

HOLOGRABADOS, UNA TECNOLOGÍA CREADA EN CUBA

Ángel G. Augier Calderín

RESUMEN

Se hace una revisión del holograbado (hologravure), como una nueva tecnología creada recientemente en Cuba, que permite hacer hologramas generados por ordenador de tamaño regular, codificando las imágenes de objetos virtuales tridimensionales (3D) mediante un software apropiado. Un sistema grabador-láser gobernado por un ordenador es utilizado para grabar los hologramas directamente sobre la superficie del material conveniente, que debe de ser iluminado más tarde en condiciones adecuadas para observar las imágenes. El holograbado es una contribución original, de interés científico, artístico y educacional, con variadas aplicaciones, presentada por primera vez en 2009 en publicaciones internacionales. Las imágenes tridimensionales obtenidas por esta técnica constituyen no solamente un medio tecnológico con aplicación en ciencias, sino también un medio expresivo para uso en artes plásticas, arquitectura, diseño gráfico, medios visuales para la enseñanza, y otras áreas. Estas imágenes son diseños de luz tridimensionales, dibujos espaciales hechos con luz, que poseen elementos visuales propios e interesantes efectos cinéticos. Para hacer estos grabados holográficos se emplearon diferentes tipos de material plástico. Se discuten aspectos de las imágenes tridimensionales y de las técnicas holográficas actuales, así como los antecedentes del holograbado y algunas interesantes aplicaciones. Se mencionan las referencias de estas técnicas en Cuba, y se muestran algunas imágenes representativas.

Palabras clave: holografía, hologramas trazados, hologramas generados por ordenador, grabados holográficos, holograbados, sistema grabador láser

HOLOGRAVURES, A CREATED TECHNOLOGY IN CUBA

ABSTRACT

A review of the hologravure is made, as a new created technology recently in Cuba, which allows making computer-generated holograms of regular size, encoding the images from three-dimensional virtual

objects (3D) by means of suitable software. An engraver-laser system governed by a computer is used to record the holograms directly on the surface of the convenient material, which should be illuminated later under appropriate conditions to observe the images. Hologravure is an original contribution, of scientific, artistic and educational interest, with varied applications, presented for the first time in 2009 at international publications. The three-dimensional images obtained by this technique represent, not only technological media with application in sciences, but also an expressive medium for use in arts, architecture, graphic design, visual media for teaching, and other areas. These images are three-dimensional designs of light, drawings made with light in the space, possessing its own visual elements and interesting kinetic effects. To make these holographic engravings different types of plastic material were used. Aspects of the three-dimensional images and current holographic techniques are reviewed, as well as the antecedents of the hologravure and some interesting applications. The references in Cuba of these techniques are mentioned, and some representative images are shown.

Keywords: holography, scratch holograms, computer generated holograms, holographic engravings, hologravures, laser-engraver systems

INTRODUCCIÓN

La imagen 3D

La visión se relaciona no solamente con la percepción de la forma o el color de los objetos que nos rodean. Muchos animales, y en especial los seres humanos, estamos dotados de un excelente sentido de la vista, capaz de enfocar los dos ojos sobre un objeto, logrando lo que se conoce como visión estereoscópica, fundamental para percibir la dimensión de profundidad, estimar las distancias y observar las imágenes del mundo que percibimos en tres dimensiones. En el mecanismo de la visión el papel fundamental lo juega la formación de las imágenes y su interpretación por el cerebro.

A través de los años, en su afán por reproducir todo tipo de imágenes, ingenieros y científicos han creado numerosos métodos que permiten la observación de la tridimensionalidad.

Entre los métodos más conocidos para crear imágenes tridimensionales se encuentran el anáglifo y el par estereoscópico. El primero es quizás el más popular, y se caracteriza por dos imágenes planas que se observan, una por cada ojo separadamente, mediante gafas con filtros bicolors complementarios, comúnmente rojos y cian, o en la versión más elaborada empleando filtros polarizadores orientados perpendicularmente.

El par fotográfico estereoscópico se observa usualmente con un instrumento óptico llamado estereoscopio, donde se presentan al mismo tiempo dos fotografías del mismo objeto, una a cada ojo. Las dos fotografías muestran la escena tomada desde ángulos ligeramente diferentes y se observan a través de dos lentes separadas, fundiéndose las dos imágenes en una tridimensional gracias al mecanismo de la visión.

Una técnica más eficiente y elaborada para obtener imágenes tridimensionales es la Holografía, introducida en 1947 por el científico húngaro-británico, Dennis Gabor. No obstante, no fue hasta después de la creación de los primeros láseres en 1961, que se hizo popular.

HOLOGRAMAS

Los hologramas son registros sobre materiales fotosensibles de la información volumétrica completa de un objeto tridimensional contenida en un frente de onda.

