

**FIRMA INVITADA****HOLOGRAFÍA: FACENDO HISTORIA NO SEU 50 ANIVERSARIO**

**BAO VALERA, Carmen**  
**PÉREZ MARTÍN, M<sup>a</sup> Victoria**  
*Laboratorio de Óptica*  
**UNIVERSIDADE DE SANTIAGO**

**INTRODUCCIÓN.**

Se paseamos por unha gran cidade e observamos, por exemplo, a vidreira dunha xoiería co fin de contemplar algunha “baratilla” como una pulseira de diamantes, podémonos levar unha dobre sorpresa; o seu prezo e a aparición fantasmagórica da pulseira frotando no aire, colgada do pulso dunha muller e desafiando a gravidade e o sentido común. Un holograma é o culpable desta aparición. Algo menos espectaculares son os hologramas rexistrados sobre as tarxetas de creto para evitar falsificacións, sobre libros, artigos de novidade, etc. Pero máis alá da espectacularidade das imaxes tridimensionais producidas por hologramas, a holografía contribuiu de modo importante ó desenvolvemento da investigación científica e tecnolóxica en campos como a microscopía, recoñecemento de caracteres, computación óptica, óptica integrada, metroloxía, etc. Esta diversidade de aplicacións ilustra o sólido pasado, presente e futuro da holografía e axuda a comprender porque Denis Gabor (1900-1979) obtivo o Premio Nobel de Física no ano 1971.

**Abbe e Bragg, precursores da holografía**

Aínda que Gabor inventou a holografía no 1948, a xénese da idea atópase na teoría difraccional de formación da imaxe elaborada por Ernest Abbe (1840-1905) no 1873. Investigando sobre o poder de resolución do microscopio, Abbe descubriu que un obxecto extenso pódese considerar como un conxunto infinito de redes de difracción, onde cada rede ten diferente período, orientación e amplitude de transmisión. Cando iluminamos o obxecto cunha onda plana coherente, cada rede produce unha figura de difracción de Fraunhofer no plano focal imaxe do obxectivo do microscopio. Este modelo define un conxunto de fontes secundarias que interfieren creando a imaxe. Se definimos o noso obxecto por una soa rede e iluminámola cunha onda plana, a luz incidente divídese en tres ondas: unha onda non difractada intensa (onda directamente transmitida) e dúas ondas difractadas febles que se propagan en direccións conxugadas. Xa que as tres ondas son planas, o obxectivo enfócaas en rexións diferentes sobre o seu plano focal imaxe. Estas rexións definen tres fontes secundarias con ondas que se interfieren (Principio de Huygens – Fresnel) como outra figura de difracción no plano imaxe, producindo unha imaxe invertida que é unha réplica da intensidade transmitida pola rede. As ondas difractadas conteñen a información óptica do obxecto e a onda non difractada representa a luz incidente. En efecto, analizando a figura de difracción de Fraunhofer de raios – X producida por certos cristais, Sir Willian Henry Bragg (1862-1942) e o seu fillo Sir Willian Lawrence Bragg (1890-1971), Premios Nobel no 1915, deduciron as súas estruturas atómicas. O éxito dos Bragg reside en considera-la figura de difracción como unha transformada de Fourier da distribución de luz que procede do obxecto. Polo tanto, atopando a transformada de Fourier da figura de difracción, podemos reconstruír unha imaxe do obxecto orixinal. Se rexistramos a figura de difracción do cristal e a iluminamos, despois, cunha onda plana coherente, a luz novamente difractada forma a imaxe. Pero os Bragg traballaron con certas estruturas cristalinas centrosimétricas xa que a información sobre as fases relativas das ondas difractadas perdíase na primeira etapa do proceso de formación de imaxe. Foi

Gabor quen descubriu o camiño para rexistra-la información sobre a fase e isto marcou o principio da holografía.

### **Gabor e a holografía en eixe**

A técnica holográfica de Gabor é un proceso de formación de imaxe en dúas etapas e sen lentes. O obxectivo desta nova técnica era, nunha primeira etapa, rexistra-las diferencias de fase da luz que transmite un obxecto bidimensional iluminado con luz coherente mediante a conversión da información de fase en información de amplitude ou intensidade. A interferencia da luz suministra este requisito. A luz transmitida polo obxecto consta de dúas partes: unha debida ó feixe directamente transmitido, non perturbado polo obxecto, que constitúe a onda de referencia e outra correspondente ó feixe difractado, que constitúe a onda obxecto. Ámbolos dous feixes superpóñense sobre o material fotosensible dando lugar a interferencias que inclúen información referente ás diferencias de fase da onda de referencia coa onda obxecto. Noutras palabras, a onda de referencia compórtase como una onda portadora que é modulada pola onda sinal ou onda obxecto. O holograma é un modelo interferencial de franxas claras e escuras espaciadas, non unha imaxe do obxecto. A intensidade e posición dos máximos e dos mínimos dependen da intensidade das dúas ondas e da súa diferenza de fase. O holograma, deste xeito, almacena a luz que porta a información visual do obxecto e como etimoloxicamente indica é un “registro total” da luz. Nunha segunda etapa reconstrúese a imaxe. Se iluminamos o holograma cun feixe de luz coherente, por exemplo, coa onda de referencia que actúa de onda de reconstrución prodúcese, ademais dun feixe directamente transmitido, dúas ondas difractadas, unha converxente e a outra diverxente, que se propagan en direccións conxugadas e que forman dúas imaxes, unha real e outra virtual, do obxecto orixinal. Polo tanto, a onda de reconstrución mediante un proceso de demodulación recupera a información sobre a onda obxecto. Por outra parte, o problema da holografía de Gabor era a pobre calidade das imaxes reconstruídas xa que coexistían co feixe directamente transmitido. Este é o problema das imaxes xemelgas e xorde como consecuencia de que a holografía de Gabor é unha técnica en liña xa que no proceso de rexistro dispónse ó longo dun eixe, fonte, obxecto e medio de rexistro.

