
20 invención, en las que la representación digital 3D del conjunto de dientes restante comprende uno o más dientes contiguos y/o la encía, solucionan este problema puesto que la guía de preparación dental tiene, entonces, una superficie que está conformada para acoplarse a una porción del conjunto de dientes del paciente que no se modifica durante la preparación. La guía de preparación dental sigue enfocada a su disposición correcta con respecto al diente preparado incluso cuando se modifica la superficie completa del diente durante la preparación.

25 Preferentemente, la guía de preparación dental virtual está conformada de tal manera que la restauración dental se puede realizar y puede ser aceptada por el diente preparado cuando este se prepara de acuerdo con la guía de preparación dental virtual.

30 En algunas realizaciones, el método para validar una preparación usando la guía de preparación dental comprende visualizar la superficie de guía de preparación virtual o la superficie de validación virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Este puede ser el caso, por ejemplo, cuando la guía de preparación dental virtual está formada únicamente por la superficie de guía de preparación virtual o la superficie de validación virtual. Cuando se usa una guía de preparación dental virtual para validar la preparación, no hay necesidad, por ejemplo, de engrosar laminarmente (*shell*) la superficie de guía de preparación virtual para obtener un modelo sólido que se pueda fabricar usando la fabricación digital directa. Por tanto, puede que resulte ventajoso que la guía de  
35 preparación dental virtual tenga solamente una superficie, tal como la superficie de guía de preparación virtual o la superficie de validación virtual.

Se da a conocer un método para fabricar una guía de preparación dental configurada para validar una preparación de por lo menos un diente en un conjunto de dientes con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho método:

- generar una guía de preparación dental virtual usando el método de acuerdo con cualquiera de las realizaciones; y
- 40 - fabricar la guía de preparación dental a partir de dicha guía de preparación dental virtual usando fabricación digital directa.

Cuando se dispone en la boca del paciente con respecto a los dientes del mismo, la herramienta de validación dental fabricada puede validar la preparación del diente de tal manera que el dentista puede decidir si la preparación está completa o se requiere más trabajo de preparación.

45 Se da a conocer una guía de preparación dental configurada para validar una preparación de por lo menos un diente en un conjunto de dientes con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicha guía de preparación dental una superficie encarada al diente, conformada de acuerdo con la superficie de validación virtual generada mediante el uso del método según una de las realizaciones.

50 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental está configurada para validar la preparación del diente con respecto a una preparación objetivo del mismo, en donde la preparación objetivo del diente se puede definir de manera previa a cualquier preparación del diente. Este puede ser el caso cuando el dentista o un protésico dental ha diseñado la restauración dental antes de la preparación del diente y ha creado una preparación objetivo del diente basándose en la restauración dental diseñada. Este planteamiento tiene la ventaja de que el dentista, inmediatamente cuando comienza a preparar el diente, puede obtener orientación sobre cómo se preparará preferentemente el diente. En casos difíciles tales como cuando se prepara una serie de dientes girados para una restauración de tipo puente, esto puede resultar altamente ventajoso. La preparación objetivo del diente también se  
55 puede definir durante el procedimiento, por ejemplo después de una etapa de preparación inicial. Este planteamiento presenta una ventaja cuando el diente que se va a preparar está enfermo y no se tiene un conocimiento detallado de

la robustez de las porciones interiores del diente.

En algunas realizaciones, la guía de preparación dental generada es tal que se puede disponer con respecto al conjunto de dientes del paciente con la superficie de validación encarada al diente. El diente puede ser el correspondiente del conjunto pre-preparado de dientes o el correspondiente del conjunto preparado de dientes.

- 5 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental generada es tal que se puede disponer en relación con una representación digital 3D del conjunto pre-preparado o un conjunto preparado de dientes con la superficie de validación encarada al diente. La visualización de una guía de preparación dental virtual dispuesta en relación con la representación digital 3D normalmente proporciona información directa al dentista con respecto a qué porciones del diente es necesario preparar de manera adicional.
- 10 En el contexto de la presente invención, la expresión “conjunto pre-preparado de dientes” se usa en relación con un conjunto de dientes antes de la preparación que está diseñada para validar la preparación dental. En algunos casos, se ha llevado a cabo una preparación previa sobre el conjunto pre-preparado de dientes, tal como una preparación de otros dientes o una primera preparación usada para evaluar la salud del diente con vistas a evaluar si se debe extraer el diente completo y el mismo debe sustituirse por un implante dental.
- 15 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental física se fabrica mediante fabricación digital directa tal como fresado o impresión 3D. Con la reducción continua de los costes de adquisición de los sistemas de fresado e impresión 3D para aplicaciones dentales, dichos equipos resultan accesibles para el dentista y, una vez que se crea la guía de preparación dental virtual, el mismo puede producir una guía física en su consulta.
- 20 En el caso virtual, la guía de preparación dental virtual se puede alinear con una representación digital 3D del conjunto pre-preparado o preparado de dientes, y, para la validación, pueden usarse intersecciones virtuales de la superficie o distancia entre las superficies.
- En el contexto de la presente invención, la expresión “la guía de preparación dental está configurada para prever que...” se usa, en ocasiones, como forma abreviada de “la guía de preparación dental está configurada para prever que una preparación del diente de acuerdo con la guía de preparación dental garantiza que...”.
- 25 En el contexto de la presente invención, a un diente preparado se le puede hacer referencia también como preparación del diente.
- En el contexto de la presente invención, una restauración dental es una restauración fija típica, tal como incrustaciones *inlay/onlay*, carillas, coronas, puentes, estructuras fijadas con implantes, etcétera, aunque, por analogía, también restauraciones extraíbles, tales como dentaduras postizas.
- 30 En el contexto de la presente invención, un paciente es la persona para la cual se diseña una restauración. Pueden existir indicaciones médicas para el tratamiento dental de este paciente, aunque también las consideraciones estéticas pueden ser un motivo relevante para hacer que se diseñe una restauración dental.
- En el contexto de la presente invención, la superficie proporcionada por una suma Booleana de una primera y una segunda superficies se puede corresponder con la superficie de una estructura sólida formada por una disyunción lógica de las estructuras sólidas con superficies de acuerdo con la primera y la segunda superficie.
- 35 Una de las ventajas de la presente invención es que prevé un control eficiente sobre la forma y la posición de la superficie de validación de la guía de preparación dental en contraposición a los métodos de la técnica anterior.
- Además, el método de la presente invención puede crear guías de preparación dental que son capaces de proporcionar información sobre el nivel de adecuación de una validación de una preparación de un diente en comparación con guías de preparación dental de la técnica anterior.
- 40 En algunas realizaciones, el método según la presente invención es un método que discurre en paralelo a un tratamiento de un paciente. El método de generación y/o fabricación de la guía de preparación dental puede discurrir en paralelo con el trabajo dental llevado a cabo por el dentista sobre el conjunto de dientes del paciente, tal como en paralelo con la preparación del diente o dientes. Por tanto, la preparación del diente no se contempla como parte del método.
- 45 Según un aspecto de la invención, se da a conocer un método para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho método:
- a: obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado;
- 50 b: extraer virtualmente el por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante;
- c: proporcionar una restauración dental objetivo virtual que expresa una forma objetivo de la restauración dental;

d: crear una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual, donde la superficie de validación es tal que la preparación del por lo menos un diente se puede validar por medio de la guía de preparación dental; y

5 e: crear una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y por lo menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

Según un aspecto de la invención, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, se da a conocer un método para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho método:

- generar una guía de preparación dental virtual configurada para validar la preparación del por lo menos un diente;

10 - obtener una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado; y

- visualizar la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado.

15 En algunas realizaciones, la combinación de la superficie de validación virtual y por lo menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante comprende conectar la superficie de validación virtual y por lo menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante y crear, así, la superficie de guía de preparación virtual.

Una de las ventajas de este planteamiento es que la superficie de guía de preparación virtual, creada, tiene tanto la superficie de validación como una superficie que puede entrar en contacto y reposar sobre áreas del conjunto de dientes que no son modificadas por la preparación.

20 En algunas realizaciones, la forma virtual y/o la restauración dental objetivo virtual se basa en un encerado diagnóstico virtual diseñado, en una restauración dental genérica seleccionada de una biblioteca, o en la forma del diente en la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado. La forma objetivo se puede conformar sustancialmente de acuerdo con la forma original del conjunto de dientes, o se puede definir modificando la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

25 Una de las ventajas de tener una forma objetivo que se basa en la forma del diente en la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado es que el paciente está acostumbrado a la sensación de los dientes la cual, en este caso, se mantiene.

30 Una de las ventajas de tener una forma objetivo que se basa en un encerado diagnóstico virtual diseñado es que el aspecto del conjunto de dientes del paciente se puede modificar cuando la restauración dental se inserta en el diente preparado.

En algunas realizaciones, la forma objetivo y/o la restauración dental objetivo virtual se basa en uno o más parámetros estéticos. El parámetro estético se puede seleccionar de la forma de los dientes individuales, del color de los dientes, o de la disposición relativa de los dientes.

35 Una de las ventajas de esto es que la forma objetivo de la restauración dental se puede diseñar de acuerdo con los deseos del paciente en relación con el aspecto estético de su conjunto de dientes.

En algunas realizaciones el encerado diagnóstico virtual se forma basándose en la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, se selecciona de una biblioteca, o se obtiene escaneando un modelo físico de un encerado diagnóstico correspondiente a los dientes.

40 En algunas realizaciones, el encerado diagnóstico virtual se genera combinando dientes de una plantilla dental con la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

Una de las ventajas de un encerado diagnóstico virtual generado a partir tanto de los dientes de una plantilla dental como de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado es que puede proporcionarse una visualización fiel del resultado esperado del trabajo de restauración.

45 En algunas realizaciones, el encerado diagnóstico virtual se genera modificando por lo menos una porción de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, en donde las porciones modificadas se refieren al diente o dientes de la restauración dental.

En algunas realizaciones, el diseño del encerado diagnóstico virtual es tal que el encerado diagnóstico virtual se alinea automáticamente con la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado y/o del conjunto de dientes restante.

50 En algunas realizaciones, el encerado diagnóstico virtual se diseña en relación con una representación digital 3D del conjunto de dientes, tal como la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado o preparado, de tal

manera que el mismo se alinea automáticamente con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. A continuación, por consiguiente, una restauración dental objetivo definida a partir del encerado diagnóstico también se alinearán automáticamente con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, y la superficie de validación virtual se puede combinar directamente con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

- 5 En algunas realizaciones, al menos parte del encerado diagnóstico virtual se crea usando un algoritmo de generación de dientes. Dicho algoritmo se puede implementar en un ordenador.
- En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se crea basándose en el encerado diagnóstico virtual. Esto puede ser por medio de una restauración dental objetivo basada en el encerado diagnóstico virtual.
- 10 En algunas realizaciones, el método comprende definir un *spline* de seccionamiento 3D configurado para seccionar virtualmente la representación digital 3D de los dientes pre-preparados, en una parte correspondiente al diente y una parte correspondiente a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.
- Una de las ventajas de esto es que la parte del diente se puede extraer virtualmente, y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se puede usar para la generación de la superficie de guía de preparación virtual sin hacer que la parte de diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado interfiera con el proceso de diseño.
- 15 En algunas realizaciones, la extracción virtual del diente comprende definir dicho *spline* de seccionamiento 3D y dividir virtualmente la representación digital 3D de los dientes pre-preparados, en una parte correspondiente al diente y una parte correspondiente a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante por el *spline* de seccionamiento 3D.
- 20 El uso de un *spline* de seccionamiento 3D aporta la ventaja de que un profesional puede definir, él mismo, el *spline*, y determinar, de este modo, dónde se separan la parte del diente y el conjunto de dientes restante.
- El *spline* de seccionamiento 3D se puede definir automáticamente usando un algoritmo de generación de *splines* de seccionamiento implementado en ordenador. El profesional puede inspeccionar la ubicación del *spline* de seccionamiento 3D con respecto a la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado antes de aprobar la extracción del diente por este *spline*.
- 25 En algunas realizaciones, el método comprende definir manualmente el *spline* de seccionamiento 3D o ajustar manualmente un *spline* de seccionamiento 3D generado de manera automática.
- En algunas realizaciones, la definición manual del *spline* de seccionamiento 3D o el ajuste manual de un *spline* de seccionamiento 3D generado de manera automática se basa en puntos de control de *splines* de seccionamiento usados para controlar la forma del *spline* de seccionamiento 3D. Dichos puntos de control tienen la ventaja de que el profesional puede ajustar el *spline* de seccionamiento 3D usando una herramienta señaladora, tal como un ratón de ordenador.
- 30 En el seccionamiento de la representación digital 3D, el *spline* de seccionamiento 3D se puede definir para seguir el borde gingival en el diente.
- 35 Una ventaja de esto es que, en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, se extrae completamente la superficie del diente, y la superficie de validación virtual creada se puede conformar de manera que no tenga ninguna porción correspondiente a la superficie del diente. La superficie de guía de preparación virtual creada puede tener, entonces, una forma que se corresponde con una extracción de material dental sobre la superficie completa del diente tal como se prefiere normalmente cuando se prepara el diente para una restauración coronal.
- 40 Por lo menos una porción del *spline* de seccionamiento 3D correspondiente a un diente se puede configurar para conformarse de acuerdo con una forma esperada de la línea de preparación que se prevé cuando se prepara el diente. Es decir, tanto en el caso en el que el *spline* de seccionamiento 3D se genera automáticamente como cuando el mismo se define de manera manual, este se puede disponer para seguir un trayecto a lo largo del cual el profesional planifica definir la línea de preparación de un diente.
- 45 Una ventaja de esto es que la guía de preparación dental se puede diseñar para ayudar al dentista en la colocación de la línea de preparación correctamente.
- El seccionamiento virtual de la porción de la representación digital 3D correspondiente al diente es tal que esta porción se separa virtualmente de la representación digital 3D de los dientes pre-preparados y se desplaza alejándola o se elimina de ella.
- 50 Una de las ventajas es que, cuando se observa la representación digital 3D del conjunto de dientes restante y las superficies virtuales de la guía de preparación dental, el diente extraído ya no es visible.
- El diente se extrae virtualmente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado separando virtualmente la parte correspondiente al diente con respecto a la parte correspondiente al conjunto de dientes restante.

La parte del diente puede seguir estando dispuesta en la misma posición de la representación digital 3D del conjunto de dientes que antes de que fuera extraída, pero la parte extraída no se incluye en el conjunto de dientes restante.

El *spline* de seccionamiento 3D se puede usar para definir un diente que, posteriormente, se puede separar de manera virtual o alejar de manera virtual con respecto a la representación digital 3D de los dientes pre-preparados.

5 Cuando se extraen virtualmente varios dientes, el *spline* de seccionamiento 3D puede seccionar virtualmente la representación digital 3D de los dientes preparados en una parte correspondiente a estos dientes y una parte correspondiente al conjunto de dientes restante.

En algunas realizaciones, el *spline* de seccionamiento 3D sigue sustancialmente un límite entre la restauración dental objetivo virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

10 La extracción virtual del diente puede introducir un agujero virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. El agujero virtual puede comprender un agujero gingival y agujeros interproximales en los dientes contiguos, en caso de que estos estén todavía presentes en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. El agujero virtual puede estar delimitado por el *spline* de seccionamiento 3D.

15 El método comprende crear una superficie de sustitución virtual configurada para cerrar, al menos parcialmente, el agujero virtual, por ejemplo cerrando sustancialmente el agujero virtual. La superficie de sustitución virtual puede ser una superficie genérica seleccionada de una biblioteca o una superficie generada usando algoritmos de cierre de agujeros basados en curvaturas. En algunas realizaciones, la superficie de sustitución virtual comprende una superficie gingival virtual, tal como una encía virtual. En algunas realizaciones, la superficie de sustitución virtual comprende una preparación de diente virtual.

20 Una de las ventajas de crear dicha superficie de sustitución virtual es que esta superficie se puede usar cuando se define una sección interproximal de un *spline* de dientes restantes 3D.

En algunas realizaciones, el método comprende definir un *spline* de dientes restantes 3D.

25 En algunas realizaciones, por lo menos una sección del *spline* de dientes restantes 3D está configurada para seguir un límite del agujero virtual introducido en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante extrayendo virtualmente el diente.

La definición de un *spline* de dientes restantes 3D tiene la ventaja de que este *spline* puede marcar la ubicación en la que la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se conecta a superficies virtuales usadas cuando se genera la superficie de guía de preparación virtual.

30 En algunas realizaciones, el *spline* de dientes restantes 3D se define a partir del *spline* de seccionamiento 3D, de tal manera que al menos una sección del *spline* de dientes restantes 3D se conforma de manera sustancial de acuerdo con el *spline* de seccionamiento 3D.

Esto tiene la ventaja de que el dentista o protésico dental normalmente prefiere que al menos algunas secciones del *spline* de dientes restantes 3D tengan la misma forma que el *spline* que utilizó para seccionar la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

35 En algunas realizaciones, el *spline* de dientes restantes 3D comprende una parte lingual y/o una parte bucal/labial y/o una parte interproximal. La parte lingual y la parte bucal/labial del *spline* de dientes restantes 3D se pueden configurar para seguir el límite del agujero virtual en la porción lingual y bucal del conjunto de dientes, respectivamente.

40 En algunas realizaciones, la parte lingual y/o una parte bucal/labial del *spline* de dientes restantes 3D es sustancialmente idéntica al *spline* de seccionamiento 3D sobre las partes correspondientes de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

45 En algunas realizaciones, el *spline* de dientes restantes 3D comprende una parte interproximal. La parte interproximal se define preferentemente modificando el *spline* de seccionamiento 3D. En algunos casos, una sección del *spline* de seccionamiento 3D sigue el límite interproximal entre el diente que se va a extraer virtualmente y su diente contiguo de tal manera que el *spline* de seccionamiento 3D se aleja de la encía. Cuando se define el *spline* de dientes restantes 3D modificando el *spline* de seccionamiento 3D, esta sección del *spline* de seccionamiento 3D se puede conformar para seguir la encía en la porción interproximal del diente.

50 Esto tiene la ventaja de que el *spline* de dientes restantes 3D se conforma de una manera que recuerda la situación anatómica, de tal modo que, cuando la superficie de guía de preparación virtual se define conectando la representación digital 3D del conjunto de dientes restante en el *spline* de dientes restantes 3D, la superficie creada tiene una forma más homogénea en comparación con el caso en el que el *spline* de dientes restantes 3D es idéntico al *spline* de seccionamiento 3D el cual, en las partes interproximales, está alejado de la encía.

En algunas realizaciones, la parte interproximal del *spline* de dientes restantes 3D está dispuesta de tal manera que divide al menos una porción de dicho agujero virtual en un agujero interproximal y un agujero gingival.

En algunas realizaciones, la parte interproximal del *spline* de dientes restantes 3D está dispuesta de tal manera que sigue la superficie de sustitución virtual y divide por lo menos una porción de dicha superficie de sustitución virtual en una superficie virtual interproximal y una superficie virtual gingival.

5 En algunas realizaciones, el *spline* de dientes restantes 3D se define en relación con esta superficie de sustitución virtual. El *spline* de dientes restantes 3D se puede disponer para dividir la superficie de sustitución virtual en la superficie gingival virtual y una o dos superficies interproximales virtuales en función de si los dientes contiguos todavía están presentes en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En algunas realizaciones, el método comprende crear una superficie gingival virtual configurada para cerrar por lo menos parte del agujero gingival en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

10 Esta superficie se puede usar cuando se definen otras superficies o *splines* usados en el método, o para diseñar digitalmente la restauración dental, tal como para diseñar un pónico de una restauración de tipo puente.

En algunas realizaciones, el método comprende crear una superficie interproximal virtual configurada para cerrar al menos parte del agujero interproximal en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

15 La superficie gingival virtual y/o la superficie interproximal virtual se pueden crear usando un algoritmo de cierre de agujeros basado en curvaturas.

20 En algunas realizaciones, el método comprende realizar la superficie gingival y/o la superficie interproximal virtual y/o la parte de la superficie de sustitución virtual de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. La realización puede comprender conectar la superficie gingival virtual y/o la superficie interproximal virtual y/o la superficie de sustitución virtual con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Las superficies se pueden conectar con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante mediante un proceso de *loofing*.

Para la superficie gingival virtual, esto puede corresponderse con la sustitución virtual del diente extraído virtualmente por la superficie gingival virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Esta superficie se puede usar, por ejemplo, en el diseño de la restauración dental, tal como cuando se diseña un pónico de una restauración de tipo puente.

25 En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se conforma de acuerdo con la restauración dental objetivo virtual. La validación que hace uso de la guía de preparación dental puede comprender, entonces, estimar la diferencia entre una forma pre-preparada del diente y la forma de la restauración dental objetivo. Dicha guía de preparación dental puede ser útil en casos en los que las restauraciones dentales objetivo difieren significativamente con respecto a la forma de los dientes en el conjunto de dientes pre-preparado, en la medida en la que esta guía de preparación dental puede ofrecer al dentista una indicación de cómo de diferente es el diente con respecto a la forma de acuerdo con el encerado diagnóstico y, por tanto, dónde y cuánto material de diente debe extraerse. A continuación, el diente debe prepararse más allá de la superficie de validación y, por ejemplo, el espacio disponible para la restauración dental debe estimarse a partir del espacio entre la superficie de validación y la superficie del conjunto de dientes preparado.

30 En algunas realizaciones, el método comprende crear una superficie de preparación mínima virtual. A continuación, el diente extraído virtualmente se puede sustituir virtualmente con la superficie de preparación mínima virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. La superficie de preparación mínima virtual puede revelar el tamaño máximo del diente preparado, es decir, un límite dentro del cual debe confinarse el diente preparado para garantizar que se proporciona espacio suficiente para la restauración dental.

40 En algunas realizaciones, la superficie de preparación mínima virtual del diente se determina a partir de la restauración dental objetivo virtual. A continuación, la superficie de preparación mínima virtual se conforma de tal modo que un diente preparado de acuerdo con esta superficie está listo para aceptar una restauración dental conformada de acuerdo con la restauración dental objetivo.

45 En algunas realizaciones, la superficie de preparación mínima virtual del diente se determina desplazando por lo menos una parte de la superficie de la restauración dental objetivo virtual hacia dentro. La magnitud del desplazamiento puede ser uniforme o puede cambiar con la superficie del diente, de tal manera que el desplazamiento, por ejemplo, sea mayor en el extremo oclusal del diente preparado. El desplazamiento se puede determinar a partir de valores de parámetros introducidos por un profesional o a partir de valores predefinidos de dichos parámetros.

50 Una de las ventajas de determinar la superficie de preparación mínima virtual por medio de dicho desplazamiento es que el desplazamiento proporciona directamente una medición de un grosor mínimo de la restauración dental de tal manera que pueden tenerse en cuenta la estabilidad mecánica de la restauración dental y, por ejemplo, su capacidad con respecto a un cambio de color.