La palabra "holografía" proviene del griego "holos" que significa "todo" y de "graphos" que quiere decir "gráfico", significando el registro completo, que proporciona la información tridimensional de nuestro interés sobre el objeto que refleja y dispersa la luz, o sobre el objeto a través del cual pasa la luz.

El origen de la holografía como un método de formación de imágenes se hace posible gracias a las propiedades ondulatorias de la luz, y a los fenómenos físicos de difracción e interferencia. Para construir el holograma, el objeto cuya imagen se desea obtener se ilumina con luz láser. Las ondas luminosas procedentes del objeto se registran en un material fotosensible, conjuntamente con un haz luminoso coherente de referencia, proveniente del mismo láser. Después, para observar la imagen, el holograma es iluminado adecuadamente. La imagen posee todas las propiedades visuales del original, dando lugar al efecto de tridimensionalidad.

La técnica holográfica original de Gabor fue mejorada a principios de los 60 del pasado siglo [2]. En la actualidad los hologramas más conocidos son los que se realizan con la técnica creada en 1962 por el científico ruso Yuri N. Denisiuk [3]. Aunque para construir estos hologramas se utiliza igualmente la luz láser, para observar la imagen se utiliza la luz blanca proveniente de un foco luminoso de pequeñas dimensiones, tal como una lámpara halógena.

En la figura 1 se muestra la fotografía de la imagen 3D de un holograma artístico en colores.



Fig. 1. Holograma artístico en colores, hecho sobre una lámina de acetato con película de alta resolución. De la serie FLYING COLORS, por el artista alemán Dieter Jung. Expuesto en La Habana en abril de 2009¹.

Muchas técnicas que amplían el campo de la holografía han sido creadas desde los tiempos de los primeros hologramas. Algunas permiten su aplicación en la impresión de papel moneda, tarjetas de crédito, visas y documentos, mientras otras permiten reproducir con éxito toda la información visual de objetos históricos y patrimoniales. Estos objetos pueden ser colecciones de monedas, joyas antiguas, piezas

¹ Algunas exposiciones internacionales de Holografía han sido organizadas en La Habana por la Sociedad Cubana de Física y el Comité Territorial Cubano de la Comisión Internacional de Óptica, en 2004, 2005, 2009; "La Holografía en la Ciencia el Arte y el Patrimonio", Casa-museo Alejandro de Humboldt y más recientemente "HOLOIMAGEN 2012", Museo Nacional de Historia Natural, abril de 2012.

artísticas, estatuaria y otros.

Aunque tienen muchas aplicaciones científicas y tecnológicas, los hologramas también han sido ampliamente utilizados como una nueva forma de expresión artística [4, 5, 6] y como recurso en el campo de la arquitectura [7, 8, 9]. En estas áreas, la nueva tecnología de holograbados [10, 11, 12, 13] creada en nuestro país pudiera aportar nuevas posibilidades no sospechadas. El holograbado es una contribución original creada en Cuba, de interés científico y artístico, con variadas aplicaciones, presentada por primera vez en 2009 a la comunidad científica internacional.

Los holograbados no constituyen un fenómeno aislado y fuera de tiempo. En nuestro país, los primeros pasos en Holografía fueron realizados en la década de los años 70 del pasado siglo. La Holografía en Cuba ha tenido un desarrollo modesto, pero sostenido, que se ha mantenido hasta el presente [14-22].

ANTECEDENTES

Hologramas Trazados

En 1995 el norteamericano W. Beaty [23] divulgó una técnica no convencional que permite obtener imágenes tridimensionales a partir de rayaduras o trazados hechos sobre materiales apropiados.

En el presente trabajo se ha considerado utilizar en español el término "hologramas trazados" (scratch holograms) al referirse a esta técnica de "trazados", capaz de codificar la información tridimensional. El término "scratch holography" es de uso muy común en inglés. La técnica conocida como holografía dibujada a mano (hand drawn holography) es parte de la holografía de trazados.

Los hologramas trazados se pueden dibujar directamente sobre un material conveniente, usando una herramienta apropiada, tal como un compás con dos puntas. En su artículo Beaty puso en claro que las imágenes tridimensionales podían ser creadas haciendo corresponder los puntos de la imagen con trazados circulares grabados en un soporte bidimensional. Algunos instrumentos mecánicos ingeniosos para dibujar los hologramas trazados han sido divulgados en la Ref. [24].

Algunos trabajos previos mencionan la observación o la síntesis de este tipo de imágenes 3D [25-28]. La técnica fue redescubierta en varias ocasiones, y recibió diversos nombres. Sin embargo, la que probablemente constituye su primera versión fue patentada en 1934 por el artista e inventor Hans Weil [29], quien realizó un tipo de grabado sobre cobre, para la creación de imágenes tridimensionales. En la Ref. [30] el conocido autor de técnicas holográficas Nils Abramson considera que por primera vez en la historia los hologramas obtenidos por técnicas de

trazados fueron construidos por Weil, en una fecha anterior a Gabor, denominando esta técnica como holografía incoherente [31].