### **Leith e Upatnieks e a holografía fóra de eixe**

O problema das imaxes xemelgas e a falta de fontes de luz altamente coherentes deu lugar a que, durante algúns anos, decaera o interese pola holografía ata que, na década dos sesenta, rexurdiu debido á aparición do láser e á aplicación da técnica fóra de eixe no rexistro de hologramas por Emmett N. Leith e Juris Upatnieks no ano 1962. Esta técnica permite, na etapa de reconstrución, a obtención de imaxes angularmente separadas entre si e, á súa vez, separadas do feixe directamente transmitido gracias á introducción, na etapa de rexistro, dunha onda de referencia que acada directamente o medio de rexistro e que se propaga inclinada con respecto á onda obxecto, na vez de ser casi paralela a ela como acontece no holograma de Gabor. A técnica fóra de eixe permite o rexistro de hologramas tridimensionais que ó ser reconstruídos suministran a percepción de profundidade e paralaxe. Os hologramas destes obxectos poden romperse en pequenos anacos, cada fragmento reconstrúe unha imaxe completa do obxecto, aínda que dende un ángulo diferente. Isto é debido a que cada punto do obxecto difunde luz a tódolos puntos do holograma durante o rexistro. As imaxes reconstruídas aparecen situadas simetricamente con respecto ó holograma e á mesma distancia que o obxecto orixinal, se a onda de reconstrución é idéntica á de rexistro. Do mesmo xeito, o tamaño das imaxes é tanto maior canto maior é a lonxitude de onda de reconstrución. Con luz vermella de reconstrución, as imaxes son maiores que con luz verde, e estas á súa vez, maiores que con luz azul. Ademais, a imaxe real é unha imaxe pseudoscópica, en contraposición da imaxe virtual que é ortoscópica. Como os puntos correspondentes a ámbalas dúas imaxes están situados á mesma distancia do holograma, a imaxe real ten a curiosa propiedade de que a súa profundidade esta invertida, polo tanto, cando observamos a imaxe real vemos máis preto a parte do obxecto que estaba máis alonxada do medio de rexistro e viceversa.

### **Denisyuk e a holografía de volume**

Ó mesmo tempo que Leith e Upatnieks introducían o holograma fóra de eixe, Yuri Denisyuk daba conta doutro grande avance en holografía que ten algunhas similitudes co proceso de fotografía en cor

inventado por Gabriel Lippmann no 1891. Denisyuk atopou que, se os feixes obxecto e referencia iluminaban caras opostas do material de rexistro, o holograma resultante pódese reconstruír e ver dende o mesmo lado. Estes, coñécense como hologramas de Denisyuk ou de reflexión. Ó contrario que os hologramas de transmisión, nos que o feixe de reconstrucción é difractado polas franxas interferenciais rexistradas sobre un material delgado, o feixe de reconstrucción dun holograma de Denisyuk é difractado por capas estratificadas de superficies interferenciais, separadas unha semilonxitude de onda, e dispostas case paralelamente ás caras do material de rexistro. Isto require que o material sexa bastante grosso para conter varias capas de superficies interferenciais coa fin de satisfacer a condición de difracción de Bragg. A vantaxe da holografía de volumen é que as superficies interferenciais actúan como un filtro de banda estreita, o que trae como consecuencia que o holograma pode ser reconstruído con luz branca.

### **Benton e a holografía de arco iris**

Outra importante técnica holográfica utiliza a imaxe real dun holograma ou dun sistema óptico coma obxecto para o proceso de rexistro. A imaxe real fórmase sobre o medio de rexistro e faise interferir co feixe de referencia. Esta configuración reduce os requerimentos de coherencia para a reconstrucción e pode utilizarse luz branca, se a profundidade do obxecto é pequena. Como a imaxe reconstruída aparece na mesma posición que no rexistro, unha parte de ela é real e outra virtual, aparecendo por diante e por detrás do holograma. Para un obxecto con certa profundidade, a reconstrucción con luz branca é posible se a escena que representa o obxecto se restrinxe a unha dimensión. Por exemplo, para obter a paralaxe horizontal, tense que colocar unha regandixa horizontal sobre o holograma ou o sistema óptico utilizados para forma-la imaxe real inicial. Esta técnica foi suxerida por Steve Benton no 1969 e produce unha imaxe final irisada sen paralaxe vertical. Finalmente tamén se pode facer un holograma rexistrando múltiples imaxes. Un holograma deste tipo utilízase para gravar os distintos fotogramas dunha película convencional a través dunha regandixa vertical. Se cada fotograma sucesivo da película representa unha escena diferente, o holograma é un estereograma tridimensional de obxectos animados.