55 En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se diseña de tal manera que debe extraerse material del diente de áreas que, de hecho, están dentro de la superficie de preparación mínima. Esto puede realizarse para

garantizar que la superficie del diente preparado sea rugosa en estas áreas de tal modo que la restauración dental se adhiera mejor al diente preparado.

5 En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se modifica para prever que la guía de preparación dental virtual, creada, siga la superficie del diente en regiones en las que la superficie de validación virtual, de otro modo, quedaría fuera del diente. Esto se puede realizar, por ejemplo, cuando una superficie de preparación mínima virtual del diente se forma mediante un desplazamiento de la restauración dental objetivo virtual, y una porción de la superficie de preparación mínima virtual se extiende fuera del diente. Las porciones de la superficie desplazada que se extiende más allá del diente son empujadas, a continuación, virtualmente sobre la superficie del diente o se cortan virtualmente a la superficie del diente. Para una guía de preparación dental física, las secciones empujadas 10 pueden reposar sobre la superficie de referencia del diente preparado y prever, así, que la guía de preparación dental quede sustentada en su disposición correcta con respecto al conjunto de dientes del paciente.

15 En algunas realizaciones, se tienen en cuenta las propiedades del material con el cual se va a fabricar la restauración dental, por ejemplo se tienen en cuenta cuando se determina la superficie de preparación mínima virtual. El grosor mínimo y los ángulos críticos para la restauración dental dependen del material. Cuando se tienen en cuenta las propiedades del material, la restauración dental se puede diseñar de manera que presente ciertas propiedades deseadas mecánicas y de cambio de color, y el diente se puede preparar para aceptar una restauración que está diseñada para cumplir los requisitos con respecto a estas propiedades.

20 El grosor mínimo de la pared de la restauración depende del material de la restauración. Por ejemplo, se requiere un grosor mínimo para proporcionar un diseño robusto de la restauración dental cuando la restauración se realiza con oro mientras que es necesario otro grosor mínimo cuando la misma se realiza con una cerámica.

Preferentemente, la forma del diente preparado se ajusta, también, de manera que se corresponda con el material de la restauración. Una restauración realizada a partir de oro puede tener un acabado en estrechamiento progresivo hacia la línea de preparación del diente preparado, mientras que una restauración cerámica normalmente requiere una terminación más abrupta.

25 En algunas realizaciones, la generación de la guía de preparación dental tiene en cuenta estas cuestiones de tal manera que la guía de preparación dental se configura para guiar el torno con el fin de proporcionar un diente preparado en el cual pueda disponerse una restauración con un acabado en estrechamiento progresivo o abrupto.

30 En algunas realizaciones, la superficie de preparación mínima virtual y/o la superficie de validación virtual es tal que se proporciona un volumen para cemento entre el diente preparado y la restauración dental cuando la restauración dental se dispone en los dientes del paciente. Esto tiene la ventaja de que el cemento se puede aplicar a la restauración del diente/dental sin limar más material.

En algunas realizaciones, se define una línea de preparación virtual en relación con la superficie de validación virtual.

En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se basa en la superficie de preparación mínima virtual. En tales casos, la línea de preparación virtual se puede definir en relación con la superficie de preparación mínima virtual.

35 En algunas realizaciones, la línea de preparación virtual se define sobre la superficie de validación virtual y se corresponde con un equivalente virtual de una línea de preparación definida por la preparación del diente real.

40 En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual se crea conectando virtualmente la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, es decir, la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se combinan conectando estas superficies. En este caso, al menos una parte de la superficie de validación virtual es sustancialmente idéntica a la superficie de preparación mínima virtual.

45 En algunas realizaciones, la superficie de preparación mínima virtual se representa a través de una preparación mínima virtual. En una interfaz de usuario de acuerdo con la presente invención, dicha preparación mínima virtual se puede visualizar junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante de tal manera que el profesional puede evaluar la bondad de la preparación mínima con respecto al proceso de preparación y con respecto a la inserción de la restauración fabricada.

50 En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual se conforma de acuerdo con la preparación mínima virtual. Algunas porciones de la superficie de guía de preparación virtual se pueden configurar para seguir de cerca la preparación mínima virtual mientras que, en otras porciones, tales como cuando es deseable una zona de seguridad, la superficie de guía de preparación virtual se puede desviar con respecto a la preparación mínima virtual.

En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual, al menos en parte, se crea por medio de una suma Booleana de la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En este planteamiento, la superficie de guía de preparación virtual se puede generar fácilmente una vez que la

- superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se han dispuesto en relación mutua de una manera determinada como adecuada por un profesional. Para una implementación del método presentado al profesional en una interfaz de usuario, la interfaz de usuario puede tener una ventana que muestra la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, y un botón virtual que, cuando se activa, lleva a cabo la suma Booleana. El profesional puede tener la capacidad de adaptar la superficie de preparación mínima virtual y/o de moverla con respecto a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante usando, por ejemplo, un ratón de ordenador para llevar a cabo estas acciones sobre la superficie de preparación mínima virtual en dicha ventana.
- En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual, al menos en parte, se crea mediante una suma Booleana de la superficie de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Los comentarios aportados anteriormente en relación con la suma Booleana de la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante también se aplican en este caso para la suma Booleana de la superficie de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.
- En algunas realizaciones, el método comprende generar una superficie de conexión configurada para conectar la superficie de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.
- La superficie de conexión puede cerrar agujeros en la superficie de guía de preparación virtual ubicados entre la superficie de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, de tal manera que se cree una superficie de guía de preparación virtual coherente.
- En algunas realizaciones, la superficie de conexión se configura para conectarse a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante por el *spline* de dientes restantes 3D. Este planteamiento tiene la ventaja de que un profesional puede determinar, por medio de la forma del *spline* de dientes restantes 3D, cómo se conforma la superficie de guía de preparación virtual creada en la representación digital 3D de los dientes restantes. Además, el profesional puede determinar dónde se conforma la superficie de guía de preparación virtual de acuerdo con la representación digital 3D de los dientes restantes y dónde se conforma de acuerdo con la superficie de validación virtual.
- En algunas realizaciones, la generación de la superficie de conexión comprende un proceso de *lofting*. El *lofting* se puede aplicar para conectar dos superficies mediante una superficie nueva. Un proceso de *lofting* puede comprender ajustar una superficie paramétrica a un límite de una superficie y a un límite de una segunda superficie. El proceso de *lofting* se puede usar para definir una superficie de conexión configurada para conectar la superficie de validación virtual con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.
- En algunas realizaciones, la formación de la superficie de conexión es controlada por ordenador o asistida por ordenador.
- En algunas realizaciones, el método comprende definir un *spline* de superficie de validación 3D en relación con la superficie de validación virtual, donde la superficie de conexión se configura para conectarse a la superficie de validación virtual por el *spline* de superficie de validación 3D.
- El uso de un *spline* de superficie de validación 3D para determinar dónde se configura la superficie de conexión para conectarse a la superficie de validación virtual tiene la ventaja de que el profesional puede decidir, por ejemplo, si conectarse a la superficie de validación virtual por encima de una línea de preparación virtual de la superficie de validación virtual de tal manera que se defina una zona de seguridad.
- En algunas realizaciones, el *spline* de superficie de validación 3D se define automáticamente usando un algoritmo implementado por ordenador.
- Una ventaja de esto es que el algoritmo implementado por ordenador puede definir el *spline* de superficie de validación 3D más rápido que el profesional.
- En algunas realizaciones, el *spline* de superficie de validación 3D se define o ajusta manualmente usando puntos de control virtuales visualizados en combinación con una visualización del encerado diagnóstico.
- Una ventaja de esto es que se permite que el profesional defina la superficie de validación 3D de acuerdo con sus preferencias personales.
- En algunas realizaciones, el *spline* de superficie de validación 3D se configura para seguir sustancialmente la línea de preparación virtual.
- En algunas realizaciones, el *spline* de superficie de validación 3D está ubicado por encima de la línea de preparación virtual, es decir, el *spline* de superficie de validación 3D está más cerca del plano oclusal del diente de lo que lo está la línea de preparación virtual.
- En algunas realizaciones, en el cierre de agujeros y/o en la generación de la superficie de conexión se aplica un algoritmo de cierre de agujeros implementado por ordenador.

Una ventaja de esto es que el algoritmo de cierre de agujeros implementado por ordenador puede cerrar virtualmente el agujero y/o generar la superficie de conexión de manera más rápida que un profesional.

Una de las formas de llevar a cabo un proceso de *lofting* es, en primer lugar, determinar una correspondencia entre los vértices en los dos límites que se van a conectar por medio de la superficie generada. La correspondencia se puede determinar mediante una búsqueda exhaustiva de la correspondencia que produce la distancia media más baja entre los vértices correspondientes bajo la restricción de que se conserve el orden de los vértices. El *loft* se puede basar en una superficie de *B-splines cúbicos*, que requiere especificar una serie de puntos de control. Para cada vértice se calcula el vector,  $v_c$ , el cual es perpendicular a la normal del vértice y el vector de orientación de límite en el vértice. La normal del vértice se calcula como el valor medio promediado por área, de las normales a los triángulos correspondientes a los triángulos conectados al vértice. Para cada vértice en el conjunto de vértices correspondientes, se crean dos puntos de control como vértices  $\pm v_c$ . A continuación, se crea un punto de control adicional como  $v_{c1}$  y  $v_{c2}$  sumados al punto medio entre los vértices correspondientes  $p_1$  y  $p_2$ . Junto a los puntos de control creados, los dos vértices actúan también como puntos de control. Cuando este proceso se ha repetido para todos los conjuntos de vértices correspondientes, la superficie está totalmente definida por los puntos de control. A continuación, se muestrean vértices nuevos sobre la superficie, es decir, por muestreo de los vértices en el *spline*, que conectan los vértices correspondientes. Dados estos vértices y la ordenación de los conjuntos de vértices correspondientes, se conocen las relaciones de contiguos entre los vértices muestreados. El conocimiento de estas relaciones hace que resulte directo conectar los vértices contiguos mediante triángulos. Cuando se ha aplicado el *loft*, no se garantiza, por ejemplo, que la superficie de validación virtual no sea penetrada por la superficie de conexión. No obstante, esta penetración se puede minimizar moviendo los puntos de control detrás de la superficie de validación virtual, tal como moviendo el punto de control adicional entre los vértices correspondientes hacia atrás a lo largo de  $v_{c1}$  y  $v_{c2}$  hasta que se sitúe detrás de la superficie de validación virtual.

En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual se configura para definir una zona de seguridad en la línea de preparación virtual y/o en el *spline* de seccionamiento 3D, donde dicha zona de seguridad proporciona una distancia entre la representación digital 3D del conjunto de dientes restante y la superficie de guía de preparación virtual.

Por tanto, la zona de seguridad puede proporcionar espacio en el cual se permite que el dentista seleccione entre diferentes ubicaciones de la línea de preparación para el diente y/o de la línea de margen de preparación con respecto a la encía. La zona de seguridad también puede garantizar que la guía de preparación dental no entra en contacto con las partes sensibles de la encía cuando se coloca en los dientes del paciente. Puede obtenerse una zona de seguridad cuando el *spline* de superficie de validación 3D se sitúa por encima de la línea de preparación virtual. En este caso, la superficie de guía de preparación virtual se desplaza localmente alejándose de la línea de preparación virtual con lo cual se proporciona el espacio de la zona de seguridad.

En algunas realizaciones, la guía de preparación dental se fabrica por fabricación digital directa, por ejemplo por fresado o impresión 3D.

En algunas realizaciones, las cuales no se sitúan dentro del alcance de las reivindicaciones, la guía de preparación dental se fabrica

- formando un modelo físico del conjunto de dientes en el cual se prepara el diente de acuerdo con la superficie de validación virtual, y

- conformando el material de la guía de preparación dental de acuerdo con este modelo físico.

La conformación del material de la guía de preparación dental puede comprender formar al vacío el material en el modelo físico. Este planteamiento tiene la ventaja de que aunque, para la fabricación digital directa, únicamente pueden usarse muy pocos materiales biocompatibles, existen muchos materiales biocompatibles que pueden formarse al vacío en un modelo sólido.

En algunas realizaciones, la guía de preparación dental virtual, generada, comprende una superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente.

Una de las ventajas del engrosamiento laminar de la superficie de guía de preparación virtual es que la propia superficie no puede usarse necesariamente para la fabricación digital directa, mientras que un modelo virtual definido por el engrosamiento laminar de la superficie es adecuado para dicha fabricación.

En algunas realizaciones, el método comprende engrosar laminarmente por lo menos una parte seleccionada de la superficie de guía de preparación virtual de tal manera que la guía de preparación dental virtual comprende una superficie de lámina (*shell*) interior y una superficie de lámina exterior en la parte seleccionada.

En algunas realizaciones, la superficie de guía de preparación virtual y/o la superficie de validación virtual se parametriza mediante una serie de vértices, en donde los vértices están conectados por triángulos.

En algunas realizaciones, la superficie de lámina exterior se conforma de acuerdo con la superficie de validación virtual.

- 5 En algunas realizaciones, la superficie de lámina exterior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual, creada, y el engrosamiento laminar define la superficie de lámina interior a partir de la superficie de lámina exterior. En este caso, el engrosamiento laminar puede comprender desplazar hacia dentro una copia de cada vértice en la superficie de lámina exterior, eliminar el número de vértices copiados que están más próximos a la superficie de lámina exterior que un grosor laminar mínimo dado, y crear la superficie de lámina interior por triangulación de los vértices copiados restantes.
- Cuando la superficie de lámina exterior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual creada, la superficie de lámina exterior puede estar en concordancia con la forma objetivo de la restauración dental.
- 10 En algunas realizaciones, se fabrica un modelo físico intermedio a partir de la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente usando una fabricación digital directa. La guía de preparación dental se puede fabricar, entonces, conformando el material de la guía de preparación dental con el uso de dicho modelo físico intermedio. La superficie interior y las superficies exteriores del modelo físico intermedio se pueden definir a través de la superficie de lámina interior y la superficie de lámina exterior, respectivamente.
- 15 La superficie exterior del modelo físico intermedio se puede conformar de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual y la fabricación de la guía de preparación puede ser tal que la superficie interior de la guía de preparación dental fabricada se conforma de acuerdo con la superficie exterior del modelo físico intermedio. La superficie interior de la guía de preparación dental fabricada se corresponde, entonces, con un negativo de la superficie de guía de preparación virtual, y la guía de preparación dental encaja en un diente preparado de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual. Si el diente se prepara todavía más, hay presente un intersticio entre la superficie interior y la guía de preparación dental y la superficie del diente cuando la guía de preparación dental se dispone en el conjunto de dientes del paciente.
- 20 Este planteamiento presenta la ventaja de que, aunque, para la fabricación digital directa, solamente se pueden usar muy pocos materiales biocompatibles, hay muchos materiales biocompatibles que se pueden formar al vacío en dicho modelo físico intermedio.
- 25 En algunas realizaciones, la conformación del material de la guía de preparación dental usando dicho modelo físico intermedio comprende formar al vacío el material de la guía de preparación dental sobre el modelo físico intermedio.
- En algunas realizaciones, la guía de preparación dental es tal que la superficie de lámina interior se conforma de acuerdo con la superficie de validación virtual.
- 30 En algunas realizaciones, la superficie de lámina interior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual y el engrosamiento laminar define la superficie de lámina exterior a partir de la superficie de lámina interior. La superficie de lámina interior puede ser la superficie que queda encarada al conjunto de dientes cuando la guía de preparación dental se dispone en los dientes, mientras que la superficie de lámina exterior queda encarada al tejido circundante bucal, labial y lingual y al antagonista.
- 35 Cuando la superficie de guía de preparación virtual y/o la superficie de validación virtual forma parte de una superficie de lámina interior, el engrosamiento laminar puede proporcionar una superficie de lámina exterior. En este caso, el engrosamiento laminar puede comprender desplazar hacia fuera una copia de cada vértice en la superficie de lámina interior, eliminar el número de vértices copiados que están más próximos a la superficie de lámina interior que un grosor laminar mínimo dado, y crear la superficie de lámina exterior por triangulación de los vértices copiados restantes.
- 40 Este planteamiento tiene la ventaja de que la guía de preparación dental se puede fabricar directamente sin necesidad de un modelo físico intermedio.
- En algunas realizaciones, la guía de preparación dental se fabrica a partir de dicha superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente usando una fabricación digital directa. Este puede ser el caso correspondiente a cuando la superficie de lámina interior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual.
- 45 El engrosamiento laminar puede expandir la superficie de guía de preparación virtual para que se convierta en una lámina con un grosor finito. Para muchos dispositivos es beneficioso o crucial que se garantice un grosor laminar mínimo.
- 50 En uno de los algoritmos de engrosamiento laminar configurado para proporcionar una lámina basada en una superficie de lámina exterior, la primera etapa consiste en crear una copia de cada vértice en la superficie de lámina exterior. Se crea un vértice nuevo sobre la lámina interior a lo largo de una normal escalada del vértice correspondiente en la superficie de lámina exterior. La normal del vértice se calcula como el valor medio de las normales de los triángulos conectados ponderado por su área. Si debe garantizarse el grosor laminar mínimo, no es suficiente con desplazar el vértice con el grosor laminar especificado. No obstante, el desplazamiento, que garantiza localmente el grosor laminar, puede hallarse como el factor de escala máximo que proyecta la versión escalada de la normal del vértice a todo lo largo de las normales de los triángulos escalada por el grosor predefinido. Únicamente son relevantes las normales de los triángulos conectados al vértice. Desafortunadamente, el desplazamiento propuesto solamente garantiza un grosor laminar local. En áreas con superficies convexas y una gran curvatura, los
- 55

- vértices desplazados tienden a transgredir el grosor laminar mínimo. Estos vértices transgresores se eliminan en una segunda etapa para garantizar un grosor laminar correcto. Finalmente, la nueva lámina interior puede crearse, a continuación, mediante una triangulación de los vértices creados. La triangulación se puede llevar a cabo usando un método de triangulación 3D convencional, tal como el propuesto por Hoppe et al. en “Surface Reconstruction from unorganised points”, *Computer Graphics*, 26(2), 1992, págs. 71 a 78.
- 5 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental se genera de tal manera que la misma se puede disponer con respecto al conjunto de dientes del paciente con la superficie de validación encarada al diente. El diente puede ser el correspondiente del conjunto de dientes pre-preparado o el diente preparado.
- 10 A la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente se le puede proporcionar una base antes de la fabricación de la guía de preparación dental física. La base puede estar ubicada en la porción oclusal de la superficie de lámina exterior.
- A la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente se le puede proporcionar una base antes de la fabricación del modelo físico intermedio. La base puede estar ubicada en la porción cervical de la superficie engrosada laminarmente.
- 15 La superficie de validación se configura para validar la preparación de uno o más dientes del conjunto de dientes. En algunas realizaciones, tales como cuando la superficie de validación está en concordancia con una preparación mínima del diente, una preparación insuficiente del diente impedirá que la guía de preparación dental alcance una posición objetivo con respecto al conjunto de dientes. Si la preparación es suficiente y no hay otros dientes que requieran una preparación (adicional), la guía de preparación dental se puede mover a la posición objetivo. Si la guía de preparación dental se fabrica con un material blando relativo, puede que todavía sea posible que la guía de preparación dental llegue a la posición objetivo incluso con una preparación insuficiente del diente, pero, entonces, se experimenta una resistencia.
- 20 En algunas realizaciones, el método comprende determinar una dirección de inserción para la restauración dental y, en el mismo, la dirección de inserción se tiene en cuenta cuando se crea la superficie de validación virtual, de tal manera que, por ejemplo, la superficie de preparación mínima virtual se puede basar en la dirección de inserción.
- 25 En algunas realizaciones, tener en cuenta la dirección de inserción comprende garantizar que la superficie de validación virtual se configura para prever que se reducen o evitan socavaduras (*undercuts*) en el diente preparado si el diente se prepara de acuerdo con la superficie de validación virtual, por ejemplo de acuerdo con la superficie de validación de una guía de preparación dental física fabricada sobre la base de la guía de preparación dental virtual.
- 30 En algunas realizaciones, las socavaduras se reducen o evitan recortando la superficie de validación virtual.
- En el contexto de la presente invención, la expresión “socavaduras en el diente preparado” puede referirse a socavaduras observadas con respecto al trayecto de la restauración dental a lo largo de la dirección de inserción según se ilustra en la Figura 8, en donde la restauración dental no se puede disponer en el diente preparado debido a dicha socavadura.
- 35 En algunas realizaciones, el método comprende generar una superficie virtual exenta de socavaduras a partir de la superficie de preparación mínima virtual, y la superficie de validación virtual se crea basándose en la superficie virtual exenta de socavaduras. La superficie exenta de socavaduras se puede generar usando una herramienta de tapamiento virtual configurada para tapar regiones de socavadura en la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado o preparado.
- 40 En algunas realizaciones, a la superficie de preparación mínima virtual y/o a la superficie virtual exenta de socavaduras se le proporciona un estrechamiento progresivo descendente, en donde el estrechamiento progresivo va desde la línea de preparación virtual a la superficie oclusal del diente con un ángulo de estrechamiento progresivo. El ángulo de estrechamiento progresivo puede estar en el intervalo de aproximadamente 0,5 grados a aproximadamente 15 grados, tal como en el intervalo de aproximadamente 1 grado a aproximadamente 10 grados,
- 45 tal como en el intervalo de aproximadamente 2 grados a aproximadamente 5 grados.
- En algunas realizaciones, la restauración dental comprende una restauración de tipo puente, una corona simple, una restauración temporal, o una dentadura parcial extraíble.
- 50 En algunas realizaciones, la restauración dental comprende una restauración de tipo puente y la guía de preparación dental está configurada para validar la preparación de dos o más dientes con el fin de aceptar las partes de la corona de la restauración de tipo puente.
- En algunas realizaciones, la restauración dental comprende una dentadura parcial extraíble, y la guía de preparación dental está configurada para validar la preparación de dos o más dientes preparados para afianzar la dentadura parcial en la boca del paciente.
- 55 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental está configurada para validar la preparación de dos o más dientes. En este caso, uno o más dientes se extraen virtualmente de la representación digital 3D del conjunto de

dientes pre-preparado, de tal manera que el conjunto de dientes restante carece de uno o más dientes en comparación con el conjunto de dientes pre-preparado. El *spline* de seccionamiento 3D se puede definir para cada diente o para dos o más dientes. A continuación, algunos dientes de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado se puede sustituir virtualmente por una preparación mínima virtual o una superficie gingival virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Sobre la base de una plantilla seleccionada de una biblioteca se puede diseñar, por ejemplo, un encerado diagnóstico virtual para una restauración de tipo puente.