La foto de la imagen de un holograma artístico trazado a mano se muestra en la figura 2



Fig. 2. Yo no quiero ser soldado. Fotografía de la imagen del holograma trazado, grabado a mano con punta de acero en una lámina de acetato. Por Ángel Alonso, artista plástico cubano. La imagen 3D presenta efecto cinético entre el casco y la cabeza del soldado. Presentado en “Holoimagen 2012”, La Habana, Museo Nacional de Historia Natural.

En nuestro país, algunos trabajos introductorios sobre las técnicas y usos de los hologramas trazados se presentaron en eventos nacionales e internacionales, en temas de Educación y Óptica [32, 33, 34].

Cuando Beaty publicó su artículo, la comunidad óptica aún no estaba familiarizada con la técnica, y los que la conocían la consideraban solamente como una curiosidad o entretenimiento, empleado únicamente en el campo educativo o en algunos trabajos artísticos visionarios. Las dificultades prácticas para hacer grabados holográficos a mano, de mediano tamaño y complejidad, con buena calidad, comprometían su utilidad.

Además de Weil, en el campo de las artes plásticas el artista ruso Vyatcheslav Koleitchuk, de la generación de los años 60, trabajó en la antigua URSS con una técnica similar de grabado holográfico en metal, hecho a mano [35]. Varios años después, en 1981, el periodista norteamericano Garfield [36] describió el trabajo del artista Gabriel Lieberman titulado “World Brain”, quien para producir imágenes 3D a partir de rayaduras sobre láminas de cobre, utilizó un dispositivo mecánico adaptado por él mismo, realizando lo que él llamó grabado holográfico (holographic engraving).

En Cuba, las posibilidades de los hologramas, en especial de los hologramas trazados y holograbados en áreas como las artes plásticas, arquitectura y diseño gráfico fueron divulgados en algunos Coloquios de Arte Digital [37, 38].

En la figura 3 se muestra la fotografía de la imagen de un holograma trazado hecho a mano con la ayuda de una plantilla generada por un programa informático. En este caso el software utilizado sirve de

asistente para la creación de hologramas trazados dibujados mano (Hand Drawn), usando el sistema de plantillas generadas como guías [11,12].

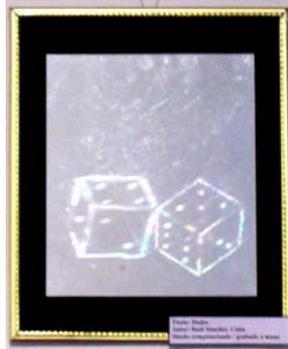


Fig. 3. Pareja de dados, por Raúl B. Sánchez. Holograma trazado dibujado a mano con punta de acero sobre una lámina de acetato, con ayuda de una plantilla generada por software. Fotografía de la imagen 3D. (Ref. [11,12]). Presentado en la exposición “La Holografía en la Ciencia el Arte y el Patrimonio” en 2009, y en “Holoimagen 2012”.

Las características ópticas de estas imágenes son similares a las que poseen los hologramas convencionales, y los fundamentos han sido explicados desde diversos puntos de vista, por varios autores [28, 39, 40, 41].

GRABADO CON LÁSER

En la referencia [12] se muestra cómo, cuando está enfocado en una región pequeña, un haz intenso de luz láser puede vaporizar la superficie de un material, dejando en éste una imagen grabada. En un sistema grabador que emplea un láser de CO₂ el haz luminoso se enfoca a través de una lente, y se mueve en dos dimensiones, produciendo la imagen grabada o, en casos específicos, cortando a través del material. Acrílico, madera, los plásticos o los vidrios pueden ser buenos materiales de grabado con láser para el trabajo común, no existiendo con anterioridad antecedentes del uso del grabador láser para la producción directa de hologramas.

En [12] se demostró la posibilidad real de construir hologramas grabados con láser con un equipo grabador comercial común, y también el hecho de que las características de las trazas grabadas son en este caso de tal importancia que es necesario seleccionar cuidadosamente los materiales apropiados. Se mostró que no todos los materiales son

adecuados para grabar los hologramas. En el caso de vidrio común las trazas eran ópticamente ásperas y no podían dispersar y reflejar la luz incidente correctamente. Se comprobó que cada traza del láser sobre el material, como las dibujadas a mano con una punta de acero, deben de estar pulidas en su interior y reflejar la luz tan bien como un espejo.

¿Qué es el holograbado?

El holograbado es una contribución que amplía y generaliza las técnicas existentes con anterioridad, permitiendo hacer hologramas trazados de tamaño regular grabados con láser, mediante el adecuado software. Los holograbados son introducidos en las Ref. [10, 11,12], donde se construye los grabados holográficos a partir de objetos virtuales tridimensionales, representados como archivos en formato 3D y utilizados como datos de entrada, obteniendo la versión codificada de este diseño virtual, la que se traza directamente con el láser sobre el material apropiado.

