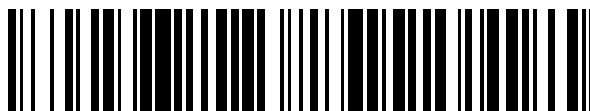


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 378 060**

51 Int. Cl.:

H04R 1/10 (2006.01)

A61F 11/00 (2006.01)

G06T 17/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02702231 .8**

96 Fecha de presentación: **01.03.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1368986**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **10.12.2003**

54 Título: **Procedimiento para modelar piezas auriculares personalizadas**

30 Prioridad:
02.03.2001 DK 200100346
13.03.2001 US 275112 P
28.03.2001 DK 200100519
17.10.2001 DK 200101521

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
04.04.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
04.04.2012

73 Titular/es:
3SHAPE A/S
HOLMENS KANAL 7,4.SAL
1060 COPENHAGEN, DK

72 Inventor/es:
FIKKER, Rune;
CLAUSEN, Tais;
BARTHE, Christophe, Vasiljev y
DEICHMANN, Nikolaj

74 Agente/Representante:
Arias Sanz, Juan

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).

ES 2 378 060 T3

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para modelar piezas auriculares personalizadas

Campo técnico de la invención

La presente invención se refiere a un procedimiento de modelado controlado por ordenador de piezas auriculares personalizadas. Estas piezas auriculares incluyen alojamientos para audífonos, dispositivos de comunicaciones inalámbricas o cableadas (cascos, teléfonos móviles, agentes personales), altavoces, dispositivos de enmascaramiento del acúfeno, dispositivos que registran vibraciones en el cráneo y que las transforman en señales de audio, dispositivos de reconocimiento de voz, protectores auditivos, bloqueadores del ruido con frecuencias o niveles de sonido selectivos, productos de interfaz hombre-máquina (MMI) que permiten una clara comunicación incluso en los ambientes más ruidosos, o productos relacionados con aplicaciones inalámbricas de Internet. Todas estas piezas auriculares pueden llevarse en el meato y/o el canal auditivo del usuario. La invención también se refiere a un sistema informático para la fabricación de tales piezas auriculares personalizadas. En particular, la invención está dirigida a un sistema informático que modela una pieza auricular basándose en una réplica tridimensional del meato y/o el canal auditivo del usuario. El sistema también proporciona una pluralidad de operaciones y modificaciones que se llevan a cabo en la reproducción.

Antecedentes de la invención

Muchas aplicaciones existentes, tales como alojamientos de tipo 'en el oído' (ITE), 'en el canal (ITC) o 'completamente en el canal (CIC) para audífonos y dispositivos de comunicaciones personales (teléfonos móviles o cascos) requieren la reproducción de partes específicas de geometría compleja. En estas aplicaciones, las partes son únicas y requieren un ajuste altamente preciso de la parte de repuesto. Por ejemplo, se requiere una precisión submilimétrica para los alojamientos de audífonos de tipo ITE, ITC o CIC; en caso contrario, el alojamiento provocará molestias, retroalimentación, así como irritación y una posible infección en la epidermis del canal auditivo.

Los procedimientos existentes para modelar y fabricar alojamientos personalizadas para audífonos son procesos muy largos y tediosos. Generan incertidumbre con respecto a la calidad del producto terminado. El proceso implica normalmente la creación de una impresión del canal auditivo del usuario. Esta impresión debe ajustarse manualmente, creándose un molde que reproduce el meato del usuario a partir de la impresión, ya sea en yeso, gel o resina de silicona. Se produce una resina sintética líquida polimerizable, que se vierte en el molde y se polimeriza al menos parcialmente. Si el producto deseado es una carcasa para un alojamiento de audífono ajustado de manera individual, gran parte de la resina sintética líquida debe sacarse del molde antes de que se polimerice completamente. La carcasa resultante se pule a la forma y apariencia deseadas. Los componentes deben introducirse manualmente dentro de la carcasa; esta operación genera problemas normalmente, ya que la carcasa se ha diseñado sin tener en cuenta debidamente la forma y el tamaño de los componentes.

Técnica anterior

Los documentos US 5.121.333, US 5.121.334, US 5.128.870, US 5.184.306, US 5.027.281 y US 5.257.203 (REGENTES DE LA UNIVERSIDAD DE MINESOTA) describen un procedimiento y aparato para la reproducción automatizada de objetos tridimensionales de geometría compleja y única. Un ordenador adquiere datos que describen un objeto y sus inmediateces, construye un modelo tridimensional informatizado del objeto a partir de los datos, superpone una geometría ideal sobre el modelo informatizado, altera la geometría ideal para ajustarse a la forma y función requeridas de la reproducción y después guía una máquina de fresado en la fabricación de la reproducción.

El documento WO 00/34739 (FAGAN ET AL.) se refiere a un procedimiento para fabricar carcasas de audífonos que implica la utilización de un cabezal de sonda ultrasónica especialmente adaptado para medir de manera segura los contornos del canal auditivo sin hacer contacto con la superficie que está midiéndose. La grabación de los datos del canal auditivo se hace posible llenando el canal con un líquido e introduciendo la sonda ultrasónica. Los datos del escaneado se procesan por un ordenador y se utilizan con un sistema de prototipado rápido, tal como estereolitografía, sinterización selectiva por láser, modelado de objetos laminados, modelado por chorro de tinta, modelado por deposición fundida, 3DP o cualquier otro sistema que produzca modelos reales a partir de modelos matemáticos informatizados para la fabricación de la carcasa de audífonos.

El documento EP 0 516 808 (TØPHOLM & WESTERMANN APS) se publicó como el documento WO-A-92/11737 y se refiere a un procedimiento de fabricación asistida por ordenador de productos otoplásticos que se adaptan de manera individual a los contornos del canal auditivo. Según el procedimiento descrito, se utiliza una representación digital de los contornos internos del canal auditivo para la producción de una carcasa de audífono, y la representación digital se utiliza para obtener un modelo informático que puede utilizarse para la localización manual de los componentes del audífono y para definir el grosor de las paredes de la carcasa.

El documento US 5.056.204 (ASCOM AUDIOSYS AG) se refiere a un procedimiento para el fresado de audífonos, mediante el cual los contornos internos del canal auditivo se registran mediante un aparato láser ubicado fuera del oído del usuario.

El documento JP09103000A2 (RION CO LTD) describe un procedimiento para la producción de carcasas para audífonos insertados en el oído, mediante el cual se utiliza un instrumento de medición de formas tridimensionales para medir directamente la información de forma del meato auditivo externo o se utiliza un modelo de oído muestreado usando un elemento de sellado. Después, la información de forma y la información sobre la forma de los componentes que han de integrarse en una carcasa de audífono se introducen en un ordenador, decidiéndose una forma externa o una forma interna de la carcasa de audífono. Después, los datos de forma tridimensional de la forma externa o interna decidida por el sistema informático se introducen en un dispositivo de moldeo óptico y la carcasa de audífono se produce directamente mediante un procedimiento de moldeo óptico.

El documento WO 01/05207 (PHONAK AG) da a conocer un procedimiento para la producción de productos otoplásticos, mediante el cual se toma una impresión de la forma del canal auditivo individual para producir carcasas de audífonos implantados en el oído que están adaptados de manera muy precisa a la forma individual del canal auditivo, produciéndose una carcasa de audífono mediante un proceso de fabricación aditivo tal como sinterización por láser, estereolitografía o un proceso de chorro de gases calientes controlado por los datos relativos a la forma. La descripción no proporciona información sobre cómo modelar los productos otoplásticos, incluyendo la colocación de los componentes.

El documento JP 11 337845 da a conocer un procedimiento para proporcionar un endoscopio con la capacidad de observar la forma interna de un objeto de observación y transformar imágenes bidimensionales en un modelo con una forma tridimensional. No se describe su aplicación en el modelado y optimización de piezas auriculares.

El documento EP 0 490 848 da a conocer un procedimiento para producir una copia tridimensional de un objeto para su aplicación en la producción de dientes artificiales o un implante. La copia puede modificarse para conseguir, por ejemplo, la adición de material perdido respecto al original. Sin embargo, no se describe la optimización de la forma o la adaptación óptima para la introducción de los componentes eléctricos en el objeto producido.

El documento EP 1 062 916 da a conocer un procedimiento para determinar de manera precisa la forma, el material inicial y la inclinación de un tope con respecto a un implante dental. Esto se obtiene a partir de un modelo 3D obtenido escaneando una impresión de la boca. No se describe la aplicación del diseño optimizado de piezas auriculares o la colocación de componentes dentro de una cavidad optimizada del dispositivo producido.

La mera colocación de los componentes (como se menciona en el documento EP 0 516 808, TØPHOLM & WESTERMANN APS) o la mera eliminación de partes del modelo 3D original solo proporcionan débiles indicaciones de la pieza auricular completa y, posiblemente, el resultado tendrá poca calidad. Además, estos procedimientos de la técnica anterior no indican cómo modelar piezas auriculares complejas con más características.

Aunque en la técnica anterior se mencionan conceptos para el modelado asistido por ordenador y la posterior fabricación directa de piezas auriculares personalizadas, especialmente alojamientos de audífonos, ninguna de las referencias mencionadas anteriormente da a conocer directamente etapas u operaciones que puedan requerirse en el proceso de modelado de tales piezas auriculares personalizadas. Por lo tanto, existe la necesidad de un procedimiento y/o la provisión de una o más de tales etapas u operaciones que puedan utilizarse con el fin de optimizar el modelado y la producción de piezas auriculares personalizadas. Un procedimiento y/o sistema de este tipo se proporcionan según la presente invención.

Resumen de la invención

La Figura 5 muestra una visión global de cómo puede realizarse o controlarse por ordenador el tedioso proceso manual, dando lugar a una producción más rápida, más económica y con una mayor calidad acústica y física. El proceso consiste en tres etapas principales: escaneado 3D de la impresión/oído, modelado 3D virtual de la pieza auricular y, finalmente, la fabricación. La invención se refiere principalmente al modelado 3D del modelo 3D original obtenido mediante el escáner, como se ilustra en la Figura 10.

La invención permite la creación virtual de una pieza auricular completa colocando los componentes pertinentes en relación con el modelo 3D utilizando control de colisiones, eliminando las partes no deseadas del modelo 3D y formando una superficie que conecta los componentes y el modelo 3D. La creación de la pieza auricular completa facilita una verdadera evaluación de las propiedades de la pieza auricular final, por ejemplo propiedades visuales y acústicas y espacio para los componentes teniendo en cuenta las restricciones impuestas por todas las superficies. Además, la creación virtual de las piezas auriculares completas permite la fabricación física de las piezas auriculares completas eliminando un gran número de operaciones de posprocesamiento manuales costosas.

Según un primer aspecto de la presente invención se proporciona un procedimiento de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal y/o un meato auditivo, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

a) obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

b) disponer inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

c) disponer inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna, siendo dicha parte interna la parte del modelo 3D que está más cerca del meato,

d) formar inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente y la parte interna del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

e) llevar a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente, comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente en relación con una o más partes del modelo 3D y/u otros componentes, y

f) ajustar la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

Un corte inicial para dividir el modelo 3D en una parte interna y una parte externa no se menciona en ningún documento de la técnica anterior en relación con el modelado 3D asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas. Un corte inicial de este tipo se utiliza en el modelado manual de piezas auriculares basado en impresiones. A diferencia del procedimiento manual, una ventaja importante del procedimiento según la invención es que el corte inicial realizado en el modelo 3D puede optimizarse, ya que puede modificarse durante la etapa de ajuste en función de la etapa de evaluación. Esto no es posible en el modelado manual de piezas auriculares, y la posibilidad de optimizar el corte inicial en el modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas no se menciona en ningún documento de la técnica anterior. El hecho de que el corte inicial puede optimizarse hace que el procedimiento sea más flexible que los procedimientos de la técnica anterior.

Según los procedimientos de la técnica anterior, no hay garantías de que los componentes encajen realmente en la pieza auricular. A diferencia de esto, la presente invención coloca físicamente los componentes en la pieza auricular (en una operación de modelado) para asegurar que haya espacio para los componentes. Según la presente invención, si hay muy poco espacio para los componentes, pueden llevarse a cabo iteraciones adicionales de optimización, puede repetirse el proceso de optimización, puede quitarse material de la carcasa o puede desplazarse la curva/superficie de corte inicial para crear más espacio.

El corte inicial, que divide el modelo 3D en una parte interna y una parte externa, también hace posible visualizar la pieza auricular modelada en un oído virtual. Tal visualización y optimización de su apariencia no se describe en la técnica anterior. La apariencia visual de una pieza auricular es muy importante para la persona que la lleve puesta.

Además, según la presente invención, se proporciona un procedimiento para modelar la pieza auricular 3D completa con todas sus superficies. Los procedimientos dados a conocer en la técnica anterior no describen cómo colocar una superficie de conexión que conecta el modelo 3D con el al menos un componente y, por tanto, no explican un procedimiento para modelar la pieza auricular completa. El hecho de que el modelado completo de una pieza auricular 3D se hace posible mediante la presente invención, también hace posible optimizar las propiedades acústicas de la pieza auricular en el ordenador antes de desarrollar un prototipo y ensamblarlo. El hecho de que la pieza auricular completa puede modelarse también hace posible desarrollar un prototipo de toda la pieza en una operación, eliminando de ese modo la necesidad de ensamblar la pieza a partir de varias piezas, tales como una pieza auricular y una placa frontal. Sin embargo, sigue siendo posible incorporar una placa frontal en el modelado según la presente invención, si se desea.

Todos los modelos 3D, independientemente de si se obtienen escaneando una impresión o escaneando directamente el canal y/o el meato auditivo, necesitan modelar al menos el contorno externo de la pieza con el fin de obtener una pieza auricular completa.

Además, la posibilidad de optimizar la colocación del al menos un componente y la superficie de conexión brinda la posibilidad de optimizar la apariencia visual de la pieza en el oído.

Además, una importante ventaja de la presente invención es que la pieza auricular solo se fabrica (a través de un prototipado rápido) una vez que se haya establecido que todos los componentes de la pieza auricular están situados en la ubicación óptima.

El orden de las etapas del procedimiento según la invención puede ser cualquiera. Ejemplos de órdenes preferidos incluyen, pero sin limitarse a: a) b) c) d) e) f); a) c) b) d) e) f); a) c) b) e) d) f); a) b) e) c) d) f); a) b) c) e) d) f). Un orden preferido es a) b) c) d) e) f), ya que se ha observado que disponer primero el al menos un componente y disponer la curva/superficie de corte con la ayuda del al menos un componente hace posible modelar una superficie de conexión óptima en menos etapas y se consigue normalmente la colocación óptima, o al menos aceptable, de la superficie de conexión en una sola iteración.

El proceso de ajuste puede incluir la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte o la formación de la superficie de conexión, o puede incluir cualquier combinación de la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión. Es preferible que cuando se haya ajustado la disposición del al menos un componente y/o la disposición de la curva o superficie de corte, se ajuste la formación de la superficie de conexión.

Según una realización de la invención, la disposición del al menos un componente en relación con el modelo 3D puede comprender disponer el al menos un componente en relación con una superficie de componente y disponer dicha superficie de componente en relación con el modelo 3D. En este caso, la superficie de conexión puede conectar dicha superficie de componente y dicha parte interna del modelo 3D. Es preferible que la detección de colisiones incluya una detección de colisiones de la superficie de componente en relación con una o más partes del modelo 3D.

La detección de colisiones puede incluir además una detección de colisiones de la disposición mutua de los propios componentes.

En la disposición de los componentes, es preferible que la disposición inicial del al menos un componente en relación con el modelo 3D comprenda disponer al menos parte de los componentes sustancialmente en el interior del modelo 3D.

Debe entenderse que también está dentro de la presente invención hacer que el proceso de evaluación incluya una evaluación de la disposición de la curva o superficie de corte y/o de la superficie de conexión.

Es preferible que la formación de la superficie de conexión se controle o realice por ordenador. También es preferible que la formación de la superficie de conexión comprenda un proceso de solevación, donde el proceso de solevación puede comprender fijar una superficie paramétrica al límite de la parte interna del modelo 3D y al límite de una superficie que defina un límite externo de la disposición de dicho al menos un componente en relación con el modelo 3D. En este caso, el límite externo de la disposición de dicho al menos un componente en relación con el modelo 3D puede definirse por el límite externo de la superficie de componente.

También está dentro de una realización de la invención que la formación de la superficie de conexión comprenda un proceso de empalme del borde o límite de la parte interna del modelo 3D. En este caso, la superficie de carcasa externa del modelo 3D puede proporcionarse mediante una representación de vértices, estando conectados los vértices por triángulos, y el proceso de empalme puede comprender eliminar al menos parte de los triángulos en las inmediaciones en torno a al menos parte de dicho borde y fijar una superficie paramétrica en las inmediaciones del orificio creado por los triángulos eliminados.

Según una realización de la invención, al menos parte de la parte interna del modelo 3D está exfoliada. En este caso, el proceso de exfoliación puede ser parte de un proceso de modelado según la presente invención, y la parte interna exfoliada puede tener una superficie de carcasa interna y otra externa.

Según una realización preferida de la invención, la parte interna del modelo 3D comprende al menos parcialmente una representación de un modelo de una pieza auricular.

En otra realización de la invención, la parte externa del modelo 3D comprende, al menos parcialmente, un modelo de un oído virtual.

Debe entenderse que es preferible que dichas una o más partes del modelo 3D con relación a las cuales puede llevarse a cabo la detección de colisiones, comprendan al menos parte de la parte interna y/o al menos parte de la parte externa del modelo 3D. En este caso, dichas una o más partes del modelo 3D con relación a las cuales puede llevarse a cabo la detección de colisiones, pueden comprender al menos parte de la superficie de carcasa interna y/o al menos parte de una superficie interna del oído virtual.

Según una realización preferida de la invención, la detección de colisiones y el proceso de ajuste pueden repetirse hasta que la detección de colisiones satisfaga un criterio mínimo requerido.

Debe entenderse que la disposición inicial del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte puede llevarse a cabo de varias maneras según la presente invención. Por tanto, la disposición inicial puede llevarse a cabo manualmente o controlarse o realizarse por ordenador. La disposición inicial puede llevarse a cabo utilizando un enfoque basado en características, en el que las características extraídas del modelo 3D obtenido se utilizan para la disposición, o puede llevarse a cabo utilizando un enfoque basado en similitudes, en el que el modelo 3D obtenido se compara con una pluralidad de modelos 3D almacenados de modelos optimizados generados anteriormente.

Cuando se utiliza un enfoque basado en similitudes, un modelo 3D optimizado almacenado puede seleccionarse como el modelo 3D más similar, y la disposición inicial del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte puede seleccionarse sustancialmente igual a la disposición optimizada del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte de dicho modelo 3D más similar. En este caso, la comparación de los modelos 3D y la selección del modelo 3D más similar pueden controlarse o realizarse por ordenador.

También debe entenderse que según la presente invención, el ajuste de la disposición del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte puede llevarse a cabo manualmente o de manera controlada o asistida por ordenador. Un proceso de ajuste controlado o asistido por ordenador puede incluir adicional o alternativamente el ajuste de la formación de la superficie de conexión. El proceso de ajuste de la disposición del al menos un componente, y/o la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión pueden ajustarse hasta que no se detecte ninguna colisión.

Según la presente invención, la detección de colisiones puede llevarse a cabo de varias maneras. Por tanto, la detección de colisiones puede llevarse a cabo mediante la inspección manual del modelo informático tridimensional, o la detección de colisiones puede controlarse o realizarse por ordenador.

5 En una realización preferida de la presente invención puede utilizarse un enfoque basado en reglas para la disposición del al menos un componente y/o la disposición de la curva o superficie de corte. En este caso puede utilizarse una función objeto, $f(v)$. La función objeto puede definirse para expresar la calidad de la disposición del al menos un componente, y/o la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión. La función objeto puede ser una función creciente del número de colisiones detectadas y puede calcularse para cada nueva disposición del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte. Es preferible que la disposición del al menos un componente, y/o la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión puedan ajustarse hasta que la función objeto satisfaga un criterio mínimo dado. En este caso, el criterio mínimo puede ser que la función objeto obtenga un valor mínimo, o que la diferencia en los valores de dos funciones objeto determinadas de manera sucesiva esté por debajo de un valor definido. Cuando se utiliza una función objeto, pueden asignarse diferentes ponderaciones a diferentes colisiones detectadas.

15 Es preferible que la disposición de la superficie de componente y/o la disposición de la superficie de conexión puedan ajustarse sin modificar la disposición del al menos un componente. También es preferible que la disposición del al menos un componente pueda ajustarse sin modificar la disposición de la superficie de componente y/o la disposición de la superficie de conexión.

20 Debe entenderse que la superficie de componente puede adoptar cualquier forma conveniente, por lo que la superficie puede ser una superficie plana o una superficie no plana.

Aunque los componentes pueden estar dispersos en relación con el modelo 3D para no extenderse o para extenderse solo parcialmente hacia la parte interna del modelo 3D, también está dentro de las realizaciones de la presente invención que los componentes puedan estar dispuestos en la superficie interior o interna de la parte interna del modelo 3D.

25 Para modelos 3D que se descascarillen según la presente invención, es preferible que la carcasa del modelo 3D tenga un grosor mínimo predeterminado. Dentro de la presente invención, la carcasa también se genera mediante un proceso de exfoliación controlado o asistido por ordenador. En este caso, el modelo 3D al menos parcialmente exfoliado puede obtenerse a partir de un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos, comprendiendo dicho proceso de exfoliación:

30 desplazar hacia dentro una copia de cada vértice de la superficie de carcasa externa,
eliminar la pluralidad de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que un grosor de carcasa mínimo dado, y
crear una carcasa interna mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

35 Dentro de la presente invención, la superficie o geometría de carcasa interna del modelo 3D también se modifica con el fin de mejorar la resistencia de la carcasa terminada, comprendiendo dicha modificación añadir material adicional a la superficie interna de la carcasa, evitando al mismo tiempo colisiones entre la superficie de carcasa interna modificada y el al menos un componente dispuesto. En este caso, la adición de material adicional a la superficie de carcasa interna del modelo 3D puede llevarse a cabo utilizando una operación lógica, tal como una suma lógica, utilizando una función de transferencia o utilizando un desplazamiento hacia fuera de los vértices que representan la superficie.

40 Una pluralidad de diferentes componentes puede disponerse en relación con el modelo 3D. Tales componentes pueden seleccionarse, por ejemplo, de una lista de componentes, que comprende: componentes electrónicos, dispositivos de batería, salidas a componentes internos, conductos, transductores y logotipos.

45 Con el fin de obtener un modelo 3D final, pueden incluirse etapas adicionales en el proceso de modelado. Tales etapas pueden comprender: disposición de un canal de ventilación en la superficie interior o interna de la parte interna del modelo 3D, una optimización de la apariencia visual, y/o la colocación de un identificador único en la parte interna del modelo 3D.

50 Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un producto de programa informático que incluye un medio legible por ordenador, presentando dicho medio legible por ordenador un programa informático almacenado en el mismo, dicho programa para realizar un modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho programa:

código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna,

- 5 código de programa para hacer que un ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente y la parte interna del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente, comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente en relación con una o más partes del modelo 3D, y

- 10 código de programa para hacer que un ordenador ajuste la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

El producto de programa informático está especialmente adaptado para hacer que un ordenador lleve a cabo las operaciones del procedimiento según el primer aspecto de la invención, y puede comprender además código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo cualquiera de las etapas de cualquiera de las características del procedimiento según la invención.

- 15 El producto de programa informático puede estar en la forma física de un disco duro, un disco flexible, un portador de datos magnético, un ZIP, una tarjeta inteligente, un CD-ROM o un DVD.

- 20 Según un aspecto adicional, la invención se refiere a una señal de datos informáticos representada en una onda de señal, incluyendo dicha señal de datos informáticos un programa informático, dicho programa para realizar un modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho programa:

código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

- 25 código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna,

código de programa para hacer que un ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente y la parte interna del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

- 30 código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente, comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente en relación con una o más partes del modelo 3D, y

código de programa para hacer que un ordenador ajuste la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

- 35 La señal de datos informáticos está especialmente adaptada para hacer que un ordenador lleve a cabo las operaciones del procedimiento según el primer aspecto de la invención y puede comprender además código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo cualquiera de las etapas de cualquiera de las características del procedimiento según la invención.

- 40 Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un sistema de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas, incluyendo dicho sistema una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones informáticas almacenadas en la misma, comprendiendo dichas instrucciones:

instrucciones operativas para hacer que el ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

- 45 instrucciones operativas para hacer que el ordenador disponga inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

instrucciones operativas para hacer que el ordenador disponga inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna,

- 50 instrucciones operativas para hacer que el ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente y la parte interna del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

instrucciones operativas para hacer que el ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente, comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente en relación con una o más partes del modelo 3D, e

- 5 instrucciones operativas para hacer que el ordenador ajuste la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

El sistema está especialmente adaptado para llevar a cabo las operaciones del procedimiento según el primer aspecto de la invención y puede comprender además instrucciones operativas para hacer que el ordenador lleve a cabo cualquiera de las etapas de cualquiera de las características del procedimiento según la invención.

- 10 Preferentemente, el sistema según la invención comprende un escáner 3D, un ordenador y una máquina de prototipado rápido controlada por ordenador. De este modo, se proporciona un sistema completo para el escaneado, modelado y desarrollo de prototipos de piezas auriculares personalizadas.

- 15 La máquina de prototipado rápido puede ser cualquier máquina de prototipado rápido que pueda controlarse por ordenador. Ejemplos incluyen, pero sin limitarse a, máquinas que pueden llevar a cabo un fresado 3D y/o una estereolitografía/SLA y/o una fotopolimerización por luz UV (*solid ground curing*) y/o una sinterización selectiva por láser y/o una proyección de aglutinante (*direct shell production casting*) y/o una impresión 3D y/o una fabricación topográfica de carcasas y/o un modelado por deposición fundida y/o un modelado por chorro de tinta y/o una fabricación de objetos laminados y/o nanoimpresión.

- 20 El sistema puede estar dispuesto de varias maneras. Por consiguiente, el escáner y/o la máquina de prototipado pueden conectarse al ordenador a través de una red de área local o el escáner y/o la máquina de prototipado pueden conectarse al ordenador a través de Internet.

- 25 Por consiguiente, el escáner 3D, el ordenador y la máquina de prototipado rápido pueden estar dispuestos en la misma ubicación. Como alternativa, el ordenador de modelado puede estar situado en un "emplazamiento de modelado", donde personal cualificado puede llevar a cabo las etapas manuales opcionales del modelado. Según esta realización, los datos escaneados pueden enviarse a través de Internet o a través de otros sistemas de transmisión de datos al "emplazamiento de modelado".

Asimismo, la máquina de prototipado rápido puede estar ubicada en un "emplazamiento de prototipado rápido", donde la costosa maquinaria puede funcionar de manera eficiente las 24 horas del día para mantener bajos los costes de producción.

- 30 Un audiólogo o un otólogo coloca de manera adecuada el escáner 3D, especialmente cuando el escáner es un escáner de luz estructurada 3D que escanea los contornos internos del conducto y/o del meato auditivo.

- 35 Preferiblemente, el sistema comprende además una base de datos en la que se almacenan datos escaneados. Según una realización especialmente preferida de la invención, el sistema comprende una base de datos adicional en la que se almacenan datos 3D para piezas auriculares personalizadas. Puede accederse a estas bases de datos durante el modelado de las piezas auriculares, siendo especialmente útiles cuando el procedimiento se lleva a cabo en un enfoque basado en similitudes.

Los datos se almacenan preferentemente junto con información que identifica a los usuarios de las piezas auriculares personalizadas.

Una base de datos adicional opcional comprende datos 3D para componentes de diferentes fabricantes. Éstos también pueden utilizarse para el proceso de modelado.

- 40 Hardware opcional adicional incluye, pero sin limitarse a, un dispositivo de seguimiento *Spaceball™*, para ayudar en el modelado manual o asistido por ordenador, y gafas estereo para ayudar en la inspección manual de modelos 3D en la pantalla de un ordenador.

