

**INFLUENCE OF RECORDING BEAM COHERENCE IN
HOLOGRAPHIC NOISE GRATINGS**

**INFLUENCIA DE LA COHERENCIA EN LAS REDES DE
RUIDO HOLOGRAFICAS**

I. PASCUAL, A. BELÉNDEZ* y L. CARRETERO

*Laboratorio de Optica. Departamento Interuniversitario de Optica.
Universidad de Alicante. Apdo. 99. Alicante 03080 (España).*

**Departamento de Ingeniería de Sistemas y Comunicaciones.
Universidad de Alicante. Apdo. 99. Alicante 03080 (España).*

ABSTRACT

Experimental results are presented on the diffraction efficiency of holographic noise gratings recorded with single-beam exposures in bleached silver halide emulsions when coherent and partially coherent light are used. The results obtained shows that the recording of holograms with partially coherent light reduces the detrimental effects of these gratings and improves the efficiency of holograms formed in bleached silver halide emulsions.

RESUMEN

En este trabajo se muestran los resultados experimentales obtenidos correspondientes al rendimiento en difracción de las redes de ruido registradas con un único haz de registro en emulsiones fotográficas blanqueadas. En la etapa de registro se ha utilizado tanto luz coherente como luz parcialmente coherente, y los resultados obtenidos prueban que al utilizar luz parcialmente coherente en la etapa de registro, se reduce el efecto negativo de las redes de ruido y se mejora el rendimiento en difracción de los hologramas registrados en emulsiones blanqueadas.

1. INTRODUCCION

Las emulsiones fotográficas blanqueadas son uno de los medios de registro más utilizados en la fabricación de elementos ópticos holográficos. Sin embargo, debido a la estructura granular de la emulsión, la luz procedente de la difusión debida a los granos de haluro de plata de la emulsión interfiere con los haces objeto y referencia utilizados en el registro del elemento óptico holográfico. Esta interferencia da lugar al registro de redes holográficas no deseadas, denominadas redes de ruido (1-3), junto con el patrón interferencial que realmente se desea almacenar.

Además, el rendimiento en difracción de las redes de ruido almacenadas durante el registro de los hologramas puede en ocasiones ser muy elevado, llegando a ser una fuente de ruido importante que da lugar a una disminución de la calidad de la imagen holográfica.

El rendimiento en difracción de estas redes de ruido depende de una serie de factores, algunos de los cuales ya han sido estudiados por diferentes autores. Se ha encontrado que dicho rendimiento disminuye si la longitud de onda del haz de reconstrucción es diferente a la utilizada en el registro (4) o si el vector polarización de la luz utilizada en la reconstrucción es diferente del de la luz utilizada en la etapa de registro (5), disminuyendo dicho

rendimiento a medida que el ángulo que forman dichos vectores se acerca a 90°. Finalmente, también se ha probado la fuerte dependencia de estas redes de ruido con el procesado fotoquímico (6, 7), de manera que si el espesor del medio de registro no varía tras el procesado, el efecto de las redes de ruido puede ser muy acusado.

Sin embargo, todas las experiencias realizadas para estudiar las características de las redes de ruido en emulsiones fotográficas se han llevado a cabo con la luz coherente proveniente de un láser. Teniendo esto en cuenta, un aspecto importante que es necesario analizar es la influencia de la coherencia de la luz utilizada en el registro de las redes de ruido, pues las características del patrón interferencial que se graba durante el registro del holograma dependen de la coherencia de la luz utilizada.

En el presente trabajo se han estudiado las redes de ruido registradas con un único haz de registro (1) de luz parcialmente coherente, mostrándose los resultados experimentales correspondientes al rendimiento en difracción de las redes de ruido holográficas en dos situaciones: cuando este haz de registro está polarizado linealmente y cuando se trata de un haz de luz no polarizada. En ambos casos se observa que el rendimiento de las redes de ruido registradas es despreciable, siendo casi diez veces menor al obtenido, en las mismas condiciones, con la luz coherente proveniente de un láser.

2. EXPERIENCIAS REALIZADAS

La figura 1 muestra el montaje experimental utilizado para el registro de redes de ruido con un solo haz. El dispositivo experimental básicamente consiste de una lámpara de mercurio de alta presión Philips CS150W, un sistema de lentes condensadoras que forma la imagen del arco de la lámpara, que con ayuda de un diafragma sirve de fuente "puntual", una lente colimadora que proporciona un frente de onda plano, y un filtro interferencial de ancho de banda 12 nm, centrado en la longitud de onda de 633 nm, que asegura la coherencia temporal necesaria. El material de registro utilizado es la emulsión fotográfica Agfa 8E75 HD, con el haz de luz incidiendo normalmente a la placa fotográfica. Aunque la lámpara de mercurio no tiene una línea de emisión para la longitud de onda de 633 nm, hemos utilizado esta longitud de onda para comparar con los resultados obtenidos cuando se utiliza un láser de He-Ne (6). Al actuar de esta manera utilizamos como luz el fondo continuo de la lámpara de mercurio.

