

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 202**

51 Int. Cl.:

G06T 7/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.10.2010 E 10013638 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.12.2012 EP 2312528**

54 Título: **Procedimiento para identificar una región dental**

30 Prioridad:

14.10.2009 US 578795

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

14.03.2013

73 Titular/es:

**CARESTREAM HEALTH, INC. (100.0%)
150 Verona Street
Rochester, NY 14608-1733, US**

72 Inventor/es:

**YAN, JIAYONG;
WANG, WEI;
PAN, LIANGLIANG y
WONG, VICTOR, C.**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 398 202 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento para identificar una región dental

Campo de la invención

5 La invención versa, en general, acerca del campo de formación de imágenes dentales, y en particular acerca de un procedimiento para la detección precoz de caries. Más específicamente, la invención versa acerca de un procedimiento para identificar una región dental en una imagen dental captada utilizando fluorescencia y retrodifusión de luz.

Antecedentes de la invención

10 Aunque ha habido mejoras en técnicas de detección, de tratamiento y de prevención, las caries dentales siguen siendo una afección predominante que afecta a personas de todos los grupos de edades. Si no se tratan de forma apropiada y de inmediato, las caries podrían dar lugar a un daño dental permanente e incluso a la pérdida de dientes.

15 Los procedimientos tradicionales para la detección de caries incluyen una exploración visual y un sondeo táctil con un dispositivo afilado de exploración dental, ayudado a menudo por una formación de imágenes radiográficas (rayos X). La detección utilizando estos procedimientos puede ser algo subjetiva, de precisión variable debido a muchos factores, incluyendo la experiencia del profesional, la ubicación del sitio infectado, la extensión de la infección, las condiciones de visualización, la precisión del equipo de rayos x y el procesamiento, y otros factores. También existen riesgos asociados con las técnicas convencionales de detección, incluyendo el riesgo de dañar dientes debilitados y de propagar la infección con procedimientos táctiles al igual que la exposición a radiación de rayos X.
20 Para cuando una afección de caries es evidente con exploración visual y táctil, la enfermedad se encuentra generalmente en una fase avanzada, requiriendo un empaste y, si no se trata pronto, posiblemente dando lugar a la pérdida del diente.

25 En respuesta a la necesidad de procedimientos mejorados de detección de caries, ha habido un interés considerable en técnicas mejoradas de formación de imágenes que no emplean rayos X. Un procedimiento emplea fluorescencia en el que los dientes son iluminados con una luz azul de alta intensidad. Esta técnica, denominada a veces fluorescencia cuantitativa inducida por luz (QLF), opera por el principio de que el esmalte en buen estado de un diente sano produce una mayor intensidad de fluorescencia bajo excitación de algunas longitudes de onda de lo que lo hace el esmalte desmineralizado que ha sido dañado por la infección de caries. Entonces, la correlación entre una pérdida mineral y una pérdida de fluorescencia ante una excitación con luz azul es utilizada para identificar y evaluar
30 áreas cariadas del diente. Se ha descubierto una relación distinta para una excitación con luz roja, una región del espectro en la que las bacterias y los subproductos bacterianos en regiones cariadas absorben y fluoresce más pronunciadamente de lo que lo hacen las áreas sanas.

Los solicitantes hacen notar algunas referencias relacionadas con la detección óptica de caries.

35 La patente U.S. nº 4.515.476 (Ingmar) describe el uso de un láser para proporcionar energía de excitación que genera fluorescencia en alguna otra longitud de onda para ubicar áreas cariadas.

La patente U.S. nº 6.231.338 (de Josselin de Jong et al.) describe un aparato de formación de imágenes para identificar caries dentales utilizando una detección de fluorescencia.

La publicación de solicitud de patente U.S. nº 2004/0240716 (de Josselin de Jong et al.) describe procedimientos para un análisis mejorado de imágenes para imágenes obtenidas de tejido fluorescente.

40 La patente U.S. nº 4.479.499 (Alfano) describe un procedimiento para utilizar transiluminación para detectar caries con base en las propiedades traslúcidas de la estructura dental.

45 Entre los productos para una formación de imágenes dentales que utilizan un comportamiento de fluorescencia se encuentra el sistema clínico QLF de Inspektor Research Systems BV, Ámsterdam, Países Bajos. El Diagnodent Laser Caries Detection Aid de KaVo Dental Corporation, Lake Zurich, Illinois, EE. UU., detecta la actividad de caries monitorizando la intensidad de fluorescencia de subproductos bacterianos bajo iluminación de una luz roja.

50 La publicación de solicitud de patente U.S. nº 2004/0202356 (Stookey et al.) describe un procesamiento matemático de cambios espectrales en fluorescencia para detectar caries en distintas etapas con una mayor precisión. Reconociendo la dificultad de una detección precoz cuando se utilizan mediciones de fluorescencia espectral, la divulgación nº 2004/0202356 de Stookey et al. describe enfoques para mejorar los valores espectrales obtenidos, efectuando una transformación de los datos espectrales adaptados a la respuesta espectral de la cámara que obtiene la imagen fluorescente.

Aunque los procedimientos y el aparato descritos están previstos para procedimientos no invasivos y no ionizantes de formación de imágenes para la detección de caries, sigue habiendo posibilidad de mejora. Una desventaja

reconocida de las técnicas existentes que emplean una formación de imágenes de fluorescencia se relaciona con el contraste de la imagen. Puede ser difícil de evaluar la imagen proporcionada por técnicas de generación de fluorescencia tales como QLF debido al contraste relativamente deficiente entre áreas sanas e infectadas. Como se hace notar en la divulgación del nº 2004/0202356 de Stookey et al., los cambios espectrales y de intensidad para caries incipientes pueden ser muy ligeros, haciendo que sea difícil diferenciar entre irregularidades no enfermas de la superficie del diente y caries incipiente.

En general, se reconoce que, con técnicas de fluorescencia, el contraste de la imagen obtenida se corresponde con la gravedad de la afección. A menudo, una identificación precisa de las caries utilizando estas técnicas requiere que la afección se encuentra en una fase más avanzada, más allá de caries incipientes o precoz, debido a que la diferencia en la fluorescencia entre una estructura cariada y una en buen estado del diente es muy pequeña para caries en una fase precoz. En tales casos, la precisión de detección utilizando técnicas de fluorescencia puede no mostrar una mejora marcada con respecto a los procedimientos convencionales. Debido a este defecto, el uso de efectos de fluorescencia parece tener algunos límites prácticos que evitan un diagnóstico preciso de caries incipientes. Como resultado, una afección de caries puede continuar siendo no detectada hasta que sea más grave, requiriendo un empaste, por ejemplo.

La detección de caries en fases muy precoces es de interés particular para la odontología preventiva. Como se ha hecho notar anteriormente, las técnicas convencionales generalmente no detectan caries en una fase en la que se puede invertir la afección. Como regla práctica general, las caries incipientes son una lesión que no ha penetrado sustancialmente en el esmalte del diente. Cuando se identifica tal lesión de caries antes de que amenace la porción de dentina del diente, a menudo se puede llevar a cabo una remineralización, invirtiendo el daño precoz y evitando la necesidad de un empaste. Sin embargo, las caries más avanzadas se van haciendo más difíciles de tratar, requiriendo casi siempre algún tipo de empaste u otro tipo de intervención.

Para aprovechar las oportunidades de técnicas odontológicas no invasivas para prevenir caries, es necesario que las caries sean detectadas en el inicio. En muchos casos, como se reconoce en la divulgación del nº 2004/0202356 de Stookey et al., se ha descubierto que puede ser difícil de conseguir este nivel de detección utilizando técnicas existentes de formación de imágenes de fluorescencia, tales como QLF. Como resultado, las caries precoces pueden seguir sin ser detectadas, de forma que para cuando se haya obtenido una detección positiva, se haya perdido la oportunidad de inversión utilizando medidas preventivas de bajo coste.

En la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2008/0056551 transferida legalmente, se utilizan un procedimiento y un aparato que emplea tanto las imágenes de reflectancia como de fluorescencia del diente para detectar caries. Saca provecho de la retrodifusión, o de la reflectancia, observada para caries incipientes y en combinación con efectos de fluorescencia, para proporcionar una técnica de formación de imágenes dentales para detectar caries. La técnica, denominada Formación de Imágenes de Fluorescencia con Mejora de la Reflectancia (FIRE), ayuda a aumentar el contraste de imágenes con respecto al de enfoques anteriores, y también hace que sea posible detectar caries incipientes en fases cuando es probable que tengan efecto medidas preventivas. De forma ventajosa, la detección FIRE puede ser más precisa en una fase de infección de caries más precoz de lo que se ha mostrado utilizando enfoques existentes de fluorescencia que únicamente miden la fluorescencia. La solicitud describe un procedimiento reductor para generar la imagen de FIRE.

El documento en tramitación como la presente PCT/CN2009/000078 transferido legalmente, titulado METHOD FOR DETECTION OF CARIES describe un procedimiento morfológico para generar una imagen de FIRE con una sensibilidad reducida a una variación de la iluminación.

La cuantificación de las caries con base en una imagen digital de un diente, tal como una imagen de fluorescencia proporciona información numérica acerca de la gravedad de regiones lesionadas y puede ayudar a los dentistas a realizar y llevar a cabo planes de tratamiento. Puede ser una herramienta útil en la monitorización longitudinal de las caries para que los dentistas observen la evolución de cada área lesionada con el paso del tiempo. La publicación de solicitud de patente U.S. nº 2004/0240716 ha dado a conocer algunos procedimientos para la cuantificación de caries; sin embargo, los procedimientos dados a conocer requieren, en general, una extracción manual de regiones lesionadas de áreas dentales en buen estado de la imagen por parte del usuario, y están basados en imágenes únicamente de fluorescencia. La extracción manual de regiones lesionadas de la imagen presenta dos problemas. En primer lugar, el procedimiento de extracción es lento, requiriendo que el usuario realice muchos clics con el ratón o dibuje líneas en las imágenes para indicar el límite de una región lesionada. En segundo lugar, la extracción manual requiere una experiencia considerable de diagnóstico de caries por parte del usuario y es generalmente subjetiva. Además, las imágenes de fluorescencia únicamente representan visualmente caries incipientes con un contraste relativamente bajo, añadiendo una mayor dificultad al procedimiento manual de extracción de la lesión. Por lo tanto, en los procedimientos dados a conocer, solo se consiguen, en el mejor de los casos, resultados comprometidos de cuantificación de caries.

El documento EP 2 312 527 A2, que fue publicado después de la primera fecha de presentación de la presente solicitud, titulado METHOD FOR QUANTIFYING CARIES describe un procedimiento mejorado para cuantificar

caries. Sin embargo, este procedimiento depende, en parte, de la etapa clave de extraer un área lesionada en una imagen dental, que depende, además, en parte de una subetapa clave de identificar una región dental.

Además, se hace referencia al documento EP 2 083 389 A2, que versa acerca de un procedimiento para una visualización en tiempo real de afecciones de caries. El procedimiento representa visualmente vídeo en directo de un diente, identifica una región de tejido dental en un fotograma visible de imagen obtenido de una difusión en continuo de vídeo y procesa datos de píxeles dentro de la región de tejido dental para identificar un sitio de presuntas caries. Los valores de intensidad de píxeles que se corresponden con el sitio de presuntas caries son modificados y se forma una imagen resaltada visible como una combinación de los valores modificados de intensidad correspondientes al sitio de presuntas caries y otros valores de píxeles en el fotograma visible de imagen. El fotograma visible de imagen resaltado es representado visualmente en forma de vídeo.