- 45 Según un aspecto adicional de la presente invención se proporciona un procedimiento de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal y/o un meato auditivo, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

a) obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

b) disponer inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

- 50 c) disponer inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna, siendo dicha parte interna la parte del modelo 3D que está más cerca del meato,

d) formar inicialmente una superficie de cierre que cierra parcial o completamente el orificio creado en el modelo 3D por

la curva de corte/superficie de corte,

e) llevar a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente, comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones de los componentes en relación con una o más partes del modelo 3D y/u otros componentes, y

5 f) ajustar la disposición del al menos un componente, la disposición de la curva o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

Según el presente aspecto de la invención se proporciona un procedimiento diferente para el modelado de piezas auriculares. Si la superficie de cierre no está completamente cerrada y si el al menos un componente está ubicado en el orificio, la superficie de cierre tiene la misma función que la superficie de conexión según el primer aspecto de la invención. Otra posibilidad según este aspecto de la invención es modelar una pieza auricular 3D con un orificio en el que los componentes de la pieza auricular pueden introducirse después del prototipado. Debe entenderse que el procedimiento del segundo aspecto de la presente invención puede combinarse con cualquiera de los procedimientos del primer aspecto de la invención, donde los componentes están dispuestos en relación con una superficie de corte.

10 Este aspecto de la invención también puede realizarse en forma de un producto de programa informático o de una señal de datos informáticos representada en una onda de señal que comprende código de programa informático para llevar a cabo el procedimiento, y en forma de un sistema que incluye una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones almacenadas en la misma, donde las instrucciones comprenden instrucciones operativas para hacer que el sistema lleve a cabo el procedimiento.

15 Según un aspecto adicional de la presente invención se proporciona un procedimiento de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

20 obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

disponer inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

25 disponer inicialmente una curva o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna,

llevándose a cabo dicha disposición inicial de la curva o superficie de corte y de los componentes utilizándose un enfoque basado en similitudes, en el que el modelo 3D provisional obtenido se compara con una pluralidad de modelos almacenados de modelos 3D optimizados generados anteriormente, donde uno de dichos modelos 3D almacenados se selecciona como el modelo más similar y las disposiciones iniciales de la curva o superficie de corte y de los componentes se fijan sustancialmente idénticas a las disposiciones optimizadas de la curva o superficie de corte y de los componentes de dicho modelo 3D más similar.

En este caso, la comparación de los modelos 3D provisionales y la selección del modelo 3D más similar pueden controlarse o realizarse por ordenador. Además, la detección de la disposición inicial de la curva o superficie de corte y de los componentes puede controlarse o realizarse por ordenador.

35 Este aspecto de la invención también puede realizarse en forma de un producto de programa informático o de una señal de datos informáticos representada en una onda de señal que comprende código de programa informático para llevar a cabo el procedimiento, y en forma de un sistema que incluye una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones almacenadas en la misma, donde las instrucciones comprenden instrucciones operativas para hacer que el sistema lleve a cabo el procedimiento.

40 Preferentemente, el procedimiento de este aspecto de la invención comprende además la etapa de formar inicialmente una superficie de conexión que conecta los componentes y la parte interna del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D.

45 El procedimiento de este aspecto de la presente invención debe comprender además preferentemente las etapas de llevar a cabo una detección de colisiones de dichos componentes dispuestos en relación con una o más partes del modelo 3D, y de ajustar la disposición del al menos un componente y/o la disposición de la curva o superficie de corte en función del resultado de dicha detección de colisiones. En este caso, el ajuste de la disposición de la curva o superficie de corte y/o de la disposición del al menos un componente puede repetirse hasta que la detección de colisiones satisfaga un criterio mínimo requerido.

50 Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un procedimiento de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa,

disponer inicialmente al menos un componente en relación con el modelo 3D,

disponer inicialmente una curva de corte o superficie de corte en relación con la superficie externa del modelo 3D, dividiendo dicha curva o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa y una parte interna,

5 llevándose a cabo dicha disposición inicial del al menos un componente y/o de la curva o superficie de corte utilizando un enfoque basado en características, en el que las características extraídas del modelo 3D obtenido se utilizan para la disposición.

10 Este aspecto de la invención también puede realizarse en forma de un producto de programa informático o de una señal de datos informáticos representada en una onda de señal que comprende código de programa informático para llevar a cabo el procedimiento, y en forma de un sistema que incluye una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones almacenadas en la misma, donde las instrucciones comprenden instrucciones operativas para hacer que el sistema lleve a cabo el procedimiento.

15 Para las realizaciones de los primeros aspectos de la presente invención, el modelo 3D, el modelo 3D provisional o modelos 3D optimizados almacenados anteriormente pueden tener una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos. Para las realizaciones que utilizan un enfoque basado en similitudes, la selección del modelo 3D más similar puede comprender:

extraer una pluralidad de características del modelo 3D provisional o del modelo 3D obtenido,

comparar dicha pluralidad de características extraídas con características almacenadas correspondientes de una pluralidad de modelos 3D optimizados previamente almacenados, y

20 seleccionar una pluralidad de modelos 3D almacenados como candidatos para el modelo 3D más similar, siendo dichos candidatos los modelos 3D almacenados que presentan las características comparadas más próximas, en un espacio de características, a los puntos de características del modelo 3D provisional.

El proceso de selección puede comprender además:

registro del modelo 3D provisional y de los modelos 3D candidatos seleccionados,

25 selección del modelo 3D más similar como el modelo de los modelos 3D candidatos que tiene la diferencia más pequeña entre la superficie de carcasa externa de dicho modelo 3D candidato y la superficie de carcasa externa del modelo 3D provisional.

Debe entenderse que los procedimientos del tercer aspecto de la presente invención pueden combinarse con cualquiera de los procedimientos del primer y del segundo aspecto de la invención utilizando un enfoque basado en similitudes.

30 Según otro aspecto adicional de la presente invención se proporciona un procedimiento de exfoliación de un modelo 3D, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos, y

35 llevar a cabo un proceso de exfoliación para obtener un modelo 3D exfoliado de al menos parte del canal auditivo, comprendiendo dicho proceso de exfoliación:

desplazar hacia dentro una copia de cada vértice de la superficie de carcasa externa,

eliminar el número de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que un grosor de carcasa mínimo dado, y

crear una carcasa interna mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

40 Según un aspecto adicional, la invención se refiere a un producto de programa informático que incluye un medio legible por ordenador, presentando dicho medio legible por ordenador un programa informático almacenado en el mismo, dicho programa para llevar a cabo una exfoliación asistida por ordenador de un modelo 3D, comprendiendo dicho programa:

45 código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos, y

código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo un proceso de exfoliación para obtener un modelo 3D exfoliado de al menos parte del canal auditivo, comprendiendo dicho proceso de exfoliación:

código de programa para hacer que un ordenador desplace hacia dentro una copia de cada vértice de la superficie de carcasa externa,

código de programa para hacer que un ordenador elimine la pluralidad de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que un grosor de carcasa mínimo dado, y

código de programa para hacer que un ordenador cree una carcasa interna mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

- 5 Según otro aspecto adicional, la invención se refiere a una señal de datos informáticos representada en una onda de señal, incluyendo dicha señal de datos informáticos un programa informático, dicho programa para realizar la exfoliación asistida por ordenador de un modelo 3D, comprendiendo dicho programa:

código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos, y

- 10 código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo un proceso de exfoliación para obtener un modelo 3D exfoliado de al menos parte del canal auditivo, comprendiendo dicho proceso de exfoliación:

código de programa para hacer que un ordenador desplace hacia dentro una copia de cada vértice de la superficie de carcasa externa,

- 15 código de programa para hacer que un ordenador elimine la pluralidad de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que un grosor de carcasa mínimo dado, y

código de programa para hacer que un ordenador cree una carcasa interna mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

- 20 Además, la invención se refiere a un sistema de exfoliación asistida por ordenador de un modelo 3D, incluyendo dicho sistema una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones informáticas almacenadas en la misma, comprendiendo dichas instrucciones:

instrucciones operativas para hacer que el ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada por una pluralidad de vértices, donde los vértices están conectados por triángulos, e

- 25 instrucciones operativas para hacer que el ordenador lleve a cabo un proceso de exfoliación para obtener un modelo 3D exfoliado de al menos parte del canal auditivo, comprendiendo dicho proceso de exfoliación:

instrucciones operativas para hacer que el ordenador desplace hacia dentro una copia de cada vértice de la superficie de carcasa externa,

- 30 instrucciones operativas para hacer que el ordenador elimine la pluralidad de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que un grosor de carcasa mínimo dado, e

instrucciones operativas para hacer que el ordenador cree una carcasa interna mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

- 35 Además, debe entenderse que el procedimiento de exfoliación según los últimos aspectos de la presente invención puede utilizarse en cualquiera de los procedimientos de los primeros aspectos de la presente invención con el fin de obtener un modelo 3D exfoliado.

El algoritmo de exfoliación según la presente invención hace posible llevar a cabo una exfoliación de una manera rápida y sencilla.

Breve descripción de los dibujos

- 40 A continuación se describirá la invención en mayor detalle junto con los dibujos adjuntos según varias realizaciones de ejemplo, en los que:

la Figura 1 muestra un audífono de tipo 'en el oído';

la Figura 2 muestra un audífono de tipo 'completamente en el canal';

la Figura 3 muestra un dispositivo de comunicaciones de tipo 'en el oído';

la Figura 4 muestra una pieza auricular adaptativa de tipo 'en el oído';

- 45 la Figura 5 proporciona una visión global de un proceso completo y de los componentes de hardware;

la Figura 6 muestra dos modelos 3D originales de dos impresiones;

- la Figura 7 proporciona una ilustración de una representación basada en triángulos con el mismo modelo 3D visualizado de manera sombreada y como un entramado de líneas;
- la Figura 8 muestra un ejemplo simplificado de un proceso de modelado y de las operaciones de modelado implicadas;
- la Figura 9 muestra un ejemplo simplificado de un proceso de modelado y de las operaciones de modelado implicadas;
- 5 la Figura 10 muestra un ejemplo simplificado del proceso de modelado ilustrado con imágenes de la evolución del modelo;
- la Figura 11 ilustra la eliminación de defectos relacionados con un cordón que se utiliza para sacar la impresión del oído;
- la Figura 12 ilustra dos modelos simples de oído de referencia virtual creados a partir de los modelos correspondientes mostrados en la Figura 6;
- 10 la Figura 13 muestra un modelo 3D antes y después del corte y el cierre por parte de una superficie plana simple definida por puntos de control y una orientación de superficie;
- la Figura 14 ilustra intersecciones entre un triángulo de modelo y los triángulos de superficie en una representación basada en triángulos de un modelo 3D;
- 15 la Figura 15 muestra el corte de los triángulos entre dos puntos muestreados en una curva y proyectados sobre el modelo 3D. El corte se lleva a cabo mediante un plano de corte local;
- la Figura 16 ilustra el corte y el cierre de la parte superior de un modelo exfoliado con una superficie plana con un grosor idéntico al grosor de carcasa;
- la Figura 17 muestra un diagrama de flujo para el bucle utilizado en un enfoque manual para la colocación de componentes, corte y empalme/solevación de la parte visible de la superficie;
- 20 la Figura 18 ilustra una colocación manual de la superficie de componente y de los componentes; en este caso, una batería y componentes electrónicos integrados;
- la Figura 19 muestra un ejemplo de colisión entre un componente y la superficie de carcasa;
- la Figura 20 ilustra una división espacial del espacio en cubos;
- 25 la Figura 21 contiene un diagrama de flujo para el bucle utilizado en un enfoque basado en reglas para la colocación óptima de componentes, corte y empalme/solevación de la parte visible de la superficie;
- la Figura 22 muestra un corte mediante una curva cerrada sobre la superficie. La curva está definida por la pluralidad de puntos de control;
- la Figura 23 muestra la primera etapa en la operación de solevación ilustrada, la cual determina la correspondencia entre los vértices y los dos límites;
- 30 la Figura 24 ilustra el resultado de solevar el modelo y la superficie de componente de la Figura 22 visualizados por separado y en el oído de referencia;
- la Figura 25 ilustra el resultado de una superficie solevada cuando los puntos de control adicionales entre los vértices correspondientes se han desplazado hacia atrás a lo largo de v_{c1} y v_{c2} hasta que están situados por detrás de la superficie del oído de referencia;
- 35 la Figura 26 ilustra el resultado de una exfoliación;
- la Figura 27 es un diagrama de flujo de un algoritmo de exfoliación;
- la Figura 28 ilustra el desplazamiento apropiado de cada vértice para garantizar un grosor de carcasa mínimo cuando se utiliza una representación de vértices de un modelo 3D;
- la Figura 29 ilustra una pieza auricular de tipo 'en el oído' con una zona de material más blando;
- 40 la Figura 30 muestra un corte manual con una superficie plana en la parte de canal de la superficie seguido de un empalme/solevación;
- la Figura 31 ilustra una colocación de componentes en la parte de canal de la superficie. Los componentes corresponden a una salida de sonido, a un transductor y a un conducto, el cual conecta el transductor y la salida;
- 45 la Figura 32 es un diagrama de flujo para el bucle utilizado en el enfoque manual para el corte y la colocación de componentes en la parte de canal de la superficie;

la Figura 33 ilustra una creación manual de un canal de ventilación;

la Figura 34 muestra una pieza auricular de tipo 'en el oído' con un doble canal de ventilación;

la Figura 35 muestra una pieza auricular de tipo 'en el oído' con una cámara de reducción de retroalimentación;

la Figura 36 muestra un audífono de tipo 'en el oído' con un grosor de carcasa variable y púas de soporte;

5 la Figura 37 ilustra la creación de un elemento de bloqueo para los dispositivos electrónicos y un componente de batería;

la Figura 38 ilustra la creación de espacio para la placa frontal con un lado trasero plano llevando a cabo un corte con la superficie correspondiente al lado trasero de la placa frontal;

la Figura 39 muestra un ejemplo de identificación colocada en el interior de la carcasa o como un etiqueta separable;

la Figura 40 ilustra funciones lógicas en dos modelos 3D, A y B;

10 la Figura 41 ilustra un mapa de diferencias que muestra la penetración de la pieza auricular final en el oído de referencia.

1. Descripción detallada de la invención

1.1 Definiciones generales

3D: abreviación genérica de la palabra 'tridimensional'.

15 **Operaciones de modelado 3D:** una pluralidad de diferentes operaciones que alteran la geometría del modelo 3D original. Estas operaciones se utilizan para modificar la geometría externa e interna de la pieza auricular. Las operaciones de modelado 3D también se utilizan para realizar una colocación óptima de los componentes internos del aparato.

20 **Modelo 3D:** una representación geométrica de un objeto. Éste puede ser un objeto con una geometría única y compleja obtenida utilizando un dispositivo de escaneado tridimensional o un objeto generado de manera paramétrica utilizando un sistema CAD tradicional u otro programa de software de modelado 3D. Existen diferentes tipos de representaciones de modelos 3D. En una de las representaciones más comunes, el modelo 3D está parametrizado por una pluralidad de vértices que están conectados por triángulos (véase la Figura 7).

25 **Modelo 3D original:** el escaneado 3D del meato y/o del canal auditivo antes de que se haya realizado alguna operación de modelado 3D en el modelo. Este modelo se genera normalmente escaneando una impresión del canal auditivo utilizando un aparato óptico, acústico, mecánico u otro aparato de escaneado 3D. El modelo 3D original también puede obtenerse utilizando un dispositivo de escaneado 3D dentro del canal.

Modelo 3D provisional: un modelo 3D que existe como una etapa temporal en la secuencia de modelado 3D total. Por lo tanto, el modelo 3D provisional puede ser cualquier representación del modelo 3D entre el modelo 3D original y el modelo 3D final.

30 **Modelo 3D final:** un modelo 3D de la pieza auricular final. El modelo 3D final incluye normalmente la geometría de los componentes dispuestos. Otras alteraciones geométricas útiles del modelo 3D original también están incluidas en esta definición.

35 **Componente:** un término genérico utilizado para cualquier tipo de componente, característica o unidad utilizados con el dispositivo. Ejemplos de componentes son un canal de ventilación, un amplificador, un micrófono, un captador de vibraciones, un microchip, un transductor, dispositivos de identificación/comunicaciones inalámbricas, sensores de posición tales como GPS, un altavoz, conductos, una batería, circuitos impresos, una placa frontal, parches de superficie, entradas, salidas, cables, conductores, controles de volumen, bridas para clavos, un cordón de extracción, una telebobina, medios de bloqueo, módulos de interfaz, identificaciones y logotipos.

40 **Herramienta de corte:** una herramienta tal como una curva o superficie arbitraria utilizada para dividir el modelo en dos partes, donde una de las partes se elimina (véase, por ejemplo, la Figura 13 o la Figura 22).

45 **Pieza auricular:** la pieza auricular incluye alojamientos para audífonos, dispositivos de comunicaciones inalámbricas o cableadas (cascos, teléfonos móviles, agentes personales), altavoces, dispositivos de enmascaramiento del acúfeno, dispositivos que registran vibraciones en el cráneo y que las transforman en señales de audio, dispositivos de reconocimiento de voz, protectores auditivos, bloqueadores del ruido con frecuencias o niveles de sonido selectivos, productos de interfaz hombre-máquina (MMI) que permiten una clara comunicación incluso en los ambientes más ruidosos, o productos relacionados con aplicaciones inalámbricas de Internet.

Parte de canal de la superficie: la parte de canal de la superficie corresponde a la parte de la superficie de modelo que está dentro del canal auditivo (véase la Figura 6).

Superficie de carcasa interna: la superficie correspondiente a la parte interna de la carcasa 2603 (véase la Figura

26).

Superficie de carcasa externa: la superficie correspondiente a la parte externa de la carcasa 2604 (véase la Figura 26).

5 **Parte visible de la superficie:** la parte visible de la superficie está definida como parte de la superficie del modelo que está parcial o totalmente visible cuando la pieza auricular está insertada en el oído.

Triangulación: el proceso de conectar vértices mediante triángulos.

Vértice: un punto en el espacio 3D. Los vértices están conectados por bordes que forman polígonos simples, por ejemplo triángulos (véase la Figura 7).

10 **Superficie de conexión:** una superficie de conexión (Figura 24, 2401) es una superficie generada que conecta un componente con la parte interna del modelo 3D. La superficie de conexión también puede definirse como una superficie generada que conecta una superficie de componente con la parte interna del modelo 3D. En el producto terminado, la superficie de conexión puede imprimirse/producirse junto con la parte interna de la pieza auricular personalizada, o puede formarse mediante fresado en una parte de placa frontal (Figura 38, 3803) en la que puede insertarse un componente.

15 **Curva/superficie de corte:** una curva de corte/superficie de corte es una curva/superficie definida por el usuario o el ordenador y que divide el modelo 3D en una parte externa y una parte interna (véase la Figura 13, 1303 y la Figura 38, 3801 para ejemplos de una superficie de corte, y la Figura 22, 2203 para un ejemplo de una curva de corte).

20 **Parte externa/parte interna:** los términos se utilizan para designar las dos partes del modelo que surgen como resultado de cortar el modelo 3D con una curva o superficie de corte. La parte interna es la parte del modelo que está más cerca del meato del usuario. La Figura 22 muestra un ejemplo de un modelo 3D dividido en una parte interna 2206 y una parte externa 2207. La parte externa del modelo 3D puede formar un oído virtual.

25 **Superficie de componente:** los componentes se disponen normalmente en relación con una superficie de componente relacionada que se conecta después al resto de la carcasa preferentemente mediante una operación de corte o de elevación. Una estrategia alternativa es crear la superficie de componente directamente a partir de los componentes dispuestos. La superficie de componente no es necesariamente una parte integrante del modelo 3D final. Puede ser una envoltura o una placa frontal aparte que se ensambla posteriormente con la carcasa en el proceso de producción. La Figura 18 ilustra la disposición del componente que consiste en dispositivos electrónicos y batería 1801 y la superficie de componente relacionada 1802.

1.2 Especificación general del sistema

30 La Figura 1 muestra esquemáticamente un audífono de tipo 'en el oído', que consiste normalmente en una carcasa o elemento otoplastico 101 cerrado por una placa frontal o de recubrimiento 102, un interruptor de control 103, una entrada de sonido 104, un micrófono 105, un amplificador electrónico 106, un dispositivo de control de retroalimentación 107, una batería reemplazable 108, un compartimento de batería 109, un transductor 110, una salida de sonido 111 y un canal de ventilación 112. La Figura 2 muestra un audífono más pequeño de tipo 'completamente en el canal' que consta de los

35 mismos componentes con un asidero de extracción adicional 201. Otro ejemplo de un dispositivo llevado en el oído es el dispositivo de comunicaciones inalámbricas de la Figura 3, que consta normalmente de un elevado número de componentes similares a los de los audífonos y un micrófono adicional con captura de vibraciones 301 y un transmisor inalámbrico 302. Finalmente se muestra una pieza auricular adaptativa simple en la Figura 4, que consiste normalmente en una carcasa 101, un canal de ventilación 112 y un conducto de sonido 401.

40 La Figura 5 muestra una visión global del proceso completo de fabricación de piezas auriculares personalizadas y del hardware necesario. El hardware comprende un dispositivo de escaneo 3D 501, un ordenador 502 y una máquina de prototipado rápido 503. Dispositivos de hardware adicionales son un servidor de base de datos 504, un dispositivo de seguimiento *Spaceball™* 505 y gafas estereo 3D 506. El proceso consiste en tres etapas principales: captura de datos 3D, modelado 3D y fabricación 3D. Tal y como se indica en la Figura 5, la captura de datos 3D, el modelado 3D y la

45 fabricación 3D pueden llevarse a cabo en diferentes ubicaciones físicas para optimizar el coste y la calidad. La distribución se implementa fácilmente, ya que la invención permite que el modelo original y final se transfiera a través de Internet. En general, la invención está orientada principalmente a la parte de modelado. Las operaciones individuales se describirán en detalle posteriormente.

50 La salida óptima del sistema varía de aplicación a aplicación y debe especificarse inicialmente mediante interacción humana o sugerencias inteligentes de un ordenador. En el caso de audífonos, dispositivos de comunicación llevados en el oído y otros dispositivos mecánicos o eléctricos llevados en el oído, el objetivo es normalmente optimizar el tamaño, la apariencia visual, las propiedades acústicas y la colocación de los componentes dentro de la pieza auricular. Siempre se requiere un ajuste perfecto al oído del usuario.

55 El sistema se implementa en dos etapas: inicialmente, el sistema necesita datos introducidos por un operario, y después de un periodo de aprendizaje/entrenamiento el sistema puede volverse totalmente o casi totalmente automático,

pudiendo llevar a cabo todas las etapas sin ninguna o con muy poca interacción por parte del operario. Los fabricantes pueden adquirir el sistema después de éste se haya entrenado para la aplicación específica, por lo que prácticamente no será necesaria la interacción humana para producir el resultado deseado.

Por lo general, un inspector de calidad o el usuario juzgará la pieza auricular final y el aparato antes de que se produzca físicamente por el sistema.

1.3 Captura de datos 3D

La primera etapa en el proceso de producción es capturar un modelo digital 3D de la impresión o directamente del canal auditivo utilizando un dispositivo de escaneo 3D. En la Figura 6 se ilustran dos ejemplos de modelos 3D originales 601, 602. Debe observarse que el modelo de tamaño medio 601 solo corresponde a la parte del modelo grande 602 que está enmarcada. Obsérvese además la definición de la parte de canal de la superficie 603, la parte visible 604 de la superficie y la parte que corresponde al canal auditivo 605. Existen diferentes tipos de representaciones de modelos 3D. La Figura 7 ilustra una representación muy común basada en triángulos, donde la superficie de modelo 3D 701 está parametrizada por una pluralidad de vértices que están conectados por triángulos 702.

La realización preferida de un aparato de escaneo 3D para la aplicación dada es un sistema de no contacto. El dispositivo de escaneo 3D se basa normalmente en la proyección de una o más láminas de luz u otro patrón de luz conocido sobre una impresión del oído. La fuente de iluminación es normalmente un láser de baja potencia en el espectro de luz visible. Pueden utilizarse longitudes de onda no visibles, pero esto requiere un sensor que pueda capturar el espectro dado. Un escaneo 3D de no contacto de una impresión de oído también puede llevarse a cabo utilizando escáneres de ultrasonidos, de resonancia magnética o de tomografía informatizada (CT).

Los escáneres ópticos 3D capturan series de perfiles u otro patrón de luz conocido a partir de la impresión iluminada del canal auditivo. La mayoría de las veces, el patrón de luz sobre el objeto es una o más líneas diferentes. Estas líneas de perfil se digitalizan en tiempo real mediante un sensor óptico. Cuando se desplaza la impresión del oído o los dispositivos ópticos, otros perfiles se vuelven disponibles. Con un movimiento continuo, el escáner 3D digitaliza automáticamente perfiles de objetos desde múltiples vistas. Algunos escáneres 3D pueden digitalizar el perfil de un objeto con una precisión de 0,01 mm, lo que da como resultado una representación digital altamente detallada del objeto que está escaneándose. Las impresiones del oído se colocan preferentemente sobre un portapiezas y se llevan automáticamente al escáner. Un ejemplo de un aparato y un procedimiento de escaneo adecuados se da a conocer en el documento PCT/DK01/00564 (3Shape).

También pueden utilizarse en la presente invención escáneres 3D que no necesitan una impresión del oído. Éstos utilizan una sonda que se introduce directamente en el oído. Las sondas preferidas no tocan el canal auditivo durante el proceso de escaneo. Las sondas preferidas funcionan mediante ultrasonidos (documento WO 00/34739, Fagan et al.) o preferentemente mediante la proyección de un patrón de luz conocido sobre el canal auditivo (documento PCT/DK01/00561, 3Shape).

El escáner 3D también puede capturar la textura de la impresión. La captura de la textura puede facilitar que el usuario o audiólogo tracen texto y marcas directamente sobre la impresión y que se lean por el sistema u operario durante el modelado. Esto permite al usuario, por ejemplo, marcar áreas que provocan dolor o que necesitan requisitos visuales especiales. Las marcas y el texto pueden extraerse directamente de las imágenes de textura utilizando operaciones clásicas de procesamiento de imágenes tales como una detección adaptativa de umbrales o bordes. La información extraída puede proyectarse después sobre el modelo y procesarse; por ejemplo, las áreas marcadas que producen dolor pueden proyectarse sobre el modelo, pudiendo eliminarse material en el área correspondiente.

Otros ejemplos de información que puede marcarse en la impresión incluyen: marcar una disposición de una curva/superficie de corte; marcar una disposición del orificio de ventilación o salidas para orificios de ventilación; marcar una etiqueta identificativa (nombre o identidad del usuario o audiólogo); marcar áreas duras y blandas del canal auditivo; marcar una disposición de los componentes; marcar la disposición de características del oído externo. Debe entenderse que cuando se marcan varias características diferentes, éstas pueden marcarse en distintos colores que pueden distinguirse por el escaneo de textura. El texto escrito puede reconocerse mediante OCR durante el modelado.

El modelo 3D capturado puede guardarse en una base de datos disponible en una red de área local o a través de Internet.

1.4 Modelado 3D

La Figura 10 muestra una versión simplificada del proceso de modelado ilustrado con la evolución del modelo provisional durante el modelado. La Figura 8 y la Figura 9 muestran dos ejemplos de las operaciones que pueden estar implicadas en el proceso de modelado. Las operaciones de modelado 801 a 816 y 901 a 916 llevadas a cabo para crear el modelo 3D final, dado el modelo 3D original, se describirán en detalle posteriormente. Se incluyen tres ejemplos para mostrar que las etapas individuales no tienen que llevarse a cabo necesariamente en el orden descrito, sino que pueden llevarse a cabo en varias secuencias diferentes con un resultado igualmente satisfactorio. Diferentes órdenes presentan diferentes ventajas. El sistema también puede realizar las etapas en un orden aleatorio iterando hacia la mejor solución. Debe observarse que el proceso de modelado es normalmente un proceso iterativo en el que diferentes propiedades, por

ejemplo las posiciones de componentes o la trayectoria del canal de ventilación, se modifican varias veces hasta obtener un resultado satisfactorio.

La automatización del software de modelado puede realizarse utilizando dos enfoques que pueden complementarse entre sí o funcionar por separado. En las etapas automatizadas, el sistema puede, en cualquier momento, solicitar que un operario introduzca datos o pasar al otro enfoque de automatización.