En algunas realizaciones, la guía de preparación dental está configurada para usarse en relación con una primera región y una segunda región del conjunto de dientes, donde dicha primera región comprende los dientes referentes a la restauración dental, y dicha segunda región comprende por lo menos un diente adicional, donde la segunda región se usa para alinear la guía de preparación dental correctamente con respecto al conjunto de dientes.

Si la restauración dental es una restauración de tipo puente para los dientes maxilares anteriores con un pónico para el diente 8 y el diente 9, y coronas del puente fijadas al diente 7 y al diente 10, la primera región comprende los dientes 7 a 10 mientras que la segunda región puede comprender el diente 6 y el diente 11 o dientes más alejados de los dientes 7 a 10. Los dientes se enumeran de acuerdo con el sistema de designación dental universal. En este caso, la guía de preparación dental está configurada, por tanto, para acoplarse, no solamente a los dientes preparados, sino también a por lo menos otro diente el cual garantiza, entonces, que la guía de preparación dental está alineada correctamente con respecto a los dientes preparados. A continuación, una guía de preparación dental fabricada se puede configurar para disponerse en relación con los dientes tanto de la primera como de la segunda región. El alineamiento de la guía de preparación dental se proporciona en los dientes de la segunda región, mientras que la guía de preparación dental valida la preparación del diente 7 y el diente 10. El diente 8 y el diente 9 ya pueden haberse extraído antes de la validación de la preparación del diente 7 y el diente 10. De manera alternativa o adicional al uso de los dientes contiguos para sustentar la guía de preparación dental, con este fin puede usarse la encía, y la parte correspondiente de la representación digital 3D del conjunto de dientes restantes se incluye cuando se genera la superficie de guía de preparación virtual.

En algunas realizaciones, en la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente de la guía de preparación dental se define por lo menos una apertura, de tal manera que, cuando la guía de preparación dental fabricada se dispone en relación con el conjunto de dientes del paciente, la apertura proporciona acceso a un área de los dientes. El diente puede ser el diente preparado o pre-preparado. A continuación, una herramienta en punta se puede introducir a través de la apertura de la guía de preparación dental fabricada y medir la distancia desde la guía de preparación dental a la superficie del diente. Esto se puede utilizar, por ejemplo, cuando la superficie de validación de la guía de preparación dental se conforma de acuerdo con un encerado diagnóstico, puesto que permite al dentista medir si el espacio proporcionado para la restauración dental por la preparación del diente es suficientemente grande de tal manera que pueda realizarse una restauración dental robusta.

En algunas realizaciones, la superficie de validación está configurada para validar la preparación de por lo menos una superficie del diente o dientes, tal como la superficie bucal, lingual, oclusal o interproximal del diente o dientes. En algunas realizaciones, la superficie de validación está configurada para validar la preparación de la superficie completa del diente.

En una realización, el método comprende crear una versión intermedia de la superficie de preparación mínima. La versión intermedia se puede configurar de acuerdo con una configuración de cáscara de huevo, donde la configuración de cáscara de huevo se puede definir desplazando al menos parte de la superficie de la restauración dental objetivo virtual hacia dentro, con lo cual se forma una superficie de lámina interior.

La preparación del diente, física o virtual, se puede configurar de tal manera que la restauración proporcione el aspecto estético deseado. Es decir, la preparación está adaptada para prever que la restauración dental pueda tener la forma, la colocación y el color deseados.

En algunas realizaciones, la restauración dental objetivo virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se alinean por el *spline* de seccionamiento 3D. Si existe un intersticio entre las dos, este intersticio se puede cerrar usando algoritmos de cierre de agujeros, tales como un algoritmo de cierre de agujeros basado en curvaturas o por medio de una superficie de conexión configurada para conectar la restauración dental objetivo virtual a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En algunas realizaciones, el método comprende combinar la preparación mínima virtual y la porción gingival de la superficie de validación virtual. Si existe un intersticio entre las dos, este intersticio se puede cerrar usando algoritmos de cierre de agujeros, tales como un algoritmo de cierre de agujeros basado en curvaturas.

En algunas realizaciones, el método comprende alinear la superficie de validación virtual y/o la preparación mínima virtual con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. La superficie de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante se pueden alinear automáticamente cuando la superficie de validación virtual se genera a partir de un encerado diagnóstico virtual que se alinea con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En algunas realizaciones, el método comprende que se proporcione información referente al tamaño y/o la forma del

torno usado para preparar el diente, y la generación de la guía de preparación dental tiene en cuenta dicha información.

En algunas realizaciones, la guía de preparación dental se genera sin tener en cuenta la información, y en ellas se visualiza una forma estimada del diente preparado, en donde la forma estimada se obtiene teniendo en cuenta la información.

5 En algunas realizaciones, el método comprende modificar la restauración dental de tal manera que pueda ser aceptada por el diente preparado. Esto puede ser necesario, por ejemplo, cuando el dentista no puede preparar el diente de acuerdo con la guía de preparación dental. En algunos casos, un pequeño cambio en la restauración dental puede solucionar el problema y garantizar que la restauración dental pueda ser aceptada por el diente preparado.

10 En algunas realizaciones, el método comprende visualizar la restauración dental objetivo virtual en relación con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Esto tiene la ventaja de que el dentista y el paciente pueden evaluar el aspecto estético de los dientes cuando la restauración dental se inserta en la boca del paciente.

En algunas realizaciones, el método comprende generar una estructura virtual con una superficie que se traza trasladando la línea de preparación virtual a lo largo de la dirección de inserción.

15 En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se crea sobre la base de la estructura virtual, de tal manera que la superficie de validación virtual tiene en cuenta la dirección de inserción. Esto tiene la ventaja de que la restauración dental fabricada se puede insertar en el diente preparado de acuerdo con la guía de preparación dental.

En algunas realizaciones, a la estructura virtual se le proporciona un estrechamiento progresivo descendente desde la línea de preparación virtual a la superficie oclusal del diente con un ángulo de estrechamiento progresivo, de tal manera que la estructura virtual puede adoptar forma de tronco geométrico.

20 Si se ignora la dirección de inserción, en el diente puede generarse una superficie de socavadura incluso cuando el diente se prepara de acuerdo con la superficie de validación.

25 En algunas realizaciones, el método comprende generar una superficie virtual exenta de socavaduras a partir de la superficie de preparación mínima virtual y de la estructura virtual. En algunas realizaciones, la superficie de validación se crea sobre la base de la superficie virtual exenta de socavaduras. La superficie exenta de socavaduras puede ser tal que se acepten pequeñas socavaduras por debajo de un tamaño especificado.

Esto tiene la ventaja de que una preparación conformada de acuerdo con la superficie de validación no tendrá ninguna región de socavadura (con respecto a la dirección de inserción) y la restauración dental puede disponerse en el diente preparado.

30 En algunas realizaciones, la superficie virtual exenta de socavaduras se corresponde con la superficie de la estructura sólida virtual formada por una suma Booleana de la estructura virtual y una estructura sólida con una superficie de acuerdo con la superficie de preparación mínima virtual.

En algunas realizaciones, la representación digital 3D se proporciona mediante escaneo intraoral 3D del conjunto de dientes, o mediante escaneo 3D de un modelo físico o una impresión del conjunto de dientes.

35 En algunas realizaciones, el escaneo 3D se lleva a cabo por medio de un escaneo con luz láser, un escaneo de luz blanca, un escaneo con sonda, un escaneo de rayos X y/o un escaneo de tomografía computarizada.

En algunas realizaciones, la representación digital 3D comprende al menos parte de la encía.

40 La representación digital 3D puede ser o bien nubes de puntos, o bien superficies (facetas/mallas), o bien volumétrica. En ocasiones, los modelos de facetas/mallas se prefieren con respecto a las nubes de puntos, aunque los modelos de facetas/mallas se pueden generar a partir de nubes de puntos, por ejemplo por triangulación. Pueden obtenerse modelos volumétricos con un escáner que aplique radiación penetrante, tal como escáneres de tomografía computarizada.

45 Sobre los dientes del conjunto de dientes pre-preparado puede haberse llevado a cabo alguna preparación inicial. El método puede ser, por ejemplo, una etapa en un procedimiento iterativo para preparar el conjunto de dientes del paciente, de tal manera que la forma del diente en el conjunto de dientes pre-preparado puede ser una forma intermedia según se observa en un escaneo del diente que se ha expuesto a una preparación inicial en una etapa anterior del procedimiento.

En algunas realizaciones, el conjunto de dientes pre-preparado se corresponde con el conjunto de dientes del paciente antes de cualquier preparación.

El conjunto de dientes puede comprender todos los dientes del paciente o una parte de los dientes del paciente.

50 En algunas realizaciones, la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado se obtiene escaneando una región preparada que comprende el diente preparado, y fusionando la representación digital 3D obtenida a partir del

- escaneo de la región preparada con una representación digital 3D, previamente obtenida, del conjunto de dientes pre-preparado. Esto tiene la ventaja de que no se requiere un escaneo completo cuando se escanea el conjunto de dientes preparado y ese tiempo puede ahorrarse. La porción de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado correspondiente a la región preparada se puede eliminar o puede hacerse que la misma sea distinguible con respecto al conjunto de dientes preparado, de tal manera que, en efecto, esta porción se sustituye con la representación digital 3D de la región preparada.
- En algunas realizaciones, cuando se genera la guía de preparación dental se tienen en cuenta uno o más parámetros referentes a la restauración dental. El parámetro o parámetros se pueden seleccionar del grupo de grosor mínimo de las paredes de la restauración, material o materiales de la restauración, acceso para un torno con el fin de preparar el diente, o la dirección de inserción de la restauración dental.
- En algunas realizaciones, la guía de preparación dental virtual usada para validar la preparación de un diente se genera usando el método destinado a generar una guía de preparación dental según la presente invención.
- La validación de la preparación del diente puede comprender confirmar que la forma del diente preparado es tal que dicha restauración dental se puede realizar y se puede insertar en el diente preparado. La validación se puede basar en uno o más parámetros referentes a la restauración dental.
- En algunas realizaciones, el método comprende validar que el diente se puede preparar de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual.
- En algunas realizaciones, la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado se obtiene mediante un escaneo en la boca del paciente con un escáner intraoral. A continuación, la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado se puede visualizar junto con la guía de preparación dental virtual, por ejemplo visualizándola junto con la superficie de guía de preparación virtual mientras el paciente todavía está en el sillón del dentista.
- Puede ser una ventaja que el dentista pueda llevar a cabo una validación de una preparación de un diente usando un escáner intraoral de forma simultánea o conjunta con el procedimiento de preparación. Puede escanear una región en la que ha estado preparando un diente y, comparando la representación digital 3D de la región obtenida con este escaneo de esta región con la guía de preparación dental virtual, el dentista puede ver si ha cortado suficiente material del diente o si necesita cortar más material, y de qué lugar del diente se debería eliminar el material. Este procedimiento de validación de escaneo intraoral puede ser una alternativa y/o se puede realizar de manera adicional al uso de guías de preparación físicas.
- En algunas realizaciones, la guía de preparación dental está diseñada de tal manera que un torno se puede acercar y acoplar al diente cuando la guía de preparación dental está dispuesta en los dientes. El torno puede tener un diámetro correspondiente al grosor deseado de la restauración en esta parte particular de la restauración, de tal manera que, en un área del diente en la que se van a extraer, por ejemplo, 2 mm de material del diente, la guía de preparación dental deja espacio para un torno de 2 mm.
- En algunas realizaciones, la guía de preparación dental está configurada para guiar a un dentista o una máquina de preparación dental en la preparación del diente.
- Para algunos dientes, tal como una muela, la extracción de material del diente en la superficie lingual, bucal/labial y/o en la superficie oclusal puede dar como resultado bordes en la cúspide del diente.
- Para algunos materiales de restauración, tales como la cerámica, puede que se prefiera evitar los bordes afilados. En algunas realizaciones, la superficie de validación de la guía de preparación dental está configurada de tal manera que la superficie del diente preparado no tiene ninguno de estos bordes afilados. Esto se puede lograr suavizando las transiciones entre, por ejemplo, las superficies preparadas lingual y oclusal del diente.
- En algunas realizaciones, el método para validar la preparación de un diente comprende determinar la distancia entre la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado y la superficie de validación virtual o la guía de preparación dental virtual en una o más ubicaciones seleccionadas en la superficie del diente. En este caso se contempla que la guía de preparación dental, de manera o bien virtual o bien física, esté dispuesta en el diente cuando se mide la distancia. Es decir, la distancia se puede determinar cuando la guía de preparación dental está dispuesta en una posición objetivo en relación con los dientes.
- En algunos casos, el método comprende determinar una distancia mínima en la que la distancia medida entre la guía de preparación dental y la superficie del diente preparado no debe estar por debajo de esta distancia mínima. La distancia mínima puede variar sobre la superficie del diente de tal manera que, por ejemplo, sea mayor cerca de la superficie oclusal que cerca de la encía. La distancia mínima puede depender de la elección del material de la restauración dental y de aspectos estéticos, tales como un cambio solicitado en el color del diente.
- Puede decirse que la distancia es positiva cuando la superficie de validación virtual está más cerca del centro del diente que la representación digital 3D. En este caso, puede que sea necesaria una preparación adicional de (esta parte) del diente.

Puede decirse que la distancia es negativa cuando la representación digital 3D está más cerca del centro del diente que la superficie de validación virtual. En este caso, no hay necesidad de una preparación adicional de (esta parte) del diente.

5 La distancia se puede determinar en una posición específica sobre la superficie del diente. Con bastante frecuencia, la distancia varía sobre la superficie de validación. La distancia puede ser, por ejemplo, positiva en algunas partes de la superficie de validación y negativa en otras partes.

10 En algunas realizaciones, el método para validar la preparación de un diente comprende determinar la distancia entre la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado y la superficie de validación virtual o la guía de preparación dental virtual durante un movimiento virtual a lo largo de la dirección de inserción hacia la posición objetivo de la guía de preparación dental.

En algunas realizaciones, la distancia se determina como el valor mínimo (en la porción específica de la superficie de validación) obtenido durante el movimiento virtual a lo largo de la dirección de inserción hacia la posición objetivo de la guía de preparación dental.

15 Esto tiene la ventaja de que, cuando se prepare el diente de acuerdo con la guía de preparación dental, se garantiza que la restauración dental se pueda insertar a lo largo de la dirección de inserción en el diente preparado.

En algunas realizaciones, la visualización de la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado comprende usar una codificación de color.

La codificación de color tiene la ventaja de que se facilita la inspección visual de la idoneidad actual de la preparación del diente usando, por ejemplo, una unidad de presentación visual tal como una pantalla.

20 En algunas realizaciones, el método para validar la preparación de un diente comprende visualizar la distancia al menos en algunas de dicha o dichas ubicaciones seleccionadas sobre la superficie del diente, tal como visualizar las distancias usando una codificación de color de distancia o indicando la distancia con el uso de un número que representa, por ejemplo, la distancia medida en milímetros.

25 En la codificación de color de la distancia pueden usarse diferentes gamas de colores, tales como una codificación de color de distancia en la que el rojo indica una distancia positiva de tal manera que el diente requiere una preparación adicional, mientras que el azul indica una situación de distancia negativa, en la que no se requiere ningún procesado adicional.

30 La codificación de color se puede realizar identificando la parte de la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado correspondiente al diente preparado y presentando esta parte en un color diferente de las otras partes de la representación digital 3D. Las otras partes se pueden visualizar, por ejemplo, en un color gris amarronado mientras que el diente preparado se visualiza en un color claro, tal como azul o rojo en función de la distancia con respecto a la superficie de guía de preparación virtual.

35 En algunas realizaciones, la visualización de la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado comprende un mapa diferencial que muestra diferencias entre la superficie de guía de preparación virtual y la forma del diente en la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado o preparado. El mapa diferencial puede visualizar la diferencia usando una codificación de colores diferencial.

La ventaja de usar dicho mapa diferencial y dicha codificación de colores diferencial es que el dentista puede ver inmediatamente, a partir de la visualización, qué parte o partes del diente requieren una preparación adicional.

40 En algunas realizaciones, el método comprende conmutar a on y off la visualización de la guía de preparación dental virtual de tal manera que la visualización de la superficie de guía de preparación virtual en relación con la representación digital 3D de los dientes preparados comprende cambiar entre la visualización de la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado sola y en combinación con la superficie de guía de preparación virtual. Al conmutar a on y off la visualización, el dentista puede evaluar fácilmente qué parte o partes del diente preparado requieren una preparación adicional.

45 En algunas realizaciones, el método comprende conmutar a on y off la visualización de la guía de preparación dental virtual de tal manera que la visualización de la superficie de guía de preparación virtual en relación con la representación digital 3D de los dientes pre-preparados comprende cambiar entre la visualización de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado sola y en combinación con la superficie de guía de preparación virtual. Al conmutar a on y off la visualización, el dentista puede evaluar fácilmente en qué parte o partes del diente pre-preparado debe extraerse material en el procedimiento de preparación, y cuánto material debe extraer en las diferentes partes del diente incluso antes de que haya comenzado a extraer ningún material del diente.

En algunas realizaciones, el método comprende conmutar a on y off una visualización de una restauración dental objetivo virtual, de tal manera que una visualización de la restauración dental objetivo virtual en relación con la representación digital 3D de los dientes pre-preparados o los dientes preparados comprende cambiar entre la

visualización de la representación digital 3D de los dientes pre-preparados o los dientes preparados sola y en combinación con la restauración dental objetivo virtual. Esto proporciona al dentista una indicación de la bondad del diseño de la restauración dental objetivo virtual para el conjunto de dientes del paciente con respecto, por ejemplo, al aspecto estético de los dientes.

5 En algunas realizaciones, la visualización comprende superponer la superficie de guía de preparación virtual o la guía de preparación dental virtual o la superficie de validación virtual sobre la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado o pre-preparado.

10 En algunas realizaciones, la visualización comprende visualizar la preparación mínima virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado. Esto proporciona al dentista una indicación de cómo de lejos se encuentra de tener el diente preparado de acuerdo con la preparación mínima virtual y, por tanto, de cuánto material del diente debe extraer en las diferentes partes del diente.

15 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental virtual comprende un mapa de profundidad que muestra cuánto material del diente debe extraerse en las diferentes secciones del diente con el fin de proporcionar una forma del diente preparado que sea aceptable de acuerdo con la guía de preparación dental. El mapa de profundidad puede utilizar una codificación de colores de profundidad para visualizar cuánto material del diente debe extraerse. La ventaja de usar dicho mapa de profundidad es que el mismo proporciona al dentista una indicación directa de cuánto material del diente debe extraerse en las diferentes partes del diente.

En algunas realizaciones, el método de uso de la guía de preparación dental comprende alinear la guía de preparación dental virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado.

20 En algunas realizaciones, la superficie de validación virtual se crea de acuerdo con la forma de la restauración dental objetivo virtual y, después de su creación, la misma se conecta con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

25 En algunas realizaciones, la restauración dental objetivo virtual se conecta a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante y, posteriormente, la superficie de validación virtual se conforma basándose en la restauración dental objetivo virtual.

30 Cuando la guía de preparación dental virtual se dispone en una posición objetivo con respecto a una representación digital 3D del conjunto de dientes, la parte del diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes puede penetrar en la superficie de validación virtual si la preparación del diente es insuficiente. La parte del diente de la representación digital 3D también puede penetrar en la superficie de validación virtual durante un movimiento virtual a lo largo de la dirección de inserción si la preparación del diente es insuficiente.

35 Una guía de preparación dental virtual se puede ajustar durante un procedimiento. La guía de preparación dental virtual se puede determinar a partir de la forma actual del conjunto de dientes en el cual se ha preparado por lo menos un diente o el mismo se ha preparado al menos parcialmente. La diferencia entre, por ejemplo, la superficie de la restauración objetivo y la forma actual del conjunto de dientes, define cuánto espacio se proporciona para la restauración dental. Este espacio se puede evaluar de tal manera que se puede decidir si hay espacio para la restauración dental. Esta evaluación se puede realizar después de cada operación de fresado del diente, y la evaluación puede comprender comparar la forma actual de los dientes preparados con la superficie de validación virtual descrita en este documento.

40 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental es un dispositivo de dos piezas que comprende una primera y una segunda parte. La primera parte se forma como una corona temporal y está diseñada para tener una superficie exterior conformada de manera que se parece a una superficie de diente normal, y una superficie interior con una forma basada en la superficie de validación virtual. La segunda parte está diseñada para tener una superficie interior configurada con vistas a acoplarse a la superficie exterior de la primera parte, de tal manera que la primera y la segunda partes se pueden conectar de manera separable para formar la guía de preparación dental de dos piezas. Puesto que la primera y la segunda partes están conectadas de manera separable, las mismas se pueden desacoplar después de que el dentista use la guía de preparación dental para validar la preparación del diente. A continuación, la primera parte se puede afianzar en el diente preparado funcionando como restauración temporal hasta que se fabrique una restauración final.

50 Se da a conocer una guía de preparación dental de dos piezas configurada para validar la preparación de por lo menos un diente para una restauración dental, comprendiendo dicha guía de preparación dental:

- una primera formada como corona temporal, donde dicha primera parte está diseñada para tener una superficie exterior conformada de manera que se parece a una superficie de diente normal y una superficie interior con una forma basada en la superficie de validación virtual; y

55 - una segunda parte diseñada para tener una superficie interior configurada con vistas a acoplarse a la superficie exterior de la primera parte, donde la segunda parte se puede conectar de manera separable con la primera parte de tal modo que la primera y la segunda partes forman juntas la guía de preparación dental.

Después de ser usadas por el dentista para validar la preparación del diente, la primera y la segunda partes de la guía de preparación dental de dos piezas se pueden desacoplar, y la primera parte se puede afianzar en el diente preparado funcionando como restauración temporal hasta que se fabrique una restauración final. Una de las ventajas de esta guía de preparación dental de dos piezas es que la porción de la guía de preparación dental que se conforma específicamente de acuerdo con el diente preparado se puede reutilizar y que la restauración temporal está fácilmente disponible cuando el diente se ha preparado. En métodos y guías de preparación dental de la técnica anterior, deben fabricarse tanto una guía de preparación dental como una corona temporal.

Se da a conocer un método para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente en un conjunto de dientes con vistas a una restauración dental, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, comprendiendo dicho método:

a: formar virtualmente un conjunto de dientes restante extrayendo virtualmente dicho por lo menos un diente de una representación digital 3D del conjunto de dientes;

b: proporcionar virtualmente una restauración dental objetivo que expresa una forma objetivo de la restauración dental para dicho por lo menos un diente, y crear virtualmente una superficie de validación sobre la base de la restauración dental objetivo; y

c: crear virtualmente la guía de preparación dental combinando dicha superficie de validación y al menos parte del conjunto de dientes restante.

