

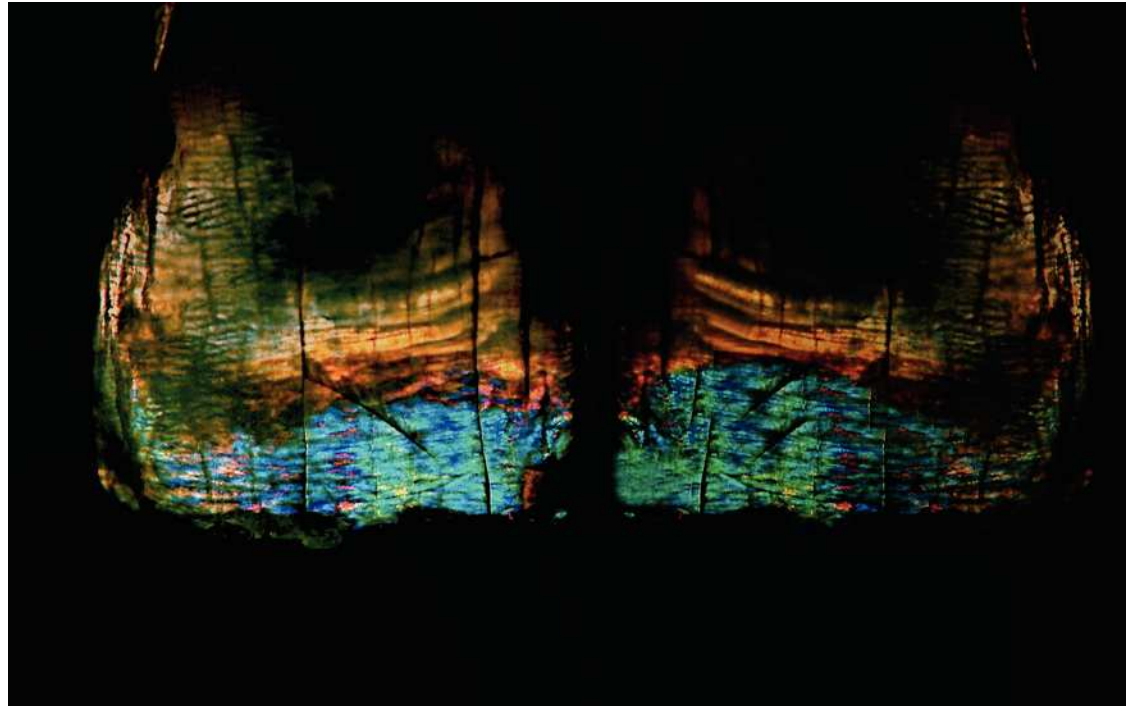
## [Resumen]

Las imágenes de polarización de secciones de diente se han convertido en un elemento en boga en numerosas publicaciones que se ocupan especialmente de la explicación de técnicas de recubrimiento estéticas. Sin embargo, el procedimiento exacto para la obtención de imágenes de tallados dentales polarizados era hasta ahora un secreto celosamente guardado por unos pocos. Este artículo revela el procedimiento para la obtención correcta de secciones dentales adecuadas y arroja luz sobre las técnicas y condiciones exactas que son necesarias para obtener imágenes de polarización fantásticas de secciones dentales.

## Palabras clave

Secciones dentales. Fotografía de polarización. Preparación del diente. Polariscopio. Fundamentos fotográficos. Procesamiento de imágenes. Composición de la imagen.

(Quintessenz Zahntech. 2011;37(5):596-608)



## La fotografía de interferencia experimental en la prótesis dental

La revelación de posibilidades creativas ilimitadas para todos

**Sascha Hein y Joshua Polansky**

### Introducción

A finales de los años ochenta, Claude Sieber<sup>10,11</sup> publicó una serie de artículos que contenían impactantes imágenes de dientes extraídos seccionados. Pese a que estas imágenes eran espectaculares y novedosas para la prótesis dental, las propiedades ópticas de los dientes se conocen desde hace ya mucho tiempo. En 1861, Valentin<sup>13</sup> describió la propiedad de la «interferencia negativa» del esmalte dental durante la observación mediante la microscopia de polarización de trasluz. En 1903, Kirk<sup>6</sup> estudió bajo luz polarizada secciones de dientes inferiores. Actualmente, este tipo de imágenes se han convertido en un elemento en boga en numerosas publicaciones que se ocupan especialmente de la explicación de técnicas de recubrimiento estéticas. Sin embargo, el procedimiento exacto para la obtención de imágenes de tallados dentales polarizados se ha mantenido como un secreto celosamente guardado. Este artículo pretender arrojar luz sobre las técnicas y condiciones exactas que son necesarias para obtener imágenes de polarización fantásticas de secciones dentales.

Las propiedades ópticas del esmalte dental humano se basan en la refracción doble de la luz. Cuando la luz polarizada penetra a través del objeto, la luz se divide en dos haces de distinta longitud de onda. Este fenómeno se utiliza generalmente para el análisis de tensiones en un material, por ejemplo en la fotoelasticidad. Sin embargo, también puede utilizarse para estudiar las propiedades ópticas de diversos materiales.

La refracción doble de la luz en secciones de diente no es el resultado de tensiones, sino de las distintas refracciones de la luz de las estructuras cristalinas con sus prismas de esmalte, colágeno y agua. El arco iris de colores (irisación) que puede observarse es el resultado de las distintas trayectorias de propagación de los efectos prismáticos generados durante la refracción doble de la luz y de la interferencia producida en el proceso, cuando la luz atraviesa distintas disposiciones de estructuras orgánicas e inorgánicas. Este efecto sólo puede aparecer cuando el medio es anisótropo<sup>12</sup> (dependiente de la dirección).