Enfoque basado en similitudes

Un enfoque utilizado para automatizar el sistema es extraer de una base de datos la información de modelado necesaria. Esta base de datos contiene modelos 3D originales del meato y canal auditivo de diferentes personas. Para cada modelo 3D original están registradas todas las operaciones y configuraciones utilizadas para crear un modelo 3D final óptimo. Cuando necesita procesarse un modelo nuevo, se extrae de la base de datos el modelo más similar. Dado el modelo 3D más similar, el software informático repite la misma secuencia de operaciones que se realizaron en el modelo extraído con el fin de obtener el modelo 3D final deseado. Para una utilización satisfactoria de las operaciones, puede llevarse a cabo un registro, es decir, una alineación, del nuevo modelo con respecto al modelo extraído. En la sección 1.4.18 se proporcionan detalles sobre la extracción del modelo más similar. Puede ser necesario ajustar algunas operaciones y configuraciones para compensar posiciones, orientaciones y tamaños diferentes entre los dos modelos.

La mayoría de canales auditivos de una persona son en gran medida una versión simétrica del canal opuesto. Una variante del enfoque basado en similitudes es aplicar las operaciones y configuraciones de un oído ya modelado al oído opuesto, es decir, aplicar las operaciones y configuraciones utilizadas para el oído izquierdo al oído derecho de la misma persona. La única diferencia es que el primer oído y las operaciones y configuraciones aplicadas deben duplicarse de manera simétrica antes de puedan aplicarse. El duplicado simétrico del oído puede llevarse a cabo duplicando de manera simétrica los vértices en un plano arbitrario, ya que el plano real solo cambia la orientación y la posición del modelo duplicado simétricamente. Asimismo, es necesario duplicar simétricamente las operaciones y configuraciones en el mismo plano.

Enfoque basado en reglas

El otro enfoque incorporado en el sistema es definir un conjunto de reglas matemáticas e implementarlas en algoritmos que optimicen los resultados de las etapas individuales en el proceso de modelado. El resultado óptimo de las operaciones individuales tiene en cuenta el uso global del aparato final. El objetivo varía con la aplicación del dispositivo.

1.4.1 Cierre de orificios

Muchos dispositivos de escaneo crean modelos originales con orificios en la superficie, es decir, la superficie del modelo no está cerrada. Los modelos con superficies no cerradas no pueden existir desde un punto de vista físico, por lo que los orificios deben cerrarse, debido a, por ejemplo, efectos de oclusión. En una representación basada en triángulos, los orificios se determinan contando el número de triángulos en cada borde. El borde corresponde a un límite si solo hay un triángulo en el borde. Los bordes delimitantes siempre crean bucles que definen el orificio en la superficie.

Triangulación de orificio

En el caso de una representación basada en triángulos se aplica preferentemente el siguiente enfoque para cerrar cada orificio. Si el orificio es pequeño, por ejemplo definido por la longitud del límite, se lleva a cabo una triangulación conectando directamente los vértices en el límite mediante triángulos no intersecados. La triangulación se lleva a cabo utilizando un procedimiento de triangulación 3D estándar como el propuesto por Hoppe et al., en el documento "*Surface Reconstruction from unorganised points*", *Computer Graphics*, 26(2), 1992, páginas 71 a 78.

Preferentemente, la primera etapa para cerrar grandes orificios es fijar una superficie paramétrica a los vértices en el límite del orificio y a los vértices circundantes. Preferentemente, la superficie paramétrica debe ser lisa, tal como una superficie de segundo orden, de tercer orden o de orden inferior, una superficie NURBS u otro tipo de superficie *spline*. El espacio circundante puede marcarse manualmente o definirse como los vértices a una determinada distancia del límite. Para triangular grandes orificios se muestrean nuevos vértices en la superficie fijada. Estos vértices muestreados se conectan después mediante triángulos. Un procedimiento para llevar a cabo esta operación se describe en la sección 1.4.7. El orificio triangulado puede alisarse (véase la sección 1.4.12) para mejorar la apariencia visual.

1.4.2 Eliminación de defectos

En la impresión original normalmente aparecen varios defectos y artefactos y, por lo tanto, en el modelo 3D original. Estos defectos se deben a diversas causas tales como la creación de la impresión, cicatrices, tejido o pelos en el oído, el cordón usado para sacar la impresión del oído o pequeños rasguños y cortes debidos al manoseo. La Figura 11 muestra defectos 1105 que se originan por el cordón. Otros artefactos, tales como recodos en el canal auditivo, también deben eliminarse para obtener una pieza auricular que sea cómoda de utilizar.

Enfoque manual

Para eliminar los defectos, el área que contiene los defectos puede marcarse utilizando una herramienta de selección apropiada. El tipo de selección depende de la forma del defecto. Pueden utilizarse varias herramientas de selección basadas en selecciones de puntos, una selección rectangular, una selección de círculos, selecciones de pincel, selección semicoplanar, selecciones de relleno, selecciones de borde, selecciones de arista y selecciones a lo largo de una curva definida por una pluralidad de puntos de control.

En el caso de la eliminación del defecto provocado por el cordón, normalmente se prefiere una selección basada en curva 1106 y el cordón se marca colocando una pluralidad de puntos a lo largo del defecto. Para eliminar el defecto, los triángulos marcados se eliminan y el orificio 1007 se cierra según la sección 1.4.1. La Figura 11 muestra el modelo de entrada 1101, la selección del defecto 1102, el orificio a cerrar 1103 y el modelo 1104 con el defecto eliminado.

Otros defectos o artefactos se eliminan de manera similar, por lo que el defecto o artefacto se marca y se elimina seguido del cierre del orificio (véase la sección 1.4.1).

Enfoque basado en reglas

La superficie del oído puede caracterizarse por una superficie blanda y lisa. Por el contrario, los defectos pueden caracterizarse por cambios bruscos en las superficies, que pueden apreciarse como orificios, valles, picos o crestas en la superficie. Estas diferencias pueden aplicarse para detectar defectos.

En la práctica, la curvatura local puede calcularse en cada vértice. Las áreas que contienen defectos se caracterizan por una gran variación local de la curvatura. La variación local de la curvatura en un vértice se calcula como la varianza de la curvatura en los vértices del espacio circundante, por ejemplo, en espacio circundante de primer orden. Si la variación de curvatura local supera un umbral predefinido se supone que hay un defecto. El resto del defecto se traza incluyendo recursivamente todos los vértices circundantes con una variación de curvatura local por encima del umbral definido. Cuando se ha trazado el defecto total, los vértices incluidos y sus triángulos correspondientes se eliminan y el orificio se cierra de la misma manera que la descrita en el enfoque manual.

1.4.3 Creación de un oído de referencia virtual

Una herramienta potente para la creación de piezas auriculares visualmente atractivas es generar un modelo de oído de referencia virtual. Un modelo de oído de referencia virtual simple se ilustra en la Figura 12. Dado un modelo de oído 3D puede visualizarse la apariencia provisional y la apariencia final de la pieza auricular, obteniendo el operario y el usuario una representación mejorada del efecto de modificar diferentes propiedades, por ejemplo la forma, el tamaño, el color, la textura o los componentes. El oído de referencia virtual también desempeña un papel importante en el corte y colocación automatizados de los componentes. Como parte de la creación del oído virtual, también puede introducirse un sistema de coordenadas. El plano XY del sistema de coordenadas puede definirse a lo largo de la mejilla con el eje Y paralelo al cuerpo. El eje Z debe estar orientado hacia el canal auditivo.

Enfoque manual

Un oído de referencia virtual simple puede obtenerse cortando el modelo original mediante una única superficie, tal como un plano. En la sección 1.4.4 pueden encontrarse descripciones detalladas de las herramientas de corte. El modelo de oído de la Figura 12 se crea mediante un corte plano del modelo de la Figura 6. Para obtener la impresión más realista de un oído, el corte puede llevarse a cabo por una superficie paralela a la mejilla. En el caso de la interacción manual, el operario define de manera interactiva la superficie de corte mediante una pluralidad de puntos de control sobre la superficie del modelo original. La pluralidad de puntos de control requeridos depende del número de parámetros libres de la superficie. En el caso de un plano se necesitan tres puntos. Normalmente, el plano XY del sistema de coordenadas se determina directamente a partir de la superficie. Sin embargo, debe seleccionarse dos puntos adicionales para determinar el eje X y el eje origen/Z.

Enfoque basado en similitudes

En un esquema automatizado, la superficie de corte puede obtenerse como la superficie aplicada al modelo más similar que se ha extraído de la base de datos. El sistema de coordenadas se determina de manera similar.

Enfoque baso en reglas

Una estrategia automatizada alternativa es extraer características, principalmente momentos de orden inferior. Estas características se introducen después en una red neuronal u otro tipo de modelo paramétrico o no paramétrico, el cual proporciona el plano más adecuado. Este tipo de enfoque requiere un conjunto de entrenamiento, el cual puede aplicarse para entrenar la red neuronal. El sistema de coordenadas se determina de manera similar, pero con una red neuronal distinta.

Un modelo de oído creado solamente a partir del modelo 3D original está limitado al tamaño de este modelo. Un modelo

más grande de todo el oído o, de manera ideal de toda la cabeza, es deseable para una visualización óptima de la apariencia visual del aparato. Hasta que pueda accederse fácilmente a modelos 3D completos y precisos de la cabeza humana, puede extraerse de la base de datos un modelo de oído o de cabeza que sea localmente similar al modelo original (una denominada cabeza de maniquí). El modelo extraído puede fusionarse con el modelo original, pudiendo obtenerse una visualización mejorada. Otra opción es que un dispositivo que capture el modelo directamente sin el uso de la impresión pueda capturar la geometría completa y la textura del oído y/o de la cabeza simultáneamente.

1.4.4 Corte

Una de las primeras etapas en la modificación del modelo original es normalmente llevar a cabo uno o más cortes. La Figura 13 muestra un modelo antes 1301 y después 1302 de un corte con una única superficie plana 1303 controlada por tres puntos de control 1304. La orientación de superficie 1305 define qué parte del modelo eliminar. Finalmente, el orificio generado por el corte se cierre mediante la superficie.

Corte mediante una única superficie

Dada una superficie arbitraria, $f(x, y, z) = 0$, el corte se realiza eliminando todas las partes del modelo provisional que estén por encima/fuera de esta superficie, $f(x, y, z) > 0$. Para llevar a cabo realmente el corte deben determinarse todas las intersecciones entre el modelo y las superficies, realizándose un corte a lo largo de estas intersecciones.

En una representación basada en triángulos se supone que hay una versión triangular de la superficie. La primera etapa es eliminar los triángulos con todos los vértices por encima de la superficie. La siguiente etapa es determinar los triángulos intersecados en los dos modelos (véase la Figura 14). Para cada triángulo intersecado 1401 del modelo se determinan los puntos correspondientes a las intersecciones 1402 entre los bordes de este triángulo y los triángulos de superficie 1403. La posible intersección entre un borde y el triángulo puede determinarse utilizando el algoritmo de Badouel (Badouel, D., "An efficient Ray-Polygon intersection", *Graphic Gems*, páginas 390 a 393, 1990). Asimismo se determinan los puntos de intersección 1404 entre este triángulo y los bordes de los triángulos de superficie. Junto con los vértices 1405 de este triángulo, que están debajo de la superficie, estos puntos de intersección forman un bucle cerrado de puntos. Mediante una triangulación de este bucle se crea el límite apropiado del corte de superficie para este triángulo particular. Todos los puntos/vértices del bucle están en el plano del triángulo que limita la triangulación a dos dimensiones. Aplicando un algoritmo de triangulación 2D estándar, tal como una triangulación de Delauney, se cierra el orificio. Sin embargo, la triangulación de Delauney produce una triangulación del orificio convexo, por lo que los triángulos fuera del bucle deben eliminarse (o nunca crearse).

Repetir este procedimiento para cada triángulo intersecado crea un modelo de salida que ha sido cortado por una superficie. Debe observarse que todos los triángulos con todos los vértices por debajo/dentro de la superficie se dejan intactos. Consúltase la sección 1.4.5 para conocer detalles de cómo reducir el número de pruebas de intersección de triángulos mediante una subdivisión del espacio en cubos.

Corte de una curva sobre la superficie

Como una alternativa al corte mediante superficies, el corte puede llevarse a cabo mediante una curva. La Figura 22 muestra el modelo antes 2201 y después 2202 de un corte mediante una curva *spline* 2203 definida sobre la superficie del modelo. La curva 2203 está definida por una pluralidad de puntos de control 2204 que siempre están dispuestos sobre la superficie del modelo. Los puntos de control, y por tanto la curva, pueden ajustarse manualmente por el operario. La orientación de la curva determina qué parte del modelo eliminar, es decir, se elimina la parte del modelo que está dentro de la curva. La curva también puede controlarse por otros medios diferentes a los puntos de control.

Para llevar a cabo realmente el corte, un número ordenado de puntos se muestran a lo largo de la curva. Después, los puntos individuales se proyectan sobre el modelo 3D, por ejemplo utilizando la normal del triángulo en el punto anterior proyectado. La normal en el primer punto se conoce a partir del primer punto de control. Dados estos puntos proyectados $p_1, \dots, p_n$ 1501 en el modelo 3D (véase la Figura 15) el corte se lleva a cabo cortando los triángulos individuales entre p_i y p_{i+1} 1501 mediante un corte de plano local 1502. El corte se lleva a cabo atravesando los puntos de intersección 1503 entre los bordes de triángulo y el plano de corte local entre p_i y p_{i+1} . Según la sección anterior, se realiza una triangulación de cada bucle que consiste en los puntos de intersección en un triángulo intersecado y los vértices de triángulo 1504 por debajo del plano de corte. El plano de corte local está definido por el punto p_i y el producto cruzado de vector desde p_i hasta p_{i+1} y el promedio de las normales de triángulo sobre las que se proyectan p_i y p_{i+1} . El resultado del corte por una curva se ilustra en la Figura 22.

Corte mediante una única superficie y cierre del orificio

Normalmente se requieren modelos con superficies cerradas; por tanto, el orificio creado por el corte de superficie debe cerrarse por la superficie, es decir, la superficie debe cortarse a lo largo de las intersecciones con el modelo y combinarse con el modelo. El procedimiento es equivalente al aplicado cuando el modelo se corta por una superficie. La única diferencia es que la interpretación de la superficie y del modelo se intercambia. En este caso, los bucles que han de triangularse se crean para todos los triángulos intersecados de la superficie. Finalmente, la fusión del par de puntos de intersección combina la superficie y el modelo que se ha cortado para formar el modelo de salida. Debe observarse que existe una correspondencia uno a uno entre todos los puntos de intersección del modelo y la superficie que se ha

cortado. Un ejemplo de corte de superficie y cierre se muestra en la Figura 13.

Corte mediante una superficie con grosor y cierre del orificio

En el caso de un modelo con un grosor de carcasa, la superficie de corte debe tener un grosor para no invadir el grosor de carcasa final. En la Figura 26 se muestra un modelo exfoliado. Consúltense la sección 1.4.9 para conocer detalles sobre la exfoliación. El corte mediante una superficie con un grosor y una orientación global soluciona el problema del grosor de carcasa final. La Figura 16 muestra un modelo antes 1601 y después 1602 del corte mediante una superficie 1603 con grosor. La orientación global de la superficie determina qué parte del modelo eliminar.

Básicamente, una superficie con grosor comprende dos únicas superficies independientes no intersecadas con orientaciones opuestas y una distancia constante o variable. La orientación de una de las superficies únicas es equivalente a la orientación global. Esta superficie única se define como la superficie única externa y la otra como la superficie única interna. Partes de la superficie única externa corresponden a partes de la superficie de carcasa externa después del corte, de ahí su nombre.

En la práctica, el corte de un modelo exfoliado por una superficie con grosor puede llevarse a cabo como dos cortes independientes mediante las dos superficies únicas. La superficie de carcasa externa del modelo exfoliado puede cortarse y cerrarse mediante la superficie única externa utilizando el enfoque descrito en la sección anterior. De manera similar, la carcasa interna del modelo exfoliado puede cortarse y cerrarse mediante la superficie única interna (véase la Figura 16).

1.4.5 Colocación de componentes en la parte visible de la superficie

Una operación muy importante para la apariencia visual de la pieza auricular final es la colocación de los componentes en la parte visible de la superficie. La parte visible de la superficie está definida como la parte de la superficie que está total o parcialmente visible cuando la pieza auricular está introducida en el oído. El término 'componentes' no está limitado a componentes tradicionales tales como dispositivos electrónicos, botones o dispositivos de batería, sino que pueden describir cualquier tipo de unidad, función o característica de la pieza auricular, por ejemplo, logotipo, parches de superficie o salidas conectadas a componentes internos. La colocación está limitada por varios factores tales como colisiones entre los componentes y otras partes del modelo (por ejemplo, carcasa, oído y otros componentes), espacio para otros componentes (por ejemplo, canal de ventilación, amplificador, micrófono, captador de vibraciones, microchip, batería y circuitos impresos), los ángulos de los componentes en la carcasa y los ángulos de los componentes con respecto al oído/cabeza. Los componentes están dispuestos normalmente en relación con una superficie de componente relacionada que se conecta después con el resto de la carcasa preferentemente mediante una operación de corte o elevación. Una estrategia alternativa es crear la superficie de componente directamente a partir de los componentes dispuestos. La superficie de componente no es necesariamente una parte integrante del modelo 3D final. Puede ser una cubierta o placa frontal aparte que se ensambla posteriormente con la carcasa en el proceso de producción. La Figura 18 ilustra la disposición del componente que consiste en dispositivos electrónicos y la batería 1801 y la superficie de componente relacionada 1802.

Enfoque manual

En la Figura 17 se ilustra el diagrama de flujo del enfoque manual para la colocación de componentes y las operaciones de corte y de empalme/elevación estrechamente relacionadas. Debe observarse que este diagrama de flujo ilustra el orden de las operaciones utilizadas en la Figura 8, pero pueden aplicarse muchos órdenes diferentes de las operaciones (véase, por ejemplo, la Figura 9 o la Figura 10). Se supone que la superficie de componente pertinente y que componentes tales como un amplificador, micrófono, captador de vibraciones, control de volumen, microchip, batería y circuitos impresos se han seleccionado de la base de datos de componentes. Normalmente se aplican modelos CAD simplificados de los componentes para reducir el tiempo de cálculo. Dependiendo del tipo de superficie de componente, la superficie también puede ser un modelo CAD importado, por ejemplo una placa frontal.

La primera etapa en la colocación manual de componentes es normalmente la colocación de la superficie de componente relacionada 1802 con respecto al modelo 3D. Sin embargo, la superficie de componente también puede crearse directamente a partir de los componentes dispuestos. Los componentes seleccionados 1802 se colocan después en relación con el modelo 3D y la superficie de componente mediante una disposición manual del componente en el espacio tridimensional. La disposición manual de la superficie de componente y de los componentes es normalmente un proceso iterativo, donde la posición y orientación de la superficie y de los componentes se ajustan alternativamente hasta obtener una disposición aceptable 1705. El estado actual del modelo se visualiza en el oído virtual (véase la sección 1.4.3) para mejorar la evaluación de la apariencia visual. La visualización del oído y de la carcasa puede ser transparente para facilitar más la colocación. Debe observarse que las partes de los componentes pueden estar debajo, dentro y encima de la superficie de componente, dependiendo de la configuración.

La colocación manual independiente de la superficie de componente y de los componentes es una tarea engorrosa y propensa a errores. Dos herramientas pueden mejorar significativamente la realización de esta tarea. La primera herramienta es colocar e inmovilizar los componentes en relación con la superficie de componente. Cuando el operario ajusta la superficie de componente, los componentes mantienen la posición relativa con respecto a la superficie pero

cambian la posición con respecto al modelo 3D. La posición de componente y de la superficie de componente puede liberarse temporalmente, pudiendo ajustarse la posición relativa de los componentes. En este caso, normalmente es ventajoso limitar que el componente esté sobre la superficie.

La segunda herramienta es la detección de colisiones 1704, donde se lleva a cabo una prueba para detectar colisiones entre los componentes y las partes relevantes del modelo. La Figura 19 ilustra las colisiones 1903 entre la superficie de carcasa 1901 y el componente 1902. Normalmente, la detección de colisiones se realiza con respecto al oído virtual, otros componentes y la parte de la carcasa provisional que no se ha eliminado mediante el corte. Un enfoque en la detección de colisiones es llevar a cabo una prueba de fuerza bruta en intersecciones entre la superficie del modelo y el modelo de componentes. En una representación basada en triángulos, los triángulos de un modelo deben probarse para las intersecciones con los triángulos del otro modelo. Una prueba de intersección exhaustiva entre todos los triángulos de los dos modelos tiene un alto coste computacional. Debe observarse que la detección de colisiones en tiempo real es casi obligatoria si queremos que la herramienta sea atractiva. Para reducir el tiempo de cálculo y facilitar la detección de colisiones en tiempo real se lleva a cabo una subdivisión espacial del espacio 3D en cubos (Fujimoto et al., "Arts: Accelerated ray-tracing system", *IEEE Computer Graphics and Applications*, 6(4), páginas 14 a 16, 1986) (véase la Figura 20). Cada cubo contiene una lista de todos los triángulos que tienen partes dentro de los mismos.

Supóngase que se ha creado la estructura de cubos para un modelo. Si hay que llevar a cabo una prueba de intersección entre un nuevo triángulo y este modelo, solo hay que realizar pruebas de intersección entre el nuevo triángulo y los triángulos correspondientes a los cubos que contienen partes del nuevo triángulo. Este procedimiento puede aplicarse para llevar a cabo una prueba muy rápida de todos los triángulos de un modelo con todos los triángulos pertinentes de otro modelo. Por tanto, se lleva a cabo una prueba de intersección total entre los dos modelos. En función de la detección de colisiones se determina la penetración de un modelo en el otro. El modelo 3D utilizado para la detección de colisiones puede ser una versión desplazada del componente original para facilitar que no se invada una distancia mínima. Normalmente, la distancia de desplazamiento corresponde directamente a la distancia mínima.

También puede utilizarse una detección de colisiones jerárquica para obtener bajos tiempos computacionales, por ejemplo mediante la utilización de volúmenes delimitadores. Preferentemente, el volumen delimitador debe ser esferas, cajas delimitadoras alineadas por su eje, cajas delimitadoras orientadas, k-DOP (polítopos orientados discretos), volúmenes en forma de porción de tarta o carcasas esféricas.

Una estrategia alternativa a la detección de colisiones es medir la distancia local o global desde la superficie de componente hasta las partes pertinentes del modelo. Este tipo de detección de colisiones tiene un alto grado de libertad, ya que las colisiones también se detectan si los componentes invaden una distancia mínima hasta las partes pertinentes del modelo. Esto es muy relevante en caso de una detección de colisiones requerida con respecto a la superficie de carcasa interna, antes de crear realmente la superficie.

En caso de que no haya el suficiente espacio para los componentes, la carcasa puede modificarse en las regiones de colisión para hacer más sitio. Una manera de realizar esto es eliminar material de la carcasa utilizando una función lógica, tal como sustraer de la carcasa la parte colisionante del componente siempre que el componente no penetre en la carcasa. Otra opción es utilizar un desplazamiento iterativo que se repita hasta que se haya creado el suficiente espacio para el componente; de nuevo con la restricción de que el componente no penetre en la carcasa.

Consúltese la sección 1.4.17 para conocer detalles de cómo añadir y quitar material. La modificación de la carcasa hacia fuera hará que el modelo final intersecte con el oído. Sin embargo, esto puede ser un problema menor para modificaciones limitadas, especialmente si se llevan a cabo en partes blandas del oído.

Enfoque basado en similitudes

Extraer el modelo más similar y aplicar la misma posición y orientación del componente y de la superficie de componente relacionada puede automatizar la colocación de la superficie y de los componentes. La detección de colisiones presentada anteriormente puede aplicarse para garantizar que no haya colisiones. Si hay colisiones, puede aplicarse uno de los otros enfoques.

Enfoque basado en reglas

Una estrategia alternativa para la colocación automatizada de los componentes es aplicar una función objeto, $f(v)$, que expresa la calidad de la colocación, v , de los componentes (y las operaciones de corte y empalme/solevación de superficie de componente estrechamente relacionadas). En la Figura 21 se muestra el diagrama de flujo de este enfoque. La colocación óptima, v^* , de la superficie de componente y de los componentes puede obtenerse entonces determinando la colocación que optimice el criterio $f(v^*) \leq f(v)$. Debe observarse que los parámetros v de la Figura 21 contienen además normalmente los parámetros libres relacionados con las operaciones de corte y de empalme/solevación. La optimización puede estar limitada por varios factores tales como colisiones entre los componentes y la carcasa, el espacio para otros componentes y características (por ejemplo, canal de ventilación, amplificador, micrófono, captador de vibraciones, microchip, batería y circuitos impresos), el ángulo del componente en la carcasa y el ángulo del componente con respecto al oído/cabeza. Las restricciones pueden incorporarse como restricciones fuertes o débiles, donde se incorpora una función de penalización en la función objetivo. En la práctica, las restricciones débiles pueden actuar como

restricciones fuertes si se asigna una penalización muy alta para la vulneración de la restricción, por ejemplo una colisión.

La función objeto, $f(v)$, puede consistir en una suma ponderada de los términos relacionados con las restricciones débiles y de otros términos que expresan la calidad de la pieza auricular. Preferentemente, estos términos son el volumen de la carcasa, el área de superficie de carcasa externa, el área de superficie de carcasa visible, la longitud de la intersección entre el oído de referencia y la superficie de corte, el área de la superficie de corte después del corte, la penetración máxima del oído de referencia por un componente, el promedio de la penetración y las propiedades acústicas. Tal y como se observa en la Figura 21, la función objeto se evalúa normalmente después de que se hayan llevado a cabo las operaciones de colocación de componentes, corte y empalme/solevación. Sin embargo, $f(v)$ puede evaluarse en cualquier momento después de que las partes que han de evaluarse estén presentes en el modelo. Las ponderaciones de los términos individuales pueden seleccionarse manualmente en función de pruebas empíricas o pueden adquirirse a partir de un conjunto de entrenamiento.

Pueden aplicarse procedimientos de optimización de propósito general tales como el descenso más rápido, gradiente conjugado, métodos cuasi-Newton, métodos de Newton, programación dinámica, métodos símplex, búsqueda de patrones, algoritmos genéticos, recocido simulado y difusión estocástica. La mayoría de los algoritmos de optimización son procedimientos iterativos y requieren una configuración inicial, v_0 , que se genera manual o automáticamente (detalles descritos posteriormente). Dada una colocación, v , se lleva a cabo una detección de colisiones seguida de una evaluación de $f(v)$. Si la mejora relativa está por debajo de un umbral específico, ϵ , el algoritmo finaliza; en caso contrario, la colocación se actualiza. La diferencia principal entre los procedimientos de optimización es la manera en que la colocación se actualiza, $v_{i+1} = g(v_i)$ durante la optimización.

Una alternativa a aplicar procedimientos de optimización de propósito general es utilizar pseudofísica para la optimización. Preferentemente se formula un modelo físico simplificado del sistema. Este modelo pseudofísico puede ser muy potente para actualizar la colocación de componentes cuando el componente colisiona con otro componente o con la carcasa. En la práctica, el modelo puede aplicarse para hacer que el componente colisionante "rebote en" la carcasa o en otro componente. Puede utilizarse física clásica para llevar a cabo este tipo de modelado, por ejemplo en combinación con normales de superficie aproximadas en las regiones de colisión. Algunas funciones objeto tienen interpretaciones de modelo físico directas. En este caso, la optimización total puede llevarse a cabo en el marco físico. Sin embargo, en la mayoría de los casos, el modelado físico se combina con procedimientos de optimización de propósito general, por ejemplo aplicando física para colisiones y, si no, procedimientos de optimización de propósito general.