Existen procedimientos conocidos para identificar una región dental con base en imágenes dentales de rayos X utilizando técnicas de proyección y de contorno activo, expuestas por Jain et al., "Matching of dental x-ray images for human identification", Pattern Recognition Vol. 37, pp. 1519-1532, 2004, y Chen et al., "Tooth contour extraction for matching dental radiographs", ICPR 2004. Sin embargo, estos procedimientos anteriores no son aplicables a una imagen de fluorescencia, a una imagen de reflectancia, o a una imagen de FIRE debido a diferencias significativas en el contenido y en las características de la imagen. Por lo tanto, se puede ver que existe una necesidad de un procedimiento para identificar una región dental en una imagen dental, en particular en una imagen de FIRE o en una imagen de fluorescencia de un diente.

Resumen de la invención

Según la presente invención, se proporciona un procedimiento como se define en la reivindicación 1. Se pueden encontrar realizaciones adicionales de la invención en las reivindicaciones dependientes.

Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para identificar una región dental en una imagen digital de un diente, útil para extraer un área cariada lesionada y para cuantificar caries en esa imagen digital.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para identificar una región dental en una imagen de fluorescencia o en una imagen de FIRE de un diente.

Una característica de la presente invención es que las regiones dentales son extraídas automáticamente de una imagen de FIRE, proporcionando el contraste elevado en la imagen de FIRE una mayor sensibilidad y precisión para la identificación de caries.

Una ventaja de la presente invención es que las regiones dentales en las imágenes dentales son localizadas automáticamente sin la intervención del usuario, proporcionando de esta manera un flujo de trabajo eficaz en la extracción, identificación y monitorización de caries.

Estos objetos se dan únicamente a modo de ejemplo ilustrativo, y tales objetos pueden ser ejemplares de una o más realizaciones de la invención. A los expertos en la técnica se les podrán ocurrir o resultarles evidentes otros objetivos y ventajas deseables conseguidos intrínsecamente por la invención dada a conocer. La invención está definida por las reivindicaciones adjuntas.

Breve descripción de los dibujos

Serán evidentes los anteriores y otros objetos, características, y ventajas de la invención a partir de la siguiente descripción más particular de las realizaciones de la invención, como se ilustra en los dibujos adjuntos. Los elementos de los dibujos no se encuentran necesariamente a escala entre sí.

La FIG. 1 muestra un procedimiento para cuantificar caries que comprende cinco etapas utilizando la presente invención.

Las FIGURAS 2A, 2B, 2C muestran de forma ilustrativa una imagen típica de reflectancia, una imagen de fluorescencia, y una imagen de FIRE, respectivamente.

La FIG. 2D es una vista que muestra el procedimiento para combinar datos de imágenes dentales para generar una imagen de FIRE.

La FIG. 3A muestra una realización de una etapa de generación de imagen digital.

La FIG. 3B muestra una región dental en una imagen de FIRE que tiene un área lesionada identificada en una etapa de extracción.

La FIG. 3C muestra una realización de una etapa para extraer un área lesionada de regiones dentales en buen estado utilizando la presente invención.

- La FIG. 3C-1 muestra el canal verde de una imagen de reflectancia.
- La FIG. 3C-2 muestra el canal verde de una imagen de fluorescencia.
- La FIG. 3C-3 muestra una imagen preliminar de regiones dentales obtenida de las imágenes de canal verde mostradas en las FIGURAS 3C-1 y 3C-2.
- 5 La FIG. 3C-4 muestra una imagen binaria de referencia de regiones dentales obtenida al establecer un umbral del canal verde de la imagen de fluorescencia mostrada en la FIG. 3C-2.
- La FIG. 3C-5 muestra una imagen refinada de regiones dentales obtenida de la imagen preliminar de regiones dentales mostrada en la FIG. 3C-3 y de la imagen binaria de referencia mostrada en la FIG. 3C-4.
- 10 La FIG. 3C-6 muestra una imagen procesada refinada de regiones dentales obtenida de la imagen refinada de regiones dentales mostrada en la FIG. 3C-5.
- La FIG. 3C-7 muestra el canal verde de una imagen de FIRE.
- La FIG. 3C-8 muestra una imagen de intensidad intermedia.
- La FIG. 3C-9 muestra marcadores internos para dientes.
- La FIG. 3C-10 muestra marcadores externos para dientes.
- 15 La FIG. 3C-11 muestra la suma de los gradientes de Sobel I_{fgrad} y I_{wgrad} .
- La FIG. 3C-12 muestra regiones dentales identificadas según un procedimiento ejemplar.
- La FIG. 3C-13 muestra una imagen procesada de umbral de dientes.
- La FIG. 3C-14 muestra otra imagen procesada de umbral de dientes.
- La FIG. 3C-15 muestra la imagen complementaria de la imagen procesada de umbral mostrada en la FIG. 3C-14.
- 20 La FIG. 3C-16 muestra la imagen dilatada generada a partir de la imagen complementaria mostrada en la FIG. 3C-15.
- La FIG. 3C-17 muestra regiones dentales identificadas según otro procedimiento ejemplar.
- La FIG. 3D muestra una imagen de FIRE con una línea dilatada en un área dental en buen estado, y un borde de segmentación de lesión que separa un área dental en buen estado y un área lesionada después de una etapa de identificación de región en buen estado.
- 25 La FIG. 3E muestra una realización de una etapa de reconstrucción de intensidad que utiliza una interpolación bilineal.
- La FIG. 4A muestra una imagen binaria de tres dientes.
- La FIG. 4B muestra una línea de contorno formada a partir de un abanico de líneas de rayos desde el punto de origen.
- 30 La FIG. 4C muestra marcadores internos y externos determinados.
- La FIG. 4D es una ilustración del resultado de la línea de división de aguas controlada por marcadores.
- La FIG. 4E es una ilustración de líneas intermedias entre dientes adyacentes.
- La FIG. 5A muestra una imagen binaria de tres dientes similar a la FIG. 4A.
- 35 La FIG. 5B muestra una imagen de distancia I_{dist} formada a partir de una transformación de distancia en la imagen de la FIG. 5A.
- La FIG. 5C muestra puntos germinales en áreas germinales.
- La FIG. 5D muestra marcadores internos y externos.
- 40 La FIG. 5E es una ilustración de líneas intermedias después del procesamiento de la línea de división de aguas controlada por marcadores y de la transformación de la distancia.
- La FIG. 6A muestra un procedimiento para la cuantificación de caries utilizando la presente invención.

La FIG. 6B muestra otro procedimiento para cuantificar caries utilizando la presente invención.

Descripción detallada de la invención

- 5 Lo que sigue es una descripción detallada de las realizaciones preferentes de la invención, haciéndose referencia a los dibujos en los que los mismos números de referencia identifican los mismos elementos de estructura en cada una de las diversas figuras.
- Se hace referencia a la solicitud de patente U.S. transferida legalmente nº 12/487.729 en tramitación como la presente, presentada el 19 de junio de 2009 y titulada METHOD FOR QUANTIFYING CARIES, de Liangliang Pan et al.
- 10 Se hace referencia al documento PCT/CN2009/000078, presentado el 20 de enero de 2009, titulado METHOD FOR DETECTION OF CARIES, de Wei Wang et al.
- Se hace referencia a la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2008/0056551, publicada el 6 de marzo de 2008, titulada METHOD FOR DETECTION OF CARIES, de Wong et al.
- Se hace referencia a la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2008/0063998, publicada el 13 de marzo de 2008, titulada APPARATUS FOR CARIES DETECTION, de Liang et al.
- 15 Se hace referencia a la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2008/0170764, publicada el 17 de julio de 2008, titulada SYSTEM FOR EARLY DETECTION OF DENTAL CARIES, de Bums et al.
- Se hace referencia a la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2007/0099148, publicada el 3 de mayo de 2007, titulada METHOD AND APPARATUS FOR DETECTION OF CARIES, de Wong et al.
- 20 La presente invención incluye etapas de cálculo. Los expertos en la técnica reconocerán que estas etapas de cálculo pueden ser llevadas a cabo por *hardware* de procesamiento de datos dotado de instrucciones para el procesamiento de datos de imágenes. Debido a que tales sistemas de manipulación de imágenes son bien conocidos, la presente descripción está dirigida más en particular a algoritmos y sistemas que ejecutan el procedimiento de la presente invención. Otros aspectos de tales algoritmos y sistemas, y se puede seleccionar *hardware* y/o *software* de procesamiento de datos para producir y procesar de otra manera las señales de imágenes procedentes de tales
- 25 sistemas, algoritmos, componentes y elementos conocidos en la técnica. Dada la descripción como se define en la siguiente memoria, la implementación de *software* se encuentra dentro del dominio normal de los expertos en las técnicas de programación.
- Las instrucciones almacenadas de tal programa de *software* pueden ser almacenadas en un medio de almacenamiento legible por un ordenador, que puede comprender, por ejemplo: medios magnéticos de almacenamiento tales como un disco magnético o cinta magnética; medios ópticos de almacenamiento tales como un disco óptico, cinta óptica o un código de barras legible por una máquina; dispositivos de almacenamiento electrónico de estado sólido tales como memoria de acceso aleatorio (RAM), o memoria de solo lectura (ROM); o cualquier otro dispositivo o medio físico empleado para almacenar un programa de ordenador. Utilizando tal
- 30 *software*, se puede utilizar la presente invención en un aparato de *hardware* de procesamiento de datos, tal como un sistema de ordenador u ordenador personal, o en un sistema embebido que emplea un componente dedicado de procesamiento de datos, tal como un *chip* de procesamiento de señales digitales. Se proporciona la salida resultante de la ejecución del procedimiento de la presente invención como datos digitales para una representación visual de imágenes, para almacenamiento en una memoria electrónica y, opcionalmente, para ser utilizada por otras herramientas de procesamiento de imágenes de diagnóstico.
- 40 En la presente divulgación, se utiliza la palabra "intensidad" para hacer referencia al nivel de luz, y también se utiliza en términos generales para hacer referencia al valor de un píxel en una imagen digital.
- Cuando son utilizados, los términos "primero", "segundo", etcétera, no denotan necesariamente ninguna relación ordinal o de prioridad, sino que simplemente pueden ser utilizados para distinguir más claramente entre un elemento y otro.
- 45 Según se utiliza en el presente documento, la expresión "cuenca de agua" es una expresión de la técnica utilizada para describir una estructura identificada y utilizada en la ejecución de una transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores en las técnicas de formación de imágenes. A veces se utiliza la expresión "cuenca de captación" de la misma forma. Las referencias en la presente divulgación a "cuenca de agua" hacen referencia a esta estructura de las técnicas de formación de imágenes.
- 50 Con referencia a la FIG. 1, un procedimiento para cuantificar caries, ejecutado al menos en parte en *hardware* de procesamiento de datos tal como *hardware* de ordenador, comprende una etapa 110 de generación de una imagen digital de un diente, comprendiendo la imagen valores reales de intensidad para una región de píxeles correspondientes al diente, a la encía y al fondo; una etapa 120 de extracción de un área lesionada de regiones dentales en buen estado al identificar las regiones dentales, extrayendo áreas presuntamente lesionadas, y

eliminando falsos positivos; una etapa 130 de identificación de una región en buen estado que está adyacente al área lesionada extraída; una etapa 140 de reconstrucción de valores de intensidad para el tejido dental en el área lesionada según valores en la región en buen estado adyacente; y una etapa 150 de cuantificación de la afección de las caries utilizando los valores reconstruidos de intensidad y valores de intensidad del área lesionada. Se debe hacer notar que según se utiliza la expresión “extracción de un área lesionada” en toda la memoria, significa identificar al menos un área lesionada en una imagen dental digital.

