

# PRÁCTICA DE HOLOGRAFÍA

(Colab. Javier Duro Lanchas)

## INTRODUCCIÓN

La Holografía fue descubierta en 1948 por D. Gabor, aunque en aquel momento no obtuvo buenos resultados por no contar con una luz con una longitud de coherencia suficiente. Hubo que esperar, entre otras cosas, a la llegada del láser en 1962 para que resurgiera su estudio. Se le concedió el premio Nobel por su descubrimiento en 1971.

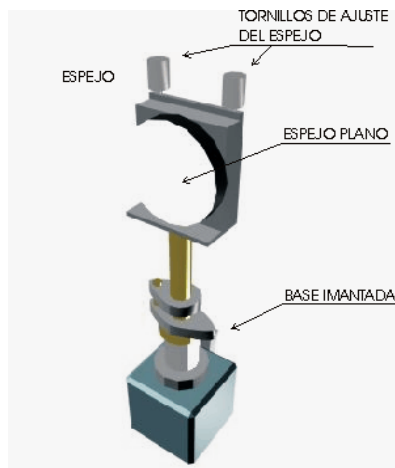
La holografía a diferencia de la fotografía no emplea lentes. En la placa se guarda información relativa a la amplitud y la fase con que llegan a ella las ondas procedentes del objeto, es el proceso de registro. Más tarde podrá verse el objeto si iluminamos de manera adecuada, es el proceso de reconstrucción.

En la fase de registro precisamos de dos ondas, una proveniente desde el objeto, que llamaremos *onda objeto*, y otra directamente de la fuente láser, que llamaremos *onda de referencia*. Si las dos ondas inciden sobre el mismo lado de la placa, será un holograma de transmisión, si por el contrario la onda objeto y la onda de referencia inciden sobre caras opuestas de la placa será un holograma de reflexión.

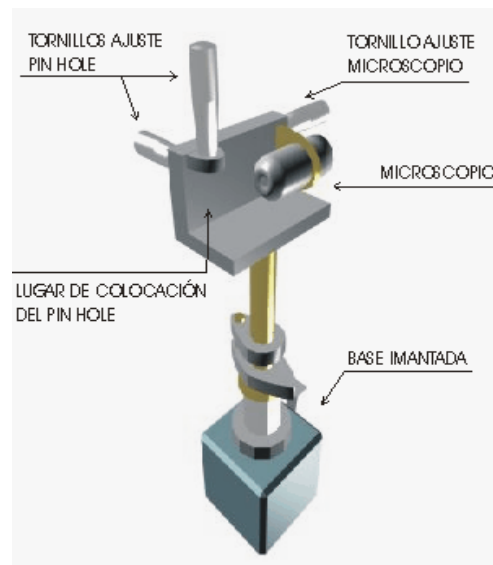
## MATERIAL

El material que tendremos que usar en el laboratorio para realizar la práctica, así como el uso del mismo, están resumidos a continuación:

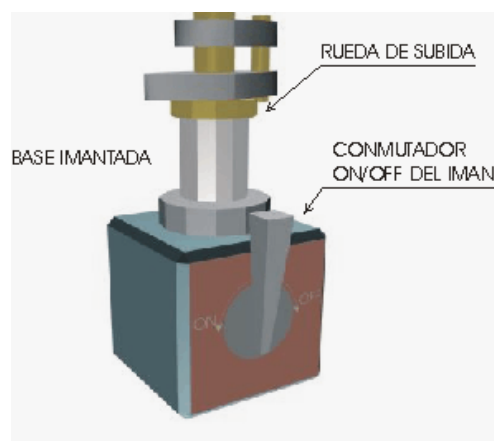
1. **Espejo pequeño:** serán dos los que usemos. Están montados sobre una base imantada. Son de primera superficie, es decir, no tienen protección. Por tanto **NO SE DEBE TOCAR EL ESPEJO**, utilizando la montura del mismo o su base para manejarlo. Tiene dos tornillos para girar el espejo en vertical y en horizontal. Asimismo la base cuenta con una rueda para regular la altura del espejo.