Las penalizaciones pueden variar en el oído; por ejemplo, penetraciones en partes blandas del oído obtienen una penalización menor que en partes duras del oído, o la penetración de partes de la carcasa que consisten en material duro reciben penalizaciones menores que la penetración de regiones más duras. Las diferentes penalizaciones se obtienen asignando diferentes ponderaciones a las partes pertinentes del oído. Estas ponderaciones se multiplican después por la penalización inicial correspondiente a las mismas partes del oído que las ponderaciones. Altas ponderaciones dan lugar a altas penalizaciones. En el caso de penetraciones de partes duras y blandas del oído, a las partes duras y blandas del oído se les asignarán ponderaciones altas y bajas, respectivamente. Las ponderaciones pueden introducirse por un operario u obtenerse automáticamente a partir del modelo más familiar en la base de datos. En el caso de ponderaciones relacionadas con características anatómicas del oído, las ponderaciones pueden obtenerse mediante un registro del modelo con respecto a un atlas anatómico a partir del cual pueden obtenerse las ponderaciones. El atlas anatómico puede basarse en un único oído estándar o en diferentes oídos estándar de diferentes grupos. Las ponderaciones también pueden determinarse en función de la variación dinámica del oído y especialmente del canal auditivo en diferentes circunstancias, por ejemplo con la abierta y cerrada. La dinámica se obtiene preferentemente a partir de un conjunto de diferentes modelos del mismo oído utilizando estadísticas de forma. El conjunto de diferentes modelos debe haberse capturado en diferentes circunstancias. Una estrategia alternativa es modificar el oído de referencia añadiendo o quitando material (véase la sección 1.4.17) para modificar las penalizaciones en la función objeto.

Una herramienta de selección también puede utilizarse para asignar diferentes materiales de la pieza auricular a diferentes partes del modelo 3D. Por tanto, un problema de las piezas auriculares es que están expuestas al sudor de la superficie del canal y/o del meato auditivo. Por lo tanto, partes de la pieza auricular en contacto con la piel del portador pueden marcarse y prototiparse utilizando un material particularmente resistente al sudor, mientras que las demás partes se fabrican con otro material que no necesita ser resistente al sudor. Los expertos en la técnica de la fabricación de piezas auriculares conocen la selección de tales materiales. Asimismo, puede ser ventajoso seleccionar materiales no alergénicos para las partes del modelo que estén en contacto con la piel del portador. La selección puede llevarse a cabo mediante un enfoque basado en reglas, según el cual se seleccionan las superficies que están dentro de una determinada distancia de la piel del portador.

En algunos dispositivos hay varios componentes diferentes con la misma funcionalidad, por ejemplo diferentes transductores. Para determinar el componente óptimo se selecciona cada uno de los posibles componentes y la colocación se evalúa y se optimiza opcionalmente utilizando el procedimiento descrito. El componente que obtenga el valor más bajo de la función objeto optimizada se selecciona por el sistema como el mejor componente. Puede utilizarse un procedimiento similar para la selección automatizada de los componentes en el enfoque manual.

La inicialización de la colocación de componentes es crucial para el éxito de la optimización posterior. Preferentemente, la inicialización se lleva a cabo mediante el enfoque basado en similitudes o un enfoque basado en características, donde

las características extraídas se utilizan para el posicionamiento. Una manera de llevar a cabo la inicialización basada en características es dividir parte del modelo provisional en una pluralidad de porciones. Preferentemente, estas porciones tienen aproximadamente la misma orientación que la orientación de componente preferida, por ejemplo con respecto al canal. Después, cada porción puede analizarse. Este análisis puede llevarse a cabo examinando si los componentes o una caja delimitadora derivada pueden colocarse aproximadamente dentro de la porción. El análisis se somete normalmente a una pluralidad de restricciones, por ejemplo el ángulo de los componentes. Una sección que satisface los criterios se utiliza entonces para la inicialización, normalmente la porción más cercana al canal. En función del análisis anterior, el componente se coloca, por ejemplo, alineando el centroide del componente con el centroide de la porción. En la sección 1.4.18 pueden encontrarse más detalles sobre las características.

10 1.4.6 Corte de la parte visible de la superficie

En estrecha relación con la colocación del componente en la superficie visible, normalmente se lleva a cabo un corte de la parte visible de la superficie que elimina la parte no deseada de la superficie visible. El corte se lleva a cabo de la manera descrita en la sección 1.4.4. La Figura 22 muestra el corte de la parte visible de la superficie utilizando una herramienta de corte basada en curvas.

15 Normalmente, los componentes o la superficie de componente se utilizan para generar una curva o superficie de corte inicial que puede ajustarse por el operario. En algunos casos, el corte se lleva a cabo directamente por la superficie de componente o una curva/superficie derivada de los componentes o de la superficie de componente, por ejemplo una estimación de superficie de la superficie de componente desplazada en paralelo hacia el canal del modelo o formando una curva a partir de los puntos proyectados desde el componente o la superficie de componente sobre la superficie de carcasa. Como alternativa, el corte puede llevarse a cabo de manera más o menos independiente del componente y de la superficie de componente. Si las superficies de componente y la superficie de carcasa no se combinan durante el corte, las dos superficies pueden conectarse utilizando la operación de solevación (véase la sección 1.4.7).

20 En el caso del esquema basado en similitudes, la herramienta de corte y la posición se obtienen directamente a partir del modelo más similar. En el caso del enfoque basado en reglas, los parámetros libres del corte se incluyen en v y se modifican para optimizar la función objeto formulada, $f(v)$. Los parámetros de corte se inicializan normalmente a partir de la superficie de componente y también pueden bloquearse con respecto a la superficie de componente para reducir el número de parámetros libres a optimizar.

1.4.7 Empalme/solevación

30 Empalme es el proceso de redondear o alisar un borde. Los bordes son características no deseadas de las piezas auriculares, en las que en general se prefieren superficies lisas y redondeadas. El empalme se ilustra en la Figura 30. Solevación es el proceso de conectar dos superficies mediante una nueva superficie. Como se muestra a continuación, el empalme y la solevación están estrechamente relacionados.

Un enfoque muy potente para el empalme es eliminar los triángulos 3008 próximos y circundantes al borde 3006 y fijar una superficie paramétrica en las inmediaciones del orificio creado por los triángulos eliminados. La superficie debe ser preferentemente una superficie lisa tal como una superficie de segundo orden, de tercer orden o de orden inferior, una superficie NURBS u otro tipo de superficie *spline*. Después se muestran nuevos vértices en la superficie fijada y se conectan mediante triángulos. Los triángulos a eliminar pueden determinarse eliminando todos los triángulos, partes de triángulos y/o vértices a una determinada distancia del borde o seleccionando directamente el espacio circundante apropiado 3003, por ejemplo limitado por dos curvas 3007, una a cada lado del borde (véase la Figura 30). Las curvas pueden ajustarse manualmente mediante una pluralidad de puntos de control visuales.

40 Cuando los triángulos se han eliminado, el empalme pasa normalmente a una operación de solevación, donde los límites de dos superficies deben conectarse. Debe observarse que la operación de solevación puede aplicarse en general para conectar dos superficies. La primera etapa de la operación de solevación ilustrada es determinar la correspondencia entre los vértices 2301 en los dos límites 2302, 2303 (véase la Figura 23). La correspondencia puede determinarse mediante una búsqueda exhaustiva de la correspondencia que proporcione la menor distancia media entre los vértices correspondientes, con la restricción de que se mantenga el orden de los vértices.

La solevación ilustrada se basa en una superficie *B-spline* cúbica que requiere la especificación de una pluralidad de puntos de control. Para cada vértice se calcula el vector, v_c , que es perpendicular a la normal de vértice y el vector de orientación de límite en el vértice. La normal de vértice se calcula como la media ponderada de área de las normales de triángulo de los triángulos conectados al vértice. Para cada vértice del conjunto de vértices correspondientes se crean dos puntos de control como el vértice $\pm v_c$. Después se crea un punto de control adicional como v_{c1} y v_{c2} añadido al punto central entre los vértices p_1 y p_2 correspondientes. Además de los puntos de control creados, los dos vértices actúan además como puntos de control. Cuando este proceso se ha repetido para todos los conjuntos de vértices correspondientes, la superficie se define totalmente mediante los puntos de control. Después, nuevos vértices se muestran sobre la superficie, es decir muestreando los vértices en la *spline* que conectan los vértices correspondientes. Dados estos vértices y la ordenación de los conjuntos de vértices correspondientes, se conocen las relaciones circundantes entre los vértices muestreados. Conocer estas relaciones facilita la conexión de vértices circundantes mediante triángulos. El resultado de una solevación se muestra en la Figura 24 y en la Figura 30.

Cuando el empalme/solevación se ha aplicado al modelo no se garantiza que el modelo de oído de referencia no sea penetrado por la superficie de conexión 2401 (véase la Figura 24). Sin embargo, esta penetración 2402 puede minimizarse llevando los puntos de control detrás de la superficie del oído de referencia. La Figura 25 muestra la penetración reducida 2501 obtenida llevando hacia atrás el punto de control adicional entre los vértices correspondientes a lo largo de v_{c1} y v_{c2} hasta que esté detrás de la superficie del oído de referencia.

Existen varios enfoques alternativos para una operación de empalme. El enfoque más sencillo de empalme es alisar el borde y sus inmediaciones. Consúltese la sección 1.4.12 para más detalles sobre el alisado.

Otro enfoque contrae cilindros con un radio predefinido tan cerca del borde como sea posible sin dejar que atraviesen la superficie. Después, la superficie se proyecta sobre los cilindros en aquellas áreas que forman un borde redondeado con una curvatura constante. Como alternativa, los triángulos en el espacio circundante en torno al borde pueden eliminarse y nuevos vértices pueden muestrearse a partir de la superficie del cilindro. Debe observarse que el radio puede variar a lo largo del borde.

1.4.8 Corte y empalme de la parte de canal de la superficie

Al igual que la parte visible de la superficie, una herramienta de corte se aplica normalmente en la parte de canal de la superficie para eliminar partes no deseadas de la superficie (véase la Figura 30). El corte puede llevarse a cabo por cualquiera de las herramientas de corte descritas en la sección 1.4.4. Sin embargo, el corte se realiza normalmente mediante una superficie plana 3005 que también se utiliza para cerrar el orificio después del corte. En el enfoque manual, el operario puede seleccionar y ajustar la herramienta de corte.

Si se aplica el enfoque basado en similitudes, se utiliza la misma herramienta y posición de corte que las aplicadas al modelo más similar. Para el enfoque basado en reglas, la posición y orientación de la herramienta de corte se combinan con la posición de los componentes que van a colocarse en la parte de canal de la superficie. Estos parámetros libres, v , se optimizan después con respecto a una función objeto, $f(v)$, similar a la utilizada en la colocación del componente en la parte externa de la superficie (véase además la sección 1.4.10).

Después del corte se lleva a cabo una operación de empalme 3004 (sección 1.4.7) en el borde de corte 3006, es decir, el borde en el que se ha realizado el corte del modelo. La Figura 30 ilustra el proceso completo de corte 3001, 3002 y de empalme 3003, 3004 de la parte de canal de la superficie.

1.4.9 Exfoliación y desplazamiento de superficie

El modelo 3D original consiste solamente en la superficie externa, pero la mayoría de modelos 3D finales requieren una carcasa, por lo que puede ser necesario llevar a cabo una operación de exfoliación. La Figura 26 muestra un modelo antes de la exfoliación 2601 y después de la exfoliación 2602. La superficie de carcasa externa 2603 corresponde a la superficie de entrada, por lo que solo es necesario crear una carcasa interna 2604. El operario define el grosor de la carcasa. Para muchos dispositivos es crucial que se garantice un grosor de carcasa mínimo.

En la Figura 27 se muestra una visión global de un algoritmo de exfoliación. La primera etapa 2701 del algoritmo es crear una copia de cada vértice en la superficie de carcasa externa. La Figura 28 ilustra cómo se crea el nuevo vértice 2801 en la carcasa interna 2802 a lo largo de la normal escalada 2803 del vértice correspondiente 2804 en la superficie de carcasa externa 2805. La normal de vértice 2803 se calcula como el promedio de las normales de los triángulos conectados ponderados por su área. Si tiene que garantizarse un grosor de carcasa mínimo 2806, no basta con desplazar el vértice con el grosor de carcasa especificado. Sin embargo, el desplazamiento, que garantiza de manera local el grosor de carcasa, puede obtenerse como el factor de escala máximo que proyecta la versión escalada de la normal de vértice sobre la longitud total de las normales de triángulo escaladas por el grosor predefinido. Solo son importantes las normales de los triángulos conectados al vértice. Desafortunadamente, el desplazamiento propuesto solo garantiza un grosor de carcasa local. En áreas con superficies convexas y alta curvatura, los vértices desplazados tienen a invadir el grosor de carcasa mínimo. Estos vértices invasores se eliminan en la segunda etapa 2702 para garantizar un grosor de carcasa apropiado. Finalmente, la nueva carcasa interna puede crearse entonces mediante una triangulación 2703 de los vértices creados. La triangulación puede llevarse a cabo utilizando un procedimiento de triangulación 3D estándar tal como el propuesto por Hoppe et al., en el documento "Surface Reconstruction from unorganised points", *Computer Graphics*, 26(2), 1992, páginas 71 a 78.

El procedimiento propuesto puede extenderse fácilmente a carcasas con un grosor variable aplicando un grosor local en el desplazamiento de los vértices individuales. Utilizando una herramienta de selección, diferentes materiales también pueden asignarse a distintas partes, como se muestra en la Figura 29, donde un material más blando 2901 se asigna a la parte de la carcasa, que corresponde a la parte dura o variable del oído, por ejemplo la parte que cambia cuando la boca está abierta y cerrada. Consúltese la sección 1.4.5 para conocer detalles de cómo asignar diferentes propiedades a diferentes partes del modelo.

El algoritmo de exfoliación también puede utilizarse para desplazar, por ejemplo, la superficie externa. Un pequeño desplazamiento de la superficie externa puede ser necesario para garantizar que la carcasa final tenga un ajuste perfecto. La única diferencia en aplicar el procedimiento de exfoliación para el desplazamiento es que el modelo original se elimina después de la creación de la superficie desplazada. También pueden realizarse desplazamientos locales de

partes de la carcasa para crear, por ejemplo, juntas tóricas en la parte de canal de la carcasa.

1.4.10 Colocación de componentes en la parte de canal de la superficie

La colocación de componentes de la parte de canal de la superficie es muy importante para una funcionalidad adecuada del aparato y una introducción y utilización cómodas del aparato. La parte de canal de la superficie corresponde a la parte de la superficie que está dentro del canal auditivo. El término 'componentes' debe interpretarse de nuevo en un sentido amplio, por ejemplo, una salida conectada con un conducto a un transductor. La Figura 31 muestra el resultado del corte y colocación de una salida 3103 conectada con conducto 3102 a un transductor 3101.

Enfoque manual

En la Figura 32 se muestra un diagrama de flujo del enfoque manual de la colocación de componentes y del corte, la elevación y la exfoliación estrechamente relacionados. Debe observarse que este diagrama de flujo ilustra el orden de las operaciones utilizado en la Figura 8, pero también pueden aplicarse muchos órdenes diferentes de las operaciones (véase la Figura 9 ó 10). Cuando se colocan componentes con múltiples partes, las partes pueden ajustarse simultánea o individualmente. En la Figura 31 se muestra un componente con múltiples partes (salida, conducto y transductor). Medidas pertinentes tales como la longitud del conducto pueden extraerse directamente para un uso posterior, por ejemplo, en un ensamblaje manual.

Sin embargo, normalmente no basta con que haya espacio para los componentes dentro de la carcasa. Los componentes también deben caber en este espacio. Puede que esto no sea el caso si el canal auditivo es muy estrecho en algunas partes. Para facilitar la colocación de componentes, puede concebirse una herramienta de trayectoria válida para determinar la existencia de una trayectoria válida a lo largo de la cual el componente puede moverse. Un algoritmo de trayectoria mínima combinado con la detección de colisiones puede aplicarse para determinar esta trayectoria. Dependiendo de las propiedades materiales de los componentes y de la carcasa, pueden permitirse algunas intersecciones. El grado adecuado de intersección puede especificarse, por ejemplo, por la cantidad permitida de penetración o por la cantidad permitida de deformación de la carcasa y del componente que se requiere para hacer que pase el componente. Puede ser necesario modelar las deformaciones, por ejemplo mediante modelos de elementos finitos.

Si no existe ninguna trayectoria válida, la eliminación de material de carcasa en regiones de colisión es posible según lo expuesto en la sección 1.4.17. Las regiones de colisión se definen como las regiones en las que el componente queda atascado. Para facilitar la eliminación manual de material, la región crítica se visualiza y el espacio circundante queda marcado. Sin embargo, la herramienta de trayectoria válida sugiere los cambios locales requeridos eliminando material hasta que el componente pueda pasar. Estos cambios pueden aceptarse por el operario o aceptarse automáticamente con la restricción de que no se invada el grosor de carcasa mínimo absoluto definido.

La colocación de los componentes también puede someterse a otras restricciones, por ejemplo, el ángulo de la salida con respecto al canal auditivo.

Enfoque basado en similitudes

El modelo más similar se extrae de la base de datos y se aplican las mismas posiciones para los componentes. Cuando los componentes se han colocado se aplica la herramienta de trayectoria válida que incluye las modificaciones automáticas del grosor de carcasa local, si está habilitada.

Enfoque basado en reglas

El enfoque basado en reglas aplica los procedimientos similares a los del enfoque basado en reglas para la colocación de componentes en la superficie visible. La diferencia principal es que puede aplicarse una herramienta de trayectoria válida durante la optimización y las configuraciones no válidas se rechazan/penalizan en gran medida. También se utiliza un tipo similar de función objeto. Sin embargo, las ponderaciones de los términos individuales en la función objeto pueden modificarse para satisfacer el requisito específico de la superficie interna. También pueden añadirse términos adicionales, por ejemplo el ángulo de la salida con respecto al canal auditivo y la longitud del conducto que conecta la salida y el transductor.

Preferentemente, la optimización de la colocación se lleva a cabo mediante un algoritmo de optimización de propósito general, mediante seudofísica o una combinación de los mismos. La inicialización puede llevarse a cabo mediante el enfoque basado en similitudes o mediante un enfoque basado en características, donde se utilizan características extraídas para la colocación. Una manera de llevar a cabo la inicialización basada en características es dividir la parte de canal del modelo provisional en una pluralidad de porciones aproximadamente ortogonales a la orientación de canal local. La primera porción del canal, que está razonablemente cerca de la ortogonal con respecto a la superficie de canal y que puede contener aproximadamente los componentes, incluyendo opcionalmente empalme y un canal de ventilación, se aplica para la inicialización. Si se lleva a cabo un corte plano en la parte de canal, entonces el plano de corte inicial puede ser idéntico al plano de división. Los componentes pueden colocarse con respecto al centroide y la orientación de la porción.

1.4.11 Colocación del canal de ventilación de presión o tubo de sonido

Para obtener un funcionamiento adecuado y un uso cómodo, en algunos dispositivos colocados en el oído se requiere un canal de ventilación/compensación de presión o tubo de sonido que conecta el interior y el exterior de oído. La Figura 33 ilustra un modelo 3301 con un canal de ventilación 3302. Tradicionalmente, este canal se extiende dentro de la carcasa, en la carcasa interna, en el exterior o en una combinación de todo lo anterior.

Preferentemente, la primera etapa en la creación del canal de ventilación o tubo de sonido es determinar los puntos de salida en el canal y la parte visible 3301, 3303 de la superficie de la carcasa y la trayectoria 3304 que conecta estos puntos. La piel del usuario no debe cubrir los puntos de salida y la curvatura del canal puede limitarse para garantizar una funcionalidad apropiada. Además, la trayectoria del canal de ventilación puede estar limitada por un grosor de carcasa mínimo, la intersección con componentes colocados y un requisito de dejar intacta la superficie de carcasa externa.

Dados los puntos de salida y una trayectoria válida, el canal puede crearse añadiendo en primer lugar un objeto sólido, definido a lo largo de la trayectoria, a la superficie interna del modelo provisional. La adición y la posterior sustracción pueden realizarse utilizando una función lógica (véase la sección 1.4.16). La forma del objeto puede definirse desplazando la forma especificada del canal de ventilación o tubo de sonido en el grosor de carcasa mínimo. En el caso de un tubo de sonido o canal de ventilación en forma de conducto, el objeto sólido puede corresponder a un conducto sólido con un diámetro igual a la suma del diámetro de canal de ventilación y el grosor de carcasa mínimo. Un segundo objeto sólido con la forma especificada del canal de ventilación o tubo de sonido definido a lo largo de la trayectoria puede crearse y sustraerse del modelo, creando el canal de ventilación final. En el caso de un conducto, el segundo objeto sólido corresponde a un conducto con el diámetro especificado. Debe observarse que este procedimiento puede generar canales de ventilación con una geometría arbitraria, por ejemplo canales de ventilación con secciones transversales de los siguientes tipos: elíptica/circular, cuadrada/rectangular, en forma de T, semicircular con un borde, triangular con un borde, circular/elíptica con un borde. Canales de ventilación con, por ejemplo, una forma elíptica pueden hacer que el canal esté en la carcasa y aumentar el espacio para los componentes, etc. Asimismo, el procedimiento facilita la creación de casi cualquier tipo de tubos tales como tubos grandes, tubos pequeños, tubos abiertos o tubos de tipo boca de pescado.

Debe observarse que el procedimiento describe la generación de un único canal de ventilación o tubo de sonido que conecta la superficie interna y la superficie externa. Sin embargo, el enfoque puede generalizarse fácilmente a múltiples canales (véase la Figura 34) y a canales cortos que no se extienden necesariamente por toda la trayectoria desde la superficie interna hasta la superficie externa. El procedimiento también puede utilizarse para generar canales de ventilación en la superficie sin desplazar los puntos. Asimismo, el enfoque puede cambiar la forma y añadir características adicionales como una cámara a lo largo del canal modificando la forma de o añadiendo la característica al objeto sólido que se usa para crear el canal. La Figura 35 muestra esquemáticamente una cámara 3501 en el canal. La cámara se utiliza para mejorar las propiedades acústicas y reducir la presión.

La posibilidad de diseñar canales de ventilación o tubos de sonido con formas y trayectorias arbitrarias, por ejemplo alrededor de la superficie, puede aplicarse para mejorar las propiedades acústicas y aumentar la protección contra el cerumen. Los conductores acústicos integrados en la carcasa también pueden crearse de la misma manera que los canales de ventilación. Finalmente, las propiedades acústicas del canal de ventilación o tubo de sonido pueden simularse y evaluarse.

Enfoque manual

En el enfoque manual, el operario puede marcar los puntos de salida 3301 y una pluralidad de puntos de control de canal de ventilación 3304 sobre la superficie para definir un muestreo disperso de la trayectoria. Dados estos puntos puede crearse una representación continua de la trayectoria fijando una curva, por ejemplo una *spline*. Antes de fijar la curva, los puntos pueden desplazarse desde la superficie para garantizar un grosor de carcasa apropiado. Consúltase la sección 1.4.9 para conocer detalles del desplazamiento de los puntos. La validez de la trayectoria con respecto a intersecciones con componentes, etc. puede determinarse utilizando un control de colisiones y puede indicarse visualmente para soportar la colocación manual del canal. Si la trayectoria no es válida, el operario puede mover los puntos de control individuales para modificar la trayectoria hasta obtener una configuración válida. Cuando se ajustan los puntos, el canal puede visualizarse simultáneamente y las partes no válidas indicarse visualmente. También pueden añadirse nuevos puntos para definir una trayectoria más precisa.

Enfoque basado en similitudes

El modelo más similar extraído anteriormente de la base de datos puede contener información que define los puntos de salida así como los puntos que especifican la trayectoria. En algunos casos, el punto de visualización del operario (posición y orientación) utilizado durante la selección de cada punto se almacena con el modelo. Aplicando estos puntos de visualización al modelo provisional pueden obtenerse los puntos correspondientes del modelo provisional. Dados los puntos del modelo provisional, el canal de ventilación puede generarse.

Una estrategia alternativa es proyectar los puntos del modelo similar al modelo provisional para obtener los puntos de salida y la trayectoria. La proyección se lleva a cabo a lo largo de la normal de superficie. Aplicando los puntos de salida proyectados y la trayectoria, se crea el canal de ventilación.

Enfoque basado en reglas

- 5 En el esquema automatizado, las salidas del canal de ventilación pueden colocarse dada una posición preferida. Para hacer que la posición pueda aplicarse a diferentes modelos, la posición se proporciona normalmente con respecto a puntos de referencia relevantes tales como superficies o componentes. Estas posiciones pueden obtenerse mediante el análisis de un conjunto de entrenamiento o pueden introducirse directamente por un operario. Preferentemente, la trayectoria se genera utilizando el algoritmo de la trayectoria más corta, un algoritmo de "flujo de agua" que determina la
- 10 trayectoria más al sur que sigue la curvatura de canal local o submuestreando la línea que conecta los puntos de salida y que proyecta estos puntos sobre la carcasa (según la sección 1.4.4). Toda la generación de trayectoria está sujeta a las restricciones mencionadas anteriormente. Dados los puntos de salida y la trayectoria, se crea el canal de ventilación final.

- En caso de que no pueda generarse ninguna trayectoria válida para los primeros puntos de salida pueden probarse otros puntos de salida. Estos puntos pueden generarse, por ejemplo, a partir de un conjunto de entrenamiento, por un operario
- 15 o mediante permutaciones de puntos existentes.

1.4.12 Optimización de la apariencia visual

La apariencia visual es una de las propiedades más importantes de las piezas auriculares para los usuarios. Por tanto, es de suma importancia optimizar la apariencia visual. Además de la optimización realizada durante las operaciones anteriores, pueden aplicarse varias operaciones adicionales:

20 Alisado o revestimiento

- El alisado o revestimiento pueden llevarse a cabo mediante un filtrado paso bajo de la superficie de modelo seguido de una etapa de antiencogimiento. El antiencogimiento puede ser necesario debido a que el filtrado paso bajo encoge las partes convexas de la superficie. El filtrado paso bajo puede realizarse asignando una nueva posición idéntica a la suma ponderada de los vértices y de las inmediaciones de cada vértices. Una manera de llevar a cabo el antiencogimiento es
- 25 mantener el volumen escalando de todo el modelo. El número definido de iteraciones corresponde al grado de alisado. El alisado puede realizarse en todo el modelo o en partes seleccionadas.

Coloreado y texturización

- Una de las últimas acciones es asignar colores o texturas a la carcasa. Los colores y las texturas pueden medirse como parte del proceso de escaneado o por separado si las impresiones se escanean. Colores y texturas adicionales pueden
- 30 muestrearse a partir de una paleta de colores estándar y una base de datos de texturas, respectivamente.

1.4.13 Optimización de la geometría de carcasa

Cuando se han colocado todos los componentes y se han llevado a cabo todas las modificaciones de superficie, puede optimizarse la geometría de la carcasa. Un objetivo de la optimización es mejorar el posicionamiento de los componentes y aumentar la resistencia de la carcasa (véase la Figura 36).

- 35 El posicionamiento de los componentes puede mejorarse añadiendo soportes 3501 o material adicional que se ajuste a la geometría exacta de los componentes. Soportes tales como púas o anillos pueden añadirse directamente mediante operaciones lógicas (véase la sección 1.4.16). Los soportes pueden tener propiedades de reducción de vibraciones. Partes de cajas delimitadoras o negativos de componente también pueden utilizarse para añadir material adicional que se fije al componente. La adición puede realizarse de nuevo utilizando una suma lógica.
- 40 Añadir material adicional (véase la sección 1.4.17) también aumenta la resistencia de la carcasa y compensa las limitaciones en el proceso de producción física. La resistencia de la carcasa también puede mejorarse aumentando el grosor de carcasa local en regiones no críticas, como se describe en la sección 1.4.9. Rejillas, nervaduras u otras características también pueden crearse en la carcasa interna, por ejemplo mediante una proyección de las características en la carcasa interna seguida de una suma lógica. De nuevo, el objetivo es fortalecer y estabilizar la
- 45 carcasa. Todas las modificaciones están limitadas por la detección de colisiones y no se invaden trayectorias válidas.

Para algunas aplicaciones, por ejemplo audífonos, puede ser relevante añadir material adicional en partes de la superficie de carcasa externa para hacer que la pieza auricular encaje mejor y se mejore la acústica, por ejemplo eliminando la retroalimentación. Preferentemente, estas áreas se identifican por el operario, mediante el conocimiento anatómico o en función de simulaciones físicas. La adición de material adicional se describe en la sección 1.4.17.

50 1.4.14 Creación de elementos de bloqueo de componentes, espacio para la placa frontal y/o una carcasa de múltiples partes

Como una de las últimas etapas, deben crearse elementos de bloqueo para los componentes y/o espacio para la placa frontal, dependiendo del proceso de ensamblaje particular.