Las técnicas habituales disponibles que se emplean para hacer hologramas generados por ordenador utilizan una descripción virtual del holograma, el cual es reducido fotográficamente sobre materiales fotosensibles de alta resolución, del orden de cientos o miles de líneas por milímetro. La generalidad de estos hologramas es de pequeñas dimensiones y se utilizan usualmente en trabajos de óptica difractiva [42]. Numerosos compendios que contienen las técnicas comunes más usadas en la síntesis de hologramas por ordenador han sido publicados [43, 44].

Una excepción respecto a la generación con ordenador lo constituye el estereograma holográfico. Esta técnica es una generalización del conocido par estereoscópico. En estos un número considerable, que puede ser de decenas o de cientos de pares estereoscópicos se combinan sobre un material fotosensible adecuado para formar un tipo de holograma compuesto, que puede tener dimensiones regulares [45].

Por el contrario, en el caso del holograbado los cifrados son de muy baja resolución y en principio el tamaño máximo queda limitado únicamente por las dimensiones del espacio de trabajo del grabador-láser. La posibilidad de hacer holograbados de mayor tamaño se logra registrando la imagen cifrada en piezas separadas y después ensamblándolas como las piezas de un rompecabezas, técnica con la que han sido ensamblados holocarteles de mediano tamaño como se muestra en la referencia [13]. La resolución típica de los holograbados está actualmente en el orden de una línea por milímetro, lo que deja una enorme reserva potencial en estas imágenes, ante la perspectiva de alcanzar mucha mayor resolución, mediante materiales adecuados, o el empleo de otros tipos de láseres.

Observando imágenes 3D de los grabados holográficos

Los holograbados hasta el momento han sido confeccionados con éxito en láminas de acrílico, de policarbonato y en piezas de acetato termo-resistente. Fotografías de las imágenes tridimensionales de los objetos virtuales, obtenidas de estos hologramas, se muestran en las figuras a continuación.

Los primeros holograbados fueron obtenidos en enero de 2009. La fotografía tomada de una de estas imágenes tridimensionales se muestra en la figura 4.

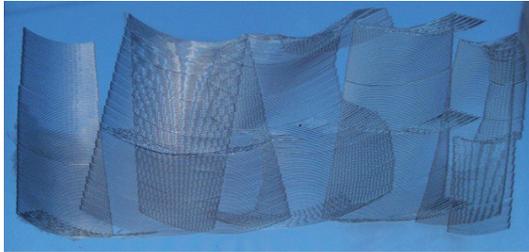
Imágenes de un holograbado con la palabra LÁSER, que se observa en una superficie curva, se muestra en la figura 5.

En la figura 6 se muestra una sección de cartel holográfico simple construido por medio del holograbado, ensamblando las diferentes partes de un grabado de mayor tamaño, cifrado por separado con el grabador de láser en tres láminas de policarbonato.

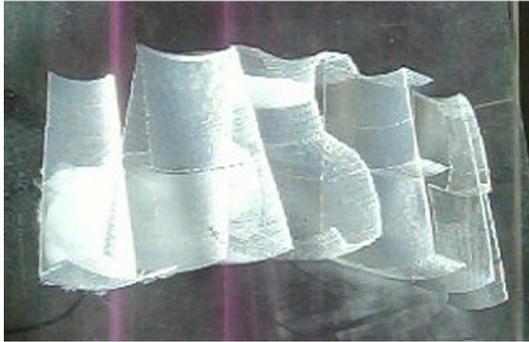


Fig. 4. Imagen fotográfica del holograbado que muestra la imagen de un cubo. La imagen 3D es observada por reflexión con la iluminación de la luz del sol. Trazado por el grabador láser en una lámina de acrílico blanca. (Ref. [11,12])

Esta técnica de ensamblaje permitiría hacer interesantes *gigantohologramas*, grabados holográficos de gran tamaño cuyas imágenes pudieran ser observadas desde una distancia adecuada, tanto en interiores con la iluminación apropiada como en exteriores bajo iluminación del sol.



(a)



(b)

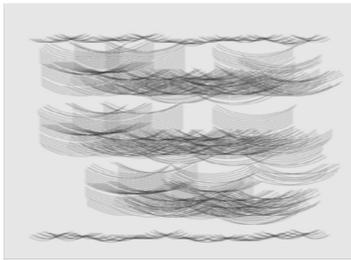
Fig. 5. Fotografías de: a) las trazas de la palabra Láser, grabadas en una pieza de acetato termo-resistente b) la correspondiente imagen holográfica, obtenida de la iluminación de la luz del sol a través del acetato. (Ref. [11,12])

Para el cartel se utilizaron tres láminas transparentes de policarbonato grabadas por separado, de dimensiones 17,6 x 22 cm. Las piezas fueron pintadas de negro por la parte posterior después de grabado el cartel.