Fig. 1. Los dientes recién extraídos se almacenan en condiciones de humedad, por ejemplo en una solución de timol al 0,9%.

A fin de obtener imágenes de alta calidad, los dientes deben estar recién extraídos y almacenarse en condiciones húmedas. Para ello está indicada por ejemplo una solución de timol al 0,9%, la cual conserva íntegramente el color de los dientes, o simplemente alcohol (fig. 1). Los dientes esterilizados no están indicados. Una vez que los dientes han sido entregados al laboratorio protésico, se limpian con harina de piedra pómez y mediante el motor de pulido. En el proceso se tienen en cuenta las medidas de precaución habituales para la manipulación de material de riesgo biológico. A continuación, los dientes limpios se almacenan durante un mínimo de cuatro semanas en aceite de inmersión<sup>4</sup>.

El aceite de inmersión se utiliza en la microscopia debido a su elevado índice de refracción de la luz. Un efecto adicional consiste en que durante el almacenamiento sella los dientes extraídos, protegiéndolos así contra la deshidratación. Se cree que también potencia las propiedades de refracción de la luz de las secciones dentales.

A fin de lograr una refracción doble útil de la luz, las secciones de diente deben ser muy finas (entre 100 y 200  $\mu\text{m}$ ). Cuanto más fina sea la sección del diente, tanto mejor será el resultado. El corte se realiza con sierras de precisión de baja velocidad (por ejemplo, Isomet, Buehler, Lake Bluff, Illinois, EE. UU., o PM 5, Logitech, Glasgow, Escocia, Reino Unido). Para ello se monta el diente sobre un bloque de plexiglás y se corta con un disco de diamante (10 a 990 UPM). Para obtener cortes con un grosor de tan sólo 70 a 100  $\mu\text{m}$ , no es necesario revestir el diente en resina artificial. Sin embargo, para poder crear cortes de 10 a 16  $\mu\text{m}$  es muy aconsejable la puesta en revestimiento. Una vez confeccionadas las secciones de diente bastas, se tallan hasta el grosor definitivo deseado por medio de un pulidor horizontal<sup>8</sup>. En caso de que el laboratorio protésico no cuente con un equipamiento tan altamente especializado, alternativamente pueden

## Fundamentos

### Preparación de los dientes extraídos

### Serrado de los dientes



Fig. 2. Mediante un recortador de modelos se recorta un lado del diente hasta dejarlo plano.



Fig. 3. El grosor de las secciones puede ajustarse mediante el tornillo micrométrico situado en el brazo de soporte de la fresadora.



Fig. 4. Para el corte puede utilizarse un disco diamantado estándar de 0,5 mm.

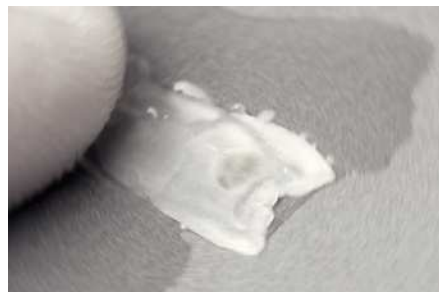


Fig. 5. Se coloca papel abrasivo muy fino (tamaño de grano 1.000) sobre una placa de vidrio, a fin de lograr una superficie nivelada. A continuación se pule cuidadosamente y bajo refrigeración por agua la sección dental hasta alcanzar el grosor definitivo deseado.



Fig. 6. A fin de evitar el resecamiento, deberían conservarse las secciones en aceite de inmersión.

obtenerse secciones de diente válidas empleando un recortador de modelos. No obstante, esto requiere cierto esmero y habitualmente genera un porcentaje de descartes del 99,9% para la obtención de una única sección dental.

Otro método más efectivo para obtener hasta 4 secciones dentales de 300  $\mu\text{m}$  de grosor por diente consiste en la utilización de una fresadora (por ejemplo, F3, DeguDent, Hanau, Alemania). En este procedimiento se talla un lado del diente mediante un recortador de modelos hasta dejarlo plano (fig. 2). A continuación se adhiere el diente a un bloque de plexiglás para el corte. El grosor de tallado puede ajustarse por medio del tornillo micrométrico situado en el brazo de soporte (fig. 3). Para el corte puede emplearse un disco diamantado con un grosor de 0,5 mm (fig. 4). Se coloca papel abrasivo muy fino (tamaño de grano 1.000) sobre una placa de vidrio, a fin de lograr una superficie nivelada. A continuación se pule la sección dental mediante el papel de lija y se pule cuidadosamente bajo refrigeración por agua hasta alcanzar el grosor final deseado (fig. 5). Para conseguir la precisión necesaria, se controla permanentemente el grosor mediante un palpador rápido convencional. A fin de proteger las secciones dentales terminadas contra la deshidratación, a continuación es imprescindible almacenarlas de nuevo en aceite de inmersión (fig. 6).