En total se realizaron 24 exposiciones, donde para 12 de ellas se había situado un polarizador en el haz de registro, de manera que podíamos simular con luz parcialmente coherente las condiciones de polarización del láser He-Ne. En los dos casos, para luz polarizada y no polarizada, el intervalo de exposiciones abarcaba tanto la zona lineal como la zona de saturación de la curva D-log E del revelador. Para evitar la formación de otras posibles redes debido a reflexiones internas en el soporte de vidrio sobre el que está depositada la emulsión fotográfica, se situó un filtro de alta densidad junto a este soporte de vidrio.

Los dos conjuntos de placas se procesaron utilizando el revelador AAC (8) y el blanqueo de rehalogenación R-10 (9), sin etapa de fijado. Al utilizar este procesado el espesor de la capa de material fotosensible prácticamente no varía (10), por lo que en la reconstrucción será posible satisfacer la ley de Bragg simultáneamente para un gran número de redes de ruido. Cuando se utiliza el láser se encuentran situaciones con este procesado en las que la transmitancia prácticamente se anula (7), lo cual indica que la mayor parte de la luz incidente es difractada por las redes de ruido.

3. RESULTADOS

Para poner de manifiesto las posibles redes de ruido almacenadas durante el registro, se reconstruyeron las placas con luz coherente proveniente de un láser He-Ne, polarizado de la misma forma que el haz de luz parcialmente coherente polarizado utilizado en el registro, midiendo la transmitancia de dichas placas en función del ángulo de reconstrucción.

Los datos experimentales de transmitancia fueron corregidos haciendo uso de las fórmulas de Fresnel para tener en cuenta las pérdidas de luz debidas a las reflexiones en las distintas superficies de la placa fotográfica. De las gráficas de transmitancia en función del ángulo de reconstrucción es fácil calcular el rendimiento de las redes de ruido, ΔI_n , restando a la transmitancia máxima obtenida, el valor de la transmitancia mínima que corresponde a un ángulo de reconstrucción igual al ángulo que formaba el haz de registro (en este caso 0°), tal y como puede verse en la figura 2 de la referencia 6.

Los resultados experimentales obtenidos se muestran en la gráfica de la figura 2, en la que se ha representado el rendimiento en difracción de las redes de ruido, ΔI_n , en función de la exposición, para las dos

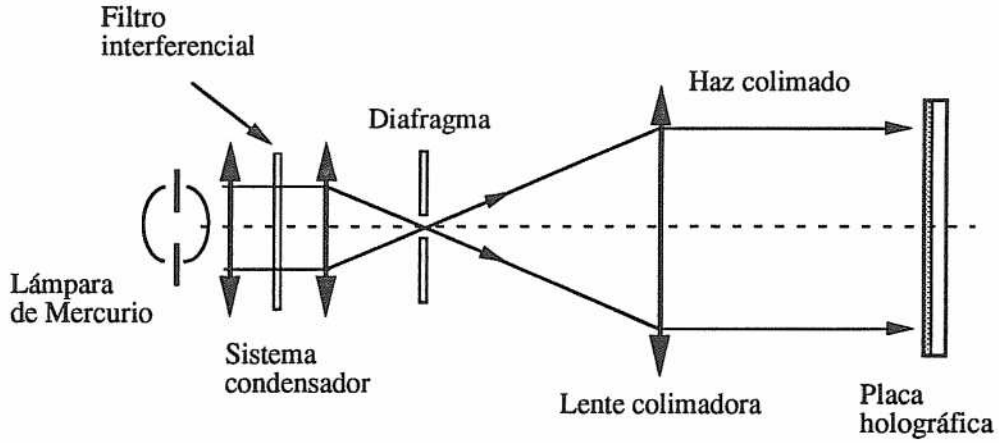


Fig. 1.- Dispositivo experimental utilizado para el análisis de las redes de ruido almacenadas en emulsión fotográfica, con un haz de registro de luz parcialmente coherente.