Las FIGURAS 2A, 2B, y 2C muestran de forma ilustrativa una imagen típica 167 de reflectancia, una imagen 168 de fluorescencia, y una imagen 169 de FIRE, respectivamente, de una superficie dental que incluye un área dental 164 en buen estado y un área 162 de lesión precoz (o región de caries). En general, en una imagen de reflectancia, tal como una imagen de reflectancia de luz blanca, la intensidad de regiones de caries precoces es mayor que la de las áreas circundantes en buen estado. En cambio, en una imagen de fluorescencia, tal como una obtenida bajo luz azul de excitación, la intensidad de las regiones de caries es menor que la de las áreas circundantes en buen estado debido a la pérdida de fluorescencia en regiones de caries. Se obtiene una imagen de FIRE al restar de la imagen de reflectancia de la imagen de fluorescencia las regiones de máximas regionales y de cúpula. Como resultado, la imagen de FIRE tiene un aspecto similar al de una imagen de fluorescencia debido a que ambas tienen menores valores de intensidad en un área lesionada que en un área circundante en buen estado. Sin embargo, la imagen de FIRE tiene un mayor contraste que una imagen de fluorescencia, haciendo que sea potencialmente más sensible a la detección de caries. Se debería hacer notar que también se pueden utilizar otras imágenes generadas al combinar datos de imágenes para las imágenes de fluorescencia y de reflectancia para sustituir la imagen de FIRE.

La FIG. 2D se corresponde con la FIG. 5 de la publicación de solicitud de patente U.S. en tramitación como la presente nº 2008/0056551 (Wong et al.) transferida legalmente, titulada METHOD FOR DETECTION OF CARIES. Esta figura muestra que se forma una imagen 169 de FIRE al combinar la imagen 168 de fluorescencia con la imagen 167 de reflectancia a través de un aparato 180 de procesamiento.

En el campo de procesamiento de imágenes, hay muchos procedimientos bien conocidos utilizados para extraer características de imágenes, incluyendo sin limitación técnicas de umbral, de sombrero de copa, y de reconstrucción morfológica en escala de grises (véase Luc Vincent, “Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms”, IEEE Transaction on Image Processing, Vol. 2, nº 2, pp. 176-201, 1993). Sin embargo, cualquier técnica no es adecuada para segmentar lesiones de una imagen de un diente. Las imágenes dentales tienen muchas características que plantean retos para realizar una extracción automática de lesión. Por ejemplo, una imagen dental no tiene ningún fondo plano (las áreas dentales en buen estado son el fondo de las caries diana), las caries no tienen tamaños ni formas fijos, y el contorno superficial y la curvatura de los dientes provocan una iluminación desigual, lo que tiene como resultado una variación en la intensidad en la imagen dental. La presente invención supera estas dificultades al emplear una combinación de distintas técnicas de procesamiento de imágenes que abordan los diversos problemas específicos al procesamiento automático de imágenes dentales.

A continuación, se describen etapas para cuantificar caries con referencia a las FIGURAS 3A a 5E. También se describen los procedimientos para identificar una región dental según la presente invención, esenciales para un procedimiento para cuantificar caries y extraer una región cariada lesionada.

Etapa 110 de generación de una imagen digital de un diente

La FIG. 3A muestra una realización de la etapa 110 de generación de una imagen digital de un diente, que comprende las etapas de obtener una imagen de fluorescencia, de obtener una imagen de reflectancia, y de combinar datos de imágenes para las imágenes de fluorescencia y de reflectancia para generar una imagen tal como una imagen de FIRE. Los detalles de cómo se obtienen las imágenes de fluorescencia y de reflectancia se describen en la publicación de solicitud de patente U.S. nº 2008/0063998, publicada el 13 de marzo de 2008, titulada APPARATUS FOR CARIES DETECTION, de Liang et al. Según esta realización, la imagen digital del diente es una imagen 169 de FIRE, que está formada al combinar la imagen 168 de fluorescencia con la imagen 167 de reflectancia 167 por medio de un aparato 180 de procesamiento, como se muestra en la FIG. 2D.

Los detalles de generación de la imagen de FIRE han sido dados a conocer en el documento en tramitación como la presente PCT/CN2009/000078 transferido legalmente, titulado METHOD FOR DETECTION OF CARIES. Las etapas principales de generación de la imagen de FIRE son las siguientes.

1. Obtener una imagen de reflectancia, y luego convertir la imagen de reflectancia en una imagen gris de reflectancia con un valor de intensidad de I_{verde} . La imagen gris de reflectancia puede ser el canal verde de la imagen de reflectancia. Esta imagen gris de reflectancia es tratada como una máscara, y tiene un valor de intensidad de $I_{máscara} = I_{verde}$. En un ejemplo, la imagen de reflectancia es una imagen de reflectancia de luz blanca. La luz blanca puede ser emitida desde uno o más LED blancos.
2. Generar un marcador con un valor de intensidad de $I_{marcador}$ según la siguiente fórmula,

$$I_{marcador} = I_{máscara} - hcúpula,$$

en la que *hcúpula*, que representa la altura de una cúpula en la imagen gris de reflectancia, es un valor fijo y se selecciona empíricamente con base en los valores de intensidad de una pluralidad de imágenes grises de reflectancia obtenidas. En un ejemplo inventivo, *hcúpula* es 50.

3. Generar una imagen reconstruida que tiene un valor de intensidad de *Ireconstruida* mediante una reconstrucción morfológica en escala de grises, que toma *Imáscara* y *Imarcador* como entradas (véase el artículo de Luc Vincent citado anteriormente).
4. Generar una imagen de regiones de máximas regionales y de cúpula de la imagen gris de reflectancia. Esta imagen, que se corresponde con las regiones que se sospecha que estén cariadas, tiene un valor de intensidad

$$I_{hcúpula} = I_{máscara} - I_{reconstruida},$$

5. Generar una imagen de FIRE con un valor de intensidad

$$I_{FIRE} = I_{Fluo} - I_{hcúpula},$$

en la que I_{FIRE} e I_{Fluo} son los valores de intensidad del canal verde de la imagen generada de FIRE y de la imagen obtenida de fluorescencia, respectivamente. La imagen generada de FIRE puede ser representada visualmente como una imagen de color al combinar I_{FIRE} con los canales rojo y azul de la imagen de fluorescencia. En un ejemplo, se obtiene la imagen de fluorescencia bajo luz azul de excitación. La luz azul puede ser emitida desde uno o más LED azules. La imagen de FIRE es la imagen digital utilizada para etapas subsiguientes de procesamiento de imágenes.

Otra realización de la etapa 110 de generación de una imagen digital de un diente comprende una etapa de obtención de una imagen de fluorescencia. La imagen de fluorescencia es la imagen digital utilizada para etapas subsiguientes de procesamiento de imágenes.

Etapla 120 de extracción de un área lesionada de regiones dentales en buen estado

En general, se puede clasificar una imagen digital de un diente en tres grupos de regiones: 1) encía, 2) diente, y 3) otro fondo. La detección de caries solo necesita ser llevada a cabo en regiones 165 de dientes.

Con referencia a la FIG. 3B, dentro de la región dental 165 hay un área lesionada 162, un área dental circundante 164 en buen estado, y un límite 163 de segmentación que separa las dos áreas. A continuación se describen procedimientos para identificar una región dental 165, un área lesionada 162, un área dental circundante 164 en buen estado, y un límite 163 de segmentación.

La FIG. 3C muestra una realización de la etapa 120 para extraer un área lesionada 162 de regiones dentales 165 en una imagen digital de un diente utilizando la presente invención. La etapa 120 se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de indicaciones del usuario. Específicamente, la etapa 120 incluye subetapas de identificación de las regiones dentales 165, de extracción de una o más áreas que se sospecha que estén lesionadas, y de eliminación de falsos positivos. Estas subetapas incluyen detalles específicos de imágenes dentales, como se expone a continuación.

Dado que se realiza cierto trabajo de procesamiento de imágenes en un cierto canal de una imagen de color, en aras de la conveniencia, se utilizan los siguientes términos *Iwrojo*, *Iwverde*, *Iwazul*, *Ibrojo*, *Ibverde*, *Ibazul*, *Ifrojo*, *Ifverde* y *Ifazul* para representar los valores de intensidad de los píxeles en los canales rojo, verde y azul de las imágenes de reflectancia, de fluorescencia y de FIRE, respectivamente. Y para eliminar el impacto del nivel de iluminación, los valores de intensidad tanto de las imágenes de reflectancia como de fluorescencia son ajustados a un intervalo entre 0 y 150, correspondiéndose 0 y 150 con los valores mínimo y máximo de intensidad.

Subetapa de identificación de regiones dentales 165

Procedimiento 1: técnica de umbral

Como se ha expuesto anteriormente, de forma similar a la imagen de fluorescencia, la imagen de FIRE tiene mayores valores de intensidad verde dentro de áreas dentales normales/en buen estado que en áreas de caries y otro fondo. Por consiguiente, preferentemente se utiliza una técnica de umbral adaptada en una imagen de fluorescencia o de FIRE para separar la región dental, que contiene tanto áreas dentales normal/en buen estado como áreas de caries, de la encía y otro fondo.

Según una realización, las regiones dentales 165 están identificadas a partir de la imagen digital dental como sigue. En esta realización y en otras realizaciones en toda la divulgación, se utilizan versiones en escala de grises de ambas imágenes de fluorescencia y de reflectancia, siendo generadas las imágenes en escala de grises de un canal de sus imágenes respectivas de color, tal como el canal verde, o de una mezcla de los tres canales utilizando procedimientos bien conocidos en la técnica de procesamiento de imágenes. Para fines ilustrativos, a continuación

se describe la realización utilizando los canales verdes de las imágenes de fluorescencia y de reflectancia, *lbverde* y *lwverde*, respectivamente.

Las imágenes de umbral están generadas a partir de *lbverde* (mostrada en la FIG. 3C-1) y de *lwverde* (mostrada en la FIG. 3C-2) al seleccionar valores de intensidad mayores que algunos valores predeterminados c_1 y c_2 de umbral, por ejemplo, 10 y 30, respectivamente. En segundo lugar, se toman las regiones de intersección de las dos imágenes de umbral como la imagen preliminar de regiones dentales *lroi0*, que se muestra en la FIG. 3C-3. En tercer lugar, se obtiene una imagen binaria de referencia de regiones dentales *lrefroi* (mostrada en la FIG. 3C-4) al establecer un umbral de la imagen *lbverde* con un valor de umbral c_3 mayor que uno utilizado en la generación de *lroi0*, tal como 30. Y en último lugar, se genera una imagen refinada (mostrada en la FIG. 3C-5) de regiones dentales 165, *lroi*, al escoger las regiones que se encuentran en *lroi0* y están conectadas a los objetos en *lrefroi*.

Para reducir el impacto adverso del ruido, opcionalmente se puede procesar adicionalmente la imagen refinada de regiones dentales *lroi* para formar una imagen refinada procesada de regiones dentales 165 como sigue. En la imagen refinada de regiones dentales *lroi*, se eliminan las regiones con áreas pequeñas, por ejemplo, un área con menos de 20000 píxeles para una imagen de 1280×1024 . Subsiguientemente, se llenan los agujeros para generar una imagen procesada de regiones dentales mostrada en la FIG. 3C-6, en la que las regiones que tienen un valor de "0" y están rodeadas por regiones de "1" son sustituidas por "1". Esta etapa de relleno de agujeros es denominada habitualmente operación de relleno por difusión.

Las anteriores cuatro etapas y la etapa opcional aumentan la precisión de la selección de regiones dentales 165 en comparación con el establecimiento de un umbral solo de la imagen de FIRE o de fluorescencia. Entonces, se utiliza la imagen refinada de regiones dentales o la imagen refinada procesada de regiones dentales en las siguientes subetapas de extracción de áreas presuntamente lesionadas y de eliminación de falsos positivos.

En una realización alternativa, se aplica la técnica de establecimiento de un umbral a la imagen de fluorescencia o de FIRE para determinar regiones dentales 165. Esta realización ayuda a proporcionar un procesamiento más sencillo y más rápido.