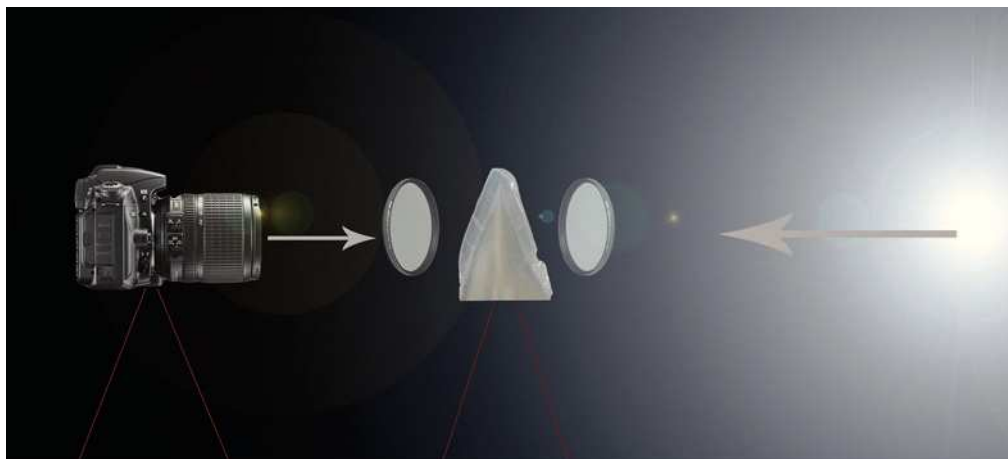


Fig. 7. El primer filtro de polarización (B+W, Schneider Kreuznach, Bad Kreuznach, Alemania) se enrosca delante de la fuente de luz, y el segundo delante del objetivo de la cámara. La sección dental se encuentra entre los filtros.



Figs. 8 y 9. Cuando los ejes de polarización de ambos filtros se hallan en ángulo recto entre sí, se bloquea totalmente la luz. Sin embargo, la dirección de oscilación de la luz que atraviesa el objeto ha sido modificada, de modo que no es bloqueada por el filtro de polarización situado delante de la cámara. El resultado es que el objeto aparece en su color natural ante un fondo blanco, gris o negro, dependiendo del giro del analizador (filtro).

Un polariscopio es un dispositivo que permite observar objetos por medio de luz polarizada. El primer filtro de polarización circular o lineal (B+W, Schneider Kreuznach, Bad Kreuznach, Alemania), montado delante de la fuente de luz, se denomina «polarizador». El segundo filtro de polarización circular se denomina «analizador» y está montado en la parte delantera, en el objetivo (fig. 7). Cuando los ejes de polarización de ambos filtros se hallan en ángulo recto entre sí, se bloquea la totalidad de la luz. Sin embargo, si se modifica la dirección de la oscilación de la luz que atraviesa el objeto y no se bloquea mediante el filtro de polarización situado delante de la cámara, como resultado el objeto aparece en sus colores naturales ante un fondo blanco, gris o negro. El color del fondo depende del giro del analizador en el objetivo (figs. 8 y 9). Como fuente de luz puede emplearse tanto luz continua como luz destellante.

## *El polariscopio*

En el sistema de cámara utilizado se trata de una cámara réflex de espejos digital equipada con un macroobjetivo de 50 a 105 mm (fig. 10). Al mirar por el visor se aprecia inmediatamente la fotoelasticidad. Pero para poder fotografiar con éxito este efecto, es indispensable una exposición correcta. Esto es especialmente importante cuando se utiliza una fuente de iluminación constante. Todas las cámaras digitales modernas están equipadas con el método de medición de la luz TTL, es decir, la medición de la luz mediante el objetivo. El método de medición de la luz seleccionado debería ser

## *Fundamentos fotográficos*



Fig. 10. La cámara escogida es una cámara digital de pequeño formato, equipada con un objetivo macro intercambiable de 50 a 105 mm.



Fig. 11. El control automático de exposición debería estar ajustado al valor de apertura (AV).



Fig. 12. La preselección del diafragma debería ajustarse a f: 20. En el modo AV se determina automáticamente el tiempo de exposición.



Fig. 13. Un patín de ajuste es otro accesorio útil para facilitar el enfoque en caso de grandes aumentos.



una medición ponderada al centro, y la exposición debería tener lugar por medio del valor de apertura del diafragma automático («AV»: Aperture Value) (fig. 11). Al pulsar brevemente el disparador, el sistema TTL determina la medición de la exposición y la reproduce en la parte inferior del visor. Debería ajustarse el diafragma a f 20. A continuación, la cámara selecciona automáticamente el tiempo de exposición en el modo AV (fig. 12). A fin de evitar que las imágenes salgan movidas debido al tiempo de exposición prolongado, a menudo es preciso montar la cámara sobre un trípode. Esto debe hacerse siempre que se utilice una distancia focal de entre 100 y 105 mm típica para un macroobjetivo, en combinación con un tiempo de obturación inferior a 1/80 s y empleando una iluminación permanente (por ej. linterna LED). Si una imagen es demasiado oscura, debería reducirse la velocidad de obturación, y si la imagen es demasiado clara debería incrementarse la velocidad. También puede influir en el resultado de la imagen modificando el ajuste ISO de la cámara. El aumento del valor ISO «aclará» la imagen, pero también influirá en la calidad de la imagen (grano). Para obtener unos resultados óptimos, debería ajustarse a un valor bajo (100 o inferior) el ajuste ISO de la cámara. Es mucho más conveniente utilizar un flash, ya que puede ajustarse fácilmente a cualquier tiempo de exposición o combinación de diafragma. Esto hace innecesario el uso de un trípode o el ajuste ISO. Otra herramienta útil para facilitar el enfoque en caso de grandes aumentos es un patín para macro (fig. 13).

## Procesamiento posterior de las imágenes

Un sensor digital tiene límites por lo que respecta a los tonos cromáticos y los niveles de claridad que puede procesar. Este límite se conoce como rango dinámico del sensor, el cual se expresa en pasos de diafragma o valores de exposición (inglés: EV =



Fig. 14. Las imágenes fotoelásticas, captadas en formato RAW, presentan colores y contrastes mediocres antes del postprocesamiento mediante Adobe Lightroom.