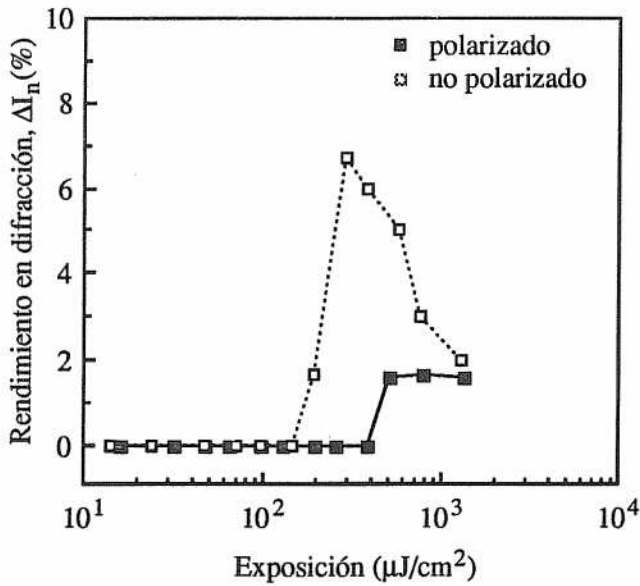


Fig. 2.- Rendimiento en difracción de las redes de ruido en función de la exposición, para las redes de ruido registradas con luz parcialmente coherente polarizada y no polarizada.

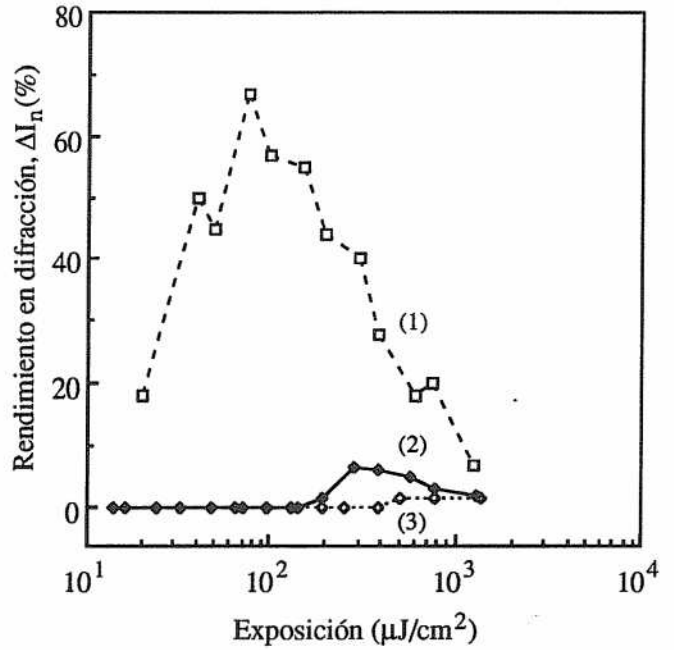


Fig. 3.- Comparación entre los valores del rendimiento en difracción de las redes de ruido para: (1) luz coherente, (2) luz parcialmente coherente no polarizada y (3) luz parcialmente coherente polarizada.

situaciones analizadas, es decir, cuando el haz de luz parcialmente coherente estaba polarizado y cuando se trataba de luz no polarizada. En las dos situaciones se observa como para bajas exposiciones el rendimiento de las redes de ruido es nulo, mientras que a medida que aumenta la exposición, también lo hace ΔI_n , aunque casi no sufre incremento para luz polarizada. En todos los casos los valores máximos obtenidos para ΔI_n ni siquiera alcanzan el 7%, valor que está muy por debajo de los valores para ΔI_n que se encuentran con este procesado, pero exponiendo las placas con un haz de luz coherente proveniente de un láser de He-Ne, y que pueden llegar al 70% (6), tal y como se muestra en la figura 3. En esta figura se han representado los resultados de la figura 2 para luz parcialmente coherente, junto con los valores de ΔI_n obtenidos cuando se utiliza durante el registro la luz del láser de He-Ne, y siguiendo el mismo procesado químico de las placas que en el caso parcialmente coherente.

Puesto que ya se ha indicado que el procesado químico utilizado en las experiencias (revelador AAC y blanqueo de rehalogenación R-10, sin fijado) no da lugar a variaciones en el espesor de la emulsión (10), puede concluirse que los valores despreciables obtenidos para ΔI_n indican que prácticamente no se han registrado redes de ruido y que este hecho es debido a la coherencia de la luz utilizada en el registro.

Un aspecto importante que se observa en la figura 2 es que con la luz polarizada los rendimientos obtenidos son menores, prácticamente nulos, mientras que con la luz no polarizada puede alcanzarse un valor del rendimiento en difracción de las redes de ruido ΔI_n cercano al 7%. Este hecho puede explicarse cualitativamente considerando la figura 4.