El proceso de creación de un holograbado incluye el diseño 3D, el cifrado, y el grabado con láser sobre el material adecuado. Finalmente la iluminación en condiciones adecuadas de la pieza grabada, permite la observación de la imagen.



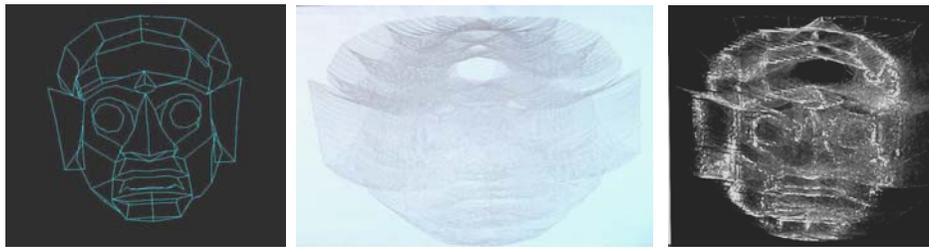
a)



b)

Fig. 6. a) Fotografía de la imagen de una sección del cartel holográfico. Al iluminar el cartel, las letras del texto se observan fuera del plano del material grabado. La imagen fue obtenida en exterior, por reflexión bajo iluminación solar. b) Trazos del texto cifrado correspondiente en el modelo virtual. (Ref. [13])

La Figura 7 a) b) c) muestra imágenes en el proceso de un holograbado.



a)

b)

c)

Fig. 7. Máscara, por el autor, en diciembre de 2010. a) Imagen bidimensional del modelo virtual 3D. b) fotografía de la superficie del holograbado en una lámina transparente acrílica, c) fotografía de la imagen tridimensional obtenida usando una lámpara de halógeno de 20 Watt. Presentado en la exposición “Holoimagen 2012”.

Para apreciar los efectos de la profundidad de este tipo de imágenes, en la Figura 8 se muestra un par estereoscópico obtenido fotográficamente por reflexión, a dos ángulos diferentes, a partir de las imágenes 3D del holograbado de un poliedro. En la imagen 3D original se puede observar horizontalmente un característico efecto cinético, relativo al observador.

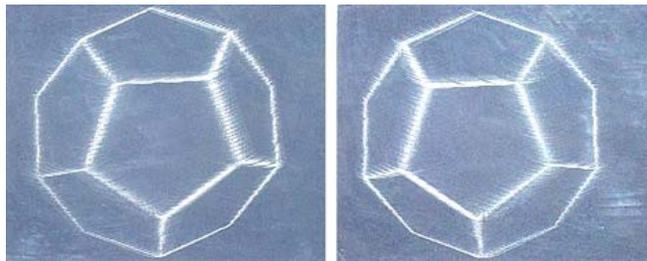


Fig. 8. Poliedro, por el autor y Raúl B. Sánchez. Par fotográfico estereoscópico de la imagen holográfica observada. El holograbado fue realizado en la superficie de una lámina transparente acrílica de 24,2 x 30,8 cm. Presentado en la exposición “Holografía en la Ciencia, el Arte y el Patrimonio”, casa-museo Alejandro de Humboldt, La Habana, 2009, y en “Holoimagen 2012”, Museo Nacional de Historia Natural, La Habana.

Un uso interesante del holograbado es la fabricación de logotipos holográficos, extendiendo las posibilidades de este tipo de diseño gráfico a un espacio tridimensional. Estas versiones holográficas han sido nombradas *holologos* [13], y requieren de un nuevo tipo de diseño gráfico 3D.

La figura 9 a) muestra el logotipo original 2D de los Laboratorios Láser Bralax, así como en b) la imagen fotográfica de una versión simple del logotipo holográfico. En este diseño simple 3D, la imagen de la palabra "Bralax" y el texto "Laser Labs" mostrados, se observan en dos planos distintos, fuera de la lámina de acrílico.



Fig. 9. a) Logotipo original de los Laboratorios Láser Bralax. b) Imagen fotográfica de la versión de hologo, obtenida usando la iluminación solar. En la imagen 3D el texto se observa en dos planos, fuera del plano del grabado. El holograbado fue hecho en una lámina acrílica transparente de 24,2 x 30,8 cm. (Ref. [13]).

En las Ref. [11, 12] se discute cómo un tipo de sistema de almacenaje de información ha sido utilizado en la holografía convencional para conservar varias imágenes superpuestas sobre un fotomaterial, de manera que más tarde ellas puedan ser extraídas individualmente [46]. De una manera similar un holograbado se puede utilizar como medio de almacenaje de información, con imágenes múltiples, codificando cada objeto distinto con un diferente tipo de traza. Se muestra un holograbado de almacenaje de tres imágenes, que ha sido trazado usando el mismo láser de CO₂, variando el ángulo de inclinación de las trazas del láser que correspondían a cada objeto. En la Figura 10 se muestran los objetos, los números cifrados 1-2-3, grabados en forma superpuesta en una lámina transparente de policarbonato.