Se da a conocer un método para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, comprendiendo dicho método:

a: obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes preparado e identificar la porción de la representación digital 3D correspondiente al diente preparado;

b: generar una superficie de restauración mínima virtual a partir de la porción de diente preparado y un grosor mínimo requerido de la restauración dental

c: determinar solapamientos entre la superficie de restauración mínima virtual generada y la representación digital 3D obtenida de un conjunto de dientes preparado.

Se da a conocer un producto de programa de ordenador, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, que comprende medios de código de programa para conseguir que un sistema de procesado de datos lleve a cabo el método de acuerdo con cualquiera de las realizaciones, cuando dichos medios de código de programa se ejecutan en el sistema de procesado de datos.

En algunas realizaciones, el producto de programa de ordenador comprende un soporte legible por ordenador que tiene almacenados en el mismo los medios de código de programa.

Se da a conocer un soporte legible por ordenador, no transitorio, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, que almacena, en el mismo, un programa de ordenador, donde dicho programa de ordenador está configurado para conseguir la generación, asistida por ordenador, de una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de un diente con vistas a una restauración dental llevando a cabo el método según cualquiera de las realizaciones.

Se da a conocer un sistema, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho sistema:

- un escáner configurado para obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado;
- medios para proporcionar una restauración dental objetivo virtual que expresa una forma objetivo de la restauración dental; y
- medios para generar la guía de preparación dental a partir de dicha representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado y/o a partir de dicha restauración dental objetivo virtual, donde la guía de preparación dental está configurada para prever que una preparación del diente acorde a la guía de preparación dental garantice que la restauración dental se puede realizar y se puede insertar en el diente preparado.

En algunas realizaciones, los medios de generación comprenden un soporte no transitorio legible por ordenador que tiene una o más instrucciones de ordenador almacenadas en el mismo, donde dichas instrucciones de ordenador comprenden instrucciones para llevar a cabo el método según la presente invención.

Se da a conocer un sistema, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho sistema:

- 5 • un escáner configurado para obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado; y
- 10 • un dispositivo de procesado de datos configurado para generar la guía de preparación dental a partir de dicha representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado y/o a partir de una restauración dental objetivo virtual, donde la guía de preparación dental está configurada para prever que una preparación del diente de acuerdo con la guía de preparación dental garantice que la restauración dental se puede realizar y se puede insertar en el diente preparado, y donde dicha restauración dental objetivo virtual expresa una forma objetivo de la restauración dental;

donde el dispositivo de procesado de datos comprende un soporte no transitorio legible por ordenador que tiene una o más instrucciones de ordenador almacenadas en el mismo, donde dichas instrucciones de ordenador comprenden instrucciones para llevar a cabo el método según la presente invención.

15 La guía de preparación dental generada puede ser una guía de preparación dental virtual, que se puede usar directamente para validar una preparación de un diente en un entorno virtual y/o que se puede usar para fabricar una guía de preparación dental física.

20 Se da a conocer un método que no se sitúa dentro de las reivindicaciones, para validar una preparación de por lo menos un diente en un conjunto de dientes preparado con vistas a determinar si el diente preparado tiene la capacidad de aceptar una restauración dental, comprendiendo dicho método:

- obtener una guía de preparación dental física configurada para validar la preparación del diente;
- disponer la guía de preparación dental en relación con el conjunto de dientes preparado del paciente;
- validar, a partir de la interacción física de la guía de preparación dental física y el conjunto de dientes preparado, si el diente preparado está conformado de tal manera que puede aceptar la restauración dental.

25 En algunas realizaciones, la guía de preparación dental física se fabrica a partir de una guía de preparación dental virtual de acuerdo con la presente invención.

Se da a conocer un método para validar una preparación de un diente en un conjunto de dientes preparado con el fin de determinar si el diente preparado tiene la capacidad de aceptar una restauración dental de una restauración dental objetivo virtual, que no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, donde dicho método comprende:

- 30 a: obtener una restauración dental objetivo virtual para el conjunto de dientes;
- b: obtener una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado;
- c: validar si el diente preparado del conjunto de dientes preparado está conformado de tal manera que puede aceptar la restauración dental.

35 En algunas realizaciones, la validación comprende visualizar la restauración dental objetivo virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado de tal manera que la validación se puede basar en dicha visualización.

La restauración dental objetivo virtual puede comprender un encerado diagnóstico virtual del conjunto de dientes.

Se da a conocer un método para validar la preparación de un diente con vistas a una restauración dental, el cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, comprendiendo dicho método:

- 40 - obtener una guía de preparación dental virtual configurada para validar la preparación del diente;
- obtener una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado; y
- visualizar la guía de preparación dental virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado.

45 Se da a conocer una interfaz de usuario para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, donde la interfaz de usuario está configurada para:

- a: obtener una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado;
- b: extraer virtualmente dicho por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-

preparado, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante;

c: proporcionar una restauración dental objetivo virtual que expresa una forma objetivo de la restauración dental;

5 d: crear una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual, donde la superficie de validación es tal que la preparación del diente se puede validar por el medio de la guía de preparación dental; y

e: crear una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y al menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

10 Se da a conocer una interfaz de usuario, la cual no se sitúa dentro del alcance de las reivindicaciones, para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, donde la interfaz de usuario está configurada para:

- extraer virtualmente dicho por lo menos un diente de una representación digital 3D obtenida del conjunto de dientes pre-preparado, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante;

15 - crear una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de una restauración dental objetivo virtual, proporcionada, que expresa una forma objetivo de la restauración dental, donde la superficie de validación es tal que la preparación del diente se puede validar por medio de la guía de preparación dental; y

- crear una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y al menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para visualizar la representación digital 3D obtenida de un conjunto de dientes pre-preparado y la superficie de guía de preparación virtual creada.

20 La visualización se puede llevar a cabo secuencialmente de tal manera que al menos uno de los elementos visualizados se visualiza antes de por lo menos uno de los otros elementos visualizados. Una serie de los elementos visualizados también se puede visualizar simultáneamente, tal como en casos en los que la superficie de validación virtual creada y la representación digital 3D de los dientes restantes se visualizan en una parte de la interfaz de usuario, y la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado se visualiza en otra parte.

25 En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para ser visualizada ante un profesional que usa una pantalla de ordenador y para permitir que el profesional introduzca datos en la interfaz de usuario y elija entre las opciones presentadas en esta última por medio de un teclado de ordenador o un ratón de ordenador.

30 En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para visualizar la superficie de guía de preparación virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado, y la interfaz de usuario comprende una herramienta de conmutación virtual para conmutar entre la visualización de la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado sola y en combinación con la superficie de guía de preparación virtual cuando se activa.

35 En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para visualizar la superficie de guía de preparación virtual junto con la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, y la interfaz de usuario comprende una herramienta de conmutación virtual para conmutar entre la visualización de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado sola y en combinación con la superficie de guía de preparación virtual cuando se activa.

40 La interfaz de usuario se puede implementar usando un sistema de ordenador donde la interfaz de usuario se visualiza usando una pantalla de ordenador que muestra los diferentes componentes de la interfaz de usuario, tales como campos de entrada de datos y botones pulsadores virtuales configurados para llevar a cabo una o más etapas de un método según una realización de la invención. Medios de entrada de datos, tales como un ratón de ordenador o un teclado de ordenador, se pueden conectar al sistema de ordenador y se pueden usar para introducir datos en la interfaz de usuario y para llevar a cabo selecciones, por ejemplo, presionando dichos botones pulsadores virtuales con el uso del ratón de ordenador.

45 En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para permitir que un profesional lleve a cabo un método de acuerdo con una realización de la invención. Preferentemente, el profesional, usando dicha interfaz de usuario, puede ejecutar al menos una de las etapas de obtención de una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado y formación de una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante extrayendo virtualmente dicho por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, provisión de una restauración dental objetivo virtual que expresa una forma objetivo de la restauración dental, creación de una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual, y creación de una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y al menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.  
50 En algunas realizaciones, las etapas del método se llevan a cabo secuencialmente y la interfaz de usuario puede

estar configurada para proporcionar secuencialmente una representación visual de las etapas al profesional de tal manera que la secuencia de la interfaz de usuario coincide con la correspondiente del método. En algunas realizaciones, la interfaz de usuario está configurada para proporcionar simultáneamente una representación visual de dos o más de las etapas al profesional.

**5 Breve descripción de los dibujos**

Los objetos, características y ventajas anteriores y/o adicionales de la presente invención, se dilucidarán adicionalmente por medio de la siguiente descripción detallada no limitativa e ilustrativa de realizaciones de la presente invención, en referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

10 la Fig. 1 muestra un diagrama de flujo correspondiente a una realización del método para generar una guía de preparación dental.

La Fig. 2 muestra un ejemplo de un diagrama de flujo para generar una guía de preparación dental virtual y para usarla con el fin de validar una preparación de un diente.

La Fig. 3 muestra un esquema de dientes en una mandíbula de un paciente y presentaciones en sección transversal en relación con algunas de las superficies implicadas en la generación de la superficie de guía de preparación virtual.

15 La Fig. 4 muestra un ejemplo sobre cómo se pueden conectar una representación digital 3D del conjunto de dientes restante y una superficie de validación virtual.

La Fig. 5 muestra un ejemplo de una superficie de guía de preparación virtual.

La Fig. 6 muestra una vía para fabricar la guía de preparación dental a partir de la superficie de guía de preparación virtual.

20 La Fig. 7 muestra una vía para fabricar la guía de preparación dental a partir de la superficie de guía de preparación virtual.

La Fig. 8 muestra una situación en la que preferentemente debería tenerse en cuenta la dirección de inserción.

La Fig. 9 muestra cómo puede tenerse en cuenta la dirección de inserción cuando se diseña la guía de preparación dental.

25 La Fig. 10 muestra capturas de pantalla en las cuales la extracción virtual de dientes introduce agujeros virtuales en la representación digital 3D de los dientes restantes.

La Fig. 11 muestra un ejemplo de una realización de la invención para formar una superficie de guía de preparación virtual.

30 La Fig. 12 muestra por medio de un diagrama de bloques, un dispositivo computarizado para generar una guía de preparación dental.

La Fig. 13 muestra un esquema de una interfaz de usuario.

La Fig. 14 muestra un diagrama de flujo correspondiente a una realización del método para generar una guía de preparación dental.

35 La Fig. 15 muestra una guía de preparación dental de ejemplo formada como un dispositivo de dos piezas con una primera parte formada a modo de corona temporal.

La Fig. 16 muestra un ejemplo de una guía de preparación dental generada a partir de una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado y de un grosor mínimo requerido de la restauración dental.

La Fig. 17 muestra un ejemplo de una preparación de un diente y una guía de preparación dental configurada para validar la preparación del diente.

40 En la siguiente descripción, se hace referencia a las figuras adjuntas, las cuales muestran, a título ilustrativo, cómo puede llevarse a la práctica la invención.

En los diagramas de flujo de las Figuras 1, 2 y 14, la línea de puntos vertical del centro divide los flujos de trabajo en una parte referente a unidades físicas (lado izquierdo) y una parte referente a unidades virtuales (lado derecho) en el flujo de trabajo.

45 La Fig. 17 muestra un ejemplo de una preparación de un diente y una guía de preparación dental configurada para validar la preparación del diente.

La Fig. 17a muestra una sección de un conjunto de dientes pre-preparado 1794, es decir, un conjunto de dientes

antes de la preparación para cuya validación está configurada la guía de preparación dental. En la figura se ilustra el diente que se va a preparar 1795 y dientes contiguos 1796. En la figura se indica también el torno dental 1798 listo para extraer el material de diente con vistas a preparar el diente 1795 para aceptar una restauración dental, tal como una restauración coronal.

5 La Fig. 17b muestra el conjunto de dientes preparado 1791, es decir, el conjunto de dientes después de que se haya llevado a cabo al menos cierta preparación del diente. Ahora, el tamaño del diente 1783 se ha reducido de tal manera que una restauración dental con un tamaño y una forma que sea similar al diente original 1795 se puede colocar sobre el diente preparado. En el caso ilustrado, los dientes contiguos no se preparan.

10 La Fig. 17c muestra la guía 1799 de preparación dental, generada, dispuesta para validar la preparación del diente. En este caso, la guía 1799 de preparación dental está diseñada para reposar sobre los dientes contiguos 1796. En la situación ilustrada, el diente se ha preparado de tal manera que tiene una forma que permite que la guía 1799 de preparación dental se disponga en el diente preparado 1783 y los dientes contiguos 1796 sin chocar con el diente preparado. A continuación, el dentista puede concluir que la preparación del diente está completa y que el diente preparado está listo para aceptar la restauración dental. Si la guía 1799 de preparación dental no se puede disponer en contacto con ambos dientes contiguos debido a choques con el diente preparado, se requiere un procesado adicional.

La Figura 14 muestra un diagrama de flujo 1400 correspondiente a una realización del método para generar una guía de preparación dental con vistas a validar la preparación de un diente para una restauración dental.

20 En la etapa 1401a, se obtiene una representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, por ejemplo, mediante escaneo intraoral directo del conjunto de dientes o escaneando un modelo físico o una impresión del conjunto de dientes pre-preparado.

En la etapa 1401b, se extrae virtualmente la porción de esta representación digital 3D correspondiente al diente o dientes para los que se genera la guía de preparación dental, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante.

25 En la etapa 1403, se crea una restauración dental objetivo virtual. La restauración dental objetivo virtual se puede crear basándose en un encerado diagnóstico virtual para el conjunto de dientes, donde el encerado diagnóstico virtual expresa una forma objetivo de la restauración dental objetivo virtual.

30 En la etapa 1404, se crea la superficie de validación virtual basándose en la restauración dental objetivo virtual y, en la etapa 1405, se crea la superficie de guía de preparación virtual conectando la superficie de validación virtual y la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

La Figura 1 muestra un diagrama de flujo 100 correspondiente a una realización del método para generar una guía de preparación dental física con vistas a validar la preparación de un diente.

35 En la etapa 101a, se obtiene una representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, por ejemplo, mediante escaneo intraoral directo del conjunto de dientes o escaneando un modelo físico o una impresión del conjunto de dientes pre-preparado.

En la etapa 101b, se extrae virtualmente la porción de esta representación digital 3D correspondiente al diente o dientes para los cuales se genera la guía de preparación dental, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante.

40 En la etapa 102, se diseña un encerado diagnóstico virtual para el conjunto de dientes, de tal manera que el mismo expresa una forma objetivo de la restauración dental. El encerado diagnóstico virtual se basa en uno o más parámetros estéticos que pueden estar relacionados con la forma de los dientes individuales, el color de los dientes, y/o la disposición relativa de los dientes. El material de la restauración dental puede decidirse sobre la base, por ejemplo, de la elección del paciente o cuestiones dentales prácticas, tales como el tamaño y la forma del diente o dientes que se van a restaurar. Además, debe haber suficiente espacio para que el dentista realice las etapas necesarias en la preparación del diente y para insertar la restauración dental en el diente preparado. El grosor mínimo del material de restauración depende también del cambio de color deseado. Un cambio grande puede requerir un grosor mayor.

La restauración dental objetivo virtual se crea basándose en el encerado diagnóstico virtual diseñado en la etapa 103, y, en la etapa 104, se crea la superficie de validación virtual basada en la restauración dental objetivo virtual.

50 En la etapa 105, se crea la superficie de guía de preparación virtual conectando la superficie de validación virtual y la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante.

En la etapa 106, se engrosa laminarmente al menos una parte seleccionada de la superficie de guía de preparación virtual, de tal manera que la guía de preparación dental virtual comprende una superficie de lámina interior y una superficie de lámina exterior en la parte seleccionada.

5 En algunos casos, la superficie de lámina exterior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual creada y el engrosamiento laminar se puede usar para definir la superficie de engrosamiento laminar interior a partir de la superficie exterior, es decir, a partir de la superficie de guía de preparación virtual. En tales casos, puede fabricarse un modelo físico intermedio a partir de la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente, en la etapa 107, usando una fabricación digital directa. A continuación, en la etapa 108, se fabrica la guía de preparación dental física conformando el material de la guía de preparación dental con el uso de dicho modelo físico intermedio. El material de la guía de preparación dental se puede conformar dándole forma al vacío sobre el modelo físico intermedio.

10 En algunos casos, la superficie de lámina interior se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual y el engrosamiento laminar se puede usar para definir la superficie de lámina exterior a partir de la superficie de lámina interior, es decir, a partir de la superficie de guía de preparación virtual. En tales casos, la guía de preparación dental física se fabrica en la etapa 109 a partir de la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente, usando, por ejemplo, impresión 3D.

15 La Figura 2 muestra un ejemplo de un diagrama de flujo para generar una guía de preparación dental virtual y para usarla con el fin de validar una preparación de un diente. El diagrama de flujo contiene una parte 210 referente a la generación de la guía de preparación dental virtual y una parte 211 para usar la guía de preparación dental virtual generada con el fin de validar la preparación del diente.

20 En la etapa 2011, se obtiene una representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado mediante escaneo intraoral directo de los dientes. A continuación, en la etapa 212, se crea una guía de preparación dental virtual usando, por ejemplo, las etapas 102 a 106 del flujo de trabajo descrito en relación con la Figura 1 ó las etapas 1401a a 1404 descritas en relación con la Figura 14.

El diente o dientes se preparan para la restauración limando material del diente. A continuación, al conjunto de dientes del paciente se le hace referencia como conjunto de dientes preparado.

25 En la etapa 2012, se usa el escáner intraoral para escanear al menos la región del conjunto de dientes preparado en la cual están ubicados el diente o dientes preparados con el fin de obtener una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado.

En la etapa 214, la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado y la guía de preparación dental virtual se alinean y se visualizan juntas en una unidad de presentación visual, tal como en una pantalla de ordenador.

30 Sobre la base de la representación digital 3D alineada del conjunto de dientes preparado y la guía de preparación dental virtual, en la etapa 215 se lleva a cabo una validación de la preparación del diente para determinar si se requiere una preparación adicional.

35 Si se requiere una preparación adicional, el dentista continúa la preparación en la etapa 213. A continuación, se lleva a cabo un nuevo escaneo intraoral 2012, un alineamiento 214 y una validación 215, y el bucle continúa hasta que no se requiere ninguna preparación adicional del diente, y el dentista elige proseguir hacia una parte sucesiva del procedimiento dental.

40 El escáner intraoral se puede configurar para utilizar un escaneo por foco, en donde la representación digital 3D de los dientes escaneados se reconstruye a partir de imágenes enfocadas adquiridas a diferentes profundidades de foco. La técnica de escaneo por foco se puede llevar a cabo generando una luz de sondeo y transmitiendo esta luz de sondeo hacia el conjunto de dientes de tal manera que se ilumina al menos una parte del conjunto de dientes. La luz que retorna del conjunto de dientes se transmite hacia una cámara y se obtiene una imagen en un sensor de imágenes de la cámara por medio de un sistema óptico, donde el sensor de imágenes comprende una matriz de elementos sensores. La posición del plano del foco con respecto al conjunto de dientes se varía por medio de una óptica de enfoque mientras se obtienen imágenes a partir de dicha matriz de elementos sensores. Sobre la base de las imágenes, puede(n) determinarse la(s) posición(es) enfocada(s) de cada uno de una pluralidad de los elementos sensores o cada uno de una pluralidad de grupos de los elementos sensores para una secuencia de posiciones del plano de foco.

45 La posición enfocada se puede calcular, por ejemplo, determinando la amplitud de oscilación de la luz para cada uno de una pluralidad de los elementos sensores o cada uno de una pluralidad de grupos de los elementos sensores en correspondencia con un intervalo de planos de foco. A partir de las posiciones enfocadas, puede obtenerse la representación digital 3D del conjunto de dientes.

La creación de la guía de preparación dental y el uso de la misma pueden ocurrir en paralelo con la preparación del diente o dientes, y, por ello, pueden no formar parte de un tratamiento sobre el paciente sino ser, más bien, un método para generar y para usar una guía con el fin de validar la preparación de los dientes.

55 En el texto anterior, el método se describe en relación con la evaluación de la preparación de un diente. Evidentemente, el método es también adecuado para evaluar simultáneamente la preparación de una serie de dientes.

La Fig. 3a muestra un esquema de dientes en una mandíbula de un paciente y un plano de sección transversal en un diente del cual se va a realizar una preparación.

El conjunto de dientes 300 tiene un diente 316a el cual, por ejemplo, está enfermo y requiere una restauración dental, tal como una corona. Por lo tanto, el diente se debe preparar de tal manera que sea capaz de aceptar la corona. El plano en el cual se obtiene la vista en sección transversal queda definido por la línea A-B que cruza el diente y la normal al plano oclusal del conjunto de dientes, es decir, el plano es perpendicular al plano oclusal.

Las Figuras 3b a 9, 11, y 15 a 17 muestran representaciones en sección transversal de los dientes y la guía de preparación dental según se observa en el plano definido en la Figura 3a.

La Figura 3b muestra presentaciones en sección transversal en relación con algunas de las superficies implicadas en la generación de la superficie de guía de preparación virtual.

La porción 316b de diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado se extrae virtualmente por un límite determinado por el *spline* 317 de seccionamiento 3D. Cuando el diente se ha extraído virtualmente, se introduce un agujero virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 318.

En este ejemplo, la restauración dental objetivo virtual se basa en un encerado diagnóstico virtual 319 diseñado de acuerdo, por ejemplo, con las preferencias estéticas del paciente.

La superficie 320 de validación virtual se basa en una superficie de preparación mínima virtual definida por un desplazamiento hacia dentro del encerado diagnóstico virtual 319 y por un empuje de una porción de la superficie desplazada que se extiende más allá de la porción 316b de diente sobre la porción de diente para prever que la superficie de validación virtual siga la superficie del diente en esta parte del mismo. En la figura se ilustra también una línea 321 de preparación virtual.

Con la superficie 320 de validación virtual descrita por la superficie de preparación mínima, puede crearse la superficie de guía de preparación virtual conectando la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 318 y la superficie de preparación mínima virtual.

La Figura 4 muestra un ejemplo sobre cómo pueden conectarse una representación digital 3D del conjunto de dientes restante y una superficie de validación virtual.

Se ha determinado un *spline* 4171 de dientes restantes 3D sobre la base del *spline* de seccionamiento 3D observado en la Figura 3. Puesto que la superficie 420 de validación virtual que se basa en la superficie de preparación mínima virtual es menor que la parte correspondiente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, existe un agujero entre la superficie 420 de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 418.