Fig. 15. La misma imagen tras la modificación de la saturación cromática, la nitidez y las curvas de contraste.

exposure value). El ojo humano puede captar un rango dinámico estimado de entre 10 y 14 pasos de diafragma, mientras que el sensor digital de una cámara de pequeño formato es capaz de procesar un rango dinámico de cinco a siete pasos de diafragma<sup>2</sup>. Esta diferencia es la responsable de que la profundidad cromática y la intensidad de las secciones dentales polarizadas resulten mucho más intensas en la observación a simple vista que al ser reproducidas por la cámara. A fin de poder transmitir una impresión adecuada de la refracción doble de la luz captada por el ojo, o para intensificar este efecto, por regla general se someten las imágenes a procesamiento posterior digital. Para ello, las imágenes deberían tomarse en formato RAW, dado que en este formato los datos recabados se transmiten sin compresión, a diferencia de lo que ocurre en el formato JPEG. Los programas para el postprocesamiento digital utilizados con mayor frecuencia son Photoshop CS y Lightroom (Adobe, San José, CA, EE. UU.), así como Color Efex Pro (NIK Software, San Diego, CA, EE. UU.). Estos programas ofrecen posibilidades artísticas ilimitadas. Los postprocesamientos más habituales incluyen la mejora de la saturación cromática y el ajuste de la nitidez, así como de las curvas de contraste (figs. 14 y 15).

Los fundamentos de las fotografías de interferencia anteriormente descritas son bastante sencillos. Sin embargo, la obtención de fotografías especialmente interesantes requiere algo de creatividad y experimentación. Una vez que el lector interesado domine los fundamentos, en el siguiente apartado hallará algunas sugerencias para hacer realidad sus ambiciones un nivel más alto.

## Consejos y trucos

Además de las secciones longitudinales utilizadas habitualmente, también pueden cortarse los dientes verticalmente o vaciarse (fig. 16). El corte vertical puede realizarse fácilmente mediante un disco diamantado y una pieza de mano (fig. 17). También los dientes vaciados pueden proporcionar imágenes impresionantes, pero su confección resulta considerablemente más complicada. El esmalte muy fino es extremadamente quebradizo, lo cual puede conducir rápidamente a desconchamientos y roturas du-

## Técnicas de preparación del diente alternativas

Fig. 16. Además de las secciones longitudinales de dientes, éstos también pueden cortarse en vertical o simplemente vaciarse.

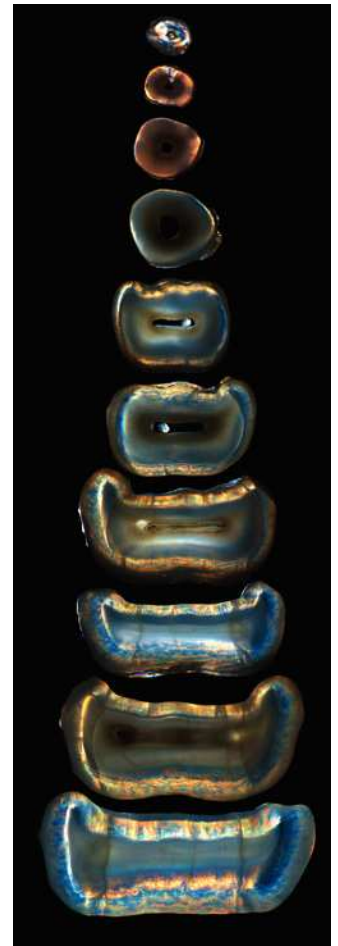
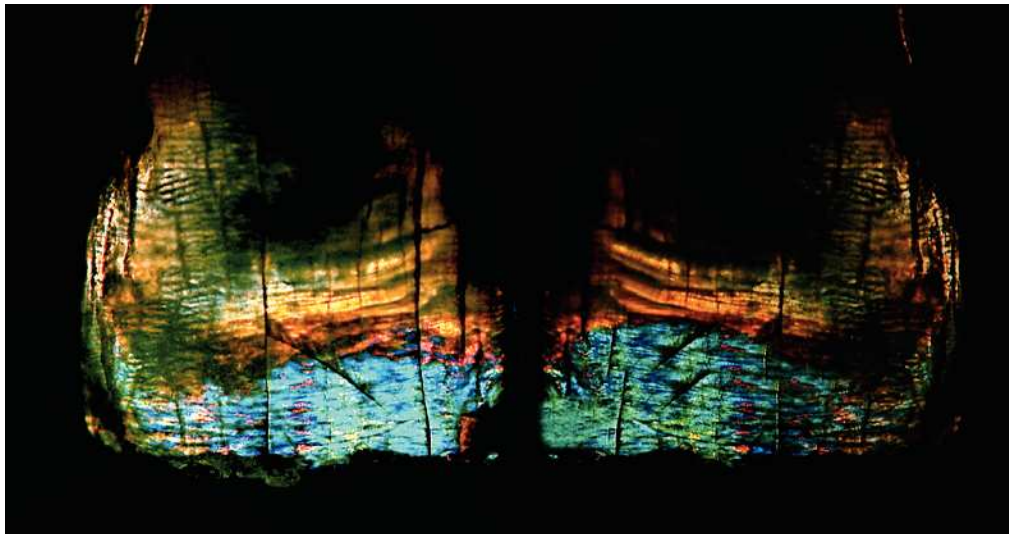
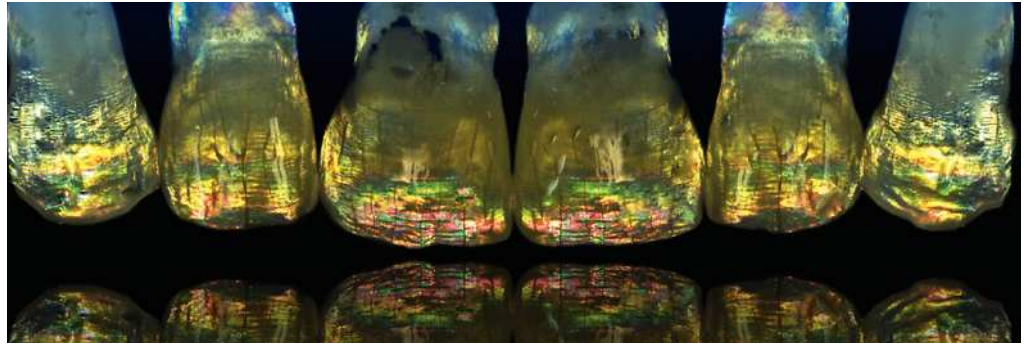