Si se ilumina el holograbado según un ángulo fijo, los diversos objetos pueden ser observados por separado cambiando el ángulo de observación.

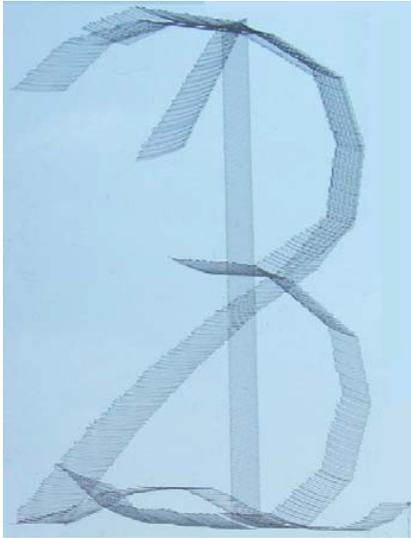


Fig. 10. Fotografía de los objetos cifrados-números 1-2-3 -grabados con láser en una pieza de acrílico transparente, con diferentes ángulos de trazados láser. (Ref. [11, 12])

La Figura 11, a), b) y c), muestra por separado las imágenes correspondientes de cada objeto-número, obtenidas bajo iluminación del sol.

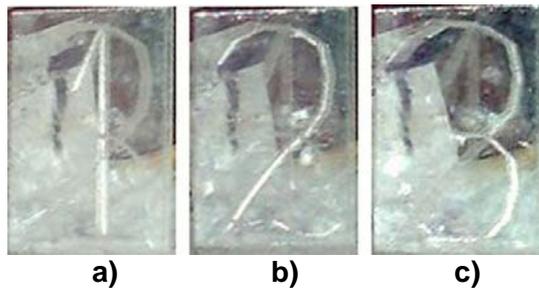


Fig. 11. Imágenes fotográficas de los números 1-2-3, obtenidas por separado, empleando la iluminación de la luz del sol, por reflexión, bajo variación del ángulo de observación. (Ref. [11, 12])

CONCLUSIONES

Han sido consideradas algunas ideas acerca de las imágenes tridimensionales y de las técnicas holográficas actuales. En especial fueron revisados los trabajos y publicaciones que presentan el holograbado, una tecnología creada en Cuba en 2009, que permite hacer grabados holográficos con láser a partir de modelos virtuales tridimensionales generados por ordenador. También se revisaron brevemente los antecedentes de esta técnica de imágenes.

De los trabajos en este tema publicados hasta ahora, fueron discutidos los elementos básicos, y se mostraron varias de las posibles aplicaciones. Se ha denominado holograbado al grabado holográfico de un objeto virtual-3D, generados por ordenador mediante un software apropiado y trazado con un láser guiado sobre el material conveniente mediante un sistema grabador-láser.

La creación de esta tecnología e introducción de este tipo de hologramas, generados por ordenador y grabados directamente con láser, ensancha las técnicas holográficas existentes, instaurando nuevas posibilidades de aplicación.

El holograbado permite un uso competitivo de las imágenes tridimensionales obtenidas por esta técnica, como novedoso medio de expresión en el arte y diseño gráfico, así como aplicaciones en los medios visuales para la educación, en las ciencias, la arquitectura, el tratamiento de la información, el tratamiento de imágenes y otros usos.

Para generar estos grabados holográficos se empleó un software creado en nuestro país. Los hologramas fueron grabados en varios materiales, y se estudiaron las trazas del láser. Como material de grabado se han obtenido buenos resultados empleando láminas de acrílico, de policarbonato, y piezas de acetato termo-resistente.

La resolución típica de estos holograbados está entre una y tres líneas por milímetro. Este hecho deja una enorme reserva potencial en estas imágenes, ante la perspectiva de holograbados de mucha mayor resolución obtenidos sobre materiales adecuados, o mediante el empleo de otros tipos de láseres.

Dentro de las aplicaciones al diseño gráfico se mostró una versión de cartel holográfico simple, como parte de un grabado de mayor tamaño. Se menciona la posibilidad de hacer interesantes gigantohologramas empleando este mismo recurso; hologramas grabados de gran tamaño, para uso en interiores y exteriores. También se mostró la fabricación de logotipos holográficos, extendiendo las posibilidades del diseño gráfico a un espacio tridimensional.

Se mostró una interesante aplicación empleando los holograbados como medios de almacenamiento múltiple de información, de interés en el proyecto y uso de sistemas de información y orientación, lo que puede ser utilizado en el diseño arquitectónico de interiores en edificaciones y también en espacios exteriores transitorios.

Se expusieron las fotografías de las imágenes reconstruidas de algunos holograbados y también de hologramas trazados asistidos por ordenador y dibujados a mano, sintetizados por medio del mismo software.