Elementos de bloqueo de componentes

En muchas aplicaciones, los elementos de bloqueo son necesarios para hacer posible el acoplamiento y la inmovilización de los componentes en la pieza auricular final, especialmente si no se aplica una placa frontal. Ejemplos de elementos de bloqueo son elementos de bloqueo accionables, elementos de bloqueo de un clic o elementos de bloqueo de clic de bayoneta. Estos elementos de bloqueo pueden crearse llevándose a cabo una resta lógica (véase la sección 1.4.16) del negativo del elemento de bloqueo de componente o del componente de la carcasa provisional. La Figura 37 ilustra la creación de un elemento de bloqueo 3701 para los componentes electrónicos.

Espacio para la placa frontal

Por diferentes motivos, muchos fabricantes todavía aplican una placa frontal o de recubrimiento en el ensamblado (véase la Figura 1). La posición de la placa frontal se determina directamente por la posición de los componentes en la parte visible de la superficie. Para hacer posible el ensamblaje con una placa frontal es necesario crear espacio para esta placa frontal, es decir, la parte del modelo que corresponde a la placa frontal debe suprimirse. La Figura 38 ilustra el modelo final 3802 después de la eliminación de la parte de placa frontal 3803 del modelo provisional. La eliminación se lleva a cabo cortando el modelo con la superficie 3801 correspondiente al lado trasero del modelo de placa frontal alineado con respecto a la posición de los componentes. Preferentemente, el lado trasero de la placa frontal presenta estructuras para colocar y bloquear de manera unívoca la carcasa y la placa frontal. Ejemplos de tales estructuras son líneas, rejillas u otros elementos de bloqueo. La Figura 39 ilustra el uso de una estructura de líneas 3903 para bloquear la placa frontal y la carcasa.

Cuando se aplica una placa frontal, es necesario controlar de manera informatizada modificaciones de la placa frontal si la pieza auricular final debe adquirir la misma forma que el modelo antes de la creación de espacio para la placa frontal. La modificación de la placa frontal puede controlarse suministrando las trayectorias de fresado a un dispositivo de fresado que puede aplicarse para modificar la placa frontal. Las trayectorias de fresado se generan desplazando la superficie hacia fuera en una distancia correspondiente al radio del cabezal de fresado según lo descrito en la sección 1.4.9. La parte de la superficie desplazada, que corresponde a la placa frontal, se divide después utilizando cortes de superficie plana. Para cada porción se extrae el contorno externo. Estos contornos se convierten en las trayectorias de fresado.

Una alternativa a aplicar una placa frontal completa es utilizar un pequeño módulo de interfaz, por ejemplo un pequeño anillo que contiene un elemento de bloqueo para los componentes. Este módulo de interfaz puede pegarse después a la carcasa y los componentes pueden meterse y sacarse fácilmente. En el marco global, el módulo de interfaz se interpreta simplemente como un componente que puede colocarse junto con los otros componentes.

Carcasa de múltiples partes

Otra opción es crear una carcasa de múltiples partes, es decir, una carcasa que está separada en dos o más partes que pueden bloquearse entre sí. La separación de la carcasa en dos o más piezas permite una fácil introducción y sustitución de componentes y reduce la necesidad de grandes orificios en la carcasa a través de los cuales pueden insertarse los componentes. La separación de la carcasa en dos partes se lleva a cabo cortando el modelo provisional con una única superficie correspondiente a la superficie de separación deseada que incluye elementos de bloqueo, etc. Este corte crea la primera parte. La segunda parte se crea después cortando el modelo provisional con la misma superficie con una orientación distinta. De manera similar, se llevan a cabo más cortes para carcasas con más de dos partes. La separación también puede llevarse a cabo utilizando una resta lógica.

1.4.15 Colocación de una identificación única

Un gran número de piezas auriculares pueden producirse conjuntamente. Con el fin de distinguir las piezas auriculares individuales debe añadirse una característica única de identificación, tal como un número de serie, un código de barras o código de colores, a la pieza auricular. Un ejemplo de colocación de una identificación se muestra en la Figura 39. Preferentemente, la identificación debe colocarse dentro de la carcasa 3901 o en una pieza adicional de material 3902 que puede quitarse fácilmente. En general, la identificación debe colocarse de tal manera que puede leerse fácilmente de manera automatizada, por ejemplo mediante un lector de código de barras o un sistema de visión informático. Si el dispositivo de prototipado rápido es de un solo color, puede crearse un número de serie con caracteres 3D que se añaden o quitan de la superficie preferentemente mediante una operación lógica (véase la sección 1.4.16). Para algunos dispositivos de prototipado rápido de un solo color, también es posible crear una identificación mediante doble exposición. En el caso en que otros componentes son únicos para la pieza auricular, a estos componentes también se les puede asignar una identificación única.

1.4.16 Operación lógica

La Figura 40 muestra cómo una función lógica puede utilizarse para sumar, A+B, 4003, o restar, A-B, 4004, dos modelos, A 4001 y B 4002. La potencia de la función lógica también se ilustra en la Figura 31, donde la salida 3103 se crea utilizando la suma lógica de modelo de cilindro seguida de una resta lógica de modelo de cilindro con un radio más pequeño.

El algoritmo lógico tiene grandes similitudes con la función de corte y de cierre de superficie de la sección 1.4.4. Para cada triángulo intersectado en los modelos A y B, puede determinarse el bucle que ha de triangularse. Debe recordarse que el bucle consiste en las intersecciones de los bordes de triángulo y uno o dos vértices del triángulo (véase la Figura 14). En comparación con la función de corte y de cierre, la diferencia es qué vértices del triángulo insertar en el bucle.

- 5 En el caso de la suma, $A + B$, los vértices del bucle deben seleccionarse como los vértices por encima de la otra superficie de modelo tanto para A como para B. De la misma manera que en las operaciones de corte, los triángulos por debajo/detrás de la otra superficie se eliminan y las dos superficies se fusionan.

Para la resta, $A - B$, el modelo A se trata de la misma manera que en la suma. Los vértices del bucle para los triángulos en el modelo B se seleccionan como los vértices por debajo de la superficie A. Finalmente, los triángulos en B por encima/en frente de la superficie del modelo A se eliminan y las dos superficies se fusionan.

1.4.17 Añadir/quitar material

Puede añadirse o quitarse localmente material adicional. Esto puede llevarse a cabo desplazando localmente la superficie hacia fuera o hacia dentro, respectivamente. La adición/eliminación puede basarse en un único punto de la superficie o en la selección de un área. En el caso de un único punto, los vértices dentro de una distancia especificada desde los puntos se desplazan en función de su distancia al punto. La relación entre la cantidad de desplazamiento y la distancia se controla mediante una función de transferencia apropiada, por ejemplo una función gaussiana. El desplazamiento real de los vértices individuales se realiza tal y como se ha descrito en la sección 1.4.9. Si la entrada es un área seleccionada, todos los vértices dentro de la selección se desplazan. La cantidad de desplazamiento se calcula en función de la distancia desde el vértice hasta el límite de selección en combinación con una función de transferencia apropiada.

En algunos casos es necesario añadir mayores cantidades de material; por ejemplo, si faltan partes del canal auditivo, el canal puede extenderse. En el caso general, el material a añadir se extrae preferentemente de un modelo similar o estándar y se añade al modelo mediante una operación lógica. En casos especiales, como la extensión del canal auditivo, puede ser ventajoso fijar una superficie paramétrica a las inmediaciones de la extensión. Puede obtenerse un control adicional de la superficie añadiendo una pluralidad de puntos de control de superficie, lo que hace que el operario pueda ajustar libremente la forma de la extensión.

1.4.18 Extracción del modelo más similar de la base de datos

El principio fundamental en el enfoque basado en similitudes es extraer de la base de datos el modelo que sea más similar al modelo provisional. Preferentemente, la primera etapa es introducir el sistema de coordenadas en el modelo provisional según lo descrito en la sección 1.4.3. Después se extraen del modelo una pluralidad de características. Las características deben ser preferentemente puntos homológicos, distancias y ángulos entre puntos homológicos, momentos de orden inferior, curvatura local y otras características basadas en diferenciales. Las características aplicadas deben ser preferentemente invariables con respecto a la posición, orientación y escala. Las características correspondientes se almacenan en la base de datos junto con cada modelo original. Cada modelo tiene un punto correspondiente en el espacio de características. Los candidatos para el modelo más similar se extraen después como "el espacio circundante más próximo" al punto de característica que está relacionado con el modelo provisional. Preferentemente, el espacio circundante más próximo se determina utilizando la distancia euclídea o de Mahalanobis en el espacio de características, redes neuronales, lógica difusa u otro modelo paramétrico o no paramétrico.

Después puede realizarse un registro del modelo provisional y de cada candidato, y el modelo más aproximado puede extraerse como el modelo más similar. El modelo más aproximado puede definirse con respecto a la distancia media de los mínimos cuadrados entre los vértices del modelo provisional y la superficie de los modelos candidatos. El registro puede llevarse a cabo utilizando el algoritmo iterativo de puntos más cercanos (Besl, P.J. y McKay, N. D., "A method for registration of 3D shapes", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(1), páginas 239 a 256, 1992).

1.4.19 Visualización y simulación

La pieza auricular y los componentes relacionados pueden visualizarse de manera totalmente idéntica al producto final, en el que no solo están incluidos los componentes principales, sino también cables, conectores y todas las demás piezas utilizadas. Puede realizarse una simulación para determinar la influencia y el movimiento de los transductores, conductos, cables, etc., cuando la pieza auricular se mueve, como cuando el usuario está moviéndose o comiendo. Estas simulaciones se realizan preferentemente utilizando física clásica e incluyen además una interacción mutua. Los parámetros físicos requeridos, tales como masa y flexibilidad, se asignan a todos los componentes individuales. Una ventaja de la simulación física es la posibilidad de optimizar el tamaño de diferentes componentes, por ejemplo la longitud del cable que conecta los dispositivos electrónicos y el teléfono.

También puede simularse la introducción y extracción de la pieza auricular en el oído virtual. Esta simulación garantiza que la pieza auricular pueda entrar realmente en el oído. La simulación incluye además la cantidad de deformación y presión aplicada al oído y a la pieza auricular que se requiere para la introducción y la extracción. La cantidad y posición de deformación y presión en el oído hace posible estimar las molestias provocadas por la introducción y la extracción de

la pieza auricular. Asimismo, las molestias también pueden estimarse cuando la pieza auricular está colocada en la posición correcta. De nuevo, se asignan parámetros físicos realistas al oído y a la pieza auricular. Los parámetros asignados al oído pueden obtenerse mediante un registro del oído con respecto a un atlas anatómico.

También pueden realizarse simulaciones de las propiedades acústicas de la pieza auricular modelada.

- 5 La visualización completa y las simulaciones físicas facilitan la evaluación más realista del resultado del modelado y pueden utilizarse para optimizar el modelado para obtener el resultado global más satisfactorio.

1.5 Salida del sistema

- 10 El modelo 3D óptimo final se añade después a la base de datos. La base de datos tiene diversas aplicaciones, por ejemplo puede aplicarse para producir nuevas piezas auriculares utilizando el enfoque basado en similitudes, para obtener estadísticas de forma utilizadas para fines tales como un diseño óptimo de componentes y una simulación acústica mejorada, para llevar a cabo un modelado que refleje el crecimiento y el envejecimiento del canal auditivo y del resto del oído, para reproducir piezas auriculares perdidas o dañadas y/o para crear informes de calidad. Una parte del informe de calidad puede ser la cantidad de penetración del oído virtual (véase la Figura 41).

- 15 La versión física del modelo 3D final puede producirse utilizando un sistema de prototipado rápido tales como fresado, estereolitografía/SLA, fotopolimerización por luz UV, sinterización selectiva por láser, proyección de aglutinante, impresión 3D, fabricación topográfica de carcasas, modelado por deposición fundida, modelado por chorro de tinta, fabricación de objetos laminados, nanoimpresión o cualquier otro sistema que produzca modelos reales a partir de modelos informáticos 3D. El modelo 3D final se guardará directamente en un formato compatible con el sistema de fabricación. Utilizando un algoritmo de compactación, un gran número de modelos 3D puede situarse de manera óptima en el espacio 3D y fabricarse simultáneamente para aumentar la velocidad de producción.

- 25 El sistema también puede generar instrucciones de posprocesamiento y otros datos derivados, por ejemplo programas o configuraciones para los componentes electrónicos correspondientes de un audífono. Cuando se utilizan placas frontales, la generación de instrucciones para el fresado de la placa frontal es esencial si quiere obtenerse la forma correcta. Estas instrucciones también se almacenan en la base de datos y pueden descargarse en la máquina de fresado de manera manual o automática.

- 30 También se generan instrucciones para un ensamblaje manual o automatizado. Preferentemente, estas instrucciones incluyen instrucciones de ensamblaje, especificaciones de componentes y dimensiones óptimas, por ejemplo de conductos y cables. Un uso de estas instrucciones es preparar y ajustar de manera automática los componentes para el ensamblaje. Debido al conocimiento preciso de la forma, el sistema puede crear instrucciones para el ensamblaje automatizado de la carcasa, placa frontal, componentes electrónicos y otros componentes. Sin este conocimiento de la forma, es prácticamente imposible llevar a cabo un ensamblaje automatizado, por ejemplo, mediante un robot, debido a las pequeñas dimensiones y los altos requisitos de precisión. El conocimiento de la posición precisa de los componentes también puede utilizarse para montar los componentes antes o durante la producción de la carcasa. El sistema también puede optimizar la posición y orientación de la carcasa en la producción para facilitar la colocación de los componentes.
- 35 Esto hace posible incorporar componentes dentro de la carcasa y montar componentes que no puedan introducirse en la carcasa final. Los componentes simples también pueden crearse directamente, por ejemplo, imprimirse.

La mayoría del tratamiento y del procesamiento de la pieza auricular requiere que se conozca la identidad de la presente pieza auricular. La pieza auricular se identifica preferentemente de manera automática, por ejemplo, mediante un lector de código de barras o un sistema de visión informático.

40

REIVINDICACIONES

1.- Un procedimiento de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal y/o un meato auditivo, comprendiendo dicho procedimiento las etapas de:

- 5 a) obtener un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa (2604),

b) disponer inicialmente al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D,

c) disponer inicialmente una curva de corte (2203) o superficie de corte (1303, 3801) en relación con la superficie externa (2604) del modelo 3D, dividiendo dicha curva (2203) o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa (2207) y una parte interna (2206), siendo dicha parte interna la parte del modelo 3D que está más cerca del meato,
10 d) formar inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y la parte interna (2206) del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

e) llevar a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con una o más partes del modelo 3D y/u otros componentes (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), y
15 f) ajustar la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.
- 20 2.- El procedimiento según la reivindicación 1, en el que las etapas (e) y (f) se repiten hasta que la detección de colisiones satisfaga un criterio mínimo requerido.
- 3.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), y/o la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión se ajusta(n) hasta que no se detecte ninguna colisión.
- 25 4.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que una función objeto, $f(v)$, se define para expresar la calidad de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), y/o la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión, siendo dicha función objeto una función creciente del número de colisiones detectadas y calculándose para cada nueva disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o curva (2203) o superficie de corte, y en el que la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), y/o la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión se ajusta(n) hasta que la función objeto satisfaga un criterio mínimo dado.
- 30 5.- El procedimiento según la reivindicación 4, en el que dicho criterio mínimo es que la función objeto obtenga un valor mínimo, o que la diferencia en los valores de dos funciones objeto determinadas de manera sucesiva sea inferior a un valor definido.
- 35 6.- El procedimiento según las reivindicaciones 4 y 5, en el que dicha función objeto consiste en una suma ponderada de términos relacionados con restricciones y una pluralidad de otros términos que expresan la calidad de la pieza auricular.
- 7.- El procedimiento según la reivindicación 6, en el que los otros términos se seleccionan a partir del grupo que consiste en el volumen de la carcasa, la superficie de carcasa externa, el área de superficie de carcasa visible, la longitud de la intersección entre el oído de referencia y la superficie de corte (1303, 3801), el área de la superficie de corte (1303, 3801)
40 después del corte, la penetración máxima del oído de referencia por un componente, el promedio de la penetración y las propiedades acústicas.
- 8.- El procedimiento según la reivindicación 1, en el que las etapas se llevan a cabo:

en el orden a), b), c), d), e), f) o
en el orden a), c), b), d), e), f) o
45 en el orden a), c), b), e), d), f) o
en el orden a), b), e), c), d), f).
- 9.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de formar inicialmente una superficie de cierre que cierra parcial o completamente el orificio creado en el modelo 3D por la curva de corte (2203)/superficie de corte (1303, 3801).
- 50 10.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o de la curva (2203) o superficie de corte se lleva a cabo utilizando un enfoque basado en similitudes, en el que el modelo 3D presente obtenido se compara con una pluralidad de modelos

- almacenados de modelos 3D optimizados generados anteriormente, donde uno de dichos modelos 3D almacenados se selecciona como el modelo más similar y la disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y de la curva (2203) o superficie de corte se fija sustancialmente igual a las disposiciones optimizadas del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y de la curva (2203) o superficie de corte de dicho modelo 3D más similar.
- 11.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o de la curva (2203) o superficie de corte se lleva a cabo utilizando un enfoque basado en características, en el que las características extraídas del modelo 3D obtenido se utilizan para la disposición.
- 12.- El procedimiento según la reivindicación 1, en el que las etapas se llevan a cabo en el orden: a), b), c), e), d), f).
- 13.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa adicional durante la cual se cierran los orificios del modelo 3D.
- 14.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa adicional durante la cual se eliminan los defectos del modelo 3D.
- 15.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además eliminar partes no deseadas de la superficie del modelo 3D.
- 16.- El procedimiento según la reivindicación 15, en el que las partes no deseadas se eliminan utilizando una curva (2203)/superficie de corte.
- 17.- El procedimiento según la reivindicación 15, en el que las partes no deseadas se eliminan marcando las partes en el modelo 3D.
- 18.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende una etapa adicional durante la cual una segunda superficie (1303, 3801)/curva de corte se dispone en relación con la superficie externa (2604) del modelo 3D.
- 19.- Un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D comprende disponer una superficie de componente del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D.
- 20.- El procedimiento según la reivindicación 19, en el que una superficie de conexión conecta dicha superficie de componente y dicha parte interna (2206) del modelo 3D.
- 21.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D comprende disponer al menos parte del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) sustancialmente en el interior del modelo 3D.
- 22.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la formación de la superficie de conexión comprende un proceso de solevación.
- 23.- El procedimiento según la reivindicación 22, en el que el proceso de solevación comprende fijar una superficie paramétrica al límite de la parte interna (2206) del modelo 3D y al límite de una superficie que define un límite externo de dicho al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D.
- 24.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la formación de la superficie de conexión comprende un proceso de empalme del borde o límite de la parte interna (2206) del modelo 3D.
- 25.- El procedimiento según la reivindicación 24, en el que la superficie de carcasa externa del modelo 3D viene dada en una representación de vértices donde los vértices están conectados mediante triángulos, y el proceso de empalme comprende eliminar al menos parte de los triángulos en las inmediaciones en torno a al menos parte de dicho borde y fijar una superficie paramétrica en las inmediaciones del orificio creado por los triángulos eliminados.
- 26.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos parte de la parte interna (2206) del modelo 3D está exfoliada, presentando dicha parte interna exfoliada (2206) una superficie de carcasa interna y una superficie de carcasa externa.
- 27.- El procedimiento según la reivindicación 26, en el que la carcasa del modelo 3D se genera mediante un proceso de exfoliación controlado o asistido por ordenador.
- 28.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además un proceso que comprende un desplazamiento hacia fuera de al menos parte de la superficie de carcasa externa de un modelo informático 3D, presentando dicho modelo 3D una superficie de carcasa externa parametrizada mediante una pluralidad de vértices, vértices que están conectados por triángulos, comprendiendo dicho proceso desplazar hacia fuera una copia

de cada vértice de la superficie de carcasa externa y eliminar la pluralidad de vértices copiados que están más cerca de la superficie de carcasa externa que una distancia mínima dada, y crear una nueva superficie desplazada mediante la triangulación de los vértices copiados restantes.

- 29.- El procedimiento según la reivindicación 28, que comprende además un proceso de solevación para conectar la(s) parte(s) desplazada(s) a la(s) parte(s) no desplazada(s).
- 30.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dichas una o más partes del modelo 3D con relación a las cuales puede llevarse a cabo la detección de colisiones comprenden al menos parte de la parte interna (2206) y/o al menos parte de la parte externa (2207) del modelo 3D.
- 31.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el componente y/o la superficie de componente se utilizan para generar la curva (2203)/superficie de corte inicial.
- 32.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el corte inicial se lleva a cabo por la superficie de componente.
- 33.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el corte inicial se lleva a cabo por una curva/superficie obtenida a partir de la superficie de componente.
- 34.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores 1 a 30, en el que la curva (2203)/superficie de corte inicial se genera sin el componente o la superficie de componente.
- 35.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la curva (2203)/superficie de corte inicial se marca en una impresión antes de escanear dicha impresión y dicha marca se utiliza para generar la curva (2203)/superficie de corte inicial.
- 36.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o de la curva (2203) o superficie de corte se lleva a cabo manualmente.
- 37.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicha disposición inicial del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o de la curva (2203) o superficie de corte se lleva a cabo utilizando un enfoque basado en características, en el que las características extraídas del modelo 3D obtenido se utilizan para la disposición.
- 38.- El procedimiento según la reivindicación 37, en el que la textura marcada en la impresión utilizada para generar el modelo 3D se utiliza para la disposición inicial.
- 39.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que dicho(s) ajuste(s) de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y/o de la curva (2203) o superficie de corte se lleva(n) a cabo manualmente.
- 40.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 38, en el que dicho(s) ajuste(s) de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), y/o de la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o de la formación de la superficie de conexión es (son) controlado(s) o asistido(s) por ordenador.
- 41.- El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que al menos parte de los componentes se seleccionan a partir de una lista de componentes que comprende: componentes electrónicos, salidas a componentes internos, conductos, canal de ventilación, amplificador, micrófono, captador de vibraciones, microchip, transductor, dispositivos de identificación/comunicaciones inalámbricas, sensores de posición tales como GPS, altavoz, conductos, batería, circuitos impresos, placa frontal, parches de superficie, entradas, salidas, cables, conductores, controles de volumen, bridas para clavos, cordón de extracción, telebobina, medios de bloqueo, módulos de interfaz, identificación y logotipo.
- 42.- Un producto de programa informático que incluye un medio legible por ordenador, presentando dicho medio legible por ordenador un programa informático almacenado en el mismo, dicho programa para realizar un modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho programa:
 - a) código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa (2604),
 - b) código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D,
 - c) código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente una curva de corte (2203) o superficie de corte (1303, 3801) en relación con la superficie externa (2604) del modelo 3D, dividiendo dicha curva (2203) o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa (2207) y una parte interna (2206), siendo dicha parte interna la

parte del modelo 3D que está más cerca del meato,

d) código de programa para hacer que un ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y la parte interna (2206) del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

5 e) código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con una o más partes del modelo 3D, y

10 f) código de programa para hacer que un ordenador ajuste la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

43.- Una señal de datos informáticos representada en una onda de señal, incluyendo dicha señal de datos informáticos un programa informático, dicho programa para realizar un modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas que comprenden al menos una parte que está adaptada de manera individual a un canal auditivo, comprendiendo dicho programa:

15 a) código de programa para hacer que un ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa (2604),

b) código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D,

20 c) código de programa para hacer que un ordenador disponga inicialmente una curva de corte (2203) o superficie de corte (1303, 3801) en relación con la superficie externa (2604) del modelo 3D, dividiendo dicha curva (2203) o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa (2207) y una parte interna (2206), siendo dicha parte interna la parte del modelo 3D que está más cerca del meato,

25 d) código de programa para hacer que un ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y la parte interna (2206) del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

e) código de programa para hacer que un ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con una o más partes del modelo 3D, y

30 f) código de programa para hacer que un ordenador ajuste la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

44.- Un sistema de modelado asistido por ordenador de piezas auriculares personalizadas, incluyendo dicho sistema una memoria legible por ordenador que presenta una o más instrucciones informáticas almacenadas en la misma, comprendiendo dichas instrucciones:

35 a) instrucciones operativas para hacer que el ordenador obtenga un modelo informático tridimensional, modelo 3D, de al menos parte del canal auditivo, presentando dicho modelo 3D una superficie externa (2604),

b) instrucciones operativas para hacer que el ordenador disponga inicialmente al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con el modelo 3D,

40 c) instrucciones operativas para hacer que el ordenador disponga inicialmente una curva de corte (2203) o superficie de corte (1303, 3801) en relación con la superficie externa (2604) del modelo 3D, dividiendo dicha curva (2203) o superficie de corte el modelo 3D en una parte externa (2207) y una parte interna (2206), siendo dicha parte interna la parte del modelo 3D que está más cerca del meato,

45 d) instrucciones operativas para hacer que el ordenador forme inicialmente una superficie de conexión que conecta el al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) y la parte interna (2206) del modelo 3D, siendo por tanto dicha superficie de conexión parte del modelo 3D,

e) instrucciones operativas para hacer que el ordenador lleve a cabo una evaluación de la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), comprendiendo dicha evaluación una detección de colisiones del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902) en relación con una o más partes del modelo 3D, e

50 f) instrucciones operativas para hacer que el ordenador ajuste la disposición del al menos un componente (105, 106, 107, 108, 1801, 1902), la disposición de la curva (2203) o superficie de corte, y/o la formación de la superficie de conexión en función del resultado de dicha evaluación.