Procedimiento 2: procedimiento basado en la línea de división de aguas controlada por marcadores

Un procedimiento ejemplar para identificar la región dental 165 está basado en técnicas de línea de división de aguas controlada por marcadores. En primer lugar, se calcula el complemento de la imagen *lfverde* (mostrada en la FIG. 3C-7) como la diferencia entre el valor máximo de la imagen *lfverde*, $\max(lfverde)$, y *lfverde* a partir de la siguiente ecuación:

$$lfgcomplementaria = \max(lfverde) - lfverde, \quad Ec.(1.1)$$

en la que \max significa la función de extracción del valor máximo.

En segundo lugar, se obtiene una imagen de intensidad intermedia $l_{int\ erm}$ (mostrada en la FIG. 3C-8) al aplicar una operación de reconstrucción morfológica a la imagen complementaria *lfgcomplemento*, según la siguiente ecuación:

$$l_{int\ erm} = lfgcomplementaria - imreconstruida(lfgcomplementaria - h, lfgcomplementaria), \quad Ec.(1.2)$$

en la que *imreconstruida* es la operación de reconstrucción morfológica, y h es un parámetro determinado experimentalmente. En un ejemplo, $h = 50$.

En tercer lugar, se determinan marcadores internos y externos para los dientes. En un ejemplo, con un primer valor umbral superior T_{11} , tal como 5, la operación de umbral se aplica primero a la imagen de intensidad intermedia $l_{int\ erm}$ para formar una primera imagen de umbral *lumbr11*. La primera imagen de umbral *lumbr11* es una imagen binaria, en la que "0" (o "1") significa que el valor de píxel correspondiente de $l_{int\ erm}$ es mayor (o menor) que el primer valor umbral superior T_{11} . En la primera imagen de umbral *lumbr11*, se eliminan las regiones con áreas pequeñas, por ejemplo, un área con menos de 20000 píxeles para una imagen de 1280×1024 . Independientemente, los agujeros creados a partir de la operación de establecimiento de un umbral son rellenados para generar una primera imagen procesada de umbral *lumbr11proc*, en la que las regiones que tienen un valor de "0" y están rodeadas por regiones de "1" son sustituidas con "1". Después de eso, se determina el marcador interno (mostrado en la FIG. 3C-9) al erosionar la primera imagen procesada de umbral *lumbr11proc* con un elemento estructural con forma de disco, cuyo radio es de 20 píxeles en un ejemplo.

De forma similar, se puede obtener el marcador externo utilizando un segundo valor umbral superior T_{12} que es mayor que el primer valor umbral superior T_{11} , concretamente $T_{12} > T_{11}$. En un ejemplo, $T_{12} = 40$. Se aplica la operación de establecimiento de un umbral a $l_{int\ erm}$ con T_{12} para formar una segunda imagen de umbral *lumbr12*, que también es una imagen binaria. Asimismo, en la segunda imagen de umbral *lumbr12*, "0" (o "1") significa que el valor de píxel correspondiente de $l_{int\ erm}$ es mayor (o menor) que el segundo valor umbral superior T_{12} . Entonces, se eliminan las regiones de *lumbr12* con áreas pequeñas, y los agujeros resultantes de la operación de establecimiento

de un umbral son rellenados para generar una segunda imagen procesada de umbral *lumbr12proc*, de una forma similar a la descrita en el anterior párrafo. Entonces, se dilata la segunda imagen procesada de umbral *lumbr12proc* con un elemento estructural con forma de disco para formar una imagen dilatada, cuyo complemento forma el marcador externo mostrado en la FIG. 3C-10.

- 5 A continuación, se calculan las imágenes de gradiente de Sobel *lfgrad* e *lwgrad* a partir de *lfverde*, el canal verde de la imagen de FIRE, e *lwverde*, el canal verde de la imagen de reflectancia, respectivamente. Al utilizar los marcadores internos y externos y al aplicar la transformada de la línea de división de aguas controlada por marcadores a la suma de *lfgrad* e *lwgrad* (es decir, *lfgrad* + *lwgrad*), mostrada en la FIG. 3C-11, se obtiene de esta manera el contorno de las regiones dentales. En la FIG. 3C-12 se muestran las regiones dentales determinadas por medio de este procedimiento.

Procedimiento 3: procedimiento basado en reconstrucción morfológica

- 15 Otro procedimiento ejemplar para identificar una región dental 165 está basado en una técnica de reconstrucción morfológica. En primer lugar, utilizando las mismas técnicas expuestas en el Procedimiento 2, se calcula el complemento *lfgcomplemento* de la imagen *lfverde* utilizando la Ec. (1.1), y entonces se obtiene una imagen de intensidad intermedia $I_{int\ erm}$, igual que la mostrada en la FIG. 3C-8, al aplicar una operación de reconstrucción morfológica a la imagen complementaria *lfgcomplemento*, según la Ec. (1.2).

- 20 En segundo lugar, se determinan dos imágenes de umbral. En un ejemplo, con un primer valor umbral superior T_{21} , tal como 5, la operación de establecimiento de un umbral se aplica en primer lugar a $I_{int\ erm}$ para formar una primera imagen de umbral *lumbr21*. La primera imagen de umbral *lumbr21* es una imagen binaria, en la que "0" (o "1") significa que el valor de píxel correspondiente de $I_{int\ erm}$ es mayor (o menor) que el primer valor umbral T_{21} . En la primera imagen de umbral *lumbr21*, se eliminan las regiones con áreas pequeñas, por ejemplo, un área con menos de 20000 píxeles para una imagen de 1280×1024 . Independientemente, los agujeros creados a partir de la operación de establecimiento de un umbral son rellenados para generar una primera imagen procesada de umbral *lumbr21proc*, en la que las regiones que tienen un valor de "0" y rodeadas por regiones de "1" son sustituidas con "1". En la FIG. 3C-13 se muestra la primera imagen procesada de umbral *lumbr21proc* obtenida.

- 30 De forma similar, se obtiene en primer lugar una segunda imagen de umbral *lumbr22* al aplicar una operación de establecimiento de un umbral utilizando un segundo valor umbral superior T_{22} que es mayor que T_{21} . En un ejemplo, $T_{22} = 40$. Entonces, en la segunda imagen de umbral *lumbr22*, se eliminan las regiones con áreas pequeñas, por ejemplo, un área con menos de 20000 píxeles para una imagen de 1280×1024 . Independientemente, los agujeros creados a partir de la operación de establecimiento de un umbral son rellenados para generar una segunda imagen procesada de umbral *lumbr22proc*, en la que regiones que tienen un valor de "0" y rodeadas por regiones de "1" son sustituidas con "1". En la FIG. 3C-14 se muestra la segunda imagen procesada de umbral *lumbr22proc* obtenida.

- 35 En tercer lugar, se dilata reiteradamente la imagen complementaria de la segunda imagen procesada de umbral, *lumbr22proc*, mostrada en la FIG. 3C-15, con un elemento estructural de 3×3 todo de unos. Cuando cualquier punto de las regiones de "1" en la imagen dilatada *ldilatada*, mostrada en la FIG. 3C-16, toca las regiones de "1" de la primera imagen procesada de umbral *lumbr21proc*, se detendrá la repetición. Entonces, se forma el complemento de la imagen dilatada. Finalmente, se toman las regiones de "1" de la imagen complementaria como las regiones dentales identificadas, como se muestra en la FIG. 3C-17.

40 Subetapa de extracción de un área que se sospecha que esté lesionada

En una imagen de FIRE (*lfverde*), hay una característica morfológica definida de caries, es decir, la intensidad de la región de las caries 162 es menor que la del área dental circundante 164 en buen estado. Se utiliza esta característica para detectar y segmentar las áreas que se sospecha que estén cariadas con base en una teoría matemática de la morfología.

- 45 En una realización, un procedimiento basado en la línea de división de aguas controlada por marcadores está adaptado para detectar y segmentar las áreas que se sospecha que estén cariadas. La clave para este procedimiento es determinar marcadores internos y externos para los objetos diana. Según un ejemplo, se determinan los marcadores internos con la técnica de reconstrucción morfológica en escala de grises. También se ha utilizado la misma técnica para generar una imagen de FIRE como se ha expuesto anteriormente.

- 50 Para determinar los marcadores internos con el procedimiento de reconstrucción morfológica en escala de grises, se detectan en primer lugar las cuencas regionales *lhcuenca*; se corresponden con las regiones diana de caries porque tienen una menor intensidad que las áreas circundantes en buen estado. Entonces, se obtienen los marcadores internos al establecer un umbral de *lhcuenca* con un valor fijo, por ejemplo, 50. Se debe hacer notar que el valor fijo puede ser ajustado según el requerimiento de sensibilidad de detección. Los marcadores internos son las regiones dentro de las intensidades de *lhcuenca* son mayores que el valor umbral dado.

55

Para obtener los marcadores externos, se forma en primer lugar una imagen binaria a partir de los marcadores internos, en la que el valor del píxel de la imagen binaria es 1 para un píxel dentro de los marcadores internos y es 0 si no. Entonces, se aplica una transformación de distancia (DT), estableciendo una correspondencia entre cada píxel de la imagen y su distancia menor hasta los objetos diana, a la imagen binaria para generar una imagen DT (véase “Sequential operations in digital picture processing”, J. ACM. 13, 1966, de Rosenfeld, A. y Pfaltz, J. y “2D Euclidean distance transform algorithms: a comparative survey”, ACM computing surveys 40, 2008, de Ricardo Fabbri, Luciano Da F. Costa, Julio C. Torelli y Odemir M. Bruno). Las líneas de cresta que están compuestas de los píxeles con valores máximos locales en la imagen DT y ubicadas entre los marcadores internos son tomadas como los marcadores externos.

10 A continuación, se calcula la imagen de gradiente de *Iverde* con el operador de Sobel. El operador de Sobel es una función de procesamiento de imágenes bien conocida por los expertos en la técnica de procesamiento de imágenes/reconocimiento de patrones; se puede encontrar una descripción del mismo en Pattern Classification and Scene Analysis, Duda, R. y Hart. P., John Wiley and Sons, 1973, pp. 271-272.

15 Con los marcadores internos y externos y la imagen de gradiente identificados o determinados, se aplica entonces una transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores para generar un contorno de las regiones diana de caries 162 directamente. Se puede encontrar una descripción de la transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores en “Morphological grayscale reconstruction in image analysis: applications and efficient algorithms”, IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 2, pp. 176-201, 1993, de Luc Vincent.

20 En otra realización, un procedimiento basado en una operación morfológica de ala de sombrero junto con la reconstrucción de múltiples resoluciones y superficial está adaptado para detectar y segmentar las áreas que se sospecha que estén cariadas. Según esta realización, se aplica en primer lugar una operación de ala de sombrero a *Iverde* para producir una imagen original de ala de sombrero con un valor de intensidad de *Ibothat*. Entonces, se adapta una estrategia de múltiples resoluciones para permitir la detección de caries con distintos tamaños. Según esta estrategia, la imagen original de ala de sombrero es sometida a un submuestreo para formar una o más imágenes de ala de sombrero de resolución reducida, tal como una imagen sometida a un submuestreo 2x y una imagen sometida a un submuestreo 4x. Dado un elemento estructural con forma bidimensional con un tamaño fijo, por ejemplo, un disco con un radio de 10 píxeles, entonces se aplica un procesamiento morfológico de ala de sombrero a las imágenes con distintas resoluciones (es decir, a la imagen original de ala de sombrero, a la imagen de ala de sombrero sometida a un submuestreo 2x, a la imagen de ala de sombrero sometida a un submuestreo 4x, etc.). Se debe hacer notar que el elemento estructural bidimensional puede adoptar otras formas. Se puede ajustar el tamaño del elemento estructural, por ejemplo, el radio del disco, según la resolución de la imagen o el tamaño de los objetos diana. Para cada una de las imágenes de ala de sombrero de múltiples resoluciones obtenidas, según la estadística del valor de intensidad dentro de las regiones dentales correspondientes, se calcula un valor umbral *Iumbr* como

$$I_{umbr} = I_{media} + w \cdot I_{std},$$

en la que *w* es el parámetro determinado experimentalmente de ponderación, e *Imedia* e *Istd* son los valores de intensidad media y de desviación típica, respectivamente. Al aplicar una operación de umbral a cada una de las imágenes de ala de sombrero de resolución múltiple, se obtiene una imagen binaria, dentro de la cual las regiones con un valor no nulo son las áreas que se sospecha inicialmente que estén cariadas en la imagen con una resolución correspondiente. Después de reinterpolarse cada una de las imágenes binarias a la resolución original para producir imágenes interpoladas, se toma la unión de todas las imágenes interpoladas como las áreas que se sospecha inicialmente que estén lesionadas.