La superficie de guía de preparación virtual se crea conectando la superficie 420 de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 418. Estas superficies se conectan creando una superficie 422 de conexión que se extiende desde el *spline* 4171 de dientes restantes 3D hasta un *spline* 423 de superficie de validación 3D. En este caso, el *spline* 423 de superficie de validación 3D está dispuesto por encima de la línea 421 de preparación virtual, pero, en principio, el mismo se puede disponer en cualquier ubicación sobre la superficie de validación virtual, tal como sustancialmente a lo largo de la línea 421 de preparación virtual.

La superficie 422 de conexión se puede crear en un proceso de *lofting*.

El *spline* 4171 de dientes restantes 3D se puede determinar modificando el *spline* de seccionamiento 3D que se definió en relación con la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado. En algunas realizaciones, la modificación se facilita visualizando el *spline* de seccionamiento 3D en relación con la superficie de un diente virtualmente extraído o un diente de la restauración dental objetivo virtual. Cuando se visualiza en relación con un diente extraído virtualmente, pueden haberse cerrado previamente, usando, por ejemplo, algoritmos basados en curvatura, todos los agujeros interproximales del diente extraído virtualmente.

Para proporcionar una superficie de guía de preparación virtual hermética, puede que sea necesario un cierre de agujeros adicional. Esto se puede llevar a cabo usando algoritmos de cierre de agujeros, basados en curvatura.

La Figura 5 muestra un ejemplo de una superficie de guía de preparación virtual.

La superficie 524 de guía de preparación virtual ilustrada en esta figura se crea a partir de la superficie de validación virtual, la superficie de conexión, y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante según se observa en la Figura 4. La superficie 524 de guía de preparación virtual se alinea en este caso con una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado 525.

Debido a la ubicación del *spline* de superficie de validación 3D por encima de la línea de preparación virtual en la Figura 4, se proporciona una zona 526 de seguridad en la línea de preparación que permite que el dentista disponga de sitio para maniobrar, por ejemplo, para ajustar la posición concreta de la línea de preparación durante el

procedimiento dental.

La Figura 6 muestra una vía para fabricar la guía de preparación dental a partir de la superficie de guía de preparación virtual. En esta realización, la guía de preparación dental física se fabrica directamente a partir de la guía de preparación dental virtual.

5 La superficie 624 de guía de preparación virtual que representa una superficie de lámina interior se desplaza hacia fuera para proporcionar una superficie 627 de lámina exterior. Sobre la base de la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente, puede fabricarse una guía 628 de preparación dental física usando una fabricación digital directa, tal como la impresión 3D. La superficie de la guía de preparación dental encarada al conjunto de dientes se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual.

10 En el contexto de la presente invención, la expresión “la superficie se desplaza hacia fuera” se corresponde con un desplazamiento de la superficie alejándola de la posición en la que los dientes están ubicados cuando la guía de preparación dental está dispuesta en relación con los dientes del paciente.

La Figura 7 muestra una vía para fabricar la guía de preparación dental a partir de la superficie de guía de preparación virtual. En esta realización, la guía de preparación dental física se fabrica por medio de un modelo físico intermedio formado sobre la base de la guía de preparación dental virtual.

15

La superficie 724 de guía de preparación virtual que representa una superficie de lámina exterior se desplaza hacia dentro para proporcionar una superficie 729 de lámina interior. Sobre la base de la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente, puede fabricarse un modelo físico intermedio 730 usando una fabricación digital directa, tal como la impresión 3D. En el contexto de la presente invención, la expresión “la superficie se desplaza hacia dentro” se corresponde con desplazamiento de la superficie hacia la posición en la que los dientes están ubicados cuando la guía de preparación dental está dispuesta en relación con los dientes del paciente.

20

A continuación, el material 731 de la guía de preparación dental se conforma de acuerdo con el modelo físico intermedio 730, por ejemplo, dando forma, al vacío, al material 731 sobre el modelo físico intermedio 730. A continuación, el material 731 de la guía de preparación dental se separa del modelo intermedio 730 para proporcionar la guía 728 de preparación dental física, en donde la superficie encarada al conjunto de dientes se conforma de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual.

25

La Figura 8 muestra una situación en la que preferentemente debería tenerse en cuenta la dirección de inserción para generar una guía de preparación dental que también tiene en cuenta que la restauración dental se mueve a lo largo de un trayecto cuando se dispone en relación con el conjunto de dientes del paciente.

30 Una restauración dental 832 se mueve a lo largo de un trayecto determinado por la dirección 833 de inserción hacia su posición objetivo con respecto al conjunto de dientes preparado 834. La superficie interior 835 de la restauración dental 832 coincide con la porción correspondiente del conjunto de dientes preparado.

Las líneas 836 indican la trazada de una línea 837 de margen de la restauración dental cuando la restauración dental se mueve a lo largo del trayecto determinado por la dirección 833 de inserción. Una de estas líneas pasa a través del conjunto de dientes preparado 834 revelando que un choque entre el conjunto de dientes preparado 834 y la parte cervical de la restauración dental impedirá que la restauración dental 832 se disponga en la posición objetivo a no ser que se extraiga la región 838. Es decir, la superficie de guía de preparación virtual se puede conformar para garantizar que, si el diente se prepara de acuerdo con la superficie de guía de preparación virtual, la restauración dental 832 se puede mover a la posición objetivo sin ningún choque.

35

La Figura 9 muestra cómo puede tenerse en cuenta la dirección de inserción cuando se diseña la guía de preparación dental. En lugar de usar un planteamiento en el que la restauración dental se recorta para compensar la dirección de inserción, se recorta la guía de preparación dental.

40

La Figura 9a muestra la superficie 920 de validación virtual que es cortada por uno de los trayectos 9361 que están dispuestos para pasar a través de la línea 921 de preparación virtual. En este caso, los trayectos 9361 están dispuestos con un ángulo de 5 grados con respecto a la dirección 933 de inserción para prever el estrechamiento progresivo del diente preparado. En la situación ilustrada, el estrechamiento progresivo solamente es estrictamente necesario sobre el trayecto que pasa a través de la superficie 920 de validación virtual.

45

Para tener en cuenta la dirección 933 de inserción (y, en este ejemplo, también el ángulo de estrechamiento progresivo), la superficie 920 de validación virtual se recorta de tal manera que la superficie de la parte en la que se produce la intersección se alinea con el trayecto que la corta, extrayendo así la región que bloquea al trayecto de la parte cervical de la restauración dental. En la Figura 9b se observa la superficie 920 de validación virtual recortada.

50

A continuación, la superficie 920 de validación virtual recortada se puede conectar a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 918 por el *spline* 9171 de dientes restantes 3D para proporcionar la superficie de guía de preparación virtual usando, por ejemplo, *lofting* tal como se ha descrito anteriormente.

A continuación, la Figura 9c muestra la situación después de que se haya tenido en cuenta la dirección de inserción cuando se diseña la superficie de validación virtual y, por tanto, la superficie de guía de preparación virtual.

5 Ahora, la restauración dental 932 se puede mover a lo largo del trayecto 936 determinado por la dirección 933 de inserción hacia su posición objetivo con respecto al conjunto de dientes preparado 934 sin que sea bloqueada por material del diente.

Puede observarse un pequeño ángulo entre el trayecto 936 y la porción del conjunto de dientes preparado 934 correspondiente a la porción recortada de la superficie de validación virtual. Esto viene provocado por el ángulo de estrechamiento progresivo.

10 La Figura 10 muestra capturas de pantalla en las cuales la extracción virtual de dientes introduce agujeros virtuales en la representación digital 3D de los dientes restantes.

Se definen *splines* 1017 de seccionamiento 3D en relación con la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado 1037 de tal manera que pueden extraerse virtualmente 4 dientes. Los *splines* 1017 de seccionamiento 3D se pueden definir automáticamente, por ejemplo, extrayendo límites de la porción de dientes de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado.

15 Cuando los dientes se han extraído virtualmente, en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1018 aparecen agujeros virtuales. Los agujeros virtuales incluyen cuatro agujeros gingivales virtuales 1038, y agujeros interproximales 1039 en las porciones de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante correspondientes a los dientes contiguos. En este caso, no existe ningún límite entre cada agujero interproximal y el agujero gingival contiguo.

20 Un agujero virtual se puede cerrar con una superficie de sustitución virtual o se puede cerrar con superficies gingivales virtuales e interproximales virtuales.

25 Cuando un agujero virtual se cierra usando una superficie de sustitución virtual, las secciones interproximales del *spline* de dientes restantes 3D se pueden definir en relación con esta superficie de sustitución virtual. El *spline* de dientes restantes 3D se puede disponer para dividir una porción de la superficie de sustitución virtual en una superficie gingival virtual y una superficie interproximal virtual.

La Figura 11 muestra cómo puede crearse una superficie de guía de preparación virtual con una superficie de validación virtual de acuerdo con un encerado diagnóstico.

30 En la Figura 11a, un agujero virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118 queda delimitado por un *spline* 11171 de dientes restantes 3D. El *spline* de dientes restantes 3D se puede determinar a partir de un *spline* de seccionamiento 3D, tal como el *spline* 1017 de seccionamiento 3D ilustrado en la Figura 10.

En la Figura 11b, una superficie 1140 de sustitución virtual se conecta a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118 por el *spline* 11171 de dientes restante 3D, de tal manera que el agujero virtual en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118 se cierra.

35 En la Figura 11c, una restauración dental objetivo virtual 1141 definida a partir de un encerado diagnóstico virtual se alinea con la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118, de tal manera que la misma es cortada por la porción correspondiente a la superficie de sustitución virtual. En este caso, puede considerarse que la superficie de validación virtual es la porción de la restauración dental objetivo virtual 1141 dispuesta por encima de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118.

40 A continuación, la superficie 1124 de guía de preparación virtual se puede crear mediante una suma Booleana de la restauración dental objetivo virtual 1141 y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante 1118. En la Figura 11d se observa la superficie 1124 de guía de preparación virtual resultante.

45 Como alternativa a la conexión de una superficie de sustitución virtual a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, el agujero interproximal se puede cerrar, al menos parcialmente, con una superficie interproximal virtual mientras que el agujero gingival se puede cerrar con una preparación de diente virtual o con una encía virtual en función de si, en la ubicación del agujero gingival, se va a disponer una corona o un pónico. A continuación, la superficie de guía de preparación virtual se puede crear mediante una suma Booleana de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante y la preparación de diente virtual o la encía virtual. El límite entre la superficie interproximal virtual y la encía virtual o la preparación de diente virtual se puede usar para definir el *spline* de dientes restantes 3D.

50 La Fig. 12 muestra, por medio de un diagrama de bloques, un sistema para generar una guía de preparación dental de acuerdo con una realización de la presente invención. El sistema 1250 comprende un dispositivo 1251 de ordenador que comprende un soporte legible 1252 por ordenador y un procesador 1253. El sistema comprende, además, una unidad 1256 de presentación visual, un teclado 1254 de ordenador y un ratón 1255 de ordenador para introducir datos y activar botones virtuales visualizados en la unidad 1256 de presentación visual. La unidad 1256 de

presentación visual puede ser, por ejemplo, una pantalla de ordenador. El dispositivo 1251 de ordenador es capaz de recibir una representación digital 3D del conjunto de dientes del paciente desde un dispositivo 1257 de escaneo, tal como el escáner intraoral TRIOS fabricado por 3shape A/S, o es capaz de recibir datos de escaneo desde un dispositivo de escaneo del tipo mencionado y formar una representación digital 3D del conjunto de dientes del paciente sobre la base de dichos datos de escaneo. La representación digital 3D puede ser de un conjunto de dientes pre-preparado o preparado. La representación digital 3D recibida o formada se puede almacenar en el soporte legible 1252 por ordenador y se puede proporcionar al procesador 1253. El procesador 1253 está configurado para extraer virtualmente dicho por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado, de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante. Esto se puede realizar basándose en un *spline* de seccionamiento 3D definido en relación con la representación digital 3D de los dientes pre-preparados, por ejemplo, por parte del profesional usando el ratón del ordenador para marcar posiciones pertinentes en la representación digital 3D de los dientes pre-preparados. Al procesador 1253 se le puede proporcionar una restauración dental objetivo virtual que exprese una forma objetivo de la restauración dental, desde una fuente externa o desde el soporte legible 1252 por ordenador. El procesador 1253 está configurado, además, para crear una superficie de validación virtual para la guía de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual, donde la superficie de validación es tal que la preparación del diente puede ser validada por la guía de preparación dental; y para crear una superficie de guía de preparación virtual combinando la superficie de validación virtual y al menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante. Mientras se crea la superficie de validación virtual y/o la superficie de guía de preparación virtual, al profesional se le pueden presentar una o más opciones, tales como si conectar la superficie de validación virtual a la representación digital 3D del conjunto de dientes restante usando una suma Booleana o creando una superficie de conexión por *loofing*. Las opciones se pueden presentar en una interfaz de usuario visualizada en la unidad 1256 de presentación visual.

En algunos casos, el procesador 1253 está configurado, además, para engrosar laminarmente por lo menos una parte seleccionada de la superficie de guía de preparación virtual, de tal manera que la guía de preparación dental virtual comprende una superficie de lámina interior y una superficie de lámina exterior en la parte seleccionada. El sistema tiene una unidad 1258 para transmitir la superficie de guía de preparación virtual engrosada laminarmente a, por ejemplo, un dispositivo 1259 de fabricación asistida por ordenador (CAM) con vistas a fabricar la guía de preparación dental o con vistas a fabricar un modelo físico intermedio a partir del cual puede formarse la guía de preparación dental por formación en vacío, o a otro sistema de ordenador, por ejemplo, ubicado en una estación de fresado en la que se fabrique la guía de preparación dental o el modelo físico intermedio. La unidad para transmitir el modelo virtual 3D puede ser una conexión por cable o inalámbrica.

La mayoría de las veces, el escaneo del conjunto de dientes del paciente usando el dispositivo 1257 de escaneo se lleva a cabo en la oficina del dentista. El diseño y la fabricación de la guía de preparación dental se pueden realizar en la oficina del dentista o en un laboratorio dental. En este último caso, la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado del paciente se puede proporcionar por medio de una conexión de internet entre el dentista y el laboratorio dental.

La Fig. 13 muestra un esquema de una interfaz de usuario de acuerdo con una realización de la invención.

La figura muestra una primera parte 1371 de la interfaz 1370 de usuario en la cual se visualizan vistas en sección transversal de diferentes superficies usadas en el diseño de la guía de preparación dental. En el ejemplo ilustrado, la superficie de validación virtual, la representación digital 3D del conjunto de dientes restante, la línea de preparación virtual, el *spline* de dientes restantes 3D, y el *spline* de superficie de validación 3D de la Fig. 4 se observan en la primera parte.

La segunda parte 1372 de la interfaz de usuario comprende una sección 1374 de introducción de datos para introducir datos referentes a, por ejemplo, si la superficie de validación virtual se va a conectar mediante una suma Booleana o mediante una superficie creada por un proceso de *loofing*. Un botón pulsador virtual 1373 está configurado para prever que la superficie de guía de preparación virtual se crea combinando la superficie de validación virtual y al menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante sobre la base de los datos introducidos en la sección 1374 de introducción de datos.

La interfaz de usuario se puede visualizar en una unidad de presentación visual, tal como una pantalla de ordenador que forma parte de un sistema configurado para implementar el método de acuerdo con la presente invención. La interfaz de usuario está configurada, también, para llevar a cabo al menos algunas de las otras etapas del método, tales como la extracción virtual de al menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado cuando se forma la representación digital 3D de un conjunto de dientes restante. Para estas etapas, los botones pulsadores virtuales y las secciones de introducción de datos proporcionados en la segunda parte 1372 pueden diferir con respecto a aquellos proporcionados cuando se conecta la superficie virtual.

La Fig. 15 muestra una guía de preparación dental de ejemplo formada como un dispositivo de dos piezas con una primera parte formada como corona temporal.

La guía 1580 de preparación dental de dos piezas ilustrada en la Fig. 15a tiene una primera parte 1581 y una

segunda parte 1582, donde la segunda parte 1582 está diseñada para tener una superficie interior configurada con vistas a acoplarse a la superficie exterior de la primera parte 1581 y la segunda parte 1582 se puede disponer en relación con la primera parte 1581 de tal manera que la primera y la segunda partes forman juntas la guía 1580 de preparación dental. Cuando la guía 1580 de preparación dental de dos piezas se dispone en relación con el conjunto de dientes del paciente, la superficie interior de la primera parte 1581 queda encarada al diente preparado 1583 y la segunda parte está en contacto con la encía 1584 en el diente preparado.

La Fig. 15b muestra la primera parte 1581 formada como una corona temporal y la misma está diseñada para tener una superficie exterior 15812 conformada de manera que se parece a una superficie de un diente normal, y una superficie interior 15812 con una forma basada en la superficie de validación virtual de tal manera que la primera parte puede validar la preparación del diente.

La Fig. 15c muestra la segunda parte 1582 con su superficie interior 15822a, 15822b y su superficie exterior 15821. La superficie interior tiene una porción 15822a configurada para acoplarse a la superficie exterior de la primera parte de la guía de preparación dental y una segunda parte 15822b configurada para entrar en contacto con la encía en el diente preparado. La primera porción 15822a prevé que la primera y la segunda partes de la guía de preparación dental puedan ensamblarse y ser gestionadas como una unidad coherente mientras que la segunda porción 15822b garantiza que la guía 1580 de preparación dental se pueda disponer correctamente con respecto al diente preparado.

Cuando se usa para validar la preparación del diente, la guía de preparación dental de dos piezas se hace funcionar como una unidad coherente la superficie interior 15812 de la primera parte 1581 de la restauración dental se usa para la validación. Cuando el dentista queda satisfecho con la preparación del diente la primera parte 1581 y la segunda parte 1582 se desacoplan y la primera parte 1581 se puede afianzar temporalmente en el diente preparado y puede funcionar como corona temporal mientras se fabrica la restauración final sobre la base de, por ejemplo, un escaneo del conjunto de dientes preparado.

La Fig. 16 muestra un ejemplo de una guía de preparación dental generada a partir de una representación digital 3D del conjunto de dientes preparado y de un grosor mínimo requerido de la restauración dental.

La representación digital 3D obtenida de un conjunto de dientes preparado 1691 comprende una porción 1683 correspondiente al diente preparado. Sobre la base de la porción 1683 de diente preparado y de un grosor mínimo requerido de la restauración dental, se genera una superficie 1690 de restauración mínima virtual. Esta superficie marca la superficie de la preparación dental más pequeña que se puede realizar para cumplir los requisitos referentes a, por ejemplo, la estabilidad mecánica o el color de la restauración dental cuando se dispone en el diente preparado en su forma actual. A continuación, pueden determinarse todos los solapamientos 1692 entre la superficie 1690 de restauración mínima virtual, generada, y la representación digital 3D obtenida del conjunto de dientes preparado 1691, y el dentista puede evaluar si el solapamiento es demasiado grande o si se puede limar una pequeña porción de los dientes contiguos para proporcionar el espacio requerido para una restauración dental fabricada de acuerdo con la superficie de restauración mínima virtual.

Los solapamientos 1692 se pueden visualizar, por ejemplo, en una interfaz de usuario mediante una codificación de colores en la que, por ejemplo, el color rojo se usa para identificar las regiones de solapamiento en la representación digital 3D del conjunto de dientes preparado.

Si el dentista decide que se requiere un procesado adicional, extrae más material del diente y repite el proceso hasta que se elimina el solapamiento o el mismo se reduce a un tamaño insignificante.

Las características del método descrito anteriormente y en lo sucesivo se pueden implementar en *software* y se pueden llevar a cabo en un sistema de procesado de datos u otros medios de procesado accionados por la ejecución de instrucciones ejecutables por ordenador. Las instrucciones pueden ser medios de código de programa cargados en una memoria, tal como una RAM, desde un soporte de almacenamiento o desde otro ordenador por medio de una red informática. Alternativamente, las características descritas se pueden implementar mediante circuitería de conexión permanente en lugar de *software* o en combinación con *software*.

**REIVINDICACIONES**

1. Método para generar una guía de preparación dental configurada para validar la preparación de por lo menos un diente con vistas a una restauración dental, comprendiendo dicho método:

a: obtener (101a, 1401a) una representación digital 3D de un conjunto de dientes pre-preparado (1794);

5 b: extraer virtualmente (101b, 1401b) dicho por lo menos un diente de la representación digital 3D del conjunto de dientes pre-preparado (1794), de tal manera que se forma una representación digital 3D de un conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118);

c: proporcionar (102, 103, 1403) una restauración dental objetivo virtual (1141) que expresa una forma objetivo de la restauración dental (832, 932);

10 d: crear (104, 1404) una superficie (320, 420, 920) de validación virtual para la guía (1799) de preparación dental sobre la base de la restauración dental objetivo virtual (1141), donde la superficie de validación es tal que la preparación del diente se puede validar por medio de la guía (1799) de preparación dental; y

15 e: crear (105, 1405) una superficie (524, 624, 724, 1124) de guía de preparación virtual combinando la superficie (320, 420, 920) de validación virtual y por lo menos parte de la superficie de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118).

2. Método según la reivindicación 1, en el que el método comprende crear una superficie (1140) de sustitución virtual configurada para cerrar, al menos parcialmente, un agujero virtual (1038, 1039) definido en la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118) cuando se extrae virtualmente dicho por lo menos un diente.

20 3. Método según la reivindicación 2, en el que la superficie (1140) de sustitución virtual comprende una superficie gingival virtual configurada para cerrar una parte gingival (1038) del agujero virtual (1038, 1039).

4. Método según la reivindicación 2 ó 3, en el que la superficie (1140) de sustitución virtual comprende una superficie interproximal virtual configurada para cerrar una parte interproximal (1039) del agujero virtual (1038, 1039).

25 5. Método según cualquiera de las reivindicaciones 2, 3, ó 4, en el que el método comprende realizar la parte de superficie (1140) de sustitución virtual de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118).

6. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende crear una superficie de preparación mínima virtual.

30 7. Método según la reivindicación 6, en el que la superficie de preparación mínima virtual del diente se determina a partir de la restauración dental objetivo virtual (1141).

8. Método según la reivindicación 6 ó 7, en el que la superficie (320, 420, 920) de validación virtual se basa en la superficie de preparación mínima virtual.

35 9. Método según la reivindicación 6, 7 u 8, en el que la superficie (524, 624, 724, 1124) de guía de preparación virtual se crea conectando virtualmente la superficie de preparación mínima virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118).

10. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la superficie (524, 624, 724, 1124) de guía de preparación virtual se crea al menos en parte mediante una suma Booleana de la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118) y la superficie (320, 420, 920) de validación virtual.

40 11. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el método comprende generar una superficie (422) de conexión configurada para conectar la superficie (320, 420, 920) de validación virtual y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118).