Fig. 17 (derecha). El corte vertical puede realizarse fácilmente mediante una pieza de mano y un disco diamantado.



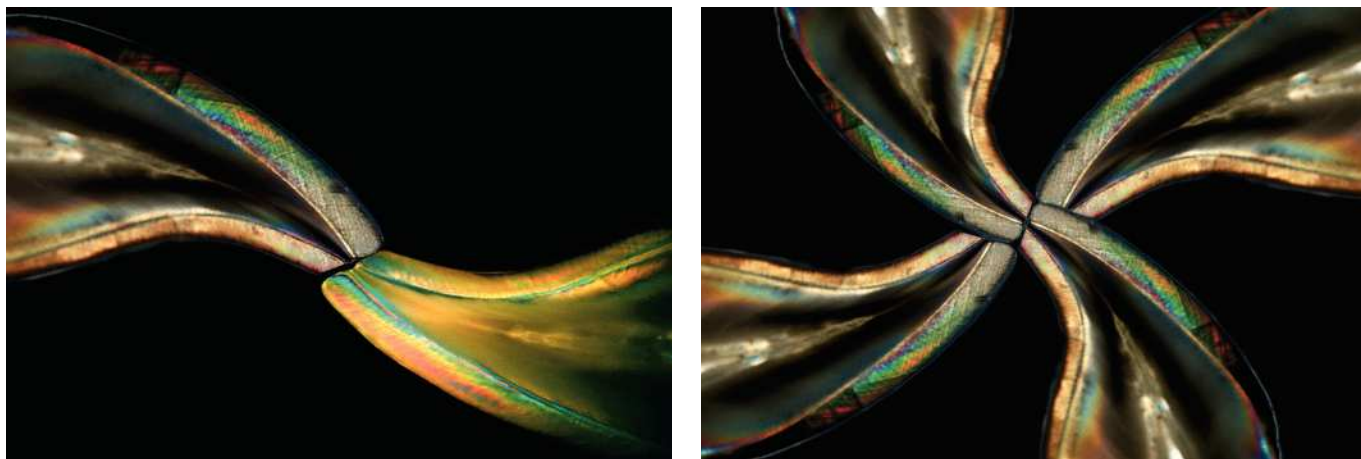
Figs. 18 y 19 (arriba e izquierda). Los dientes vaciados pueden proporcionar imágenes impactantes, pero su confección resulta considerablemente más complicada.

rante el tallado. De ahí que sea conveniente trabajar con mucha cautela y paciencia, e idealmente bajo un microscopio (figs. 18 y 19). Teóricamente, también es posible la erosión mediante grabado ácido, pero la experiencia ha demostrado que este proceso es muy difícil de controlar.

## Composición de la imagen

En cuanto se han confeccionado secciones válidas, deben ser dispuestas para la fotografía. Se trata de un proceso esencialmente intuitivo. Sin embargo, también pueden





Figs. 20 y 21. La composición de la imagen es esencialmente un proceso intuitivo. La teoría de la percepción figura-suelo postula que el espacio libre creado entre las figuras de una disposición determinada debe recibir la misma consideración que las propias figuras.

ser útiles métodos originarios de otros ámbitos artísticos, como la teoría de la percepción figura-suelo, la cual postula que el espacio libre creado entre las figuras de una disposición determinada debe recibir la misma consideración que las propias figuras<sup>3</sup> (figs. 20 y 21). Este concepto está asociado a la ley de la buena forma, la cual describe la interpretación, a fin de reconocer imágenes ambiguas como simples y cerradas en sí mismas, frente a imágenes complejas e incompletas. Así, por ejemplo, las secciones dentales verticales en la figura 17 están dispuestas de tal manera que recuerdan a rodajas de árbol. Igualmente útiles resultan las obras de Kandinsky<sup>5</sup>, cuando se trata de disponer artísticamente los dientes serrados. Una vez que se haya acumulado un cierto número de buenas imágenes es posible, por ejemplo mediante la herramienta de elección rápida del software Photoshop CS, recortar virtualmente objetos, esto es, separarlos de su fondo, y disponerlos nuevamente. Esto abre un número ilimitado de posibilidades de disposición. Los métodos más utilizados incluyen fondos graduados, reflejo de luz de lentes, reflexión y modificación de la opacidad (figs. 22 y 23).