45 Dado que no se puede utilizar un número infinito de resoluciones, y que el tamaño y forma de los elementos estructurales no son los mismos que los de las regiones diana de caries 162, las áreas que se sospecha inicialmente que estén cariadas no son normalmente los resultados óptimos.

Sin embargo, al utilizar un valor pequeño del parámetro *w* de ponderación, se pueden incluir las áreas diana de caries dentro de las áreas que se sospecha inicialmente que estén cariadas con un grado elevado de confianza. En un ejemplo, el parámetro *w* de ponderación es 1,0, 0,5, y 0 para las imágenes original, sometida a un submuestreo 2x, sometida a un submuestreo 4x, respectivamente. Desde luego, se puede ajustar el parámetro *w* de ponderación según los requerimientos prácticos.

55 Se pueden estimar, además, los valores normales de intensidad (es decir, valores de intensidad de las áreas antes del desarrollo de caries) dentro de las áreas que se sospecha inicialmente que estén cariadas según los que hay fuera de las áreas que se sospecha inicialmente que estén cariadas. Según un ejemplo, la estimación de intensidad es un procesamiento de reconstrucción superficial, que genera *Ireconstruida*, en el que se toma la intensidad como una superficie topológica. Al restar la imagen original *Iverde* de la imagen reconstruida *Ireconstruida*, se obtiene una imagen de diferencias *I dif*. Debido a que los valores de intensidad dentro de las áreas de caries son menores que los de las áreas dentales normales/en buen estado, y el cambio entre partes dentro de las áreas dentales normales o en

buen estado no es tanto como entre las áreas de caries y las áreas dentales normales/en buen estado, las regiones con un mayor cambio en los valores de intensidad (por ejemplo, 7, que pueden ser ajustados según la sensibilidad requerida de detección) son tomadas como las áreas refinadas que se sospecha que estén cariadas.

5 Aunque también se podría utilizar la técnica de reconstrucción morfológica en escala de grises para detectar una cúpula de máximas regionales de una cierta altura o una cuenca de mínimas regionales de una cierta profundidad en una imagen en escala de grises, no es tan adecuada como las realizaciones expuestas anteriormente para extraer una imagen de lesión de caries en los dientes. Esto es debido a que las distintas áreas de caries tienen un distinto contraste con respecto a sus áreas circundantes. Por lo tanto, se necesitan distintas alturas o profundidades de extremos regionales para adecuarse a distintas imágenes o distintas infecciones de caries. Al fin y al cabo, la altura o la profundidad sigue siendo un parámetro global. Además, es más difícil de implementar la reconstrucción morfológica en escala de grises y es más lenta que el procedimiento morfológico de ala de sombrero.

10 Aunque también se puede considerar un procedimiento convencional de sombrero de copa/ala de sombrero para ser utilizado para detectar regiones de cúpula de máximas o de cuenca de mínimas regionales, el procedimiento también es inadecuado para extraer una lesión de caries debido a que es difícil determinar el tamaño del elemento estructural. Esto es diferente del procedimiento morfológico de ala de sombrero expuesto en la presente solicitud, que cuando es utilizado junto con las técnicas de múltiples resoluciones y de reconstrucción superficial, supera con éxito el problema de determinar el tamaño del elemento estructural.

Subetapa de eliminación de falsos positivos

20 Con base en resultados experimentales, se puede agrupar la mayoría de casos de falsos positivos en dos categorías: (1) áreas que tienen un contraste reducido (normalmente menor de 7, aunque puede ajustarse según la aplicación práctica) en comparación con las áreas circundantes, y (2) áreas entre las superficies proximales de dientes adyacentes (denominadas de aquí en adelante regiones interproximales).

Se eliminan los falsos positivos de bajo contraste al calcular el contraste de intensidad entre el área sospechosa y su área circundante.

25 Se eliminan los falsos positivos interproximales según las características morfológicas de la presunta caries ubicada dentro de las regiones interproximales, o conectada a las mismas. Para hacer esto, en primer lugar se identifica la región interproximal.

A continuación se proporciona una descripción detallada de cómo están ubicadas las regiones interproximales en imágenes dentales según la presente invención.

30 Para dientes adyacentes que están muy separados, las regiones interproximales contienen espacios que son parte del fondo. Este primer tipo de región interproximal que tiene una demarcación clara de los dientes adyacentes se localiza como sigue. En primer lugar, se aplica una transformación de distancia a la imagen binaria de regiones dentales, y se localiza el píxel con la mayor distancia medida desde los límites de las regiones dentales identificadas. Se debe hacer notar que se puede determinar fácilmente la "mayor distancia" utilizando cualquiera de varios algoritmos conocidos. En la realización descrita, se escoge más preferentemente el píxel que se encuentra dentro de una región dental que tiene la mayor distancia hasta el límite de la región dental. Sin embargo, también se puede utilizar cualquier píxel con una distancia sustancialmente cercana a la mayor distancia (por ejemplo, preferentemente dentro del 90% de la mayor distancia, menos preferentemente dentro de al menos un 80% de la mayor distancia), según se determina empíricamente para producir resultados satisfactorios. En consecuencia, en toda la presente solicitud, se puede interpretar "el píxel con la mayor distancia" como "el píxel con una distancia sustancialmente cercana a la mayor distancia" de la forma que se acaba de describir. En segundo lugar, la región dental identificada que está conectada al píxel localizado está asignada a un objeto, y las otras regiones dentales identificadas están asignadas como otro objeto. Y en tercer lugar, entonces se definen como las regiones interproximales los píxeles en el fondo que tienen sustancialmente la misma distancia hasta cada uno de los dos objetos. En la presente solicitud "la misma distancia" significa que para dos píxeles, sus distancias respectivas hasta la misma característica difieren en no más que un pequeño número de píxeles, preferentemente en no más de 1 a 5 píxeles, menos preferentemente en no más de aproximadamente 10 píxeles. Se ha determinado empíricamente que esta tolerancia de distancia produce resultados satisfactorios. En consecuencia, en toda la presente solicitud, se puede interpretar la expresión "misma distancia" como "sustancialmente la misma distancia" para píxeles de la forma que se acaba de describir.

55 Para dientes adyacentes que están contiguos o están muy cercanos entre sí, las regiones interproximales no contienen una demarcación clara de los dientes adyacentes. Se han adoptado distintos enfoques de procesamiento de imágenes para identificar este segundo tipo de región interproximal en imágenes dentales. En el primer ejemplo inventivo, con referencia a las FIGURAS 4A a 4E, se localiza el segundo tipo de región interproximal en cuatro etapas con una transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores y una transformación de distancia en la región conectada al píxel con la mayor distancia.

La FIG. 4A muestra una imagen binaria de un diente diana 165a y dos dientes vecinos 165b y 165c. Las áreas claras representan los dientes, mientras que las áreas oscuras representan el fondo de los dientes. Las áreas claras y oscuras están separadas por un límite. El punto 200 de origen está definido como el píxel con la máxima distancia hasta los límites de los dientes, aunque también se puede escoger cualquier punto cerca del centro del diente diana 165a como el punto de origen. También se puede determinar el punto de origen con otros procedimientos según las aplicaciones prácticas. Por ejemplo, si se escoge el diente ubicado en el centro de la imagen como el diente diana, se puede seleccionar el punto de máximas locales más cercano al centro de la imagen como el punto de origen. En la primera etapa, como se muestra en la FIG. 4B, se proyecta un abanico de líneas 210 de rayos desde el punto 200 de origen en toda dirección entre 0° y 360°. Subsiguientemente, se forma o se define una línea 202 de contorno desde puntos en los que cada línea 210 de rayo encuentra primero el límite entre las áreas clara y oscura.

En la segunda etapa, los marcadores internos y externos se identifican o determinan como sigue. Como se muestra en la FIG. 4C, los marcadores se determinan desde una cierta área circular 222 en torno al punto 200 de origen y las áreas grises 220a, 220b, 220c, 220d. Según un ejemplo de la presente invención, se escoge el radio del área circular 222 como $\frac{3}{4}$ veces la distancia máxima, la distancia del punto 200 de origen hasta los límites dentales. Las áreas grises 220a, 220b, 220c, 220d se obtienen al restar el área encerrada por la línea 202 de contorno de las áreas dentales 165a, 165b, 165c, que han sido determinadas por el límite entre las áreas claras y oscuras con referencia a la FIG. 4A. Las áreas claras externas 224, correspondientes a las áreas oscuras de la FIG. 4A, son tomadas como los marcadores externos.

En la tercera etapa, se aplica una transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores a una imagen de gradiente de una imagen en escala de grises de FIRE con los marcadores internos y externos determinados anteriormente. En una realización, la imagen en escala de grises de FIRE es generada a partir del canal verde de la imagen de FIRE, *Ifverde*. En realizaciones alternativas, se puede generar la imagen en escala de grises de FIRE a partir de una mezcla de los tres canales utilizando procedimientos bien conocidos en la técnica de procesamiento de imágenes. Esta transformación tiene como resultado una cuenca 170 de agua conectada al marcador interno que se corresponde con el área circular 222 de la FIG. 4C, y las cuencas 172a, 172b, 172c, 172d de agua conectadas a los marcadores internos que se corresponden con las áreas grises 220a, 220b, 220c y 220d de la FIG. 4C, respectivamente. Esta transformación también tiene como resultado líneas 173a, 173b de división de aguas. La línea 173a de división de aguas separa las cuencas de agua 172a de 172b, mientras que la línea 173b de división de aguas separa las cuencas de agua 172c de 172d. Como se ha hecho notar anteriormente, la expresión "cuenca de agua", también denominada cuenca de captación, es una expresión de la técnica de transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores en la formación de imágenes, conocida por un experto en la técnica.

En la cuarta etapa, entonces, se interpreta que los píxeles que tienen la misma distancia hasta los dos grupos de cuencas son el segundo tipo de regiones interproximales. La FIG. 4E muestra partes de las líneas intermedias 176, que indican ubicaciones de las regiones interproximales que están identificadas. Las líneas intermedias 176 se obtienen mediante transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores y transformación de distancia. La región 174a se obtiene de la cuenca 170 de agua. La región 174b se obtiene a partir de una combinación de cuencas 172a y 172b de agua. Se obtiene una región 174c a partir de una combinación de cuencas 172c y 172d de agua.

En el segundo ejemplo inventivo, con referencia ahora a las FIGURAS 5A a 5E, se localiza el segundo tipo de regiones interproximales que no tienen ninguna demarcación clara en cuatro etapas con una adaptación distinta de la transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores y de la transformación de distancia en la región conectada al píxel con la mayor distancia. Aunque comparten etapas tercera y cuarta similares, este segundo ejemplo inventivo difiere del primer ejemplo inventivo en las primeras dos etapas.