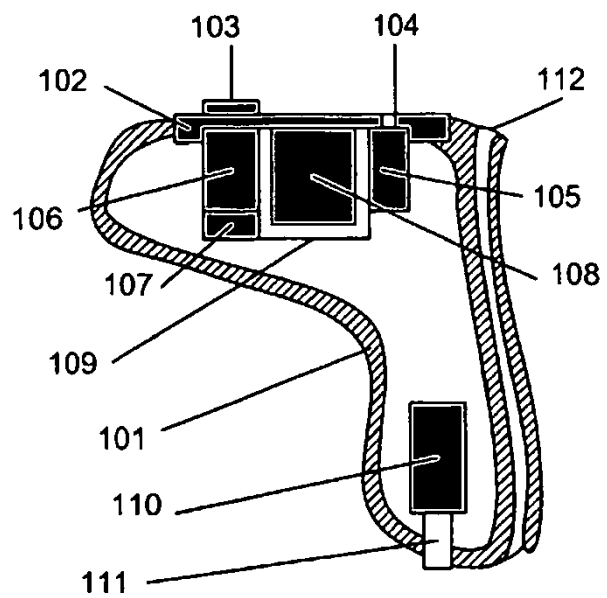


Figura 1

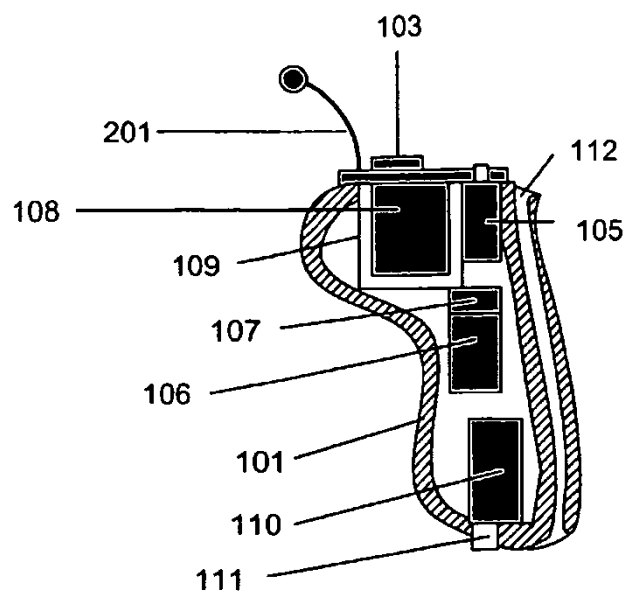


Figura 2

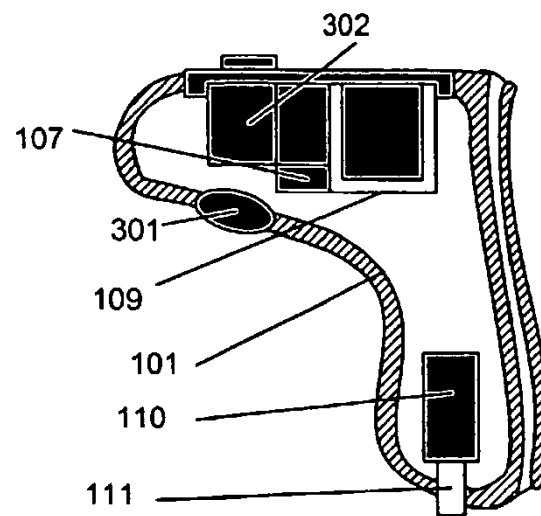


Figura 3

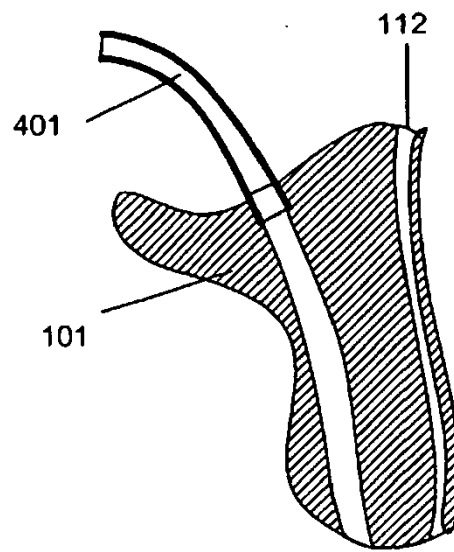


Figura 4

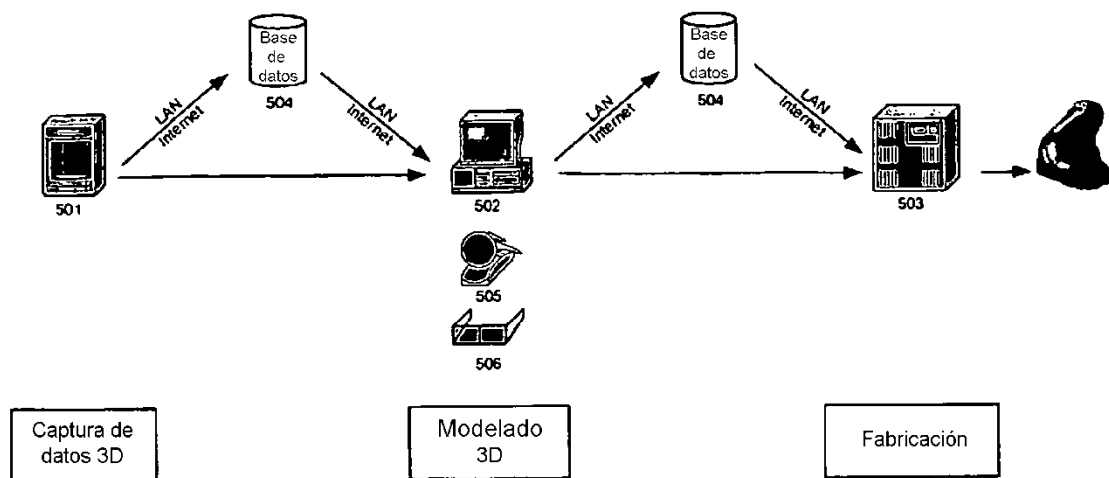


Figura 5

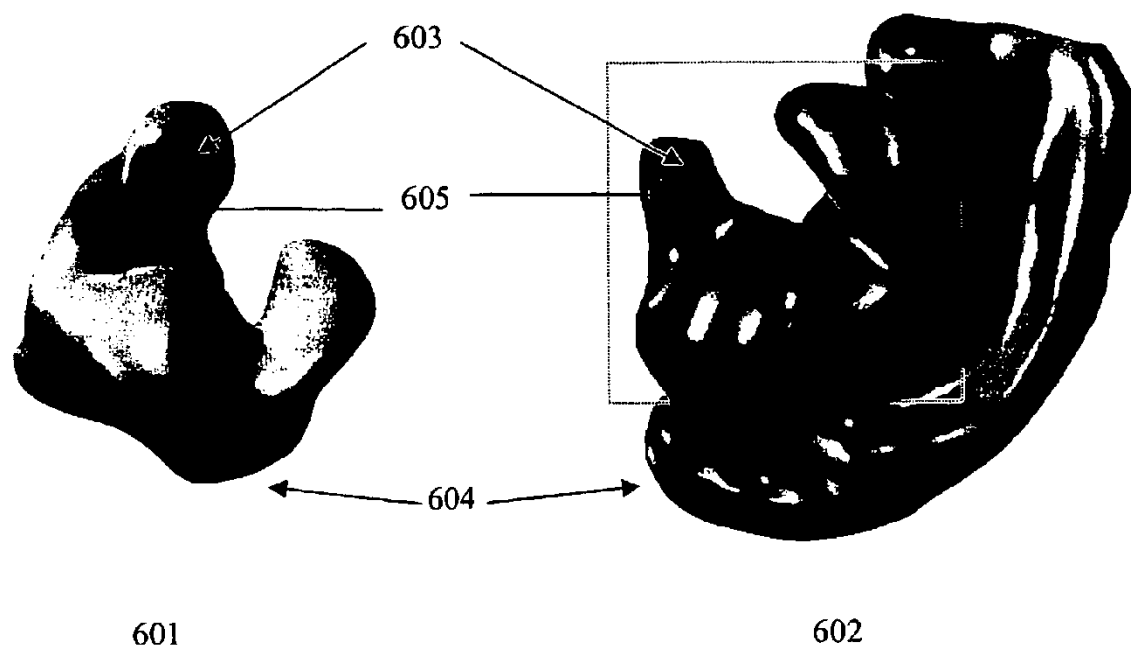


Figura 6

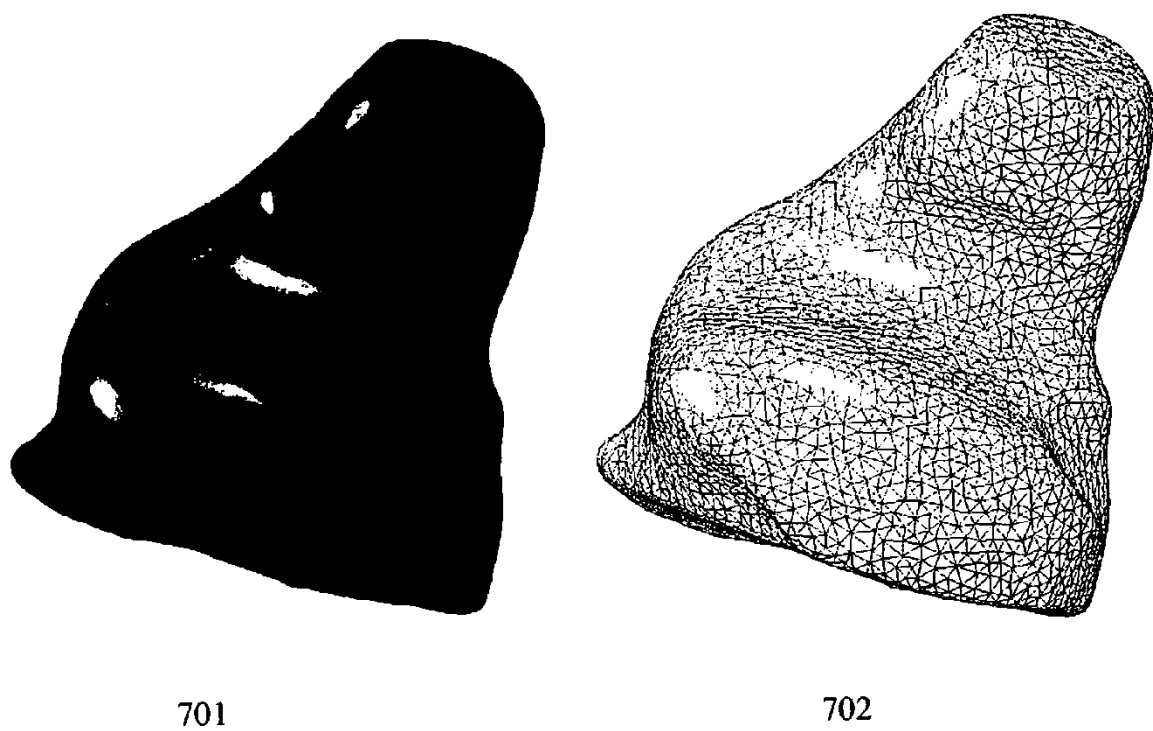


Figura 7

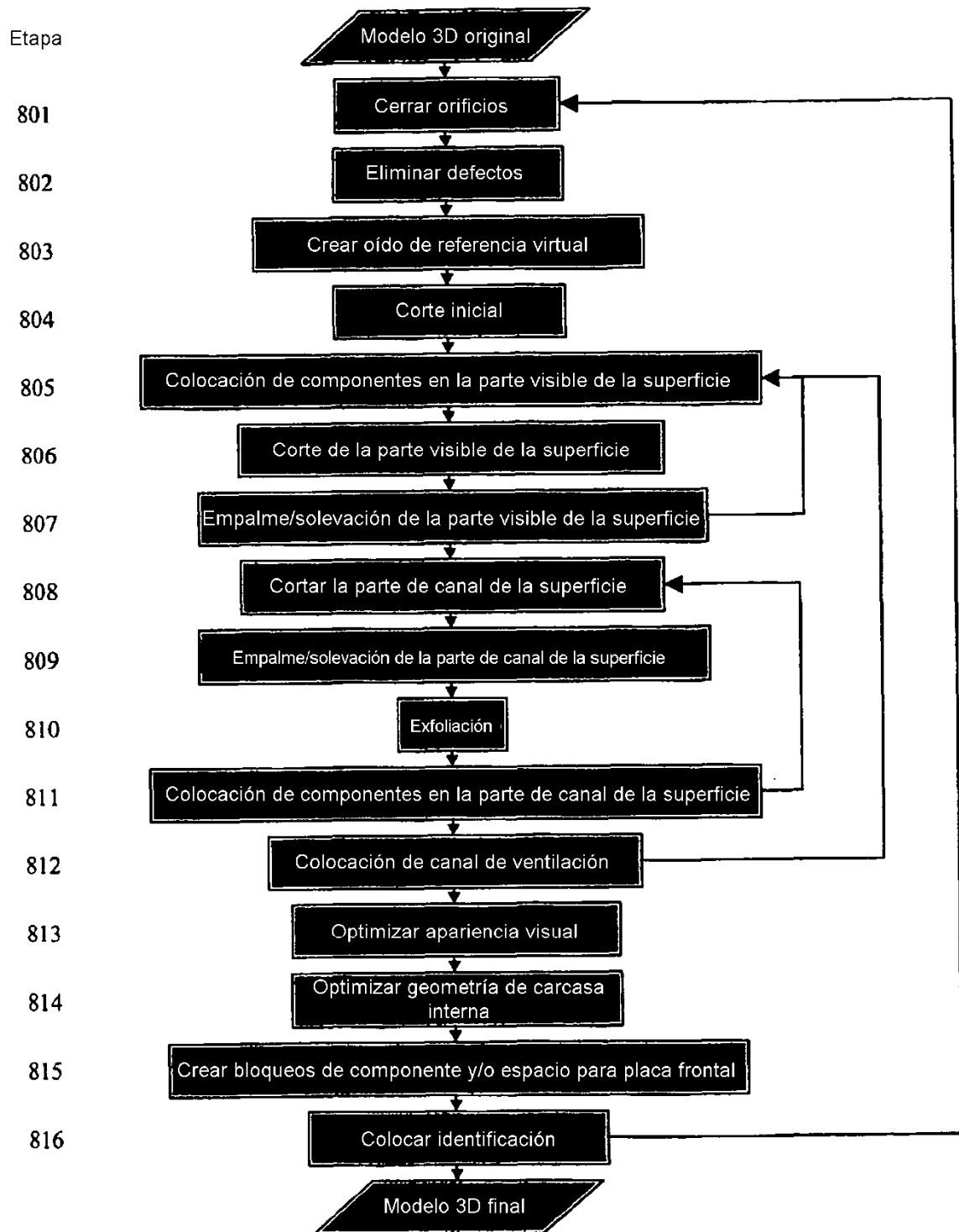


Figura 8

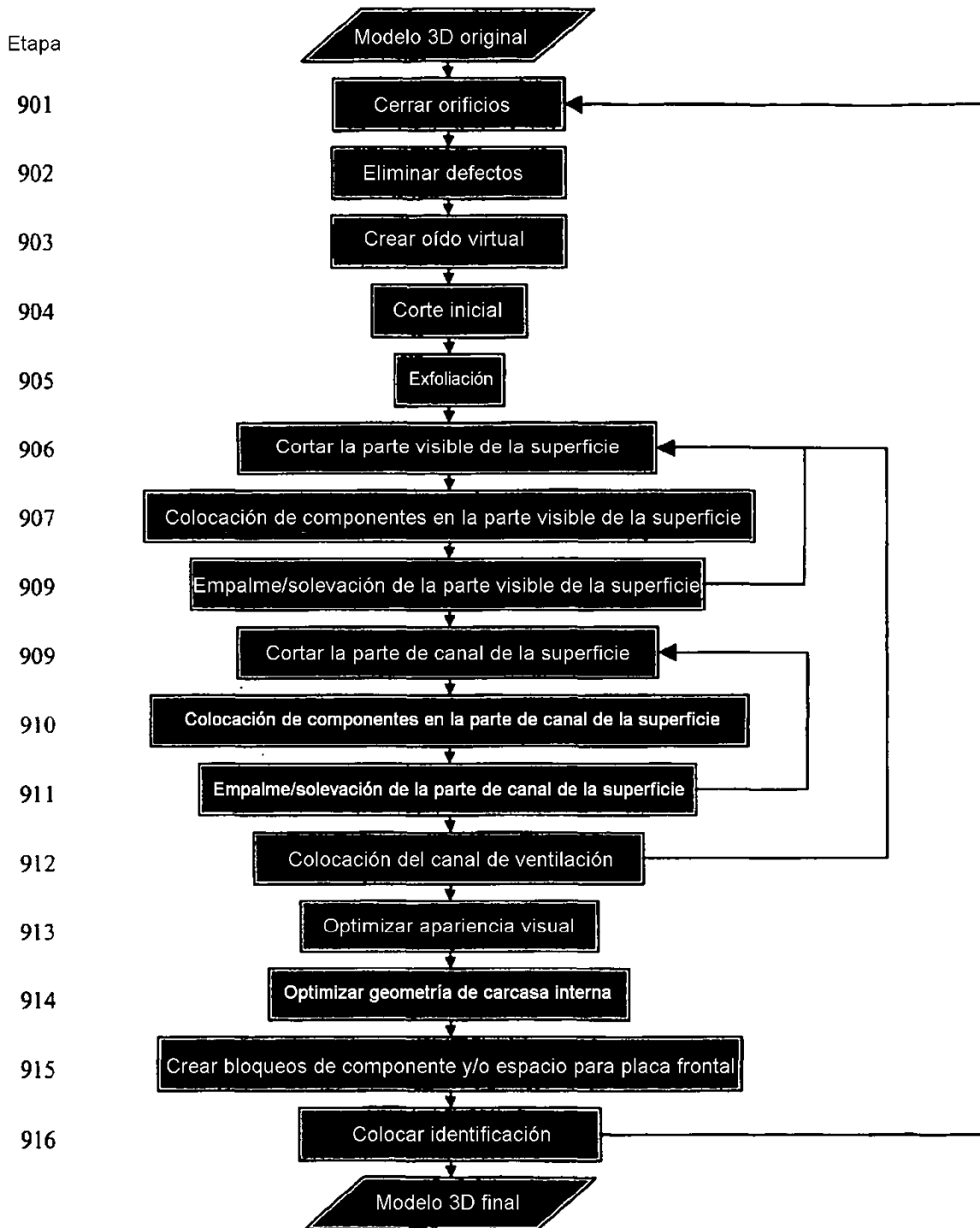


Figura 9

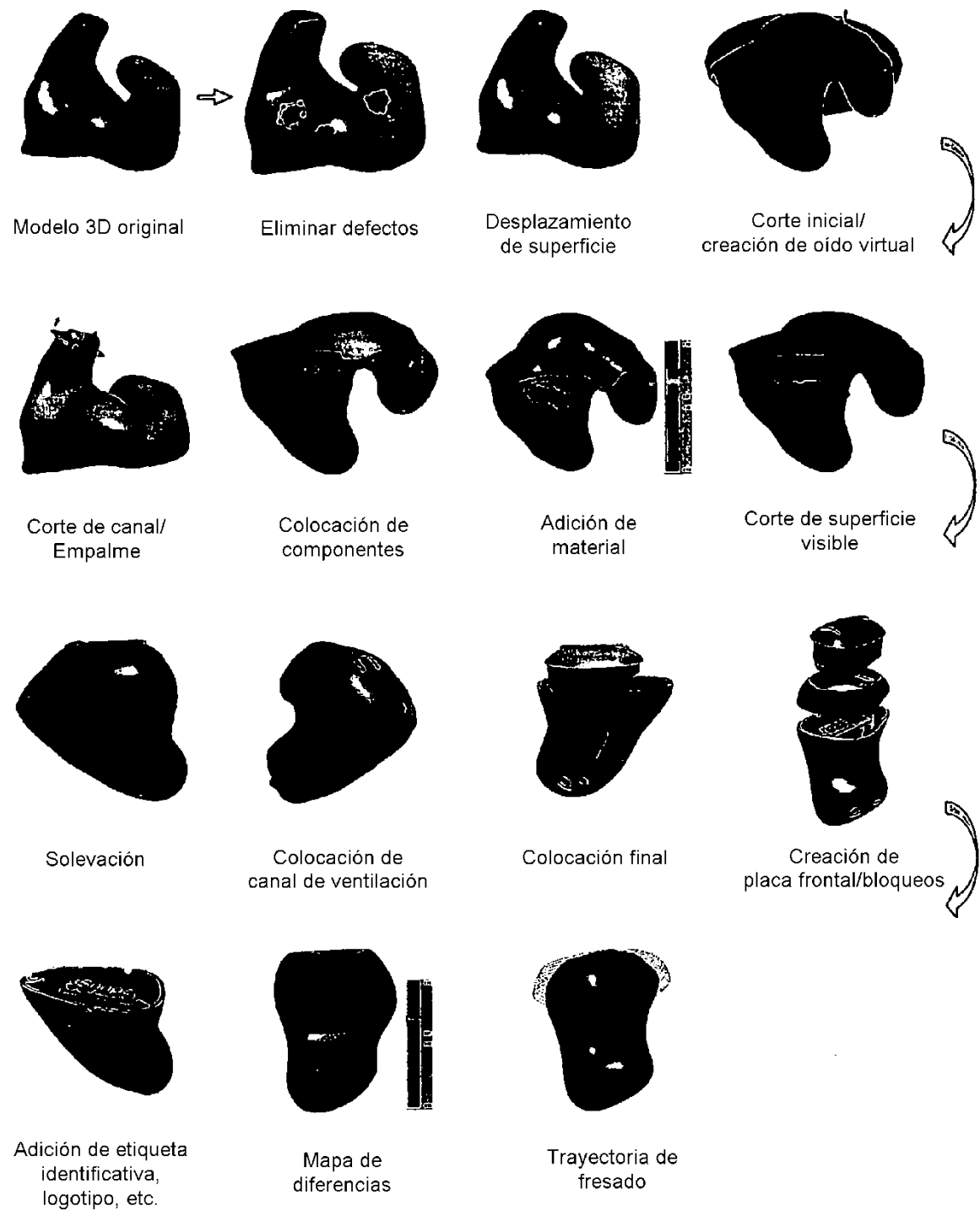


Figura 10

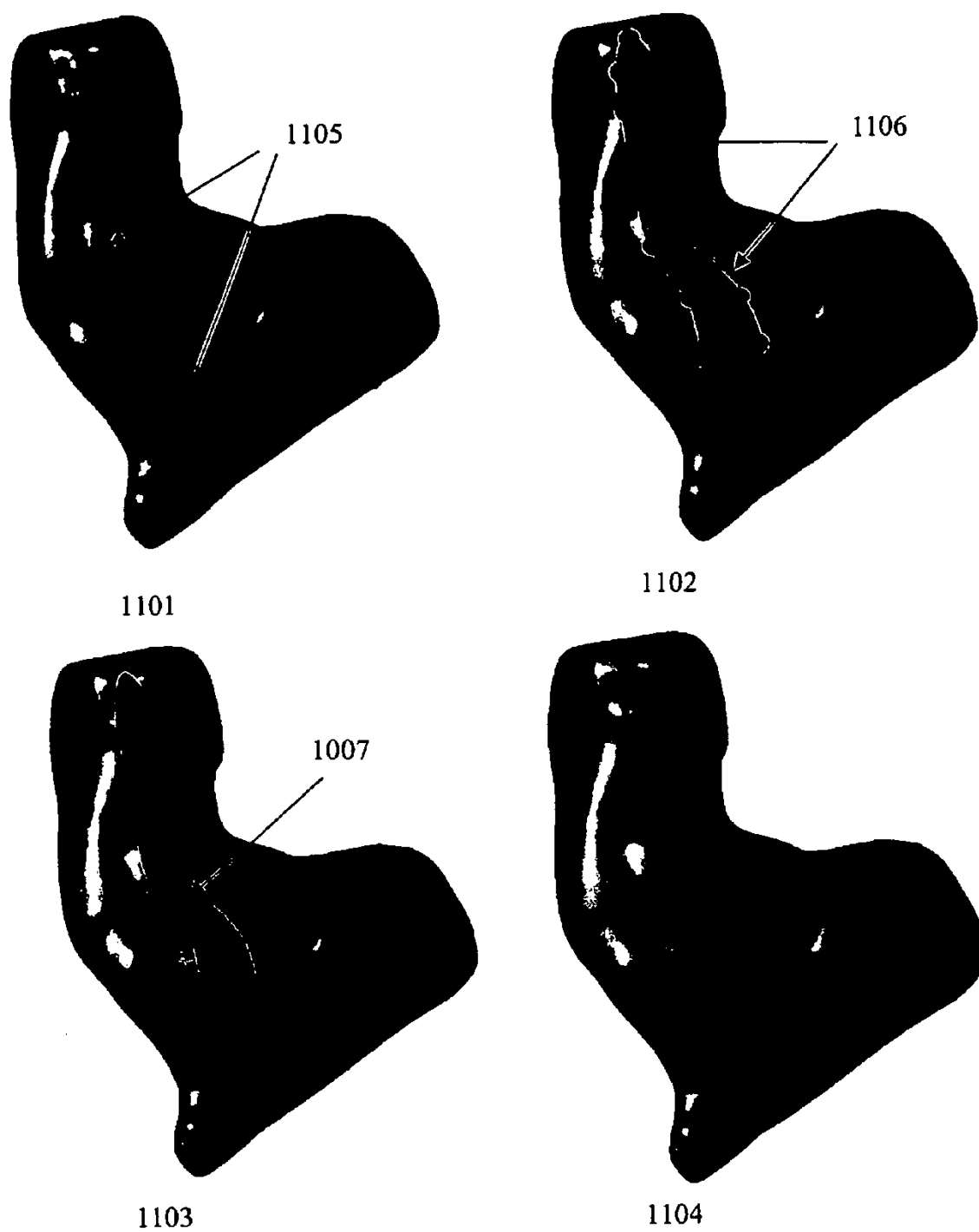


Figura 11

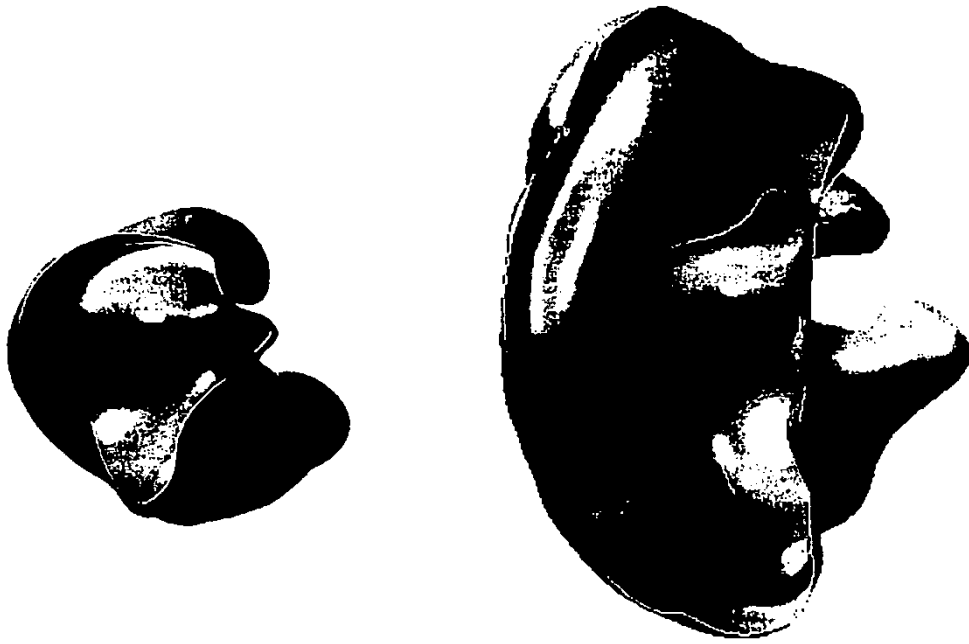


Figura 12

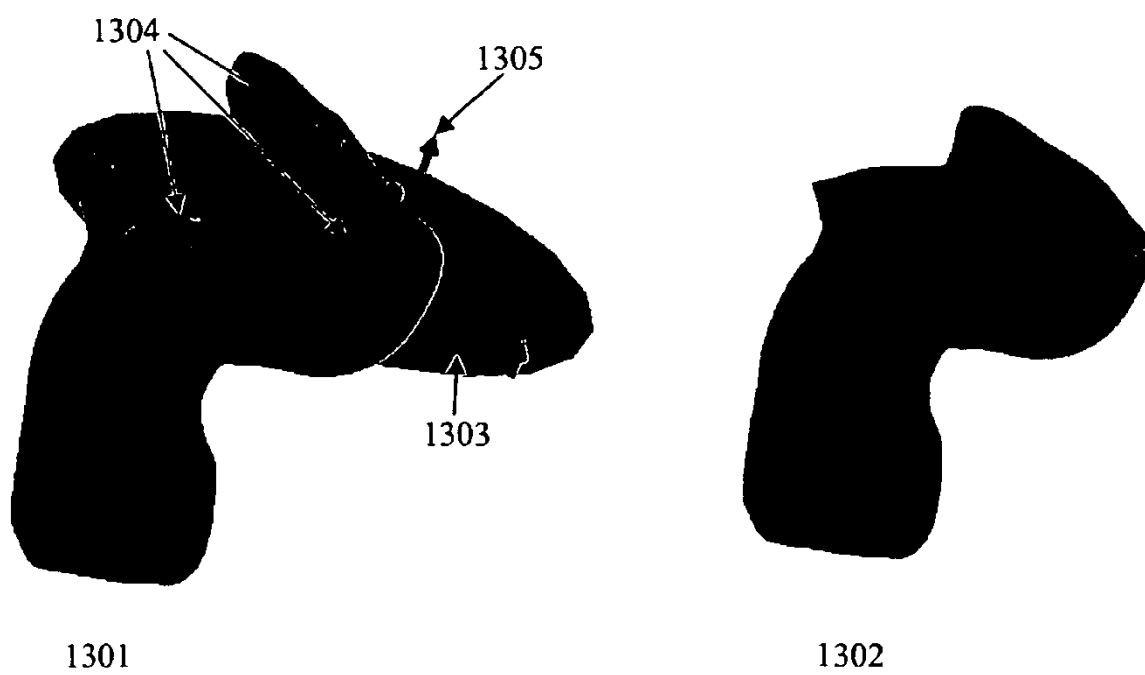


Figura 13

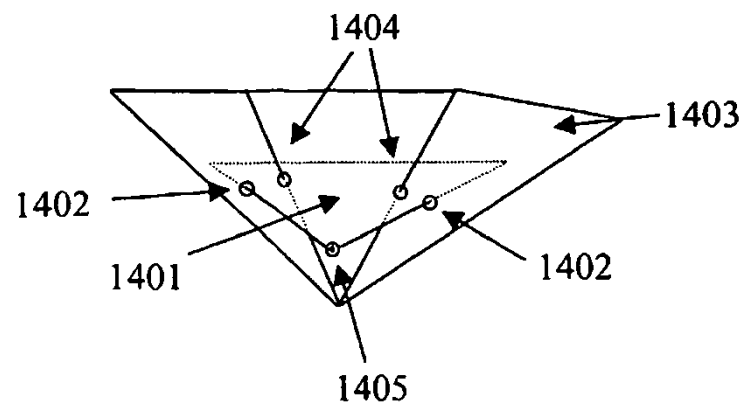