Dada la estructura granular de la emulsión, cuando la luz incide sobre los granos de haluro de plata, -y puesto que el tamaño de estos granos es mucho menor que la longitud de onda de la luz incidente (~35 nm para la Agfa 8E75 HD, mientras que la longitud de onda es de 633 nm)-, se produce un proceso de difusión Rayleigh debido a que cada uno de los granos se comporta como un dipolo, por lo que la interacción con el haz incidente los hace oscilar y por lo tanto emitir radiación (5).

En la figura 4 (a) se ha representado un haz de luz polarizado incidiendo sobre un grano de Ag Br de la emulsión, el cual se pone a oscilar en la dirección del campo eléctrico E del haz incidente, de manera que la radiación difundida tiene la polarización característica de la radiación dipolar eléctrica (11), siendo el campo eléctrico del haz difundido E_S , y no existiendo luz difundida en la

dirección SD del vector momento dipolar de la partícula de Ag Br.

Sin embargo, aunque la radiación incidente no esté polarizada, la radiación difundida está siempre parcialmente polarizada (11), tal y como se muestra en la figura 4 (b). En este caso la onda no polarizada incidente sobre el grano de haluro de plata hace que las oscilaciones dipolares eléctricas inducidas en éste sean paralelas al campo eléctrico de la onda incidente, y por lo tanto todas están en el plano P perpendicular a la dirección de propagación IA de la onda incidente, existiendo luz difundida en todas direcciones, incluso en la SD. Además la luz difundida está parcialmente polarizada dependiendo del ángulo que forme el haz difundido con el haz incidente. De hecho cuando estas direcciones son perpendiculares la luz difundida está linealmente polarizada (direcciones del haz difundido SB y SD). En cualquier caso, en la situación de luz no polarizada existe luz difundida en todas direcciones, no como en el caso polarizado. Esto implica que con luz parcialmente coherente no polarizada, y para un valor de la exposición determinada, existe mayor probabilidad de interferencias en más direcciones y, por tanto, se registrarán más redes de ruido que para luz polarizada, lo cual hace que en la etapa de reconstrucción el rendimiento en difracción ΔI_n también sea superior en el caso no polarizado, tal y como se muestra en la figura 2.

4. CONCLUSIONES

Se han analizado las características de las redes de ruido con un solo haz de registro en emulsiones fotográficas cuando se utiliza luz parcialmente coherente, polarizada y no polarizada. En las dos situaciones analizadas el rendimiento en difracción máximo de las redes de ruido es muy inferior al que se obtiene en las mismas condiciones pero utilizando en el registro la luz coherente proveniente del láser, como se indica en la figura 3. Además estos rendimientos en difracción son prácticamente despreciables lo que indica que el número de redes de ruido almacenadas es muy pequeño cuando se trabaja con luz parcialmente coherente. Como siempre los rendimientos en difracción de las redes de ruido obtenidas con un solo haz de registro son superiores a los que se obtiene haciendo uso de dos haces, que son los que se utilizan al almacenar lentes o espejos holográficos (5), se puede asegurar que al registrar elementos ópticos