De forma similar a la FIG. 4A, la FIG. 5A muestra una imagen binaria de un diente diana 165a y de dos dientes vecinos 165b y 165c. Las áreas claras representan dientes, mientras que las áreas oscuras representan el fondo de los dientes.

En la primera etapa, como se muestra en la FIG. 5B, se aplica una transformación de distancia a la imagen de la FIG. 5A y tiene como resultado una imagen de distancia *Idist*. En general, el valor del píxel en la imagen de distancia representa la distancia más cercana de ese píxel al fondo de los dientes.

En la segunda etapa mostrada en las FIGURAS 5C y 5D, se determinan los marcadores internos 230a, 230b, 230c y el marcador externo 232 como sigue.

Con *Idist* como la máscara y *Idist - dhome* como el marcador, utilizando una reconstrucción morfológica en escala de grises, se puede obtener una imagen reconstruida *Idrecon*. Entonces, se puede determinar *Igerm* según la siguiente ecuación:

$$Igerm = (Idrecon > Tdrecon) \cap (Idist > Tdist),$$

en la que $Tdrecon$ y $Tdist$ son dos valores umbral (por ejemplo, $Tdrecon = 5$, y $Tdist = 10$), respectivamente. El símbolo $(Idrecon > Tdrecon)$ hace referencia al área en la que los valores de píxeles de $Idrecon$ son mayores que $Tdrecon$, y el símbolo $(Idist > Tdist)$ hace referencia al área en la que los valores de píxeles de $Idist$ son mayores que $Tdrecon$. El símbolo \cap es el operador de intersección, familiar para los expertos en la teoría de conjuntos.

5 En la FIG. 5C se muestran las regiones germinales 230a, 230b, 230c obtenidas a partir de $Igerm$. En cada región germinales, según la imagen de distancia $Idist$ en la FIG. 5B, se identifica un punto germinal como el píxel con la máxima distancia. Por ejemplo, los puntos 234a, 234b y 234c son los píxeles que tienen la máxima distancia en las áreas germinales 230a, 230b, y 230c, respectivamente. Tomando el punto germinal como el punto de origen y $\frac{3}{4}$ veces su distancia como el radio, para cada región germinal, se crea una región circular como un marcador interno correspondiente al punto germinal. Específicamente, los marcadores internos circulares 236a, 236b, y 236c son creados a partir de los puntos germinales 234a, 234b, y 234c, respectivamente, como se muestra en la FIG. 5D. Las regiones de fondo de los dientes son utilizadas como los marcadores externos 232a, 232b.

De forma similar a la tercera etapa del primer ejemplo inventivo (con referencia a las FIGURAS 4A a 4E), en la tercera etapa, como se muestra en la FIG. 5E, se aplica la transformación de la línea de división de aguas controlada por marcadores a la imagen de gradiente de una imagen en escala de grises de FIRE con los marcadores internos 236a, 236b y 236c y los marcadores externos 232a, 232b determinados anteriormente y se obtienen regiones 238a, 238b, 238c de cuenca de agua para los marcadores internos 236a, 236b, y 236c, respectivamente. Finalmente, en la cuarta etapa, de nuevo de forma similar a la cuarta etapa del primer ejemplo inventivo, las líneas intermedias 240a, 240b se localizan como los píxeles que tienen la misma distancia hasta dos regiones vecinas de cuenca de agua.

Después de que se localizan las regiones interproximales, se identifican entonces las áreas que se sospecha que estén cariadas conectadas a las regiones interproximales. Debido a que también se localizan caries verdaderas en estas regiones, no se deberían eliminar todas las áreas que se sospecha que estén cariadas conectadas a las regiones interproximales. Una caries verdadera parece a menudo un "agujero en escala de grises", que es un área de píxeles oscuros rodeada por píxeles más claros en la imagen en escala de grises. Por lo tanto, se utiliza la característica de "agujero en escala de grises" para comprobar cuál de las áreas que se sospecha que estén cariadas son caries verdaderas y debería ser retenida, mientras que las otras áreas sospechosas conectadas a las regiones interproximales son eliminadas como falsos positivos.

Después de que se eliminan los falsos positivos, las áreas restantes que se sospecha que estén cariadas son las regiones extraídas de caries 162. Cuando se representan visualmente, estas áreas pueden ser perfiladas o resaltadas con colores falsos en una imagen representada visualmente de FIRE, de fluorescencia o de reflectancia de los dientes para ayudar en el diagnóstico o la detección selectiva de caries. También son utilizadas para un análisis de cuantificación de caries, en las etapas descritas a continuación.

Etapas 130 de hallazgo de una región dental en buen estado adyacente al área lesionada extraída

35 Con referencia de nuevo a la FIG. 3D, la etapa de identificación de una región dental en buen estado adyacente al área lesionada extraída se lleva a cabo al expandir las áreas presuntamente lesionadas 162 hacia fuera hasta la línea dilatada 166 con una dilatación morfológica, una operación bien conocida en la técnica de procesamiento de imágenes. Esta etapa se lleva a cabo automáticamente sin necesidad de indicaciones del usuario. Preferentemente, esta etapa y las etapas 140 y 150 son llevadas a cabo, preferentemente, en la imagen de fluorescencia, por razones que se explican a continuación. Las áreas que rodean las áreas expandidas presuntamente lesionadas son tomadas como las áreas normales/en buen estado, y los valores de los píxeles que componen la línea dilatada 166 son tomados como los valores de intensidad de las áreas circundantes normales/en buen estado. La implementación algorítmica de la etapa de dilatación morfológica es similar a la presentada en la FIG. 3 de la publicación de solicitud de patente U.S. transferida legalmente nº 2008/0170764 en tramitación como la presente. Esta etapa reduce los errores aunque haya posibles errores de detección en las regiones detectadas que se sospecha que estén cariadas y en los cambios no significativos de intensidad en áreas dentales normales/en buen estado.

Etapas 140 de reconstrucción de valores de intensidad para tejido dental en el área lesionada

Para evaluar la gravedad de las lesiones extraídas y para monitorizar el desarrollo de las lesiones identificadas con el paso del tiempo, es útil tener una estimación de los valores normales de intensidad de las regiones que se sospecha que estén cariadas antes del desarrollo de caries. Esta puede ser llevada a cabo por medio de diversos enfoques con base en los valores de intensidad de las áreas circundantes normales/en buen estado encontradas en la Etapa 130.

En una realización, después de que se identifica el área circundante en buen estado, se puede obtener un valor reconstruido de intensidad para tejido dental en el área lesionada utilizando una técnica de interpolación bilineal según valores en la región adyacente en buen estado, como se describe a continuación.

La FIG. 3E muestra una vista ampliada de una región de interés 161 mostrada en la FIG. 3D. Para cada píxel P en el área lesionada R 162, hay cuatro píxeles en la línea dilatada 166 en el área en buen estado que se encuentran a la

izquierda, a la derecha, encima y debajo de P, denominados P_L , P_R , P_T , P_B , respectivamente. Se puede calcular la estimación del valor reconstruido de intensidad I_r en P utilizando una interpolación bilineal, para la cual se muestran las fórmulas que siguen.

$$I_H = \frac{I_L \cdot X_2 + I_R \cdot X_1}{X_2 + X_1}$$

5

$$I_V = \frac{I_T \cdot Y_2 + I_B \cdot Y_1}{Y_2 + Y_1}$$

$$I_r = \frac{I_H + I_V}{2}$$

De esta forma, se lleva a cabo una interpolación bilineal para cada píxel en la región de caries 162 para reconstruir los valores normales de intensidad para toda la región.

10

Como realización alternativa, después de que se ha identificado el área circundante en buen estado, se puede obtener el valor reconstruido de intensidad para el tejido dental dentro del área lesionada utilizando una técnica de ajustes a superficies tal como una curva segmentaria bidimensional, o ajuste de Bézier.

15

Otra realización alternativa para reconstruir un valor de intensidad para tejido dental dentro del área lesionada es interpolar uniformemente hacia dentro desde los valores del píxel en los límites de las áreas expandidas que se sospecha que estén cariadas al resolver la ecuación de Laplace. Esta realización es una adaptación de una técnica común de procesamiento de imágenes (tal como la que se ha implementado en la familiar función "roifill" del software Matlab en su caja de herramientas de procesamiento de imágenes), y tiene como resultado una estimación más precisa.

Etapa 150 de cuantificación de la condición de las caries

20

Como se ha expuesto anteriormente, la información cuantitativa acerca las regiones de caries 162 es útil para evaluar la condición de las lesiones extraídas y para monitorizar el desarrollo de las lesiones identificadas con el paso del tiempo. La condición de caries en una imagen dental puede ser cuantificada de varias formas, incluyendo calcular el tamaño (o área) del área lesionada y calcular la relación de pérdida de fluorescencia del área lesionada.

En un ejemplo, se calcula el área lesionada al contar el número real de píxeles dentro de las regiones de caries 162, y luego convertir eso en una dimensión espacial real, tal como mm^2 .

25

En otro ejemplo, se utiliza la pérdida de fluorescencia para medir la condición de las caries. Se ha demostrado que la pérdida de fluorescencia en la estructura dental es un indicación directa del grado de desmineralización en la estructura. Esta cantidad puede ser calculada directamente a partir de los valores de intensidad en la imagen de fluorescencia del diente. En la imagen de fluorescencia, se calcula la relación de pérdida de fluorescencia ΔF en cada píxel dentro del área lesionada utilizando la siguiente fórmula:

30

$$\Delta F = \frac{I_r - I_o}{I_r},$$

en la que I_r es el valor reconstruido de intensidad a partir de la etapa 140, e I_o es el valor real medido de intensidad del canal verde de la imagen de fluorescencia $I_{F_{\text{LVO}}}$. Cuando han ocurrido caries, $\Delta F > 0$.

Toda la pérdida L de fluorescencia de la región lesionada es la suma de ΔF dentro de la región lesionada R:

$$L = \sum_{i \in R} \Delta F_i$$

35

La FIG. 6A muestra otro procedimiento para la cuantificación de caries utilizando la etapa 120, que depende del procedimiento para localizar regiones dentales según la presente invención. Este procedimiento de cuantificación de caries comprende una etapa de generación de una imagen de FIRE u otras imágenes obtenidas al combinar una imagen de fluorescencia y una imagen de reflectancia del diente según la presente invención. La FIG. 6A es similar a la FIG. 1. Sin embargo, en la FIG. 6A la imagen digital del diente es una imagen de FIRE o similar generada tanto a partir de una imagen de reflectancia como de una imagen de fluorescencia. En particular, la imagen de reflectancia es generada utilizando luz blanca o de un único color, mientras que la imagen de fluorescencia es generada utilizando luz de excitación en el intervalo ultravioleta-azul. Durante la etapa 130 de identificación de una región en buen estado adyacente al área lesionada extraída, la imagen de fluorescencia puede sustituir la imagen de FIRE

40

como entrada, indicada por la flecha 160a de líneas discontinuas. Durante la etapa 140 de reconstrucción de valores de intensidad en un área lesionada y la etapa 150 de cuantificación de la condición de las áreas de caries, también se necesita la imagen de fluorescencia como entrada, indicado por la flecha 160.

5 La FIG. 6B muestra otro procedimiento más para cuantificar caries utilizando la etapa 120, que depende del procedimiento para localizar regiones dentales según la presente invención. Es similar a la FIG. 6A, pero difiere en la etapa 120 que comprende, específicamente, etapas de identificación de las regiones dentales 165 de una imagen dental, extraer un área que se sospecha que esté lesionada, y eliminando falsos positivos. La flecha 160a de líneas discontinuas muestra que se puede utilizar la imagen de fluorescencia para la etapa 130, y la flecha 160 muestra que se utiliza la imagen de fluorescencia para las etapas 140 y 150.