El holograbado representa una tecnología de avanzada y su estado actual es de experimentación y ampliación en sus posibilidades, uso de otros materiales para grabado y búsqueda de nuevas aplicaciones.

AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Dieter Jung, del KHM de Colonia, Alemania, por sugerir el nombre de “hologravure” para estos hologramas.

Al Dr. Luis V. Ponce Cabrera, y al Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales (IMRE), Universidad de La Habana, La Habana, Cuba, por facilitar el uso del grabador-láser del Laboratorio de Tecnología Láser, y especialmente, a Adalio Borges por su colaboración en el trabajo de grabado con el sistema grabador-láser.

REFERENCIAS

- [1] Gabor, D. A new microscopic principle, Nature 1948; 161:777-78.
- [2] Leith, E.N. & Upatnieks, J. Wavefront reconstruction and communication theory. Journal of Optical Society of America (JOSA) 1962; 52(10); 1123-28.
- [3] Denisyuk, Y. N. Photographic reconstruction of the optical properties of an object in its own scattered radiation field. Soviet Physics - Doklady 1962;7:543-49.
- [4] Benyon, M. Holography as an Art Medium. Leonardo 1973; 6: 1-9.
- [5] Burgmer, B. Art Holography without laser, www.art-in-holography.com
- [6] Ishii, S. Artistic representation with Holography. Forma 2006; 21: 81–92.
- [7] Orazem, V. Holography as an Element of the Media Architecture. http://www.mediascape.info/ms_zagreb/DATEN/public_html/1993/orazem.html
- [8] Schönwandt, R. Highlights in Honkong. En ERCO Lichtfabrik. Ernst & Sohn. Berlin 1990: 1- 24ff.
- [9] Orazem, V. Alcune osservazioni sulla olografia nell' architettura mediale - il feedback della tecnologia sul processo creativo, En: Vito Orazem and Jörg Schepers, eds. Benucci Editore, Olografia-Holografie-Holography. Avanguardia dell'Arte Olografica, Perugia 1992: 8ff.
- [10] Augier, A.G., Sánchez, R.B. Scratch Holograms drawn by computer using a laser engraver system. En: Memorias de la II Reunión Internacional Óptica, Vida y Patrimonio- VI Taller Internacional Tecnoláser. La Habana, Cuba. Abril 13-16, 2009. Edición Electrónica.
- [11] Augier, A.G., Sánchez, R.B. Scratch holograms drawn by computer using a laser engraver system. Revista Cubana de Física 2010; 27 (1): 107-110.
- [12] Augier, A.G., Sánchez, R.B. Hologravure As a Computer Generated and Laser Engraved Scratch Hologram. Opt. Commun. 2010, doi 10.1016/j.optcom. 2010.09.008. Opt. Commun. 2011; 284:112-117.
- [13] Augier, A.G., Sánchez, R.B. Making Computer-generated scratch holograms from three-dimensional virtual models. Photonics Letters of Poland 2010; 2 (4): 153-55.
- [14] Augier, A., Konstantinov, V., Pisarievskaya, S. Efecto de la dispersión del grano no homogéneo sobre la eficiencia de difracción de un fotomaterial. En: Resúmenes de la Conferencia de Holografía de toda la URSS, 1978; 34-35. (En ruso).

- [15] Augier, A. G., Vallés, M. Un método de formación de imágenes: La Holografía. Ciencias Técnicas. Serie Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones 1979; 5: 30-46.
- [16] Buergo, R., Homs, R., García, A. Transmisión de hologramas por canales internacionales. En: Memorias de la Segunda Jornada Científica del ININTEF. La Habana: ACC, 1979.
- [17] Oliva, A., Homs, R. Aplicación de la película de baja resolución en TV holográfica. En: Memorias de la Primera Jornada Científica del ININTEF. La Habana: ACC, 1977.
- [18] Alum, J., Ferrat, A. Aplicación de la Interferometría Holográfica en la medición de deformaciones estáticas transversales. En: Memorias de la Segunda Jornada Científica del ININTEF. La Habana: ACC, 1979.
- [19] Homs, R., Mesa, S.M., Oliva, A., Reyes, L. Curvas de Transferencia en hologramas de Fourier lineales. En: Memorias de la Segunda Jornada Científica del ININTEF. La Habana: ACC, 1979.
- [20] Augier, A., Martí, L. Método Doppler para la caracterización holográfica de líquidos en régimen estacionario. Ciencias Técnicas. Serie Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones 1979; 5:113-125.
- [21] Borshenko, E.I., Martí, L. Sobre el empleo de memorias holográficas para el ofrecimiento de información en sistemas hombre-máquina. Ciencias Técnicas. Serie Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones 1981; 1: 38-42.
- [22] Serra Toledo, R., Moreno Yeras, A., González Peña, R., Milanes Verdecia, P., Moreno Masó, B. Aplicaciones de la Holografía a la Museología en Cuba. Revista Diálogo Iberoamericano 1997; 2:43-45.
- [23] Beaty, W. J. Hand –drawn holograms,
<http://www.amasci.com/amateur/holo1.html>.
- [24] Scratch Holograms!
[http://www.instructables.com/id/Make-a-Tool-to-Draw-Scratch-Holograms/!](http://www.instructables.com/id/Make-a-Tool-to-Draw-Scratch-Holograms/)
- [25] Kirkpatrick, P. A Binocular Illusion. Am. J. Phys. 1954; 22: 492.
- [26] Lott, J. B. Reflections on a gramophone record, Math. Gazette 1963; 47: 113.
- [27] Walker, J. What do phonograph records have in common with windshield wipers? The Amateur Scientist. Scientific American 1989; 261:106.
- [28] Plumber, W. and Gardner, L. A mechanically generated hologram, Appl. Opt. 1992; 31: 6585-88.
- [29] Weil, H. Improvement in advertising and like signs, UK patent 37208/34