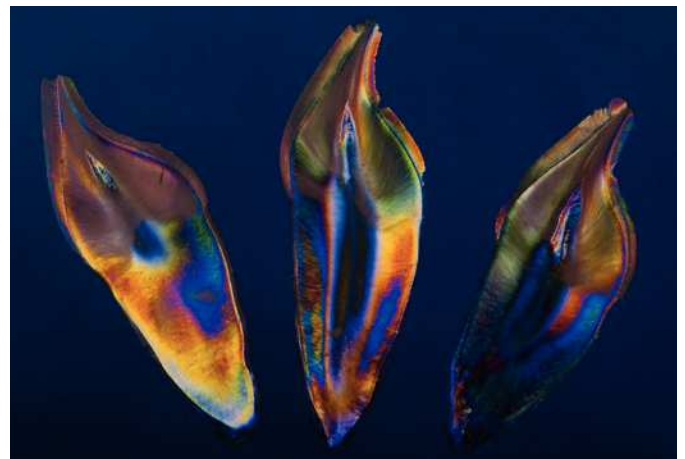
**Modificación de la interferencia.** Un filtro de polarización circular consta de un polarizador lineal y una placa  $\lambda/4$  orientada por debajo de  $\delta = 45^\circ$ . La placa está fijada en el lado posterior del polarizador lineal con una orientación, de modo que la luz que sale de la placa  $\lambda/4$  está polarizada circularmente. La interferencia en las secciones dentales puede modificarse añadiendo varios filtros de polarización circular en ambos extremos del polariscopio. El resultado son dos efectos: un desplazamiento de un escalón cromático (por ejemplo, del color básico azul al color básico rojo) y una imagen más oscura. Sin embargo, este oscurecimiento añadido puede compensarse fácilmente mediante un ajuste adaptado del tiempo de diafragma y de exposición, o bien aumentando en la medida adecuada el valor ISO (figs. 24 y 25).

**HDR: High Dynamic Range.** Como ya se ha mencionado, un sensor DSLR normal de pequeño formato no posee el rango dinámico suficiente (en inglés: High Dynamic Ran-





Figs. 22 y 23. Utilizando la herramienta de selección rápida en Photoshop, es posible separar los objetos de su fondo original. Esto posibilita un número ilimitado de disposiciones.



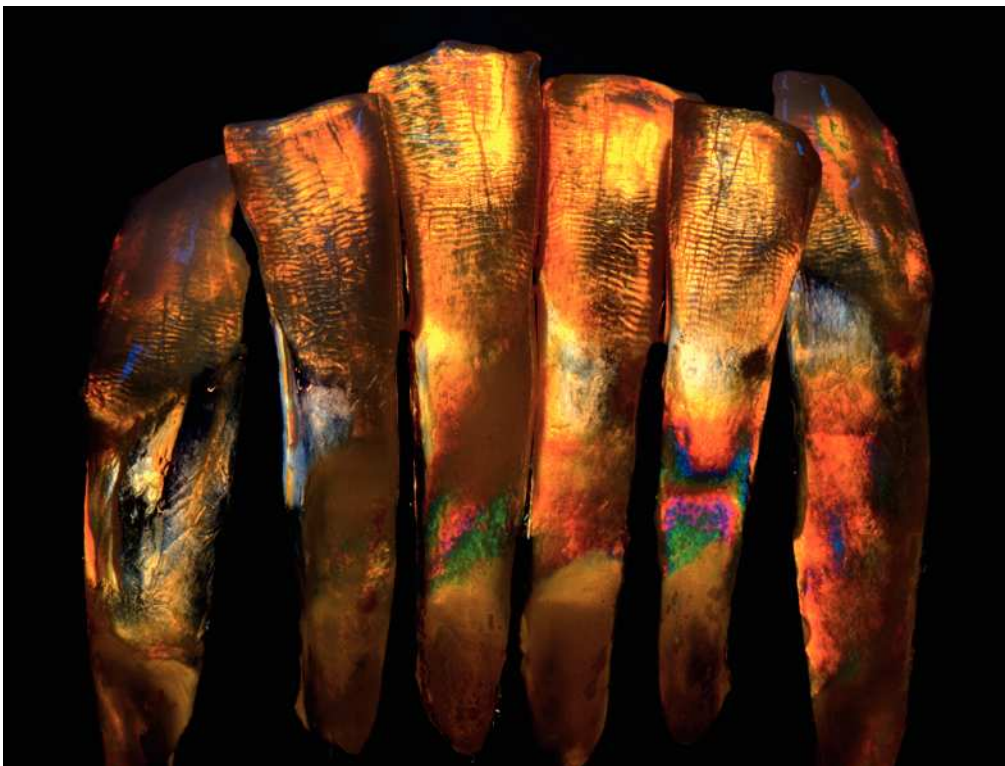
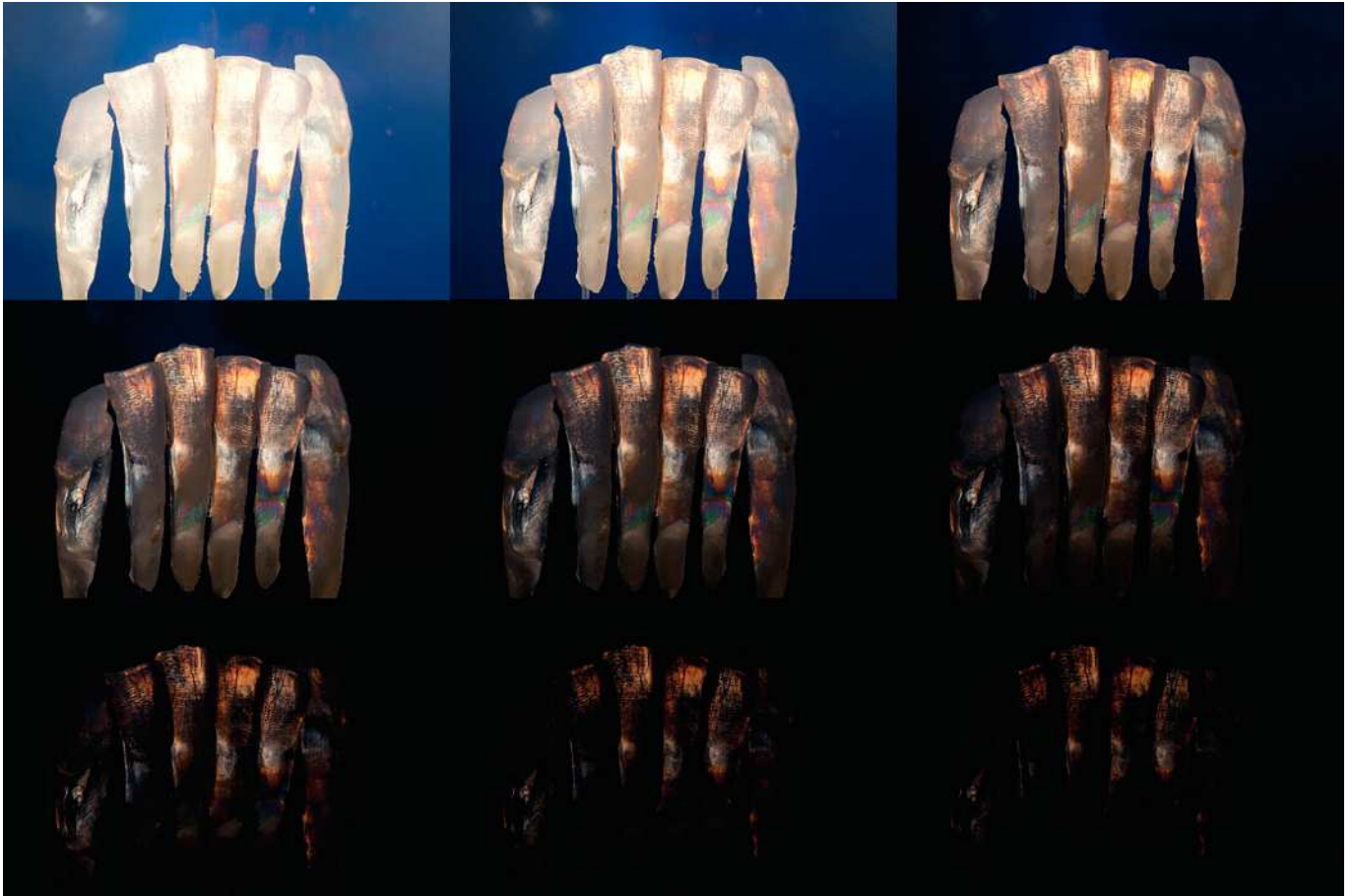
Figs. 24 y 25. La interferencia de las secciones dentales puede desplazarse mediante la incorporación de un segundo filtro de polarización circular en ambos extremos del polariscopio. Esto resulta en un desplazamiento de un escalón cromático (por ejemplo del color básico azul al color básico rojo).