10 Otro procedimiento alternativo para cuantificar caries utilizando la etapa 120 depende del procedimiento para localizar regiones dentales interproximales según la presente invención. Con referencia de nuevo a la FIG. 1, la imagen digital generada en la etapa 110 es una imagen de fluorescencia del diente. Como se ha expuesto anteriormente, la imagen de fluorescencia tiene características similares a la imagen de FIRE y, por lo tanto, los procedimientos utilizados en la etapa 120 de extracción de áreas lesionada pueden ser llevados a cabo en la imagen de fluorescencia. Por lo tanto, en esta realización alternativa, se utiliza la imagen de fluorescencia en todas las etapas desde la Etapa 110 hasta la Etapa 150.

La invención ha sido descrita con detalle con referencia particular a una realización preferente en la actualidad. Por lo tanto, se considera en todos los sentidos que las realizaciones dadas a conocer en el presente documento son ilustrativas y no restrictivas. El alcance de la invención está indicado por las reivindicaciones adjuntas.

20 **Lista de partes**

110	etapa de generación de una imagen digital de un diente
120	etapa de extracción de un área lesionada de regiones dentales en buen estado
130	etapa de identificación de una región en buen estado adyacente al área lesionada extraída
140	etapa de reconstrucción de los valores de intensidad para tejido dental dentro del área lesionada
150	etapa de cálculo de la condición de las caries
160, 160a	flecha
161	región de interés
162	área lesionada (o región de caries)
163	límite de segmentación
164	área dental en buen estado
165	región dental
165a, 165b, 165c	diente
166	línea dilatada
167	imagen de reflectancia
168	imagen de fluorescencia
169	imagen de FIRE
170	cuenca de agua correspondiente al área circular 222 del marcador interno
172a, 172b, 172c, 172d	cuenca de agua
173a, 173b	líneas de división de aguas
174a	región correspondiente a la cuenca 170 de agua
174b	región correspondiente a una combinación de cuencas 172a y 172b de agua

ES 2 398 202 T3

174c	región correspondiente a una combinación de cuencas 172c y 172d de agua
176	líneas intermedias entre dientes
180	aparato de procesamiento
200	punto de origen
202	línea de contorno
210	líneas de rayo
220a, 220b, 220c, 220d	áreas grises correspondientes a marcadores internos
222	área circular en el diente diana correspondiente a marcadores internos
224	áreas claras correspondientes a un marcador externo
230a, 230b, 230c	áreas germinales
232a, 232b	marcadores externos
234a, 234b, 234c	puntos germinales
236a, 236b, 236c	marcadores internos
238a, 238b, 238c	regiones de cuenca de agua
240a, 240b	líneas intermedias

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para identificar una o más regiones dentales, que comprende:
 - 5 generar una primera imagen de umbral a partir de una primera imagen del diente por medio de una operación de umbral de selección de valores de datos de intensidad mayores que un primer valor umbral predeterminado c1;
 - generar una segunda imagen de umbral a partir de una segunda imagen del diente por medio de la operación de umbral de selección de valores de datos de intensidad mayores que un segundo valor umbral predeterminado c2;
 - 10 generar una imagen preliminar de regiones dentales que define al menos una primera región dental a partir de la intersección de las imágenes primera y segunda de umbral;
 - generar una imagen binaria de referencia a partir de la primera imagen por medio de la operación de umbral de selección de valores de datos de intensidad mayores que un tercer valor umbral predeterminado c3, en el que el valor umbral c3 supera el valor umbral c1;
 - 15 generar una imagen refinada de regiones dentales a partir de al menos la primera región dental en la imagen preliminar de regiones dentales, en la que al menos la primera región dental está conectada a objetos en la imagen binaria de referencia, y
 - generar una imagen procesada refinada de regiones dentales al eliminar áreas pequeñas y rellenar agujeros en la imagen definida de regiones dentales.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la primera imagen es una imagen en escala de grises de la fluorescencia del diente.
3. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la segunda imagen es una imagen en escala de grises de la reflectancia del diente.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que se obtienen una o ambas de las imágenes primera y segunda del diente a partir de los canales verdes de la imagen de fluorescencia y de la imagen de reflectancia, respectivamente.
5. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende, además, identificar la o las regiones dentales utilizando el establecimiento de un umbral.
6. El procedimiento de la reivindicación 1 que comprende, además, representar visualmente la imagen refinada de regiones dentales.