(December 1934)

- [30] Abramson, N., Hand Drawn Holography, <http://hmt.com/holography/handholo.html>.
- [31] Abramson, N., Incoherent Holography. En: T. Jeong and W. Sobotka eds. Proc. SPIE, 2000; 414:164.
- [32] Augier, A.G. Hologramas hechos a mano. ¿Una curiosidad óptica? En: Resúmenes del III Congreso de Didáctica de las Ciencias, La Habana, 9-13 de febrero de 2004.
- [33] Augier, A.G. Hand Drawn Holograms. An optical curiosity? En: Resúmenes de la Reunión Internacional Óptica, Vida y Patrimonio. La Habana, Cuba, 26 al 30 de Septiembre de 2004.
- [34] Augier, A. G.; Vallés, M. Hologramas hechos a mano para la enseñanza de la óptica. En: Resúmenes del V Taller de Tecnología Láser Tecnoláser 2007. La Habana, Cuba, 17-19 de Abril de 2007. Edición electrónica.
- [35] Zianguirova, O., Nikolai Koleitchuk, En: Dieter Jung Ed. HOLOGRAPHIC NETWORK, Germany: Rasch Verlag Bramsche, 2003.
- [36] Garfield, E., ISI's World Brain by Gabriel Lieberman: The World's First Holographic Engraving, Essays of an Information Scientist 1981; 5: 384. En la WEB: Gabriel Liebermann work "World Brain" at <http://www.garfield.library.upenn.edu/essays/v5p348y1981-82.pdf>
- [37] Augier, A.G., ¿Arte digital holográfico? ¿Una nueva forma de expresión? Ponencia. En: Resúmenes Coloquio y V Salón de Arte Digital. Centro Cultural Pablo de la Torriente Brau, La Habana, Cuba, 16-20 de junio de 2003.
- [38] Augier, A.G., Holograbados: Hologramas digitales de modelos virtuales tridimensionales generados en ordenador para aplicaciones en artes plásticas, arquitectura, diseño gráfico y otros usos. Ponencia. En: Resúmenes Coloquio y XI Salón de Arte Digital. Centro Cultural Pablo de la Torriente Brau, La Habana, Cuba, 8-12 de noviembre de 2011.
- [39] Eichler, J., Dünkel, L. and Gonçalves, O. Three-dimensional image construction by curved surface scratches, Appl. Opt. 2003; 42:5627-31.
- [40] Beaty, W. Drawing Holograms by Hand. Proc. SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE 2003; 156: 5005-11.
- [41] Benton, S.A. Hologram Reconstruction with Extended Incoherent Sources. J. Opt. Soc. Am. Ser. A. 1969; 59:1545-46.
- [42] Krackhardt, U., Schwider, J., Schrader, M., and Stribi, N. Synthetic holograms written by a laser pattern generator. Opt. Eng. 1993; 32: 781-83.

- [43] Yaroslavskii, L. P. and Merslavskov, N. S. Methods of Digital Holography; Plenum Publishing Corporation, 1980.
- [44] Bryngdal, O. and Wyrowski, F. Digital holography –Computer generated holograms. En: E.Wolf ed. Progress in Optics, Vol. XXVIII, Elsevier Science Publishers, 1990.
- [45] Digital Prints, <http://www.zebraimaging.com/>
- [46] van Heerden, P. J. Theory of Optical Information Storage in Solids. Appl. Opt. 1963; 2: 393-97.

Nota: Foto de la figura 2 por Ángel Alonso. Demás fotografías por el autor.

Autor:

Dr.C. Ángel G. Augier Calderín

Dr. en Ciencias Físicas

Profesor Titular e Investigador Titular

Teléfono particular: 641 8813

Dirección particular: O’Farrill No. 1, apto. 2. e/ 10 de Octubre y Poey.

Víbora. La Habana 10 500.

E-mail: aaugier@fisica.uh.cu

*Presentado: 13 de junio de 2013
Aprobado para publicación: 20 de junio de 2013*