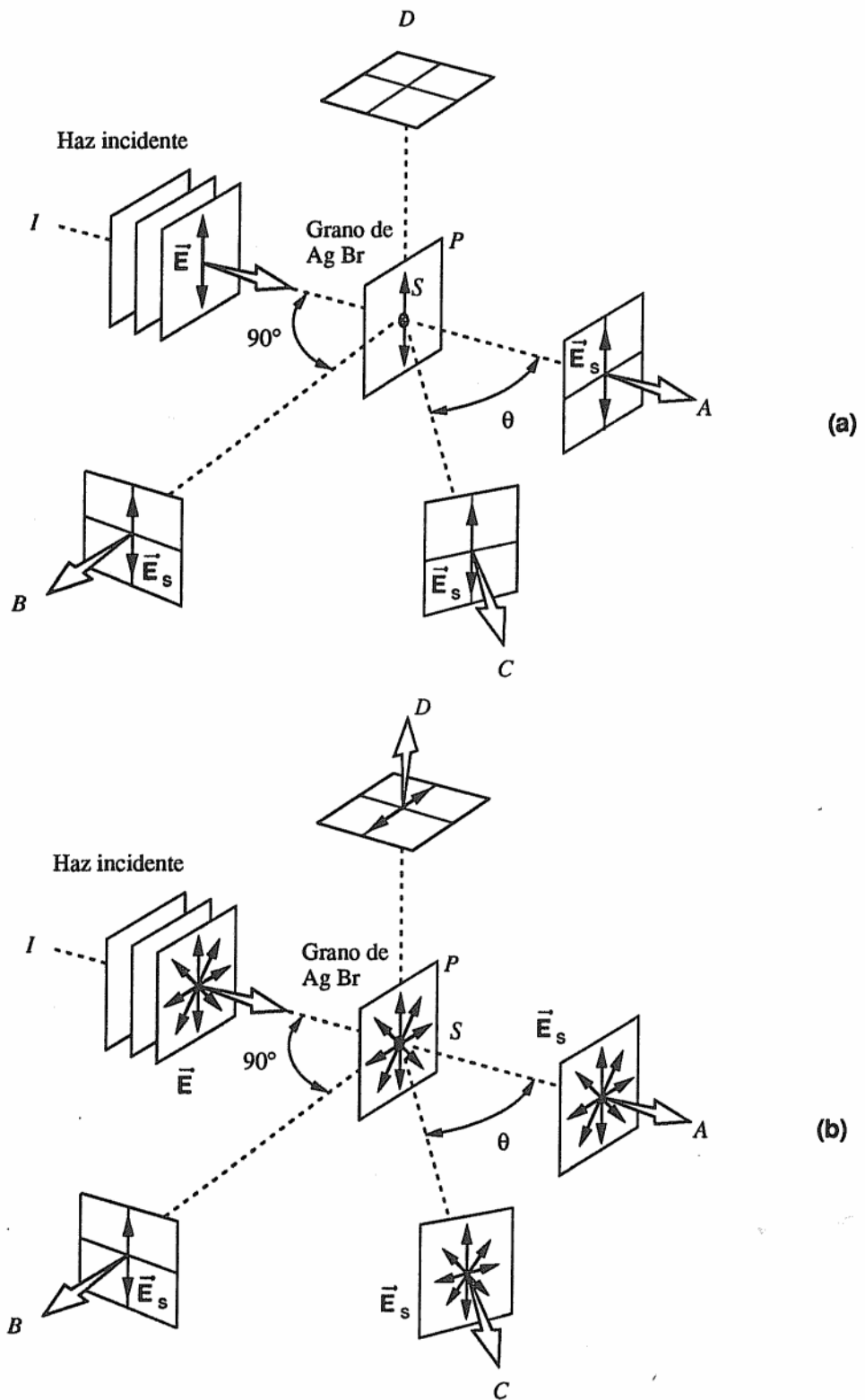


Fig. 4.- Difusión Rayleigh por una partícula de haluro de plata de la emulsión, (a) cuando la radiación incidente está linealmente polarizada, y (b) cuando la radiación incidente no está polarizada.

holográficos con luz parcialmente coherente, aunque se utilice como material de registro la emulsión fotográfica, no aparecerán redes de ruido. Este hecho es fundamental si se aplica a los procesos de copia de hologramas con luz parcialmente coherente (12), ya que experimentalmente se ha demostrado en este trabajo que si el original utilizado en este proceso de copia no contiene redes de ruido, éstas tampoco aparecerán en las copias realizadas con luz parcialmente coherente, aun cuando el material de registro en el cual se va a realizar la copia sea un medio con estructura granular como la emulsión fotográfica.

BIBLIOGRAFIA

1. R.R.A. SYMS y L. SOLYMAR: *Opt. Commun.*, **43**, 107 (1982).
2. R.R.A. SYMS y L. SOLYMAR: *Appl. Phys. B*, **30**, 177 (1983).
3. L. SOLYMAR y G.D.G. RIDDY: *J. Opt. Soc. Am. A*, **7**, 2107 (1990).
4. A. A. WARD, J.M. HEATON y L. SOLYMAR: *Opt. Quantum Electron.*, **16**, 365 (1986).
5. R. K. KOSTUK y G. T. SINCERBOX: *Appl. Opt.*, **27**, 2993 (1988).
6. A. BELÉNDEZ, L. CARRETERO, A. FIMIA, R. FUENTES e I. PASCUAL: *Opt. Pura Apl.*, **25** (1992).
7. L. CARRETERO, A. BELÉNDEZ y A. FIMIA: *J. Modern Opt.* (aceptado para su publicación).
8. T. H. JAMES: *J. Am. Chem. Soc.*, **66**, 91 (1944).
9. J. CRESPO, A. FIMIA y J. A. QUINTANA: *Appl. Opt.*, **25**, 1642 (1986).
10. R. K. KOSTUK: *Appl. Opt.*, **30**, 1611 (1991).
11. K. D. MÖLLER: "Optics" (*University Science Books, California*, 1988).
12. I. PASCUAL, A. BELÉNDEZ y A. FIMIA: *Appl. Opt.*, **31**, 3312 (1992).

★ ★ ★