2. **Espejo esférico:** Es de gran diámetro. Se encuentra fijo, y tiene una distancia focal de 101,7 cm.
3. **Lámina separadora:** es una lámina semitransparente divisora del haz incidente. El espejado de la misma varía circularmente por sectores, pudiendo seleccionar la intensidad de la luz transmitida y reflejada. Evitar también tocar la superficie de este elemento.
4. **Microscopio:** utilizaremos dos. Cada uno para abrir el haz que llega del láser y conseguir que iluminen una zona más amplia. Están montados también sobre bases imantadas. Consta de tres tornillos para mover el microscopio en horizontal, y los otros dos para mover el "pin hole".



5. "Pin-hole": pequeño objeto que consta de un agujero muy pequeño que se coloca delante del microscopio para limpiar el haz.
6. Láser: aparato que nos produce una luz colimada, monocromática (633nm) y con una alta coherencia. **NO SE MIRA EL HAZ DEL LASER NUNCA.**
7. Obturador: colocado delante del láser se abre y cierra automáticamente para dejar que el láser ilumine o no.
8. Diafragmas: sobre base imantada y consta de un agujero cuyo tamaño podemos graduar. Nos servirá, entre otras cosas para alinear el sistema.
9. Pantallas: también sobre base imantada.
10. Placa holográfica: lámina transparente fotosensible donde recogeremos el holograma. Se coloca también sobre una base.
11. Polarizador: no siempre hace falta. Lo utilizaremos para restar intensidad a los haces, si fuera necesario.
12. Fotómetro: Aparato electrónico para medir la intensidad de la luz. El sensor posee un filtro de densidad 3 (1/1000) a la salida.
13. Base imantada: las bases de los objetos que colocamos sobre la mesa tienen un imán. Y en la parte trasera una palanca que podemos colocar en *ON*, y la base quedará fijada a la mesa, o en *OFF* y la base se desprenderá de la misma fácilmente.



Precisaremos asimismo de un objeto para realizar el holograma. Éste deberá tener un tamaño aproximado de 6x6x6 cm. En general debe reflejar bastante la luz, una figura de porcelana o de marfil, por ejemplo.

## EL MONTAJE

Una vez que hemos medido la longitud de coherencia del láser\*, sabemos que la diferencia de caminos ópticos no debe superar los dos o tres centímetros. Uno de los caminos será el del haz de referencia, que debe incidir directamente sobre la placa, sin tocar ningún punto del objeto. El otro será el haz objeto, que deberá incidir sobre el objeto y que la luz reflejada por éste llegue a la placa. En la figura podemos ver la primera parte de nuestro montaje.



En este **primer paso** colocaremos los espejos pequeños, los dos microscopios (sin el "pin hole"), el objeto sobre el soporte y la placa. La lámina separadora, el láser y el espejo esférico se encuentran ya sobre la mesa. El microscopio que abre el haz de referencia, que va hacia el espejo esférico, debe colocarse en la focal de este. Así el haz saldrá hacia la placa como si procediera del infinito. Con el diafragma comprobamos que los objetos están alineados, colocando el diafragma entre dos objetos consecutivos el haz debe pasar por el agujero con un tamaño de un par de milímetros.

Una vez que hayamos conseguido que todo este alineado, y colocado de tal manera que los haces sigan el camino correcto, medimos la distancia de cada uno de los haces. Si la diferencia es mayor de los dos o tres centímetros, movemos los espejos o la placa o el objeto para conseguir esa diferencia.

Cuando consigamos tener cumplido lo anterior, pasamos al **segundo paso**. Ahora debemos limpiar los haces, ya que la suciedad en las lentes de los microscopios, en la lámina separadora o en los espejos, manchan los haces y esto no nos conviene. Para limpiar colocamos el "pin hole" en el soporte del microscopio, justo delante. Tenemos que conseguir que el "pin hole", el agujerito, esté justo en la focal de la lente del microscopio. Para ello colocamos una pantalla delante del microscopio. Vamos acercando el microscopio haciendo uso del tornillo situado en el soporte. A la vez que acercamos en la pantalla debemos de ir centrando el punto de luz que nos encontramos, usando los tornillos que mueven el "pin hole". Es un procedimiento muy lento, y debe ser hecho con mucha paciencia: acercando un poco el microscopio, colocando el pin hole. Así hasta que nos encontremos con una gran luz roja limpia en la pantalla.