45 12. Método según la reivindicación 11, en el que la guía (628, 728) de preparación dental es una guía física (628, 728) y el método comprende formar un modelo físico (730) del conjunto de dientes a partir de la superficie (320, 420, 920) de validación virtual conectada y la representación digital 3D del conjunto de dientes restante (318, 418, 918, 1018, 1118), y conformar un material (731) de la guía (628, 728) de preparación dental física según el modelo físico (730) del conjunto de dientes.

50 13. Método según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que la guía (628, 728) de preparación dental es una guía física (628, 728) y el método comprende fabricar la guía (628, 728) de preparación dental física basándose en la superficie (320, 420, 920) de guía de preparación virtual, tal como basándose en una guía de preparación dental virtual generada a partir de la superficie (320, 420, 920) de guía de preparación virtual.

14. Método según la reivindicación 13, en el que se define al menos una apertura en la guía de preparación dental virtual de tal manera que, cuando la guía (628, 728) de preparación dental fabricada se dispone en relación con el conjunto de dientes del paciente, la apertura proporciona acceso a un área por debajo de la guía (628, 728) de preparación dental.
- 5 15. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la guía (1580) de preparación dental es un dispositivo de dos piezas que comprende una primera (1581) y una segunda parte (1582), en las que:
- la primera parte (1581) se forma como una corona temporal y está diseñada para tener una superficie exterior (15811) conformada de manera que se parece a una superficie de diente normal, y una superficie interior (15812) con una forma basada en la superficie de validación virtual;
- 10 - la segunda parte (1582) está diseñada para tener una superficie interior (15822a, 15822b) configurada con vistas a acoplarse a la superficie exterior (15811) de la primera parte (1581), de tal manera que la primera (1581) y la segunda (1582) partes se pueden conectar de manera separable para formar la guía (1580) de preparación dental de dos piezas.

100

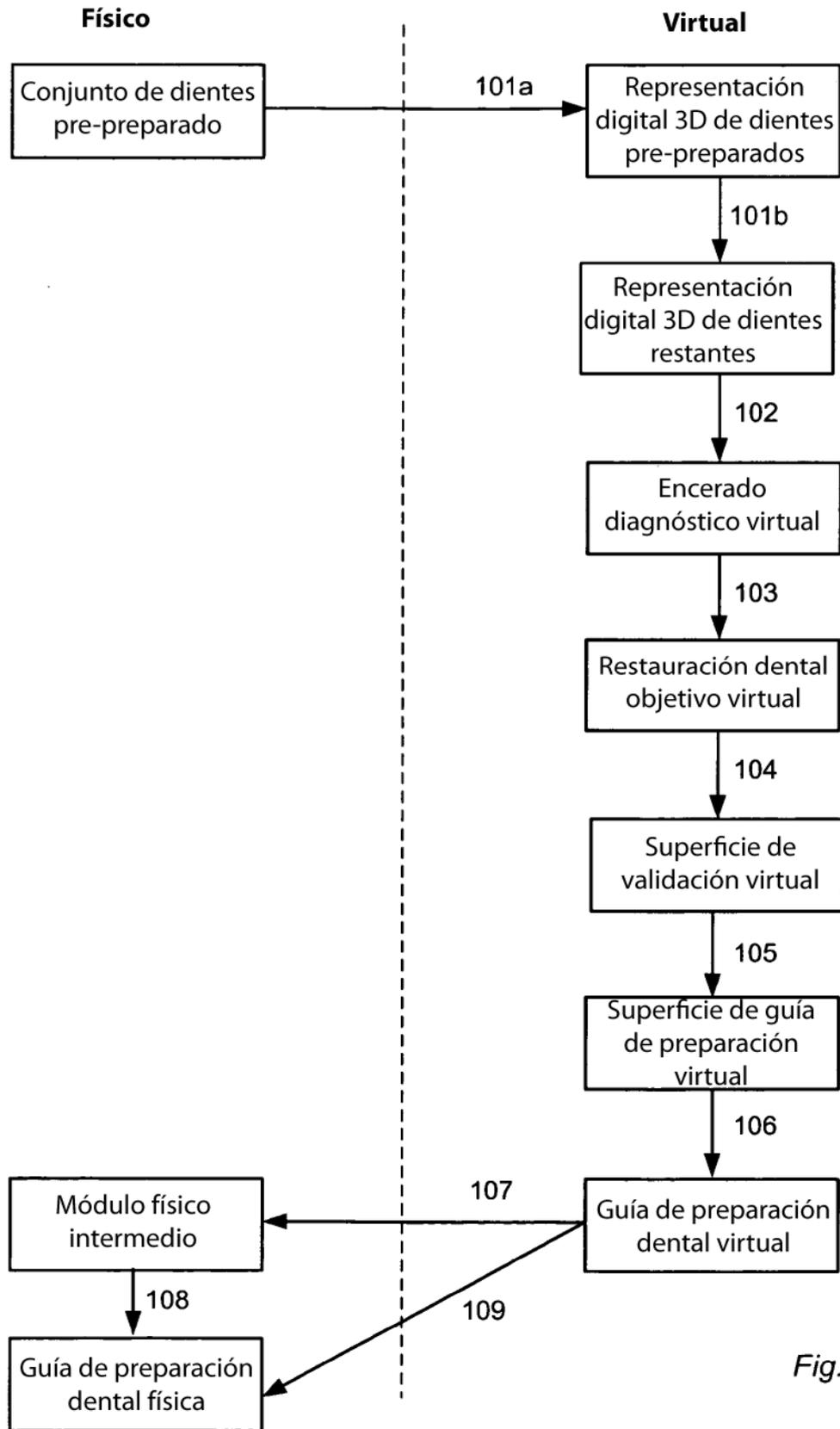


Fig. 1

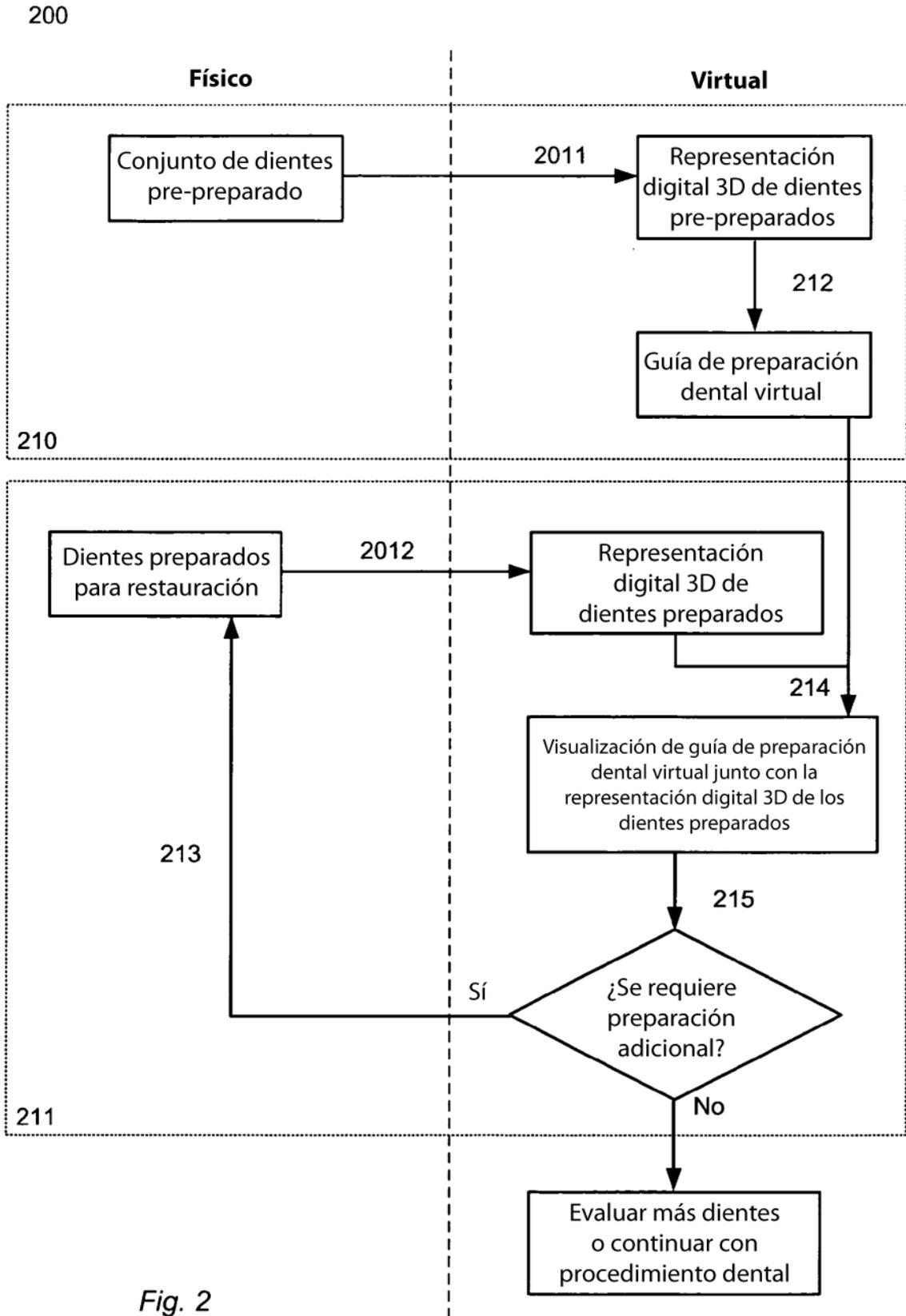


Fig. 3a

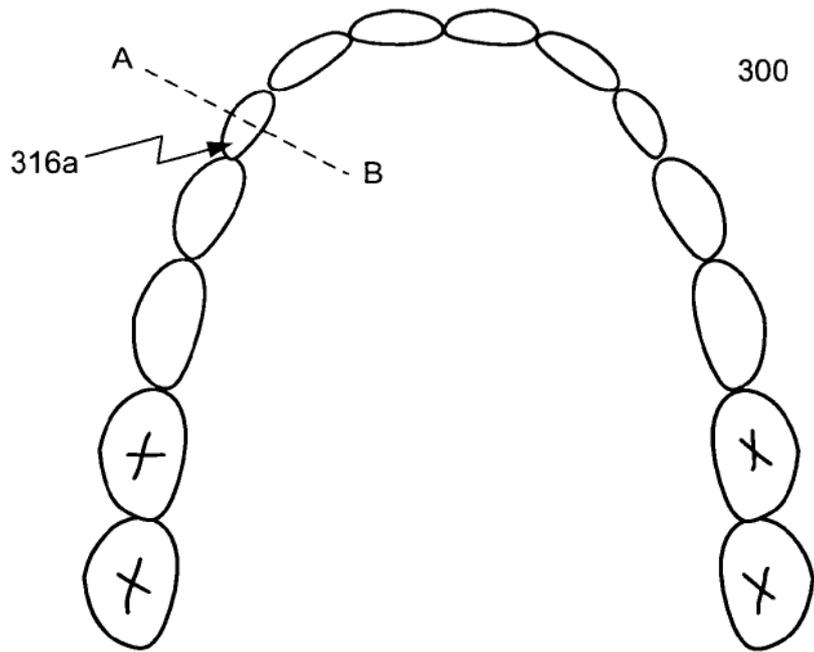
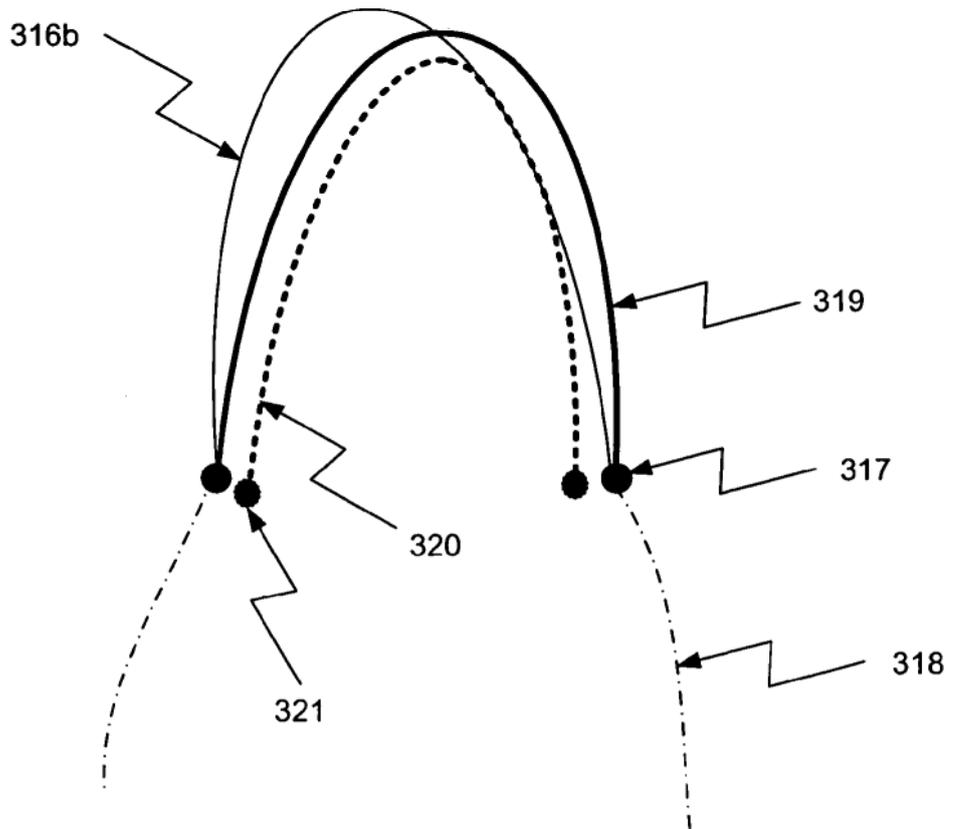
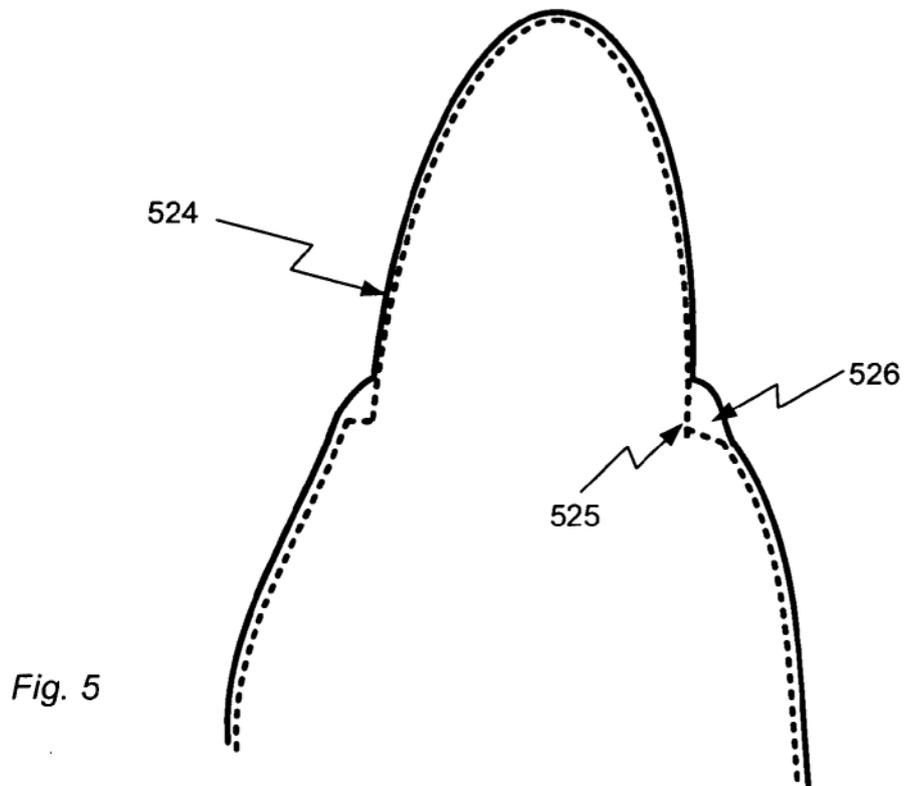
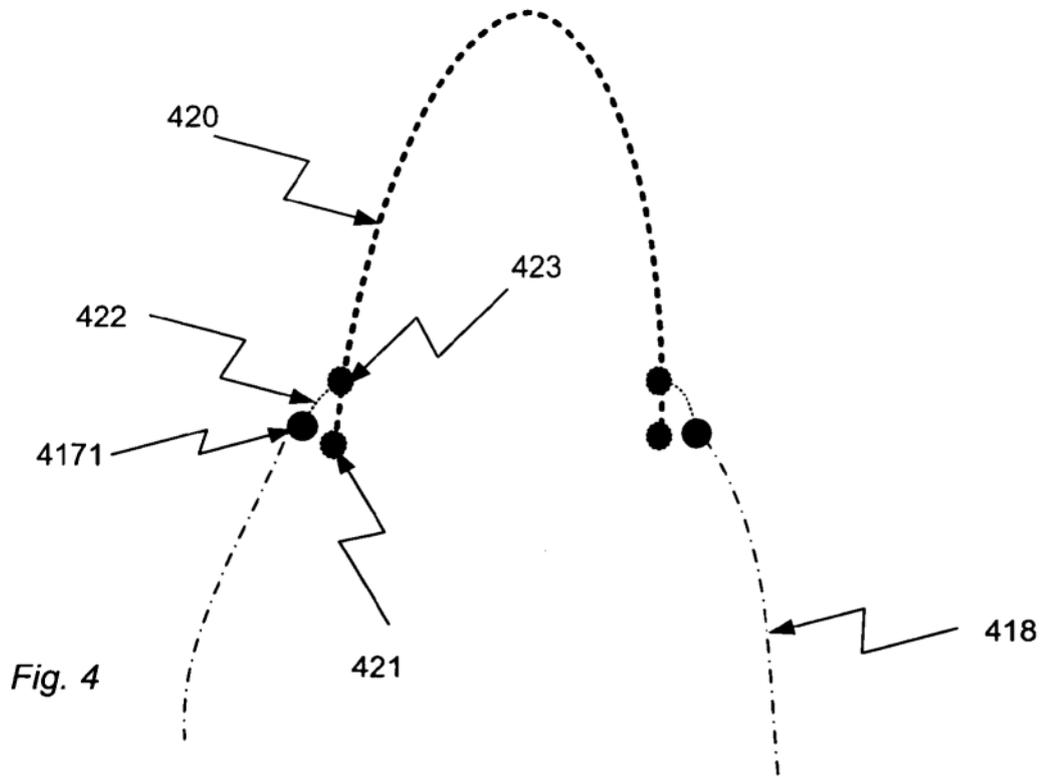