ge, HDR) para reproducir una imagen tal como es percibida por el ojo humano. Una manera de resolver este problema consiste en cambiar de una cámara digital normal de pequeño formato a una cámara digital de formato medio (por ejemplo: Phase One, Melville, Nueva York, EE. UU.). Esta cámara incorpora un sensor de imagen CMOS mucho más grande (53,9 x 40,4 mm) que, acompañado de una resolución elevada, es capaz de reproducir un rango dinámico cercano al del ojo humano (60,5 MP). El resultado es una claridad de imagen asombrosa y una mejora sustancial del valor de contraste. Por desgracia, estos sistemas de cámara son muy caros. Una vía más económica para obtener resultados similares consiste en la utilización de la tecnología «High Dynamic Range» (HDR), la cual posibilita asimismo la reproducción de áreas de claridad amplias. A fin de maximizar el rango dinámico de un objeto fotografiado, en la tecnología HDR se toman varias imágenes del mismo motivo con diversos ajustes de exposición, y a continuación se funden en un único archivo. Cada imagen que contribuye a la imagen HDR definitiva proporciona información importante sobre el contenido; las imágenes subexpuestas captan detalles en las partes claras de la imagen y las imágenes sobreexpuestas muestran detalles en la sombra (fig. 26). El proceso de fusión genera un archivo de 32 bits que contiene todo el rango dinámico del motivo<sup>9</sup> (fig. 27). Para la fusión y el proceso de mapeo de tonos cromáticos pueden utilizarse diversos programas de software (por ejemplo, Photomatix Pro, HDR Soft, Sarl, Montpellier, Francia). La experimentación con estas técnicas puede conducir a resultados interesantes (figs. 27 y 28).

**Polarización LCD.** Una pantalla de cristal líquido (LCD) proporciona una fuente de luz ya terminada para luz polarizada. La pantalla puede utilizarse como fondo polarizado. En pantallas LCD, el filtro de polarización es el último objeto que debe atravesar la luz procedente de la parte posterior de la pantalla<sup>14</sup>. De este modo, la pantalla de LCD constituye una excelente fuente de luz polarizada. El primer paso para convertir una pantalla LCD en una fuente útil y uniforme de luz polarizada es dotarla de una luminosidad o coloración uniforme en toda la superficie, preferentemente blanca. Existen diversos métodos para conseguirlo, como la creación de una imagen que consista exclusivamente de blanco puro o bien escogiendo un protector de pantalla consistente en un color claro o un fondo blanco. De este modo, la pantalla LCD se convierte prácticamente en un filtro de polarización muy grande, el cual posibilita composiciones de gran tamaño y complejidad (figs. 29 y 30).