Figura 14

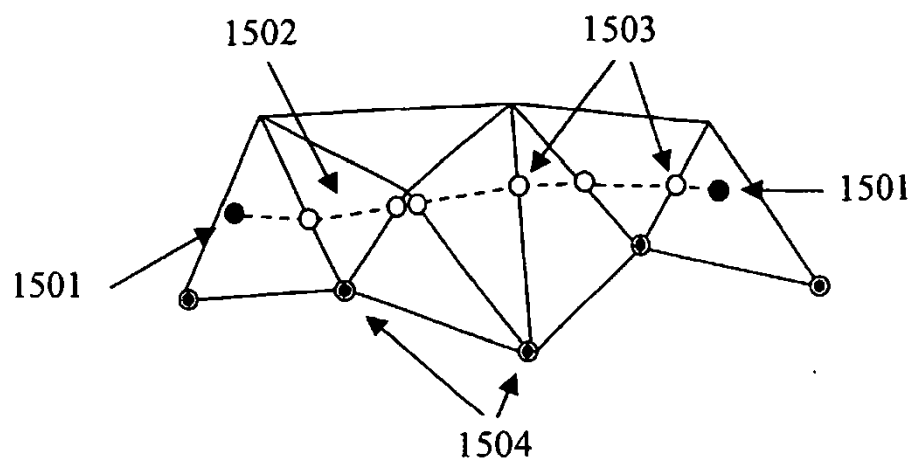


Figura 15

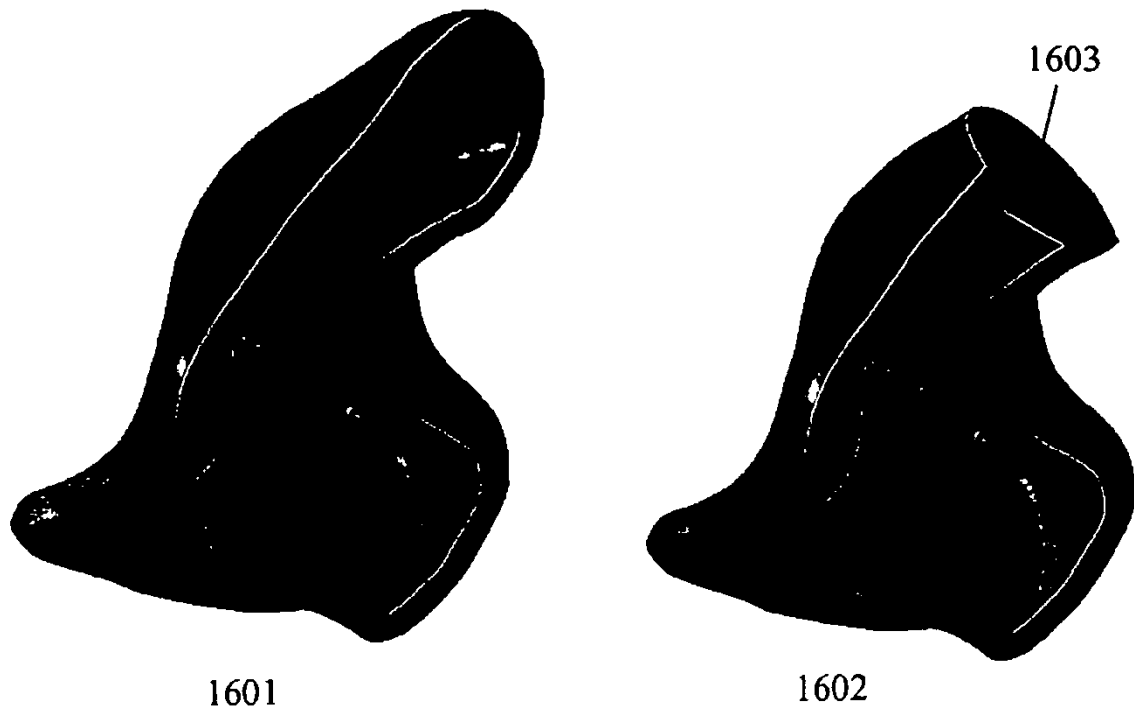


Figura 16

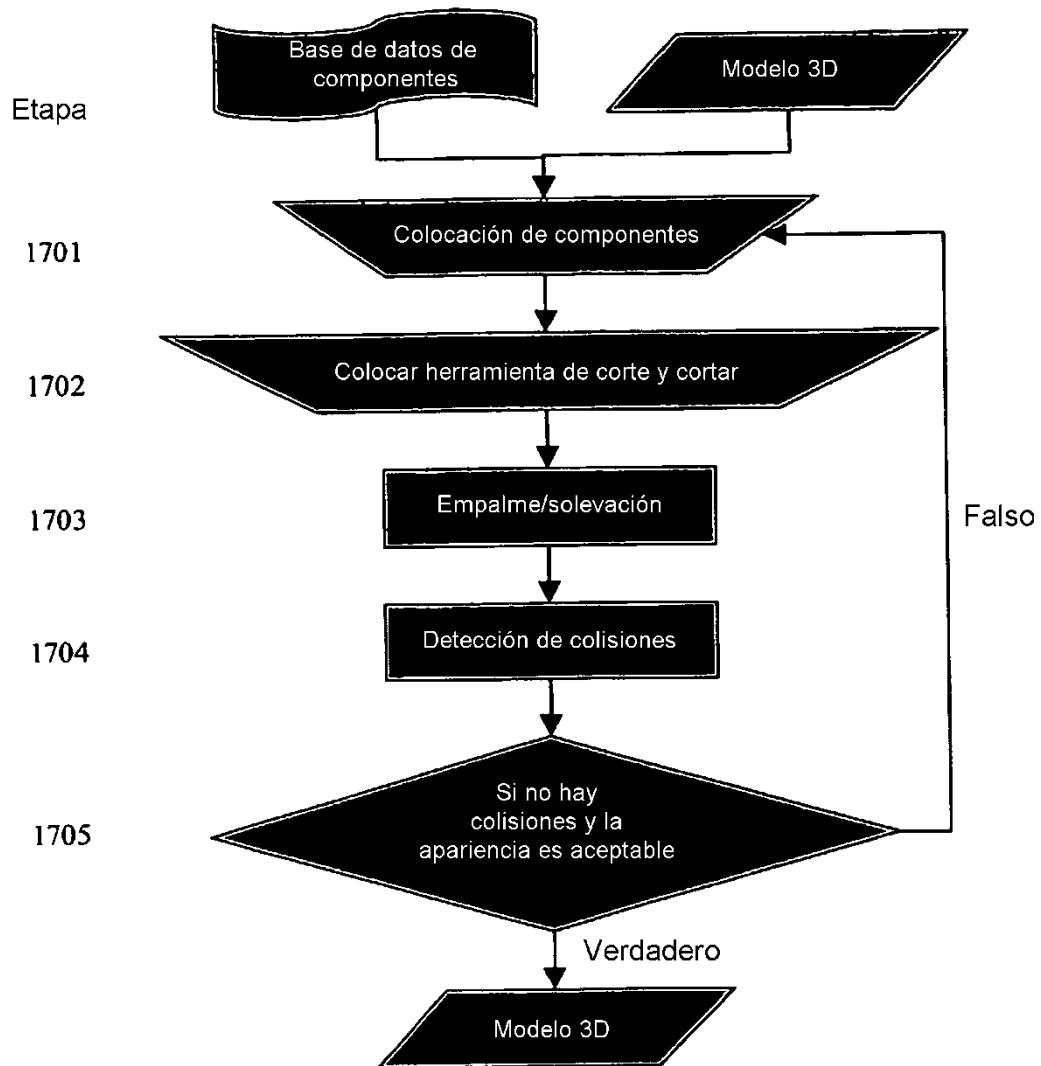


Figura 17

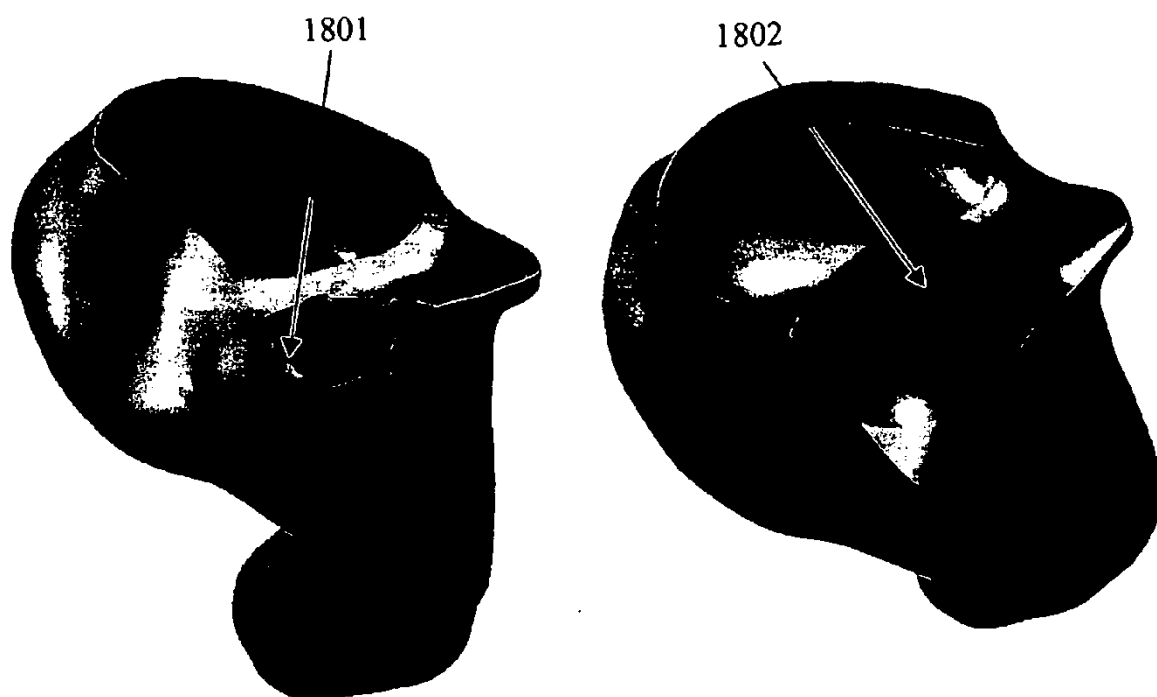


Figura 18

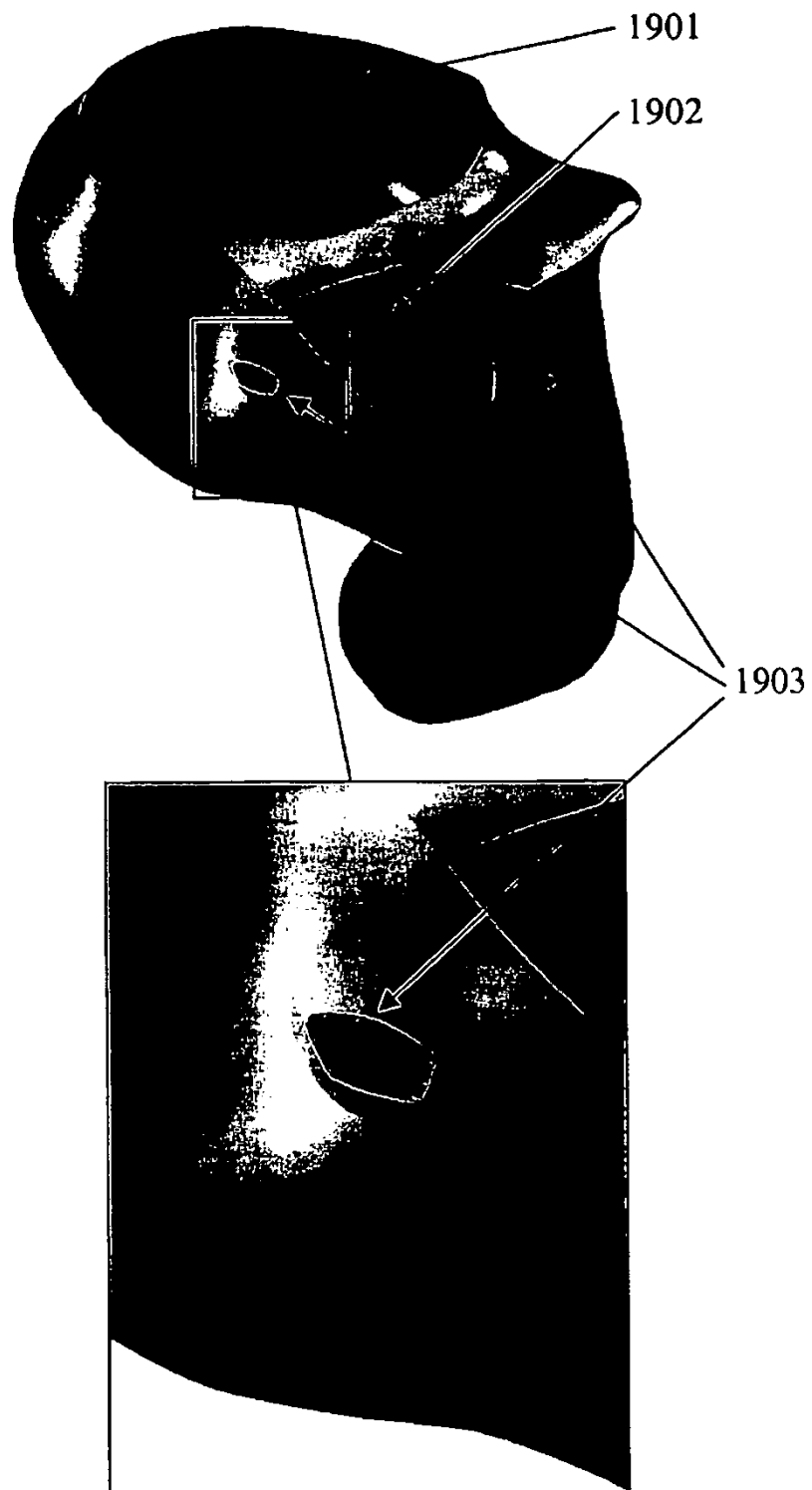


Figura 19

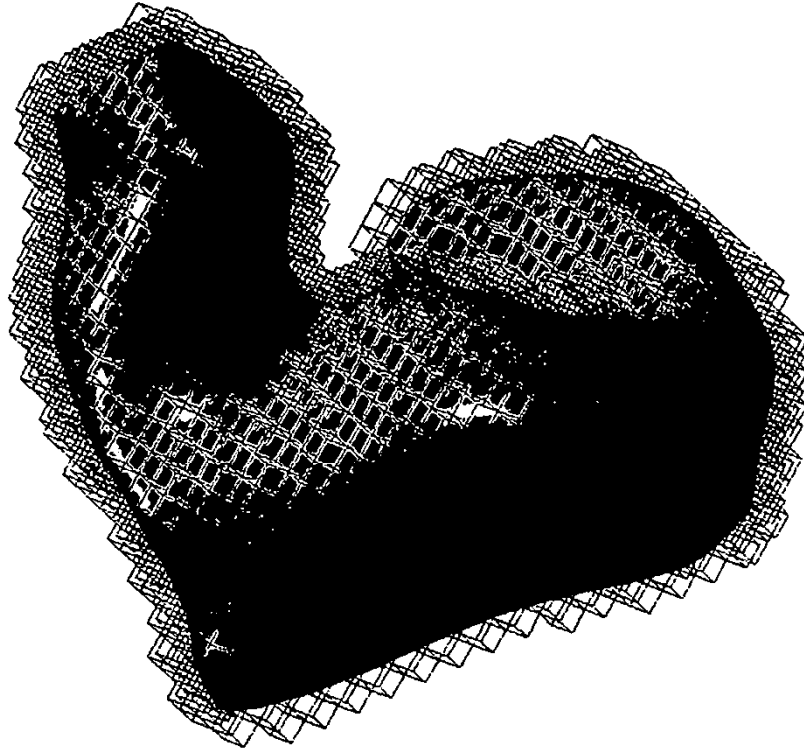


Figura 20

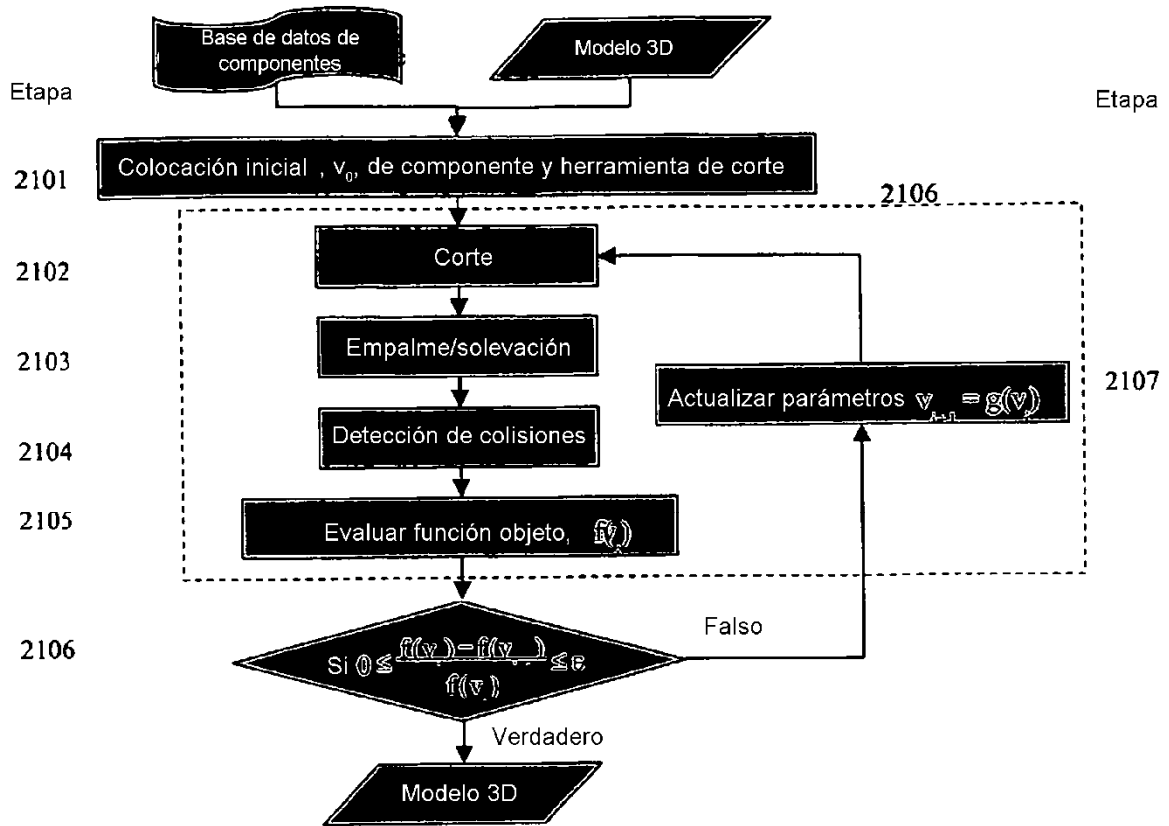


Figura 21

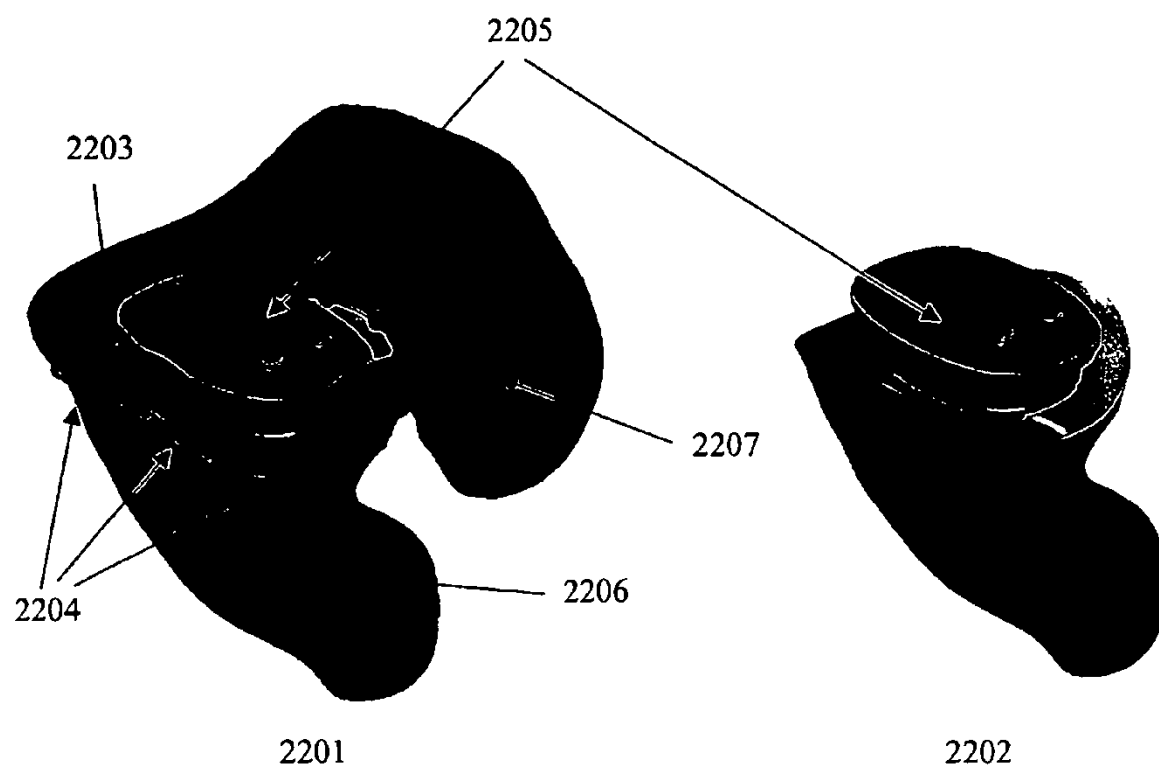


Figura 22

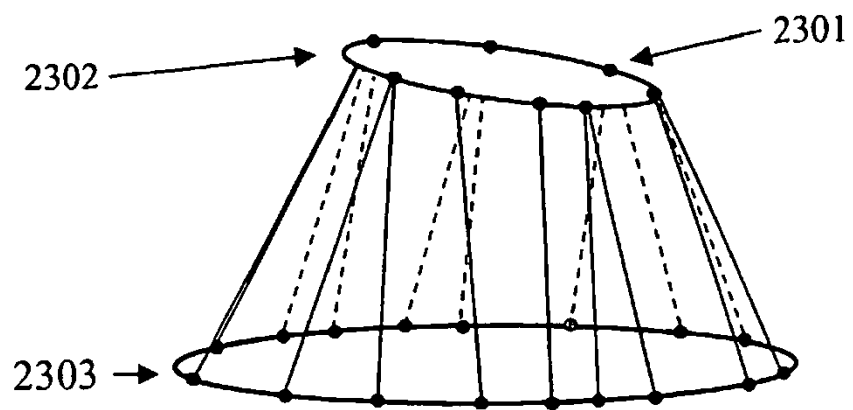


Figura 23

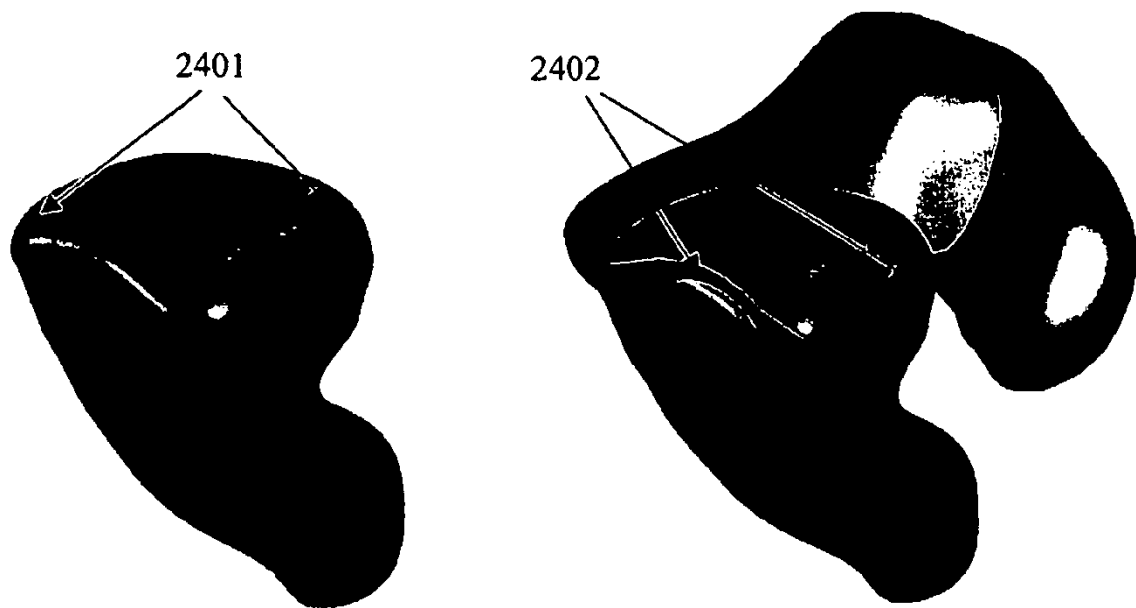


Figura 24

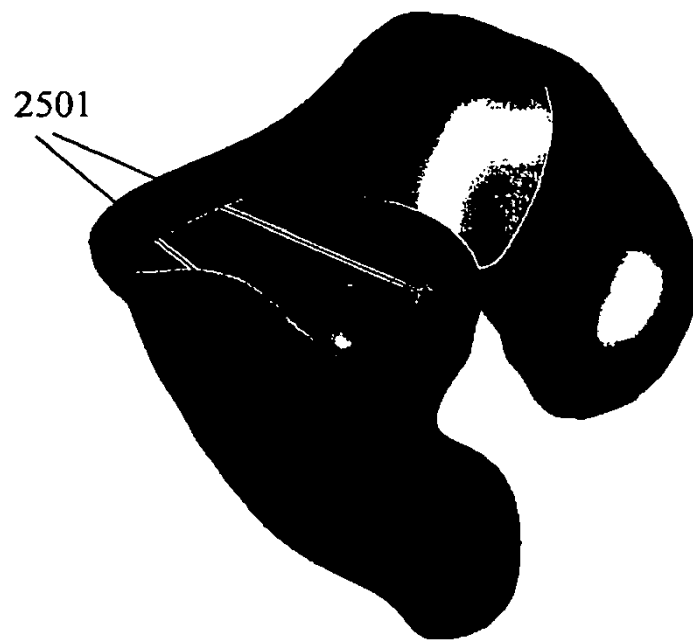


Figura 25

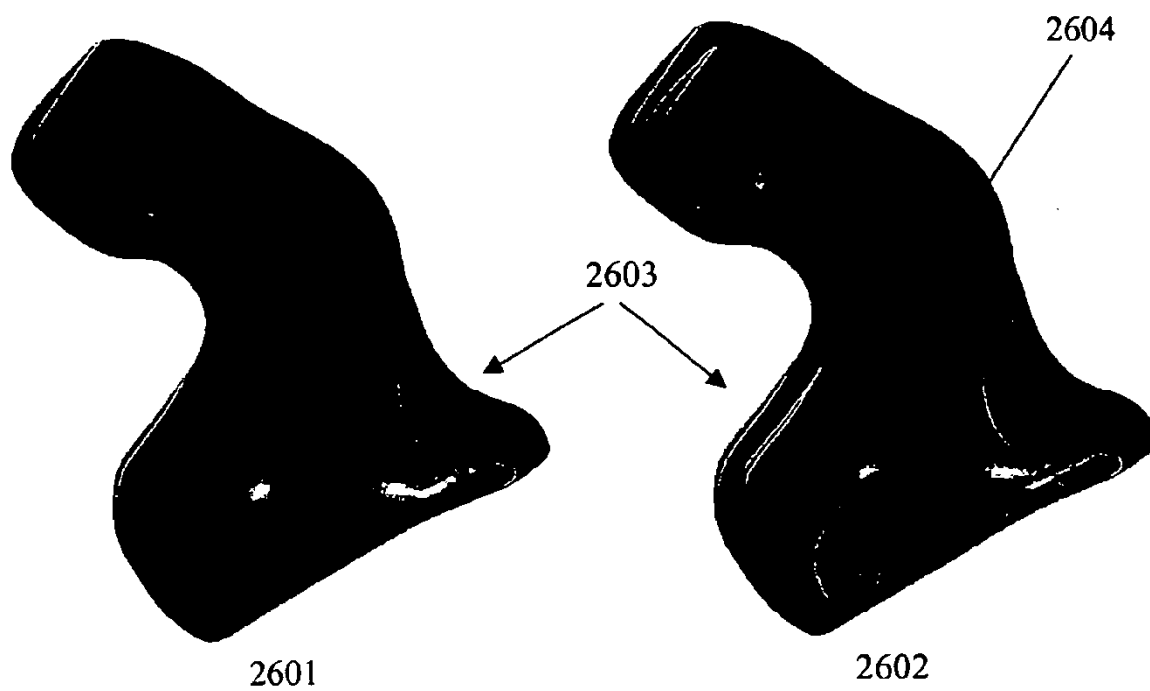


Figura 26

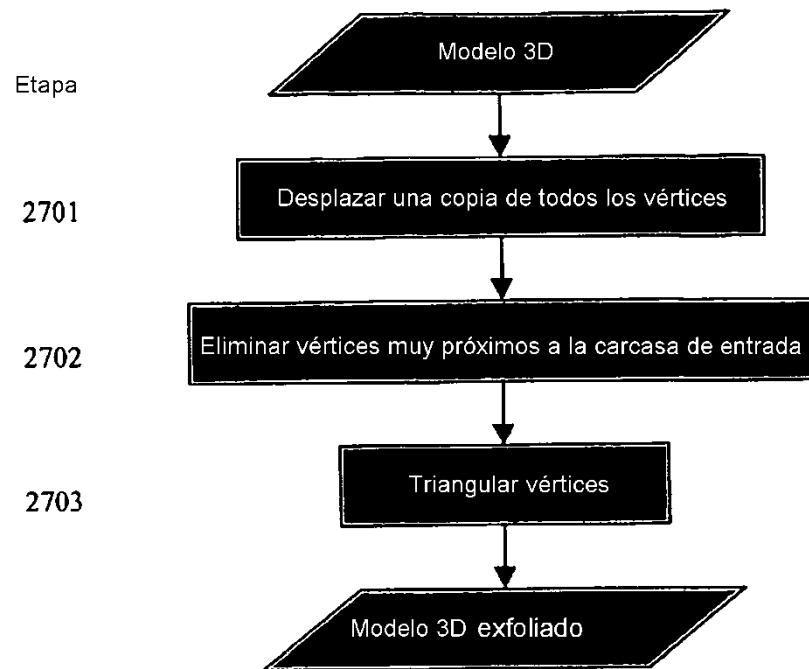


Figura 27

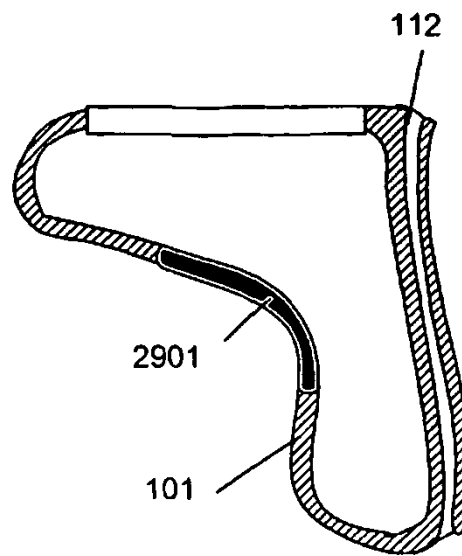