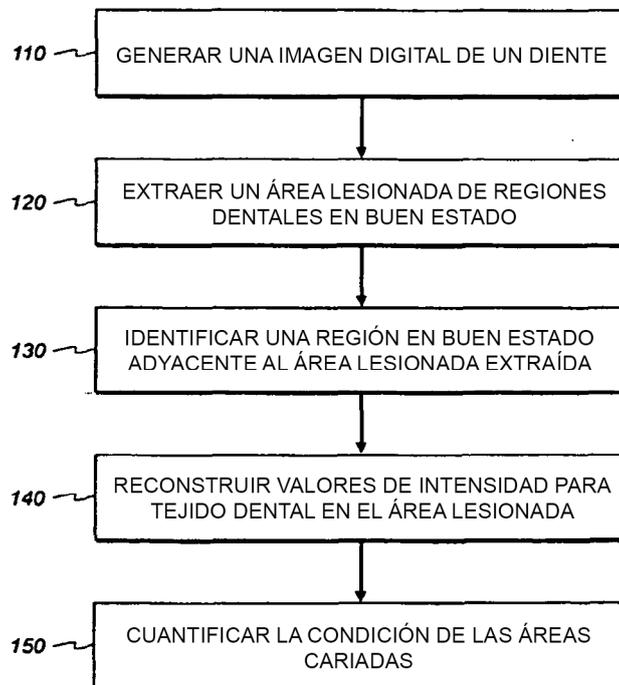


FIG. 1

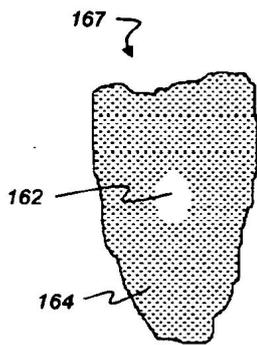


FIG. 2A

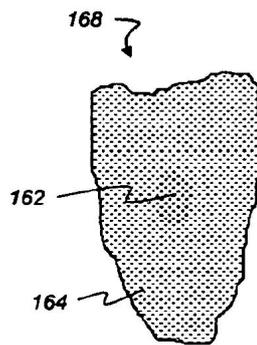


FIG. 2B

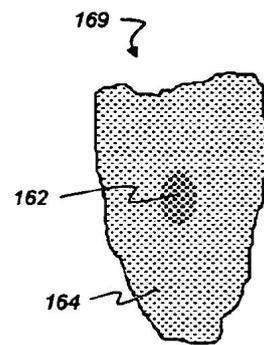


FIG. 2C

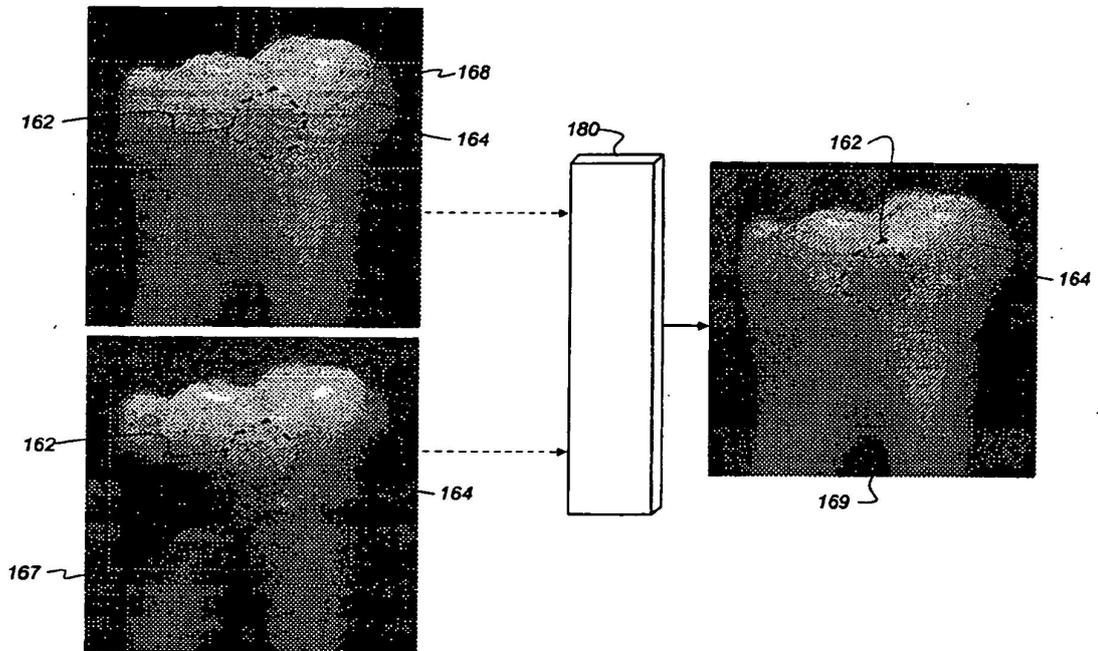


FIG. 2D

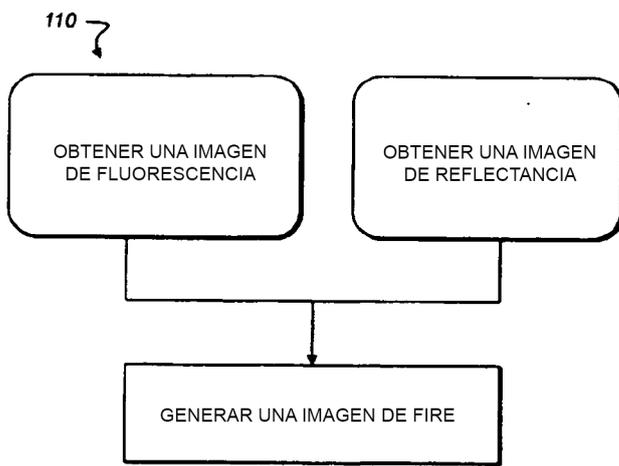


FIG. 3A

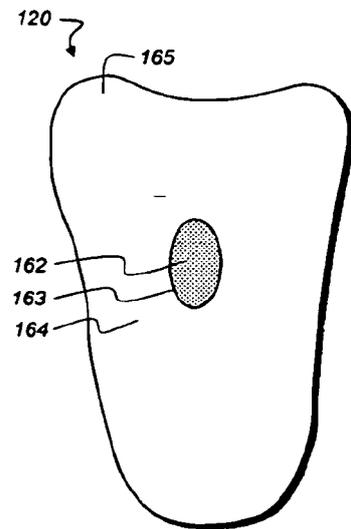


FIG. 3B

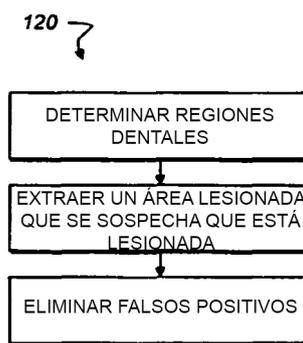


FIG. 3C

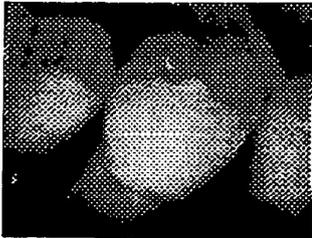


FIG. 3C-1

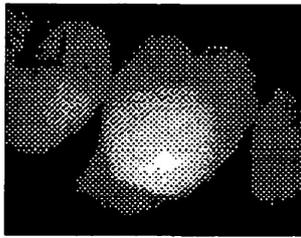


FIG. 3C-2



FIG. 3C-3



FIG. 3C-4

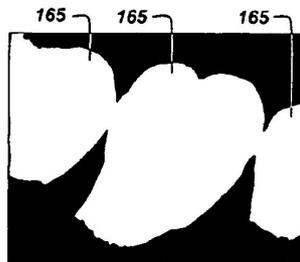


FIG. 3C-5

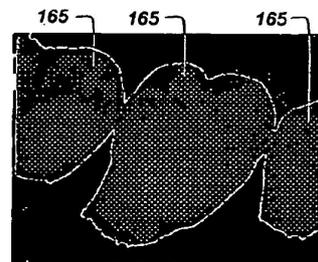


FIG. 3C-6

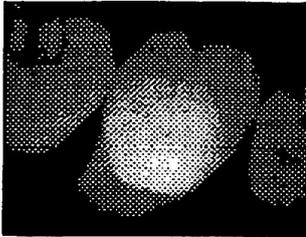


FIG. 3C-7

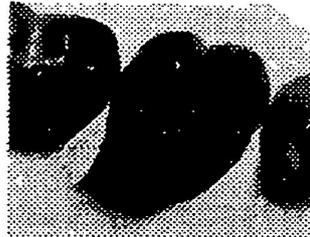


FIG. 3C-8



FIG. 3C-9

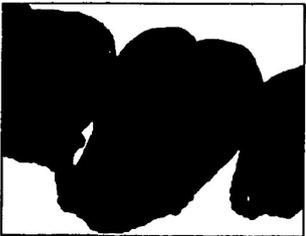


FIG. 3C-10



FIG. 3C-11

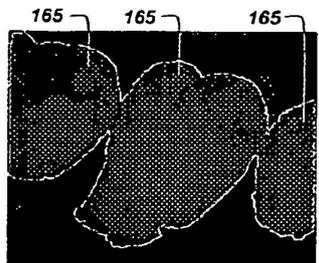


FIG. 3C-12



FIG. 3C-13



FIG. 3C-14

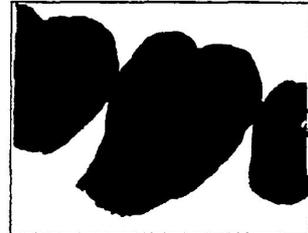


FIG. 3C-15

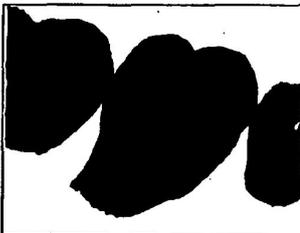


FIG. 3C-16

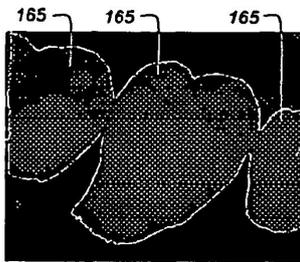
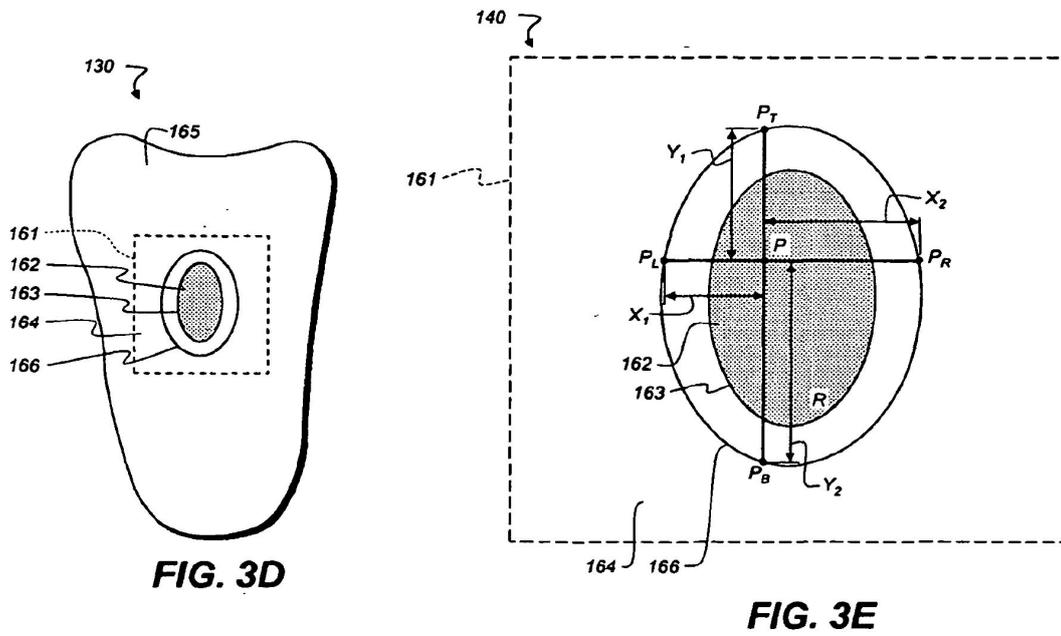


FIG. 3C-17



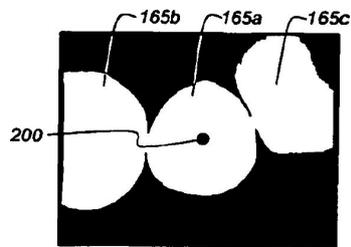


FIG. 4A

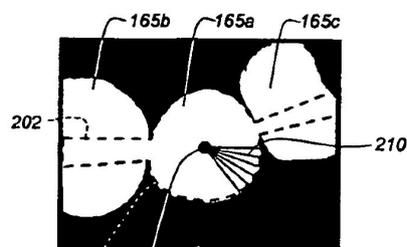


FIG. 4B

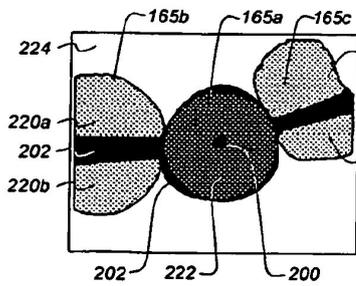


FIG. 4C

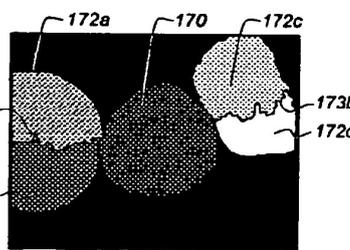


FIG. 4D

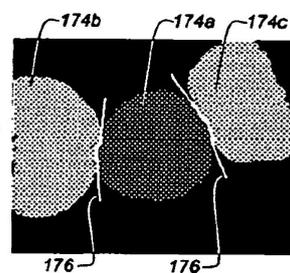


FIG. 4E

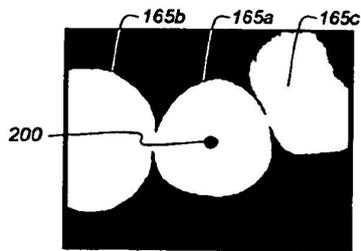


FIG. 5A

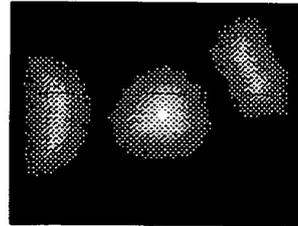


FIG. 5B

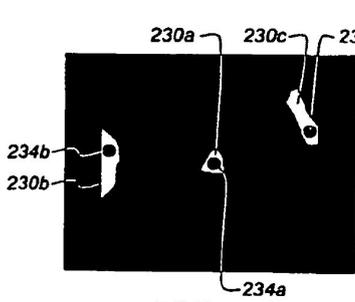


FIG. 5C

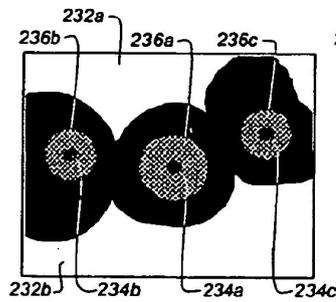


FIG. 5D

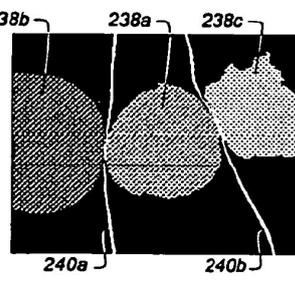


FIG. 5E

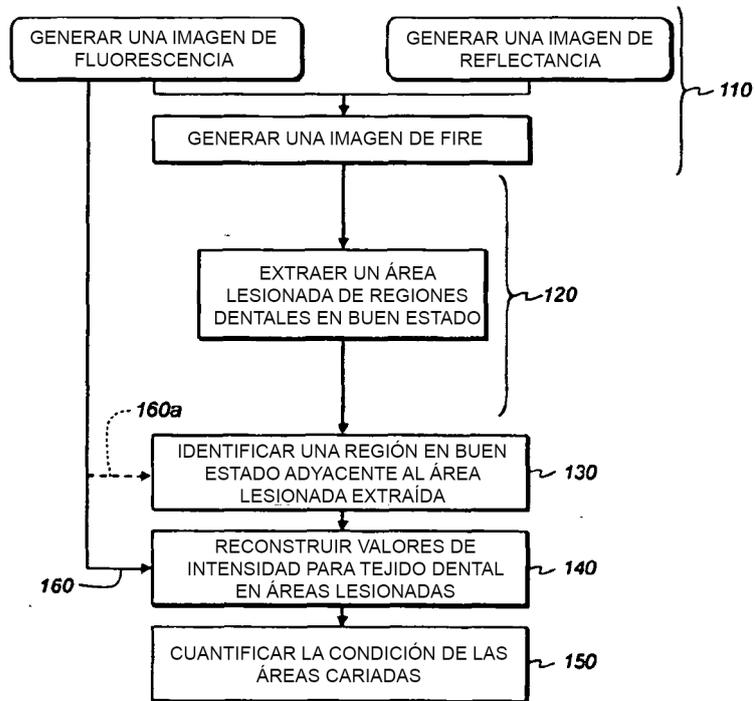


FIG. 6A

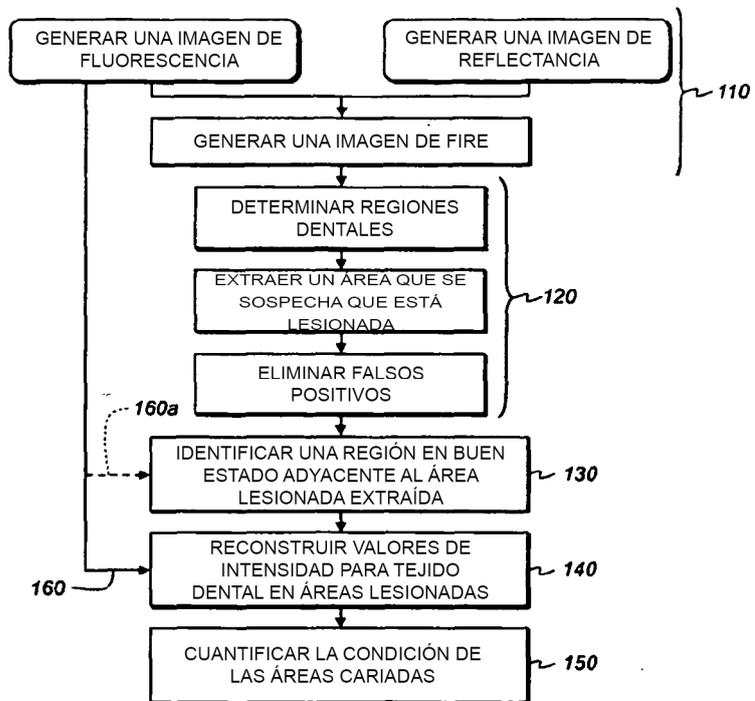


FIG. 6B