Fig. 3b





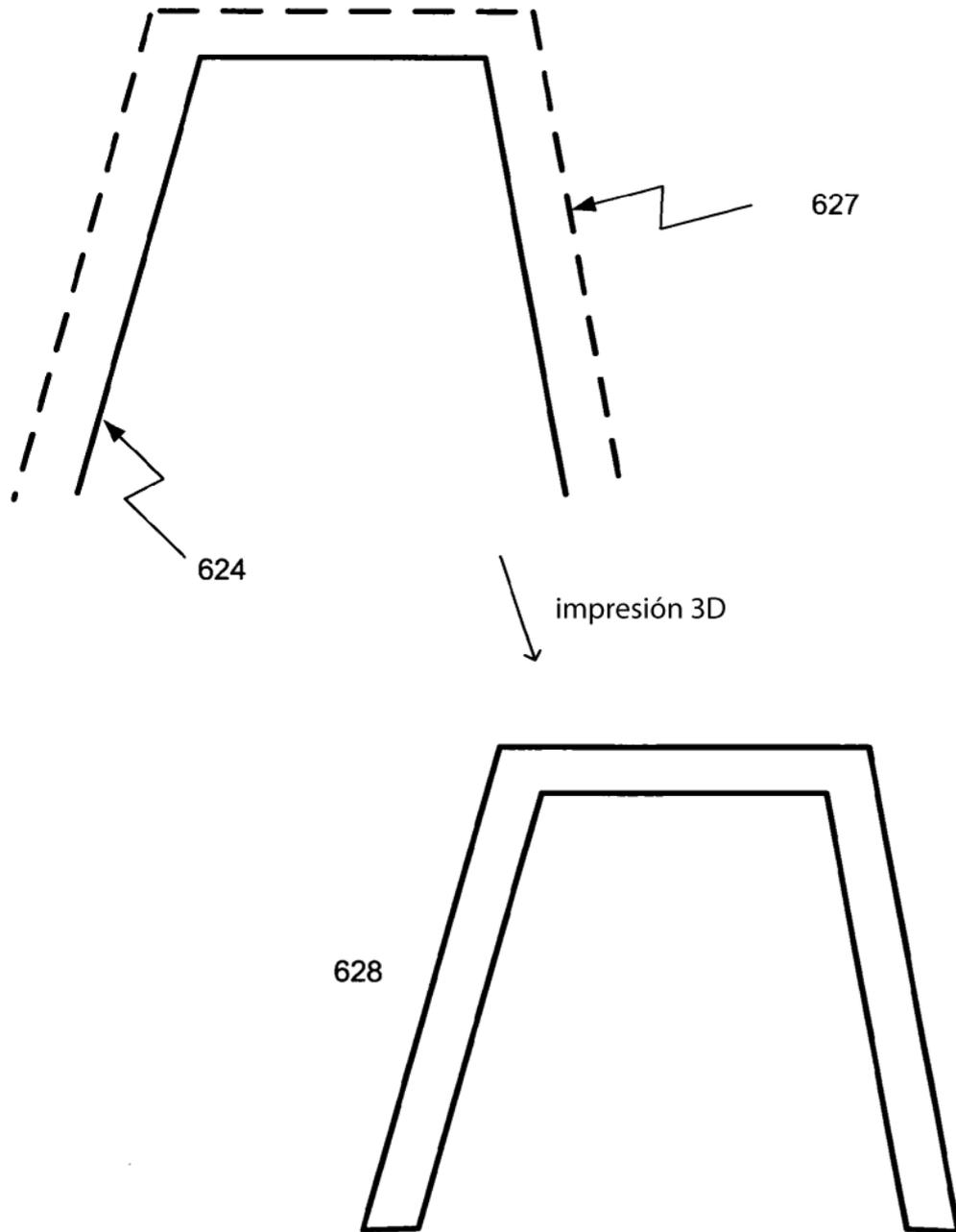


Fig. 6

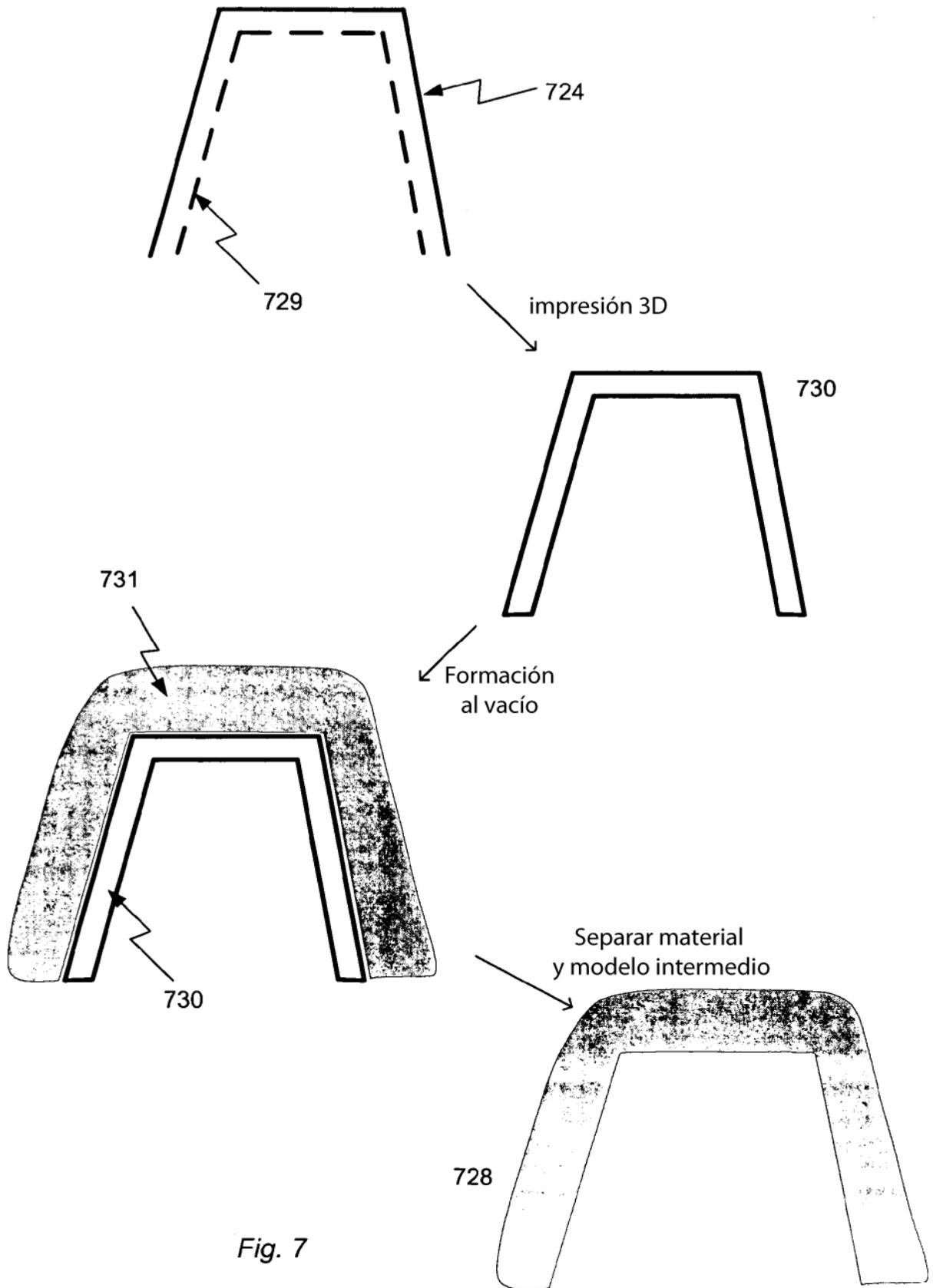


Fig. 7

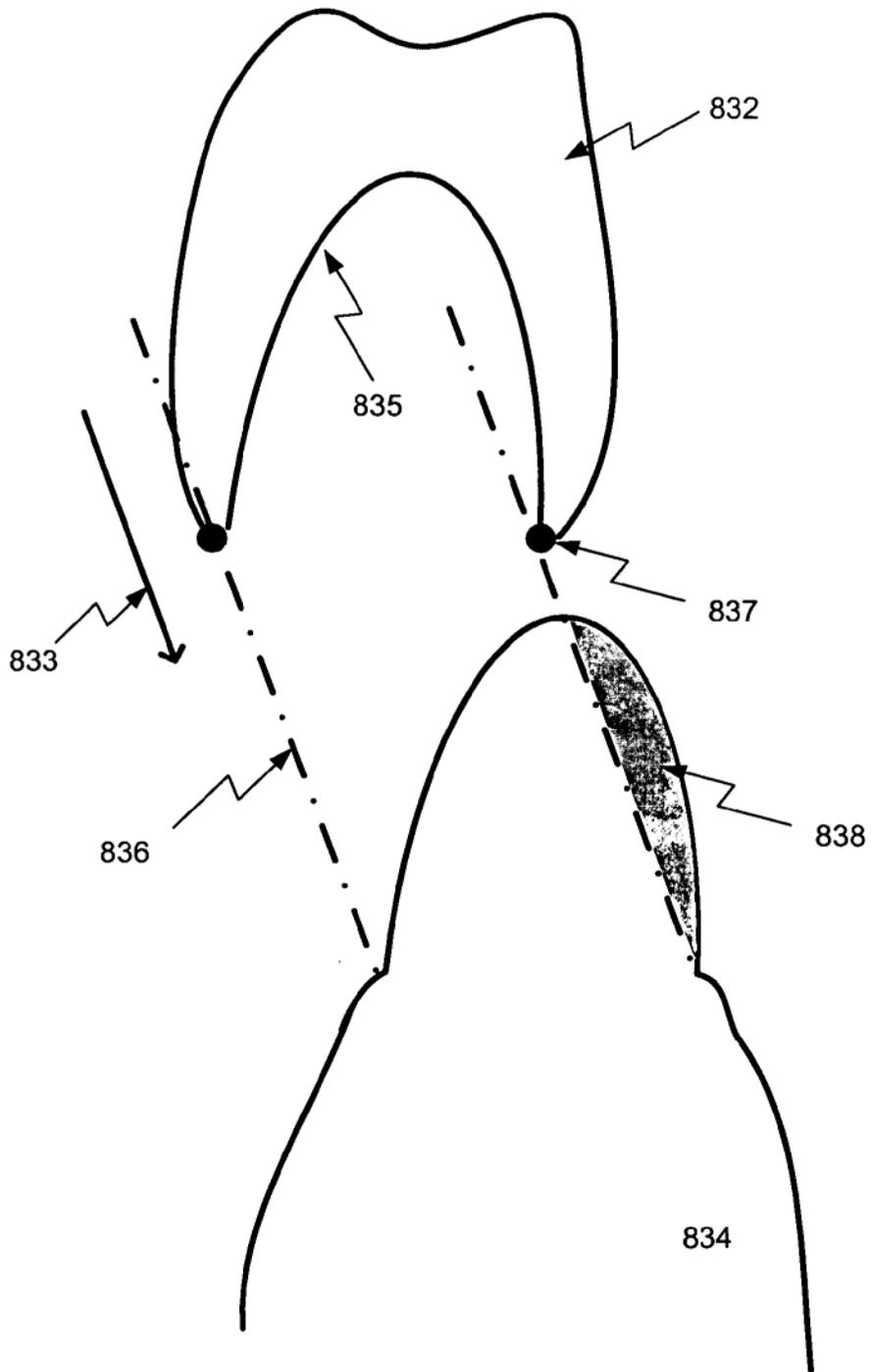
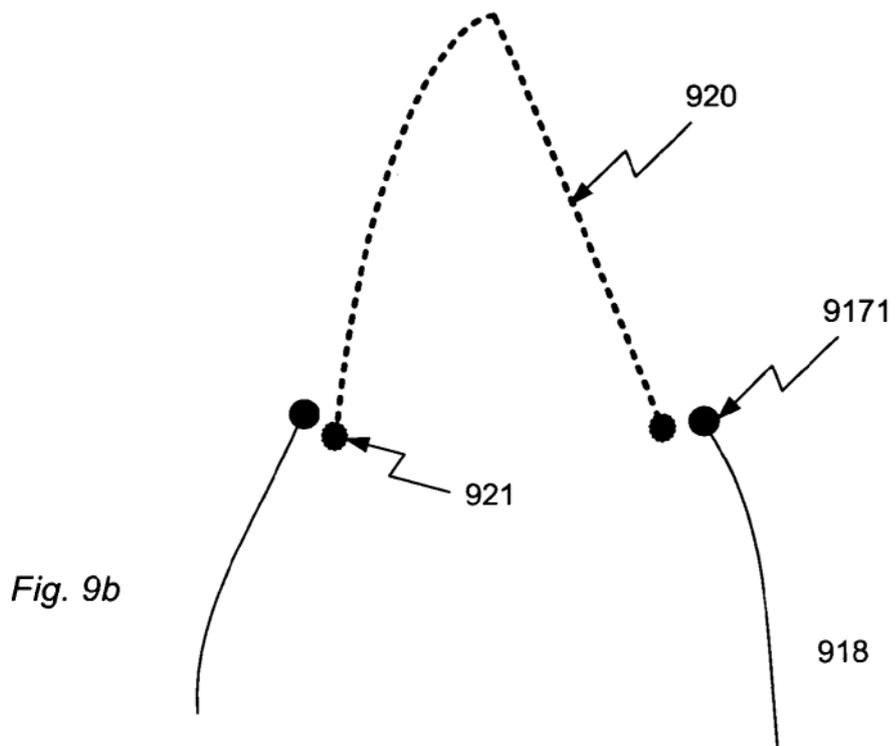
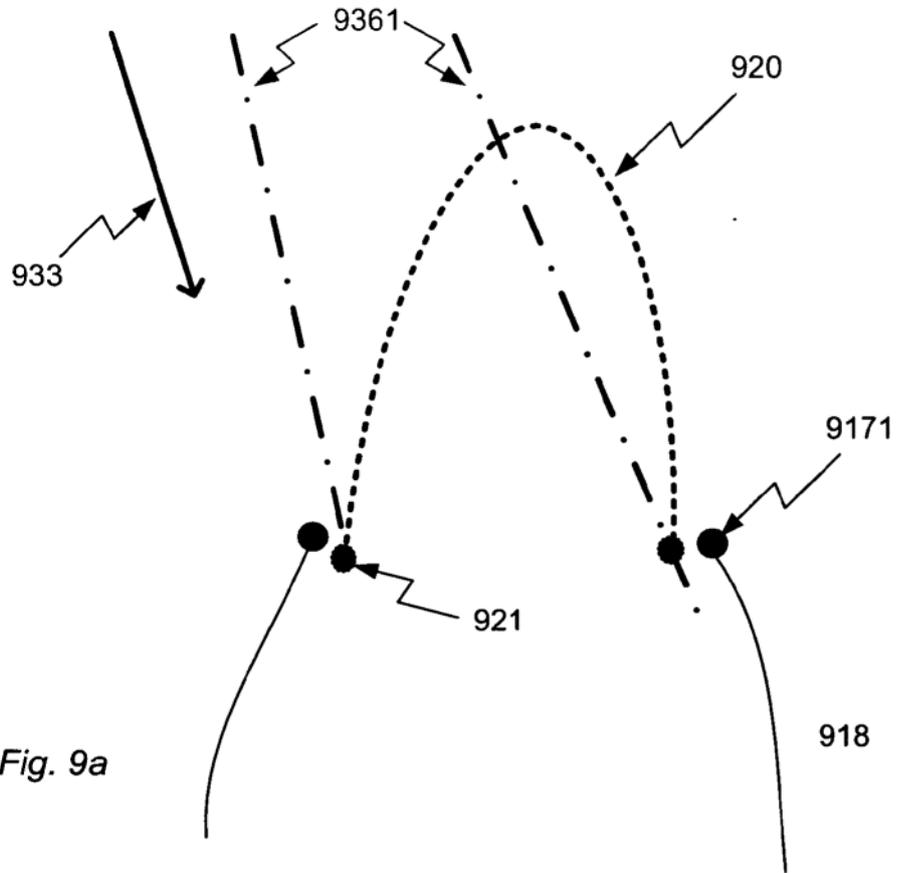


Fig. 8



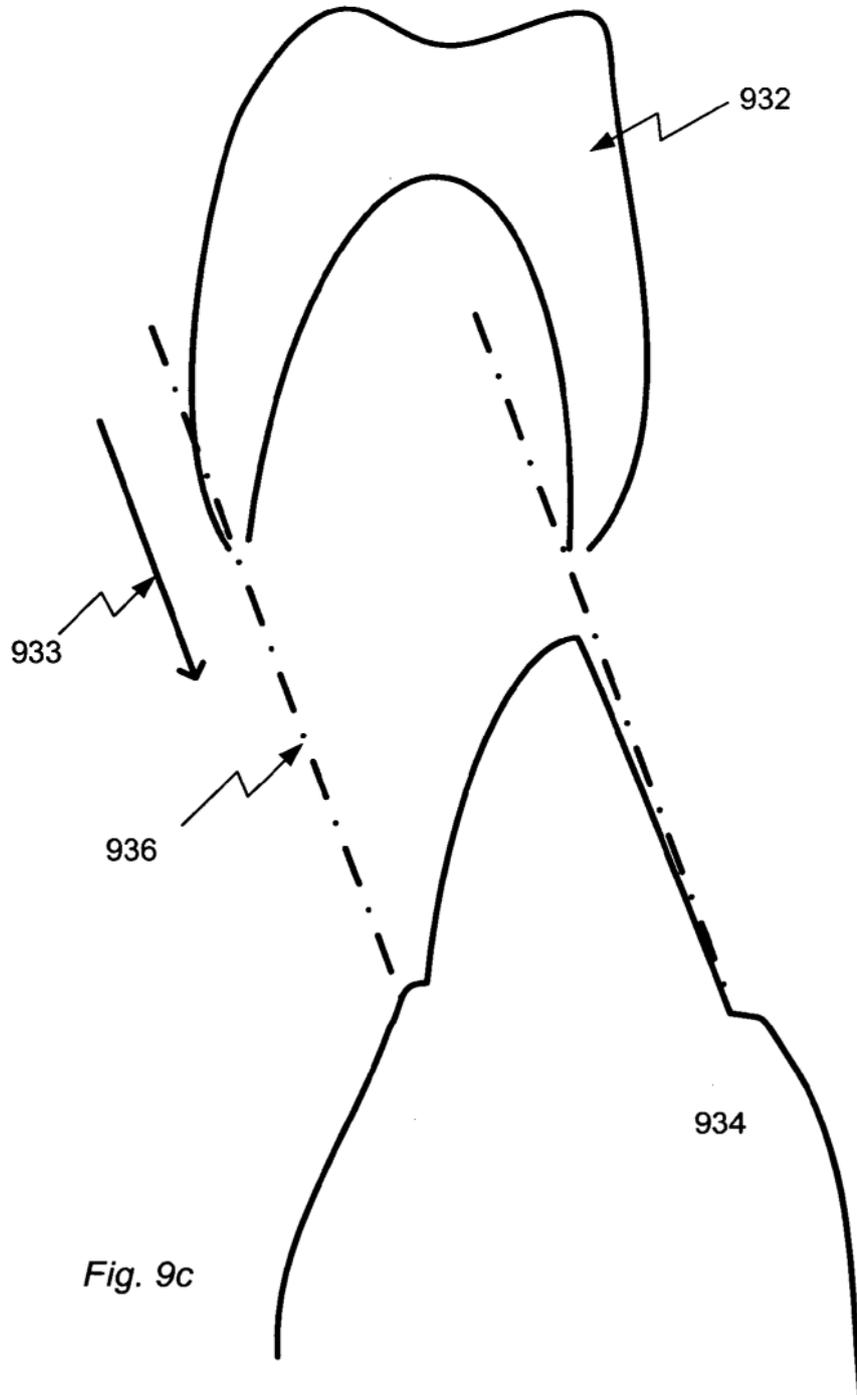


Fig. 9c

Fig. 10a

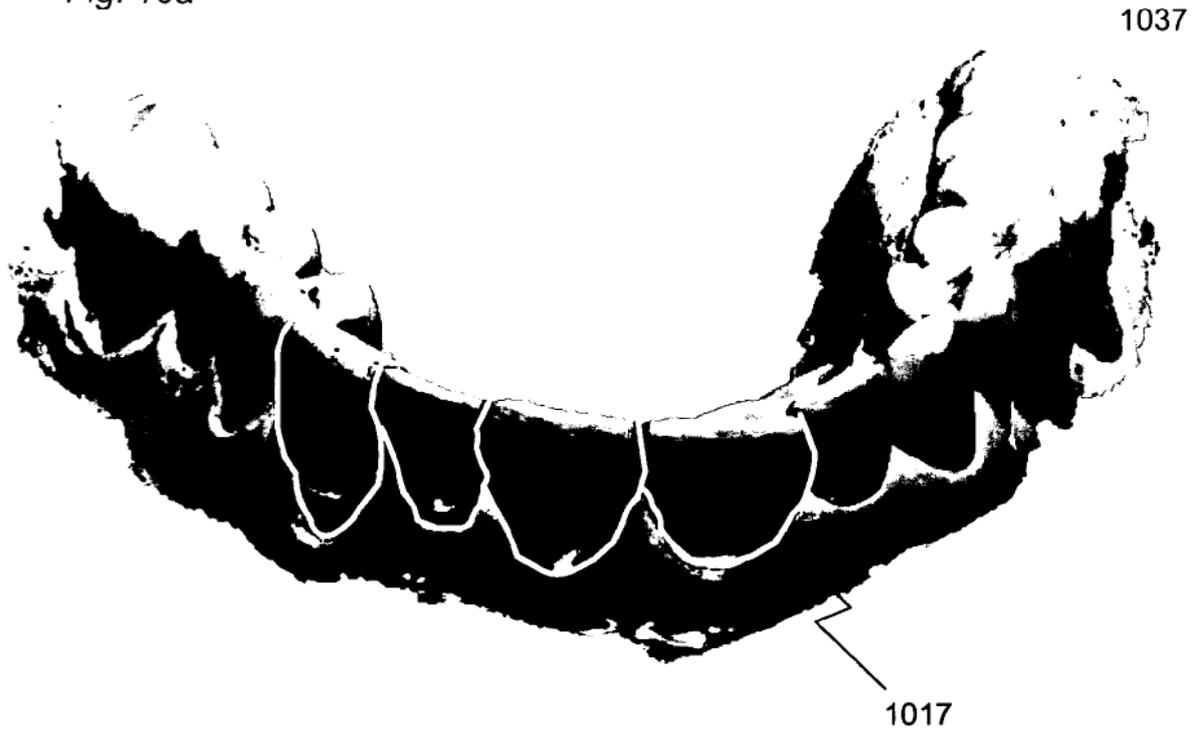


Fig. 10b

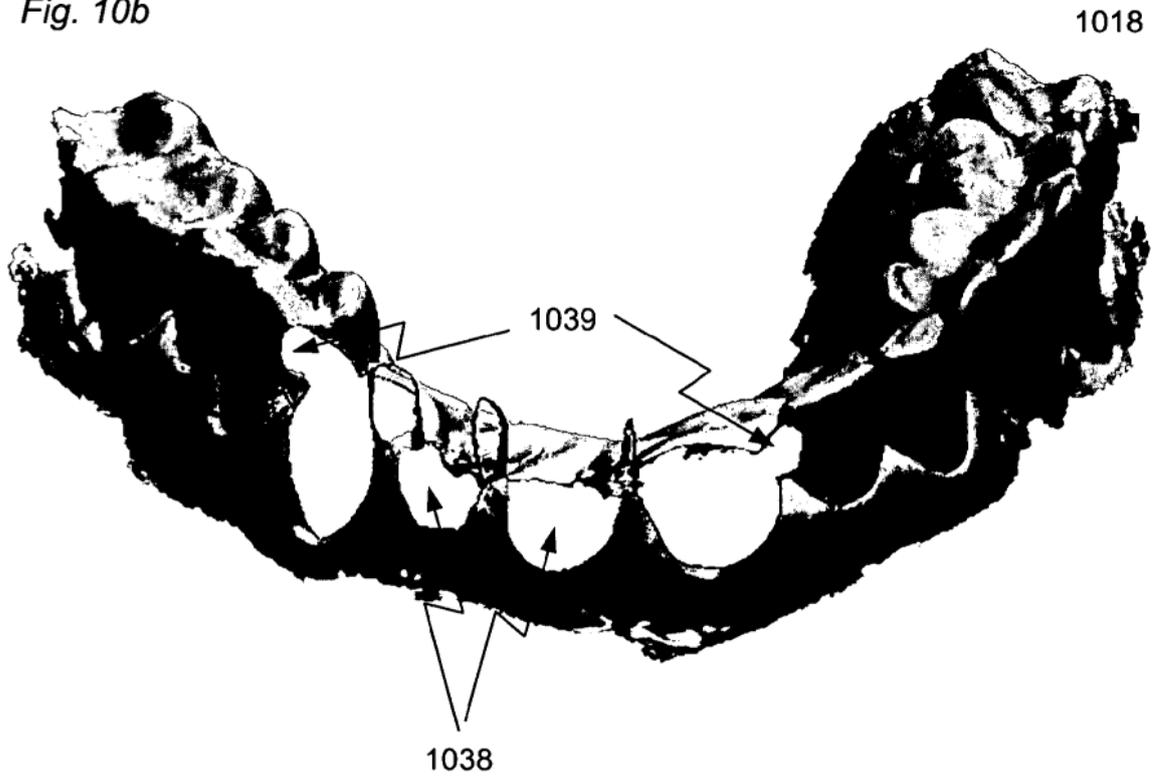


Fig. 11a

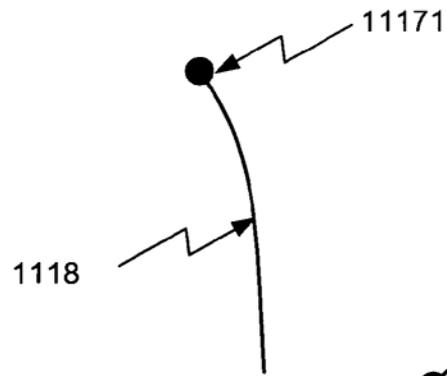
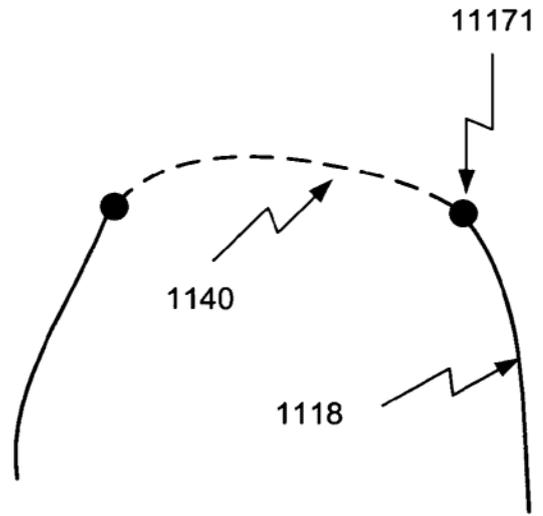
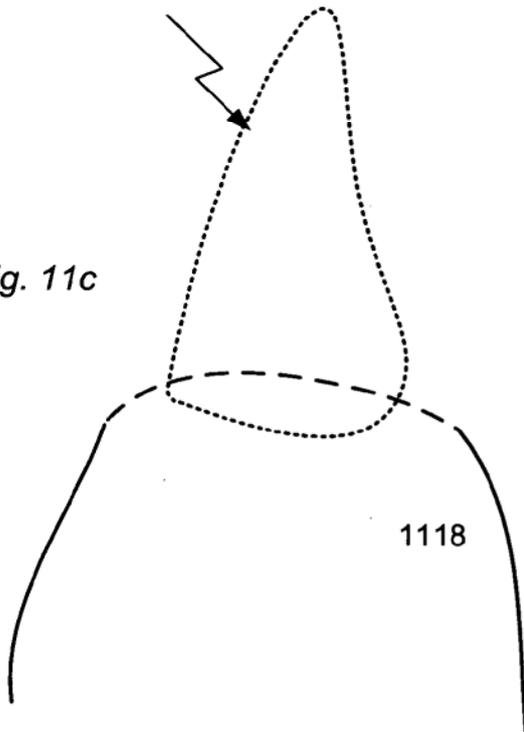