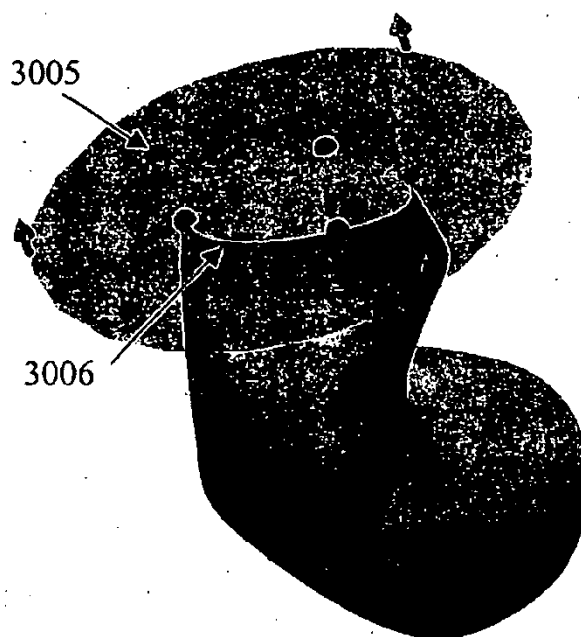


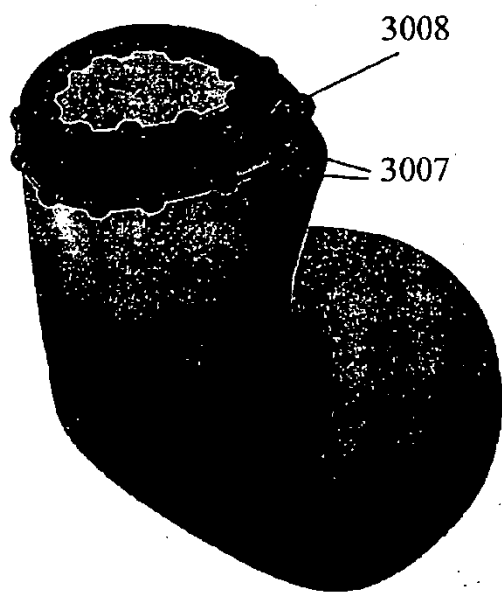
Figura 29



3001



3002



3003



3004

Figura 30

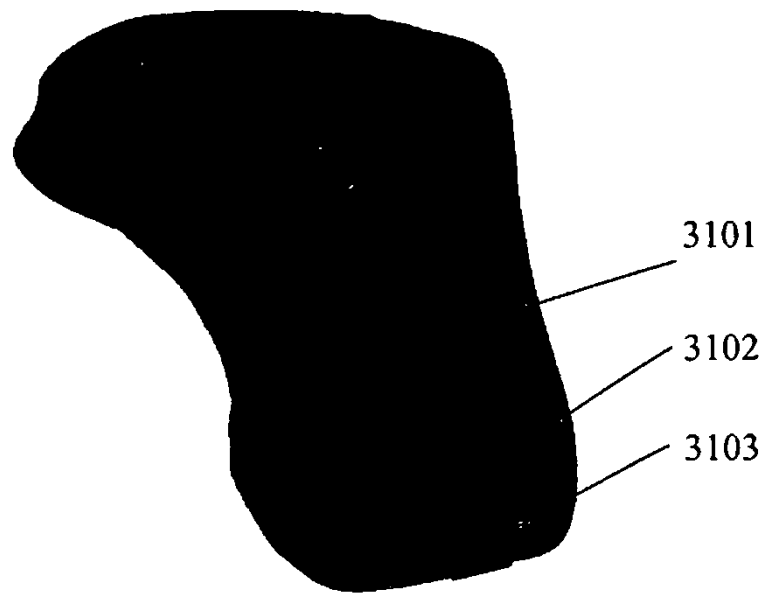


Figura 31

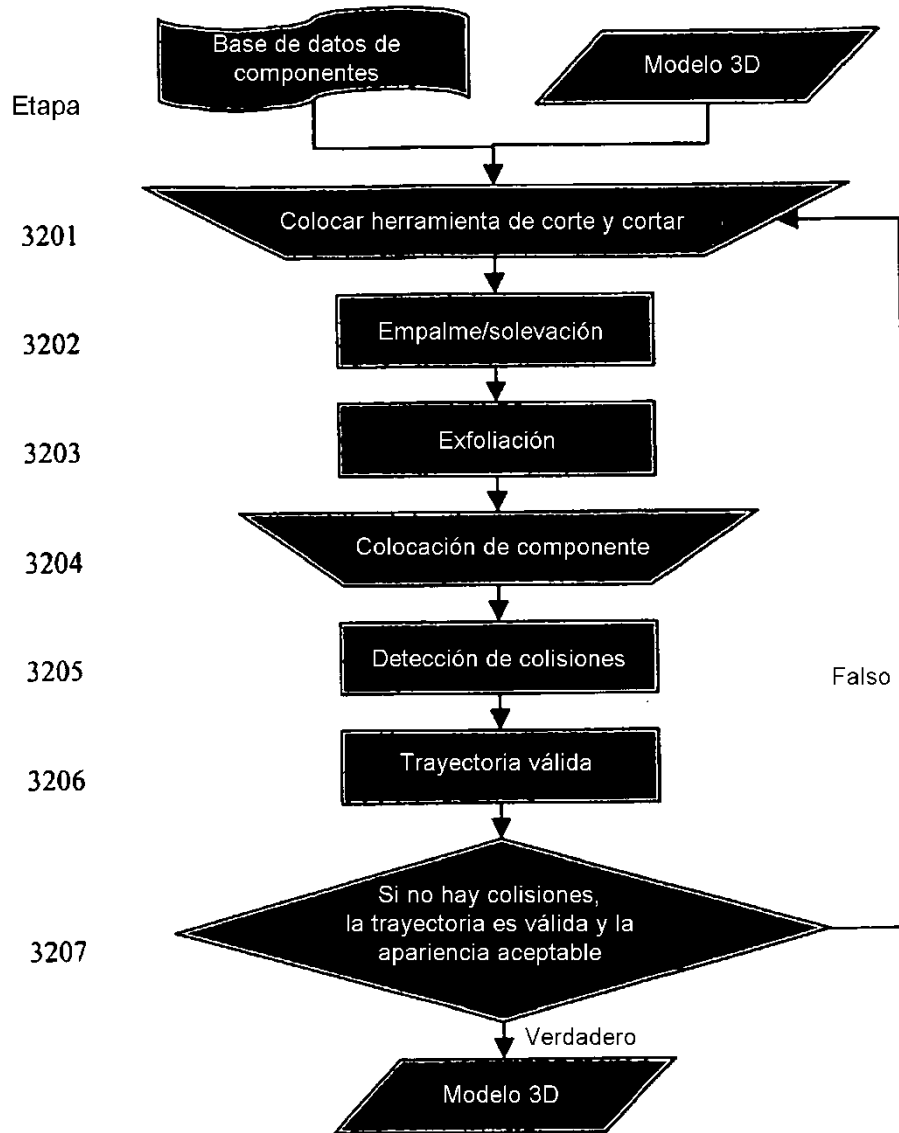


Figura 32

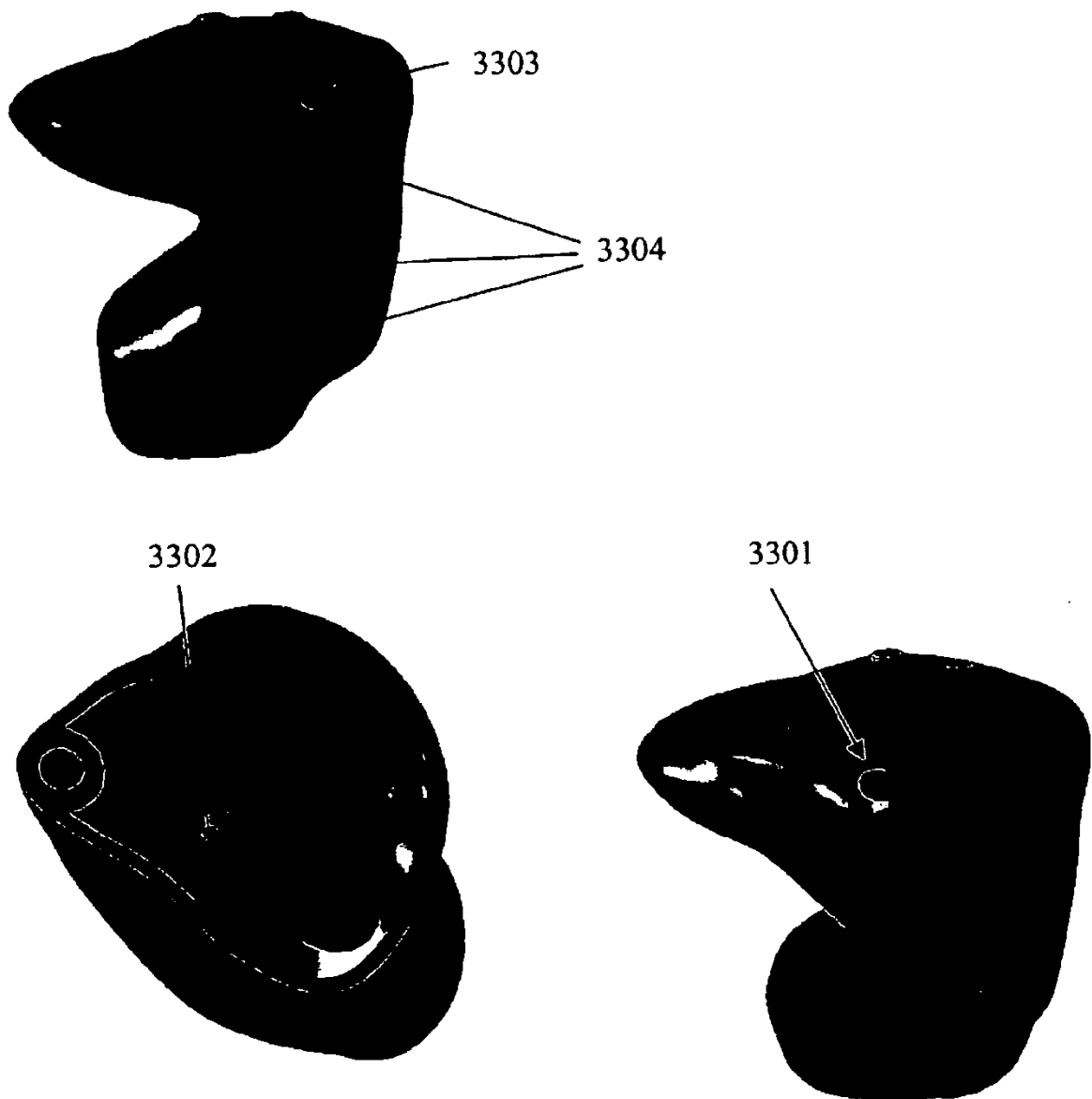


Figura 33

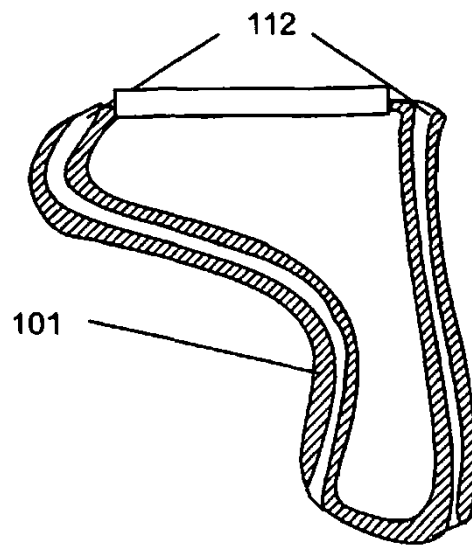


Figura 34

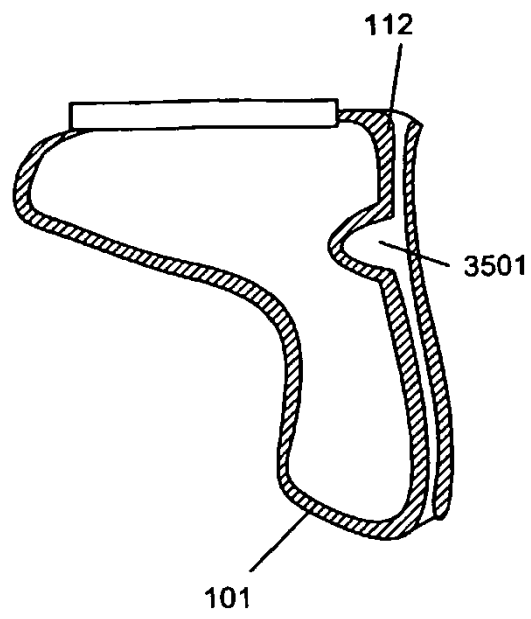


Figura 35

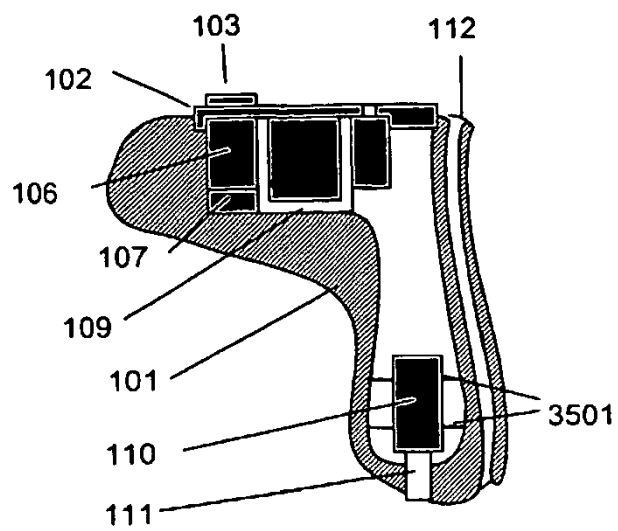


Figura 36

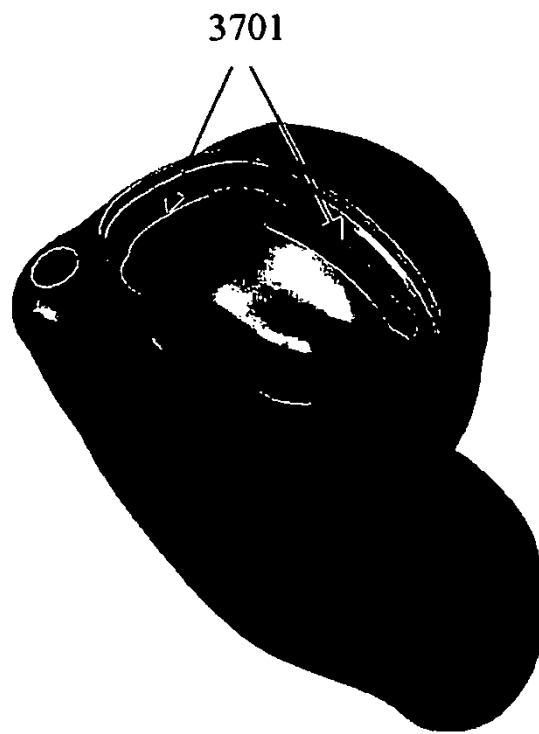


Figura 37

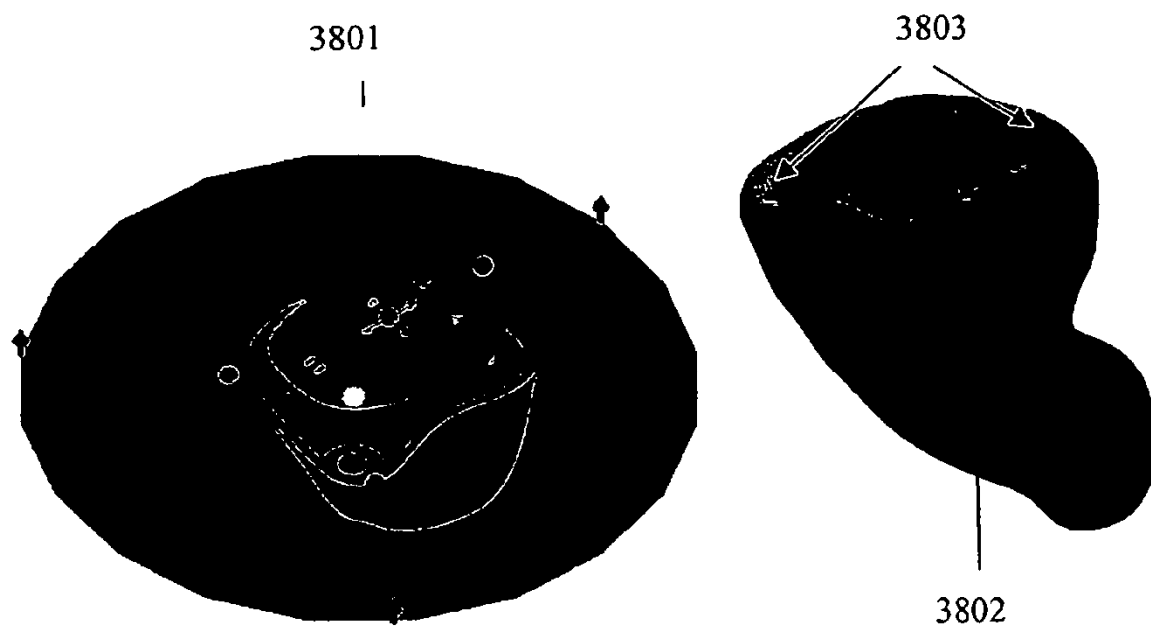


Figura 38

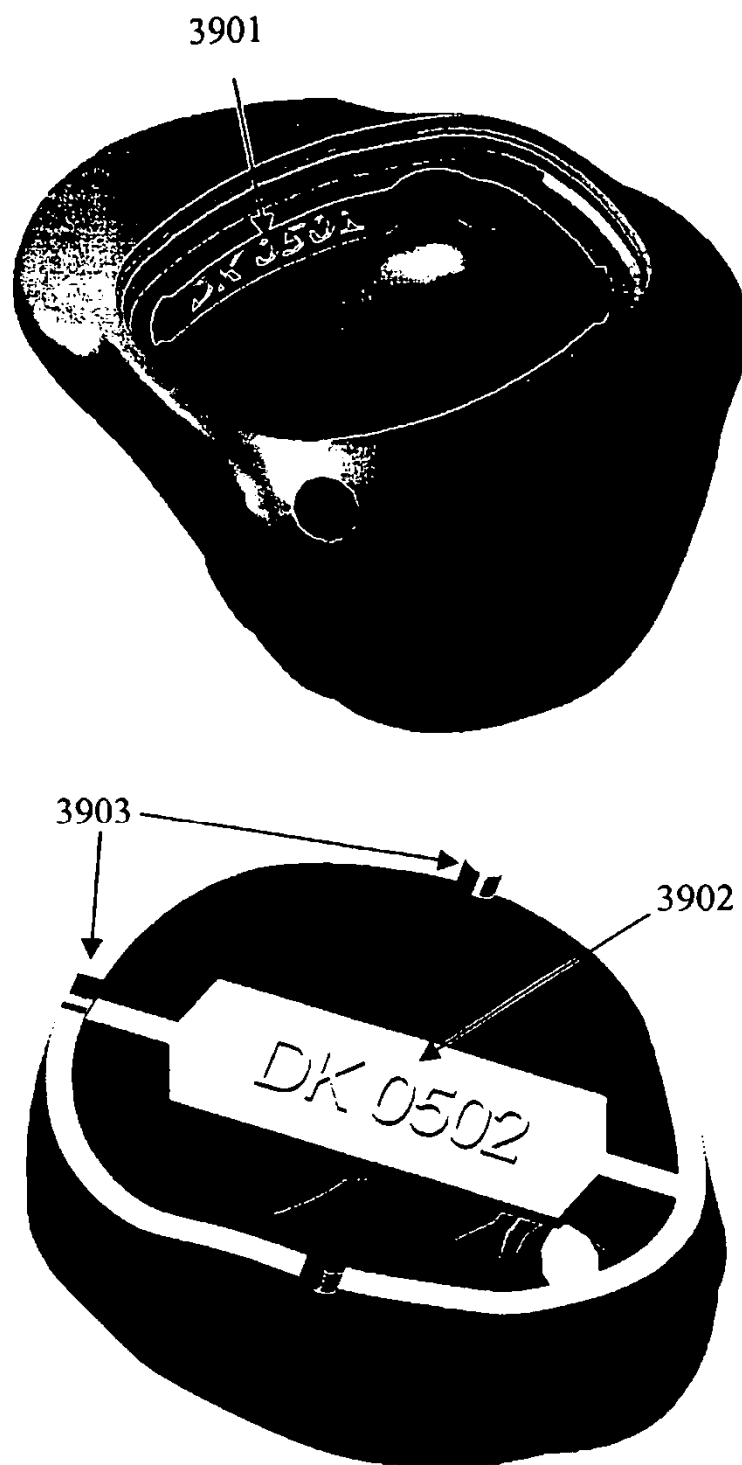


Figura 39

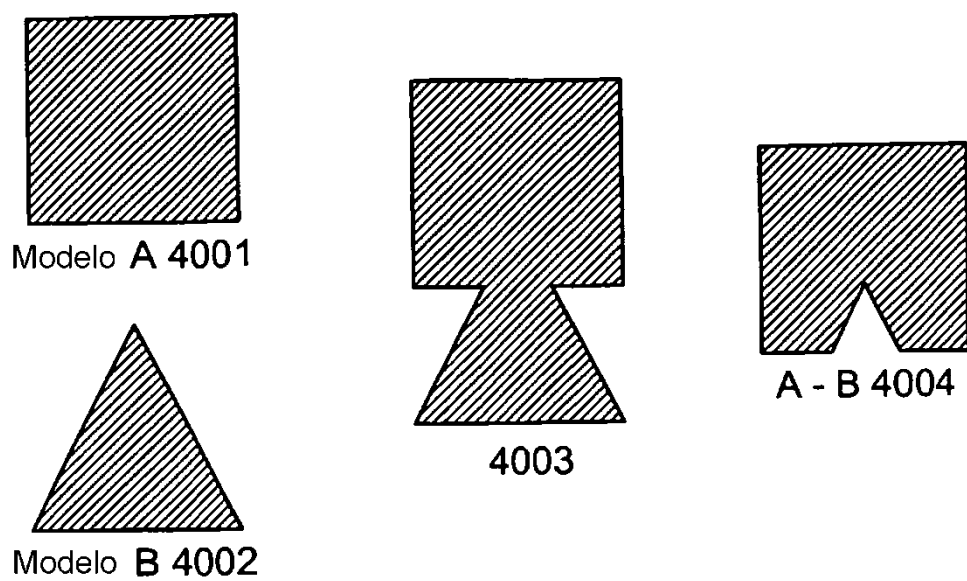


Figura 40

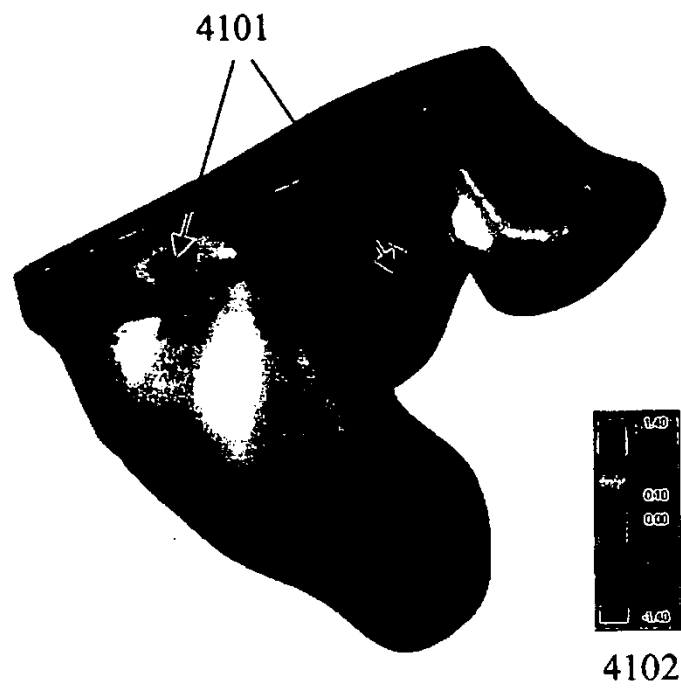


Figura 41