Las fotografías de interferencia descritas en este artículo pueden utilizarse para esclarecer o entender las grandes diferencias estructurales entre los dientes humanos y la cerámica dental. Sin una estandarización científica exacta y sin utilizar un verdadero microscopio de polarización, las imágenes seccionales de dientes extraídos creadas en casa poseen un valor científico o práctico limitado. No obstante, desde una perspectiva puramente artística, la elaboración y la colección de estas imágenes constituyen una gran fuente de inspiración. Por medio de los métodos descritos en este artículo, el entusiasta puede disfrutar realmente del estudio de la belleza de los dientes naturales.

## Conclusión



Figs. 26 y 27. La fotografía HDR es un proceso en el cual se crean distintas imágenes de un motivo con diferentes pasos de exposición. A continuación se fusionan estas imágenes en un mismo archivo, a fin de maximizar el rango dinámico del objeto capturado. El proceso de fusión resulta en un archivo de 32 bits capaz de contener todo el rango dinámico del objeto.



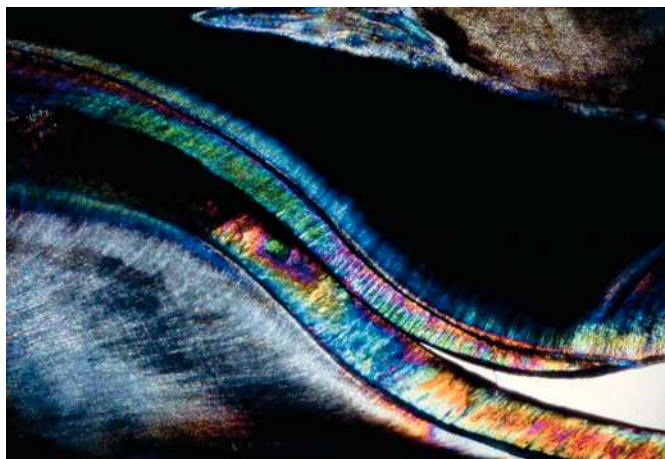


Fig. 28. Pueden utilizarse diversos programas de software para los procesos de fusión y de mapeo de tonos cromáticos. La experimentación con esta técnica puede arrojar resultados interesantes.



Figs. 29 y 30. Como alternativa práctica, una pantalla LCD puede convertirse en un polarizador de gran tamaño, que hace innecesario el uso de un segundo filtro de polarización. El tamaño de la mayoría de pantallas LCD posibilita composiciones de imagen complejas y de gran tamaño.



**Agradecimientos** Los autores desean expresar su agradecimiento al Dr. Wolfgang Bengel por compartir amablemente sus conocimientos detallados sobre la creación y el refinamiento de imágenes fotoelásticas. Agradecemos también a la Sra. Christine Amrell sus ideas inspiradoras y su ayuda durante la selección de las imágenes. Sin ella, nada de todo esto habría sido posible.

- Bibliografía**
1. Bengel W. Mastering Digital Dental Photography. Chicago: Quintessence, 2006.
  2. Eastway P. What is the difference? Better Photography 2010;6:61-62.
  3. Frederick M. 101 Things I Learned in Architecture School. Cambridge, MA: MIT Press, 2007:3-4.
  4. Hajto J. Anteriores – Natürlich, Schöne Frontzähne. Vol 1. Fuchstal: Teamwork Media, 2006:317-319.
  5. Kandinsky W. Point and Line to Plane. Mineola, NY: Dover, 1979.
  6. Kirk EC. Dental Cosmos 1903;45:345.
  7. Lidwell W, Holden K, Butler J. Universal Principles of Design. Beverly, MA: Rockport, 2003:120-121.
  8. Logitech. Tooth Thin Section Preparation. [http://www.fas.harvard.edu/~bioanth/tanya\\_smith/pdf/Tin\\_Section\\_Prep.pdf](http://www.fas.harvard.edu/~bioanth/tanya_smith/pdf/Tin_Section_Prep.pdf). Accessed June 2010.
  9. McCollough F. High Dynamic Range Digital Photography. Asheville, NC: Lark Books, 2008.
  10. Sieber C. Illumination in den Frontzähnen. Quintessenz Zahntech 1989;15:913-924.
  11. Sieber C. Im Lichte der Natur. Quintessenz Zahntech 1991;17:1301-1314.
  12. Strainoptic, Fundamentals of Photoelasticity. [http://www.strain-optic.com/page.asp?page\\_id=87](http://www.strain-optic.com/page.asp?page_id=87). Accessed June 2010.
  13. Valentin G. Die Untersuchung der Pflanzen und der Thiergewebe in polarisiertem Lichte. Leipzig: W. Engelmann, 1861.
  14. Wikipedia. Liquid Crystal Display. [http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid\\_crystal\\_display](http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal_display). Accessed August 2010.

**Correspondencia** ZTM Sascha Hein, Oral Design Perth  
Unit 6, 5 Rockingham Road  
Hamilton Hill, WA 6163, Australia  
Correo electrónico: [info@oral-design.com.au](mailto:info@oral-design.com.au)

Joshua Polansky, BA, MDC, Niche Dental Studio  
Cherry Hill, Nueva Jersey, EE. UU.