Fig. 11b



1141

Fig. 11c



1118

1124

Fig. 11d

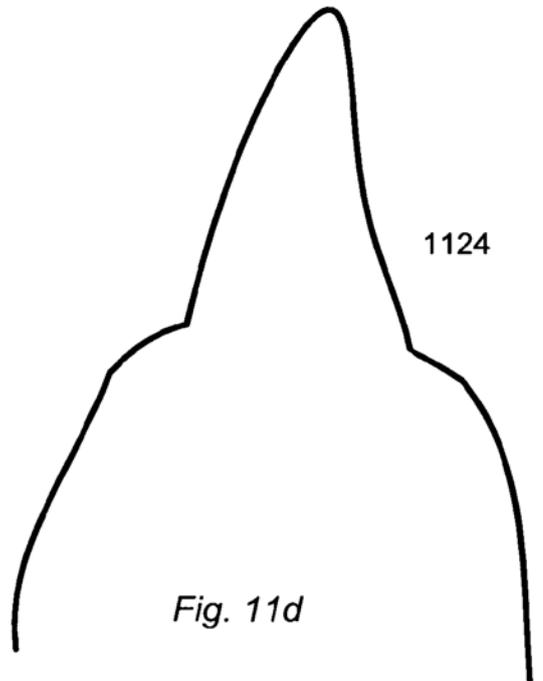


Fig. 12

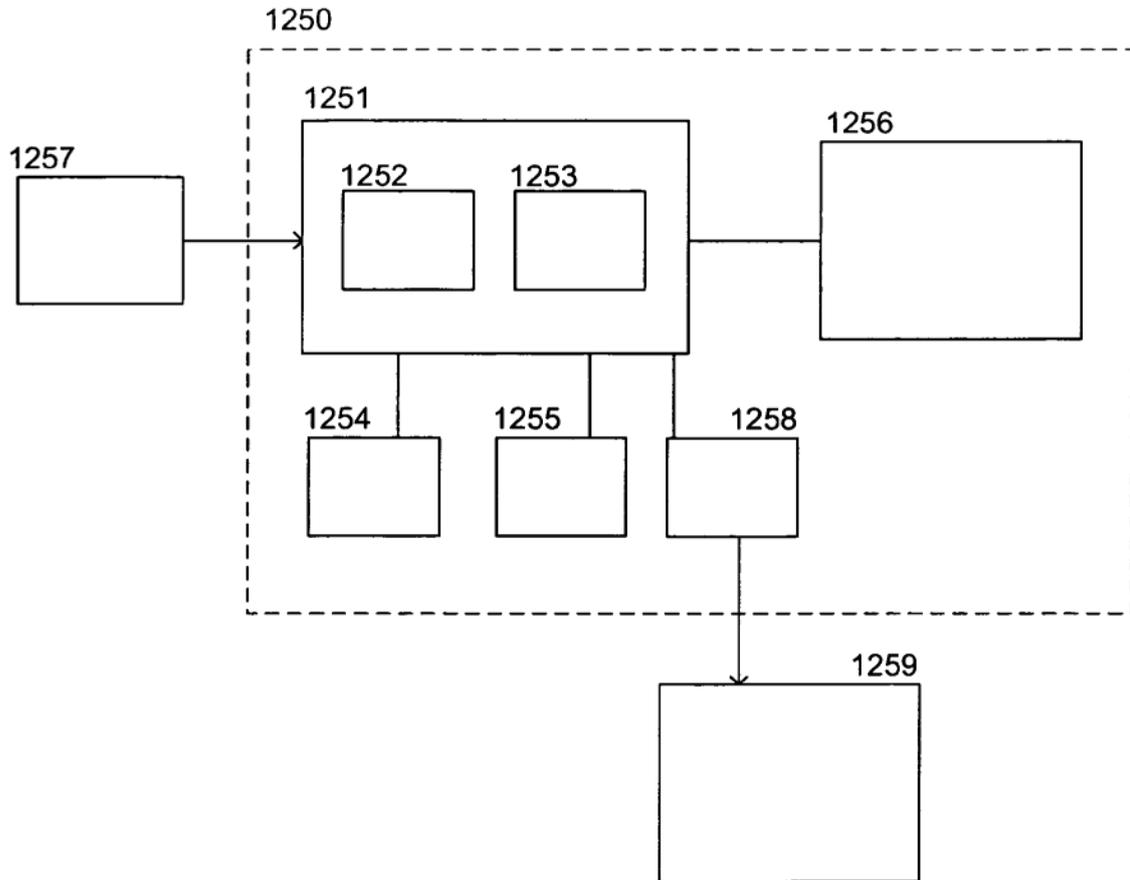
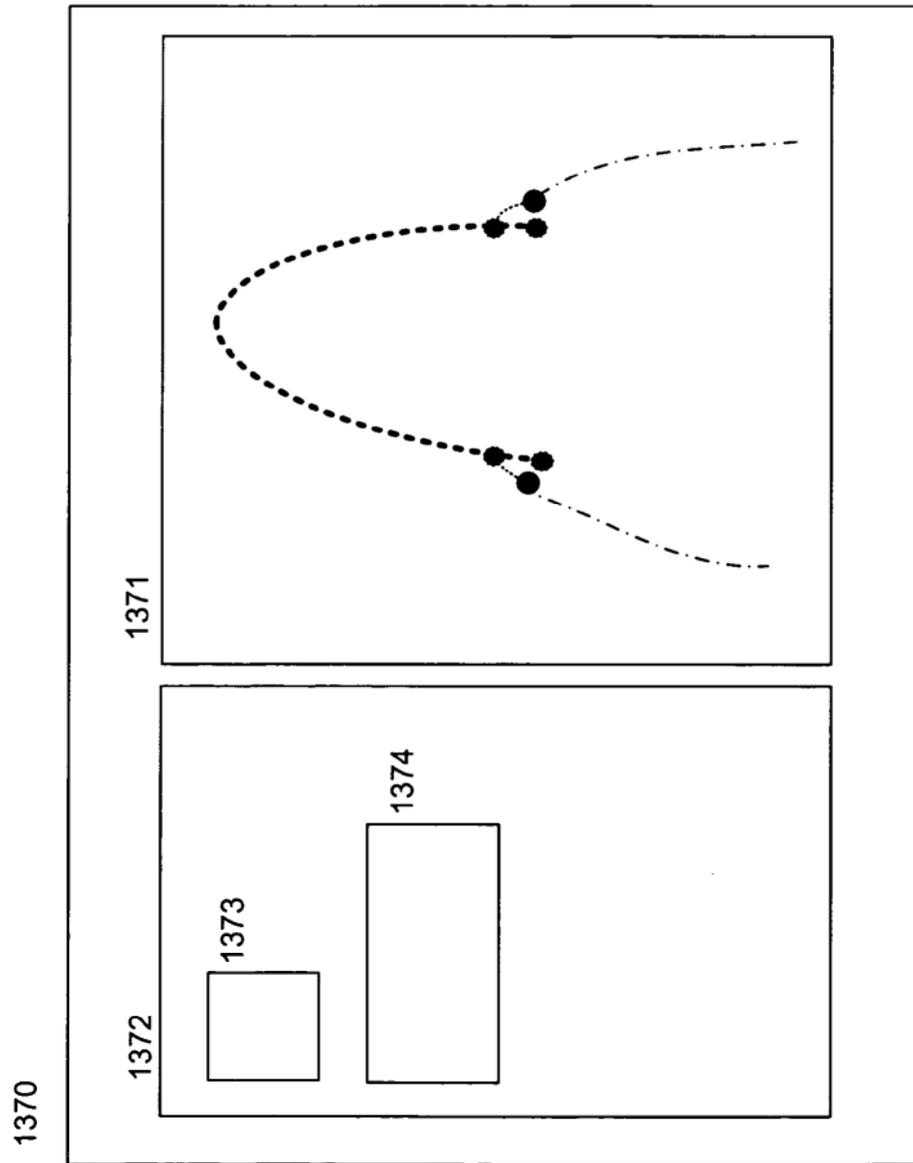


Fig. 13



1400

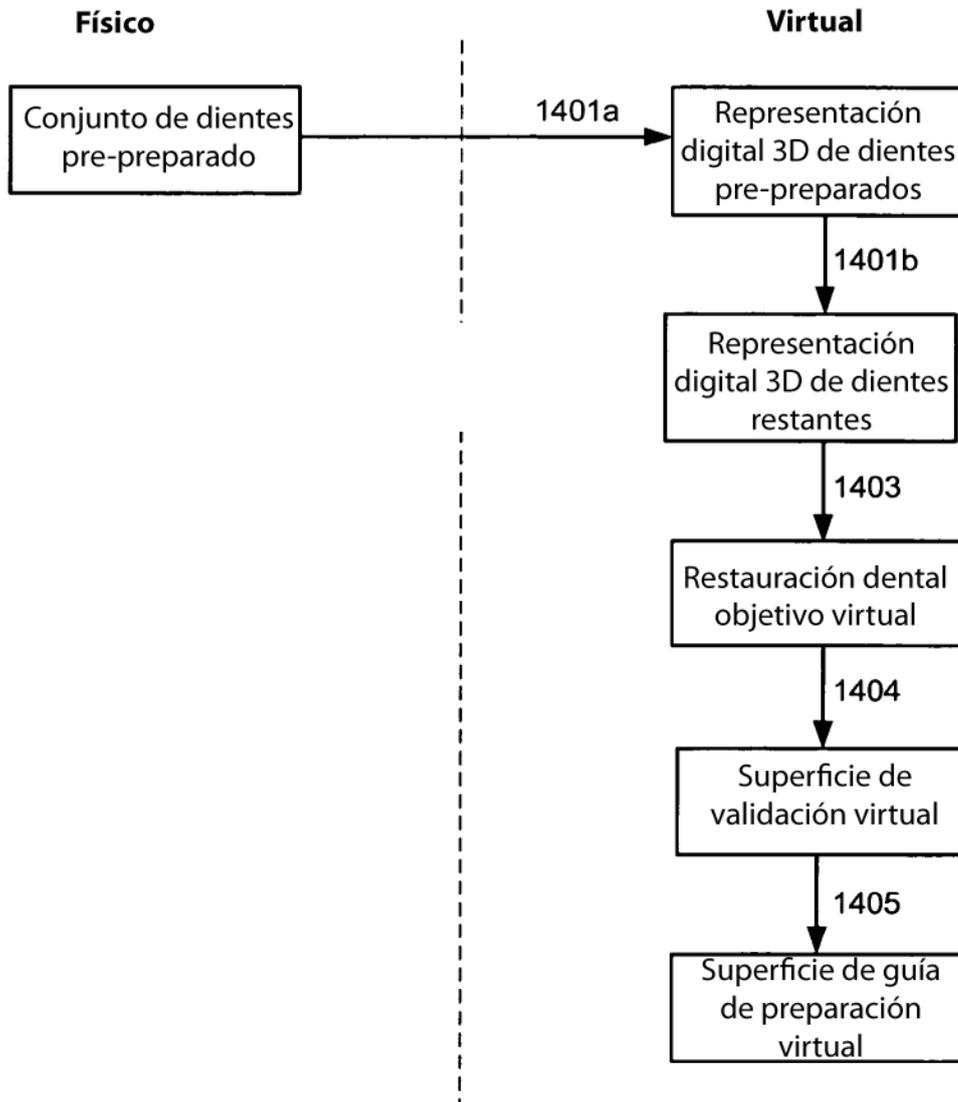
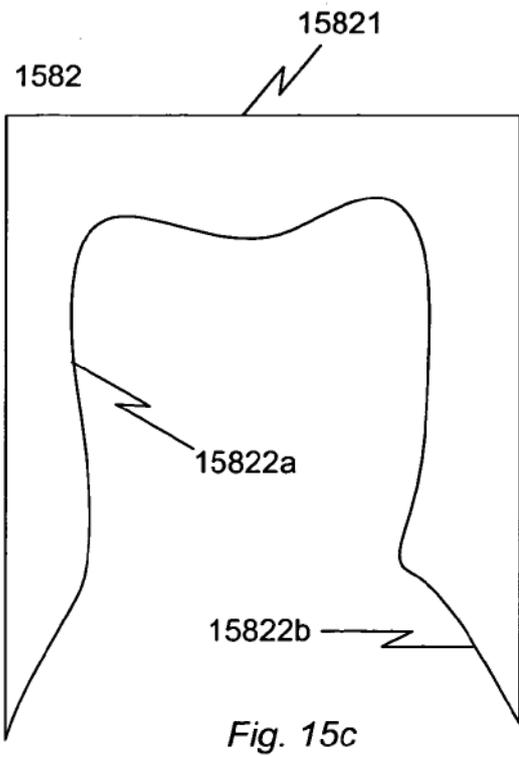
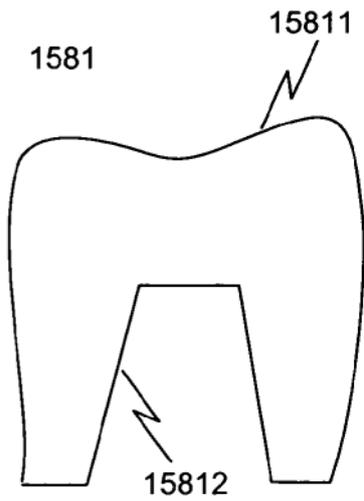
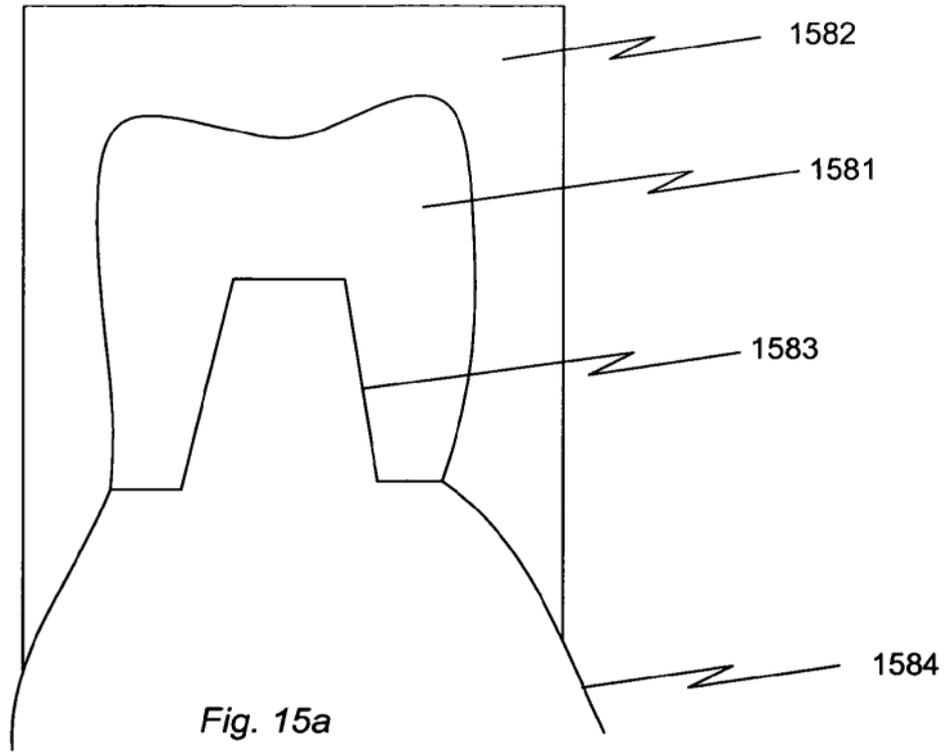
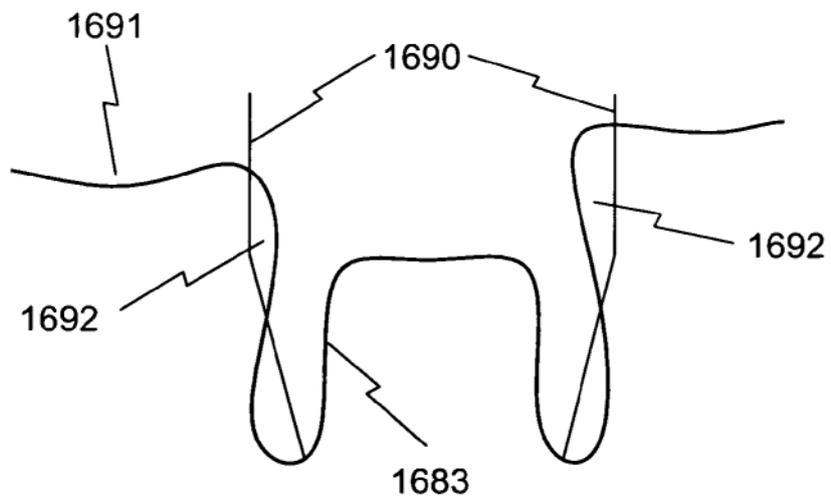


Fig. 14

1580





*Fig.16*

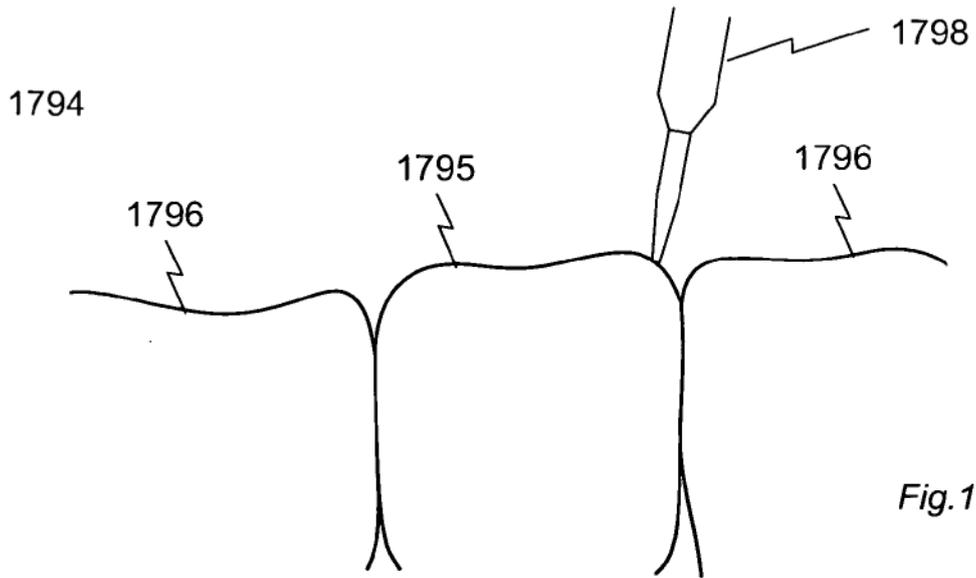


Fig. 17a

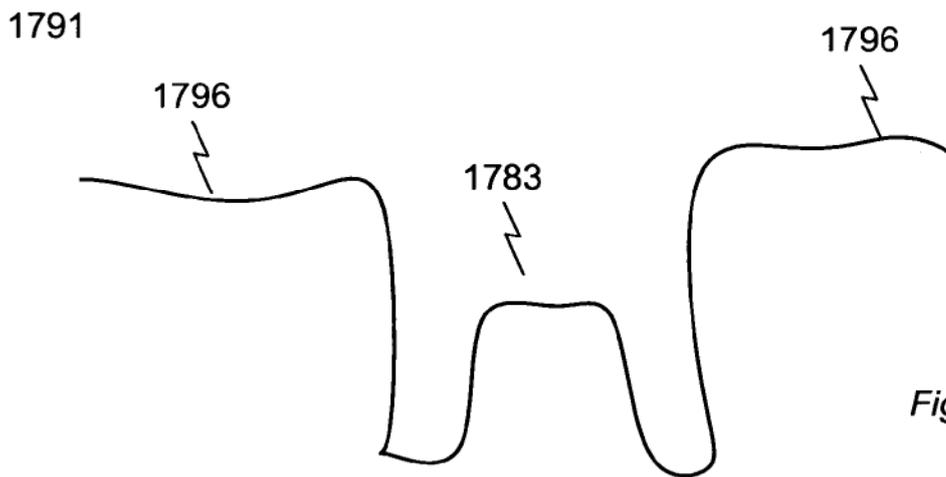


Fig. 17b

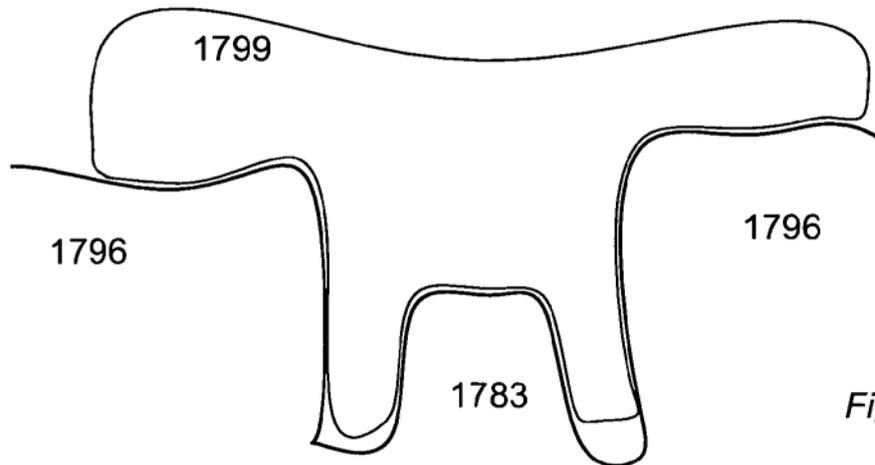


Fig. 17c