---

\* Ver el apartado coherencia del láser, al final del texto.

Llegamos al **tercer paso**. Ahora debemos medir la cantidad de luz que llega procedente del haz objeto y procedente del haz de referencia. Para evitarnos los términos que nos molestan y además para conseguir trabajar en la zona lineal de la placa fotosensible, la relación entre haces debe ser de 1 a 4 aproximadamente, siendo el de referencia el de mayor intensidad.

Encendemos el fotómetro, y usando el detector medimos la intensidad. La pantalla del detector nos muestra el resultado en nanovatios, pero como tiene un factor multiplicativo de 1000, la lectura la obtendremos realmente en microvatios. Para la intensidad del haz objeto colocamos el detector perpendicular al mismo y haremos un barrido por todo el lugar que debe ocupar la placa, para obtener una media aproximada de la intensidad que llega. Para el haz de referencia colocamos girado el detector de manera que los rayos incidan con la máxima intensidad sobre el detector. Buscamos el valor máximo y lo multiplicamos por el coseno de 45 (aprox. 0.7) para obtener el valor que realmente entra en la placa. Estas son las dos cantidades que deben estar en la relación 1:4. Por supuesto cuando hagamos la medida del haz objeto debemos tapar el de referencia y viceversa.

Si no obtuviéramos esta relación podemos realizar varias actuaciones para conseguirlo. Podemos acercar o colocar el objeto de alguna manera que refleje más la luz. Girando la lámina separadora logramos aumentar o disminuir las intensidades de los haces. Otro modo es acercar el microscopio objeto a éste, de manera que le llegue mayor cantidad de luz. En último caso colocaríamos un polarizador en el haz de referencia por ejemplo. Girando el polarizador cambiaríamos la intensidad del haz, con cuidado de no colocarlo de manera que no pase nada de luz.

Una vez conseguida esta relación, estamos ya muy cerca de conseguir nuestro objetivo. Ahora medimos la cantidad de luz que llega de los dos haces juntos colocando el detector perpendicular al objeto. Hacemos un barrido y obtenemos un valor medio aproximado. Sabiendo que la sensibilidad de la placa es de  $1600 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ , y nuestra medida de intensidad, que está en  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , el tiempo de exposición lo obtenemos dividiendo 1600 entre nuestra intensidad.

El **cuarto paso** consiste en mirar bien el montaje para evitarnos luces molestas que puedan llegar a la placa, o malas iluminaciones. Debemos mirar bien los haces de manera que:

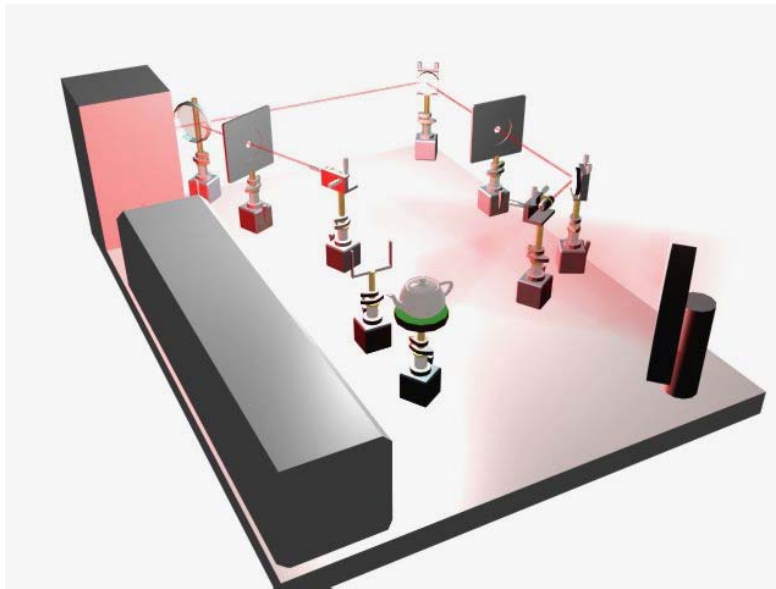
- El haz objeto ilumine únicamente al objeto. No debe iluminar directamente la placa.
- El haz de referencia al revés, debe iluminar únicamente la placa, en ningún caso debe llegarle luz del haz al objeto.
- El haz de referencia no debe iluminar el borde de la placa, ya que se produciría una reflexión múltiple en el interior de la placa. Recordemos que esta tiene grosor.
- Eliminar luces que puedan llegar a la placa desde cualquier otro lugar del montaje.

Para evitar los cuatro puntos anteriores utilizaremos pantallas, que estratégicamente colocadas produzcan el efecto deseado. Una última luz nos puede molestar, que es la del soporte del objeto. La evitaremos colocando una tela oscura encima.

Ya estamos en condiciones de realizar el holograma, solo nos queda comprobar que las bases imantadas están en la posición ON. Un último vistazo para comprobar todo y pasamos al último paso.

En el **quinto paso** manejaremos el obturador. Este consta de un reloj, que medirá el tiempo que esta pasando luz a nuestro montaje. Ese tiempo será el de exposición y se lo marcaremos. También cuenta el obturador con un disparador, en el momento de pulsarlo, el obturador cuenta diez segundos, y se abre dejando pasar la luz del láser, al final del tiempo marcado se cerrará. Pues bien todo lo que se realiza a continuación es completamente a oscuras. Primero se extrae la placa de una caja negra para colocarla posteriormente en su soporte. Ahora, todo el mundo en su asiento, se esperará durante 3 minutos a que la mesa se estabilice, pasado este tiempo el encargado del disparador contará un minuto mentalmente, y todo el mundo estará callado y sin moverse; solo respirando. Al cabo del minuto se pulsará el disparador y todos permanecen callados y absolutamente quietos. Una vez terminado el tiempo de exposición, el obturador se cerrará, se recoge la placa, se introduce en la caja y se enciende la luz.

**Cuidado**, antes de realizar el último paso deberemos de comprobar que la mesa se encuentra llena de aire. Si esto no fuera así deberíamos de abrir las llaves de paso del compresor y de la mesa, y proceder al llenado.



### EL REVELADO

Con la placa en la caja solo queda revelarla. El proceso es muy parecido al de las fotografías convencionales.

En este proceso pasaremos la placa por cuatro baños, que resumimos brevemente:

1. **Revelador:** se utiliza poca cantidad. Lo que hace es revelar la placa.
2. **Baño de paro:** Se utiliza agua para parar la reacción provocada por el revelador.
3. **Baño de fijado y blanqueo:** El fijado elimina los halogenuros de plata que quedan sin impresionar, para evitar que al ser expuestos a la luz se impresionen. El blanqueo pasa el diagrama interferométrico a distintos índices de refracción. Tenemos la misma información pero con índices.
4. **Baño de aclarado:** se limpia bien con agua de grifo durante un buen rato.

Finalmente se deja la placa secar y ya podemos ver el holograma, que por ser plano en nuestro caso tenemos que reconstruirlo utilizando la luz de la fase de construcción. En nuestro caso láser rojo de 633 nm. Contaremos con una imagen virtual y otra real.

### COHERENCIA DEL LASER

Nuestro primer paso será saber cual es la longitud de coherencia del láser con el que vamos a trabajar. Para ellos construimos un sencillo interferómetro de Michaelson. Este interferómetro opera por el método de división de amplitudes. Colocamos dos espejos perpendicularmente entre sí, y una lámina separadora formando 45 grados con los espejos y semiespejada posteriormente. De este modo logramos los dos haces que interferirán. Uno seguirá el camino de la fuente al espejo 1, volverá a la lámina y se reflejara con un ángulo de 90 grados en dirección a la pantalla. El otro llegará a la lamina separadora, reflejándose con un ángulo de 90 grados hacia el espejo 2, que volverá a reflejar la luz hacia la pantalla, donde deberán aparecer las líneas claras y oscuras características de la interferencia de los dos haces. En la figura lo podemos entender mejor.

Moviendo uno de los espejos conseguiremos llegar a una distancia para la cual se pierde la figura de interferencia. En ese momento la diferencia en la distancia recorrida por los haces resulta ser la longitud de coherencia del láser. En nuestro caso es de alrededor de unos 26 cm. Esto nos obliga a que nuestra figura no tenga una profundidad mayor de unos 10 cm. Y además que la diferencia de caminos ópticos en el montaje no supere los pocos centímetros: 2-3 cm.