

Técnicas de blanqueado de emulsiones holográficas

LUIS ESCOBAR ALARCÓN Y MANUEL FERNÁNDEZ GUASTI

*Laboratorio de Optica Cuántica,
Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
Michoacán y Purísima s/n, Col. Vicentina,
Apartado postal 55-534, 04730, México, D.F.*

Recibido el 13 de septiembre de 1991; aceptado el 27 de enero de 1992

RESUMEN. Se describen diversos métodos químicos para procesar emulsiones holográficas. Estos procesos se dividen de acuerdo a la forma en que es blanqueada la emulsión de la placa o película holográfica. En cada caso se discuten las propiedades y características de los hologramas obtenidos; se presentan las fórmulas químicas de las soluciones utilizadas y los procedimientos a seguir.

ABSTRACT. Various methods of processing holographic emulsions are described. The processes are divided according to the way the emulsion is bleached. In each case, the properties and characteristics of the resulting holograms are discussed; the formulae for stock solutions and procedures are presented.

PACS: 42.40.Kw; 42.40.Ht

1. INTRODUCCIÓN

Cuando se procesa una emulsión holográfica de manera convencional, se obtiene un holograma de absorción, con la desventaja que su eficiencia de difracción es muy baja (del orden del 6%). La manera de aumentar la eficiencia de difracción de tales hologramas es blanqueándolos; por blanqueado se entiende que la información modulada en amplitud en el holograma (parte imaginaria del índice de refracción), se traduce a información modulada en fase (parte real del índice de refracción). Existen reportadas muchas y muy variadas técnicas para blanquear hologramas [1-5], sin embargo, una serie de problemas hacen que algunas técnicas de blanqueado sean extremadamente difíciles. Entre los problemas existentes podemos mencionar los siguientes: i) Blanquear un holograma es frecuentemente un proceso "artesanal" que requiere dedicar una cantidad de tiempo apreciable para familiarizarse con el proceso; ii) algunos procesos son difíciles de describir, esto hace que algunas técnicas reportadas en la literatura sean poco entendibles; iii) las técnicas de blanqueado son difícilmente reproducibles debido a que cada técnica involucra un gran número de parámetros que son difíciles de controlar (hay procesos que involucran 8 soluciones químicas); iv) en la mayoría de los procesos de blanqueado es difícil un estudio sistemático, debido en gran parte al problema de reproducibilidad; v) adicionalmente, y como consecuencia de lo anterior, frecuentemente se tiene que recurrir a un lenguaje poco formal para describir los procesos. En general, cualquiera de los problemas antes mencionados dificultan la optimización de los procesos de blanqueado.

El propósito de este trabajo es presentar algunas técnicas de blanqueado, haciendo una descripción detallada de las más recientes, así como la experiencia que los autores han adquirido al trabajar con las técnicas aquí presentadas. Para este propósito dividimos dichas técnicas en dos grupos. En el primer grupo, a manera de antecedentes, se consideran técnicas de blanqueado convencionales basadas en el revelador Kodak D-19, subdivididas a su vez en: a) blanqueado con ferricianuro de potasio, b) blanqueado de "inversión", c) blanqueado de tipo R-10; dado que estas técnicas son conocidas sólo se hará una descripción cualitativa de las mismas. En el segundo grupo se describen las características del revelador soviético GP-8 y se consideran dos técnicas de blanqueado que usan como base GP-8: a) blanqueado de tipo R-10, b) blanqueado con ferricianuro de potasio; dado que estas técnicas no son convencionales, se hace énfasis tanto en los procedimientos como en las características que presentan hologramas procesados de esta manera.

2. EL PROCESO DE BLANQUEADO

Debido a que en los hologramas de absorción, la amplitud de la luz incidente es modificada en el proceso de reconstrucción mediante la absorción por áreas oscuras en la emulsión revelada, tales hologramas tienen una eficiencia de difracción relativamente baja, del orden del 6% [6].

La eficiencia de difracción se define como

$$E = \frac{I_d}{I_i} \times 100,$$

donde I_i es la intensidad de la luz incidente e I_d es la intensidad de la luz difractada a uno de los órdenes.

La manera de aumentar la eficiencia de difracción de un holograma de absorción es convertirlo en un holograma de fase, esto se logra mediante un proceso de blanqueado.

Básicamente existen tres procesos involucrados en las técnicas para blanquear hologramas [7]: a) Procesos en los que se reemplaza la plata metálica en la emulsión revelada por partículas de alguna sal de plata con un índice de refracción distinto al de la gelatina que los contiene. En este caso, al reconstruir, las variaciones locales en el índice de refracción introducen "corrugaciones" en la onda de reconstrucción y en el proceso producen una réplica de la onda original del objeto. b) Procesos en los que la densidad neutral de la película ya revelada se transforma en relieve. En este caso, la variación espacial de la constante de absorción se convierte en una variación del espesor de la emulsión de acuerdo a la densidad neutral correspondiente en cada punto del holograma. c) Procesos en los que a partir de una emulsión de haluro de plata se simula gelatina dicromada. Bajo condiciones adecuadas (considerando efectos de volumen), la eficiencia de difracción de hologramas blanqueados podría alcanzar el límite teórico de 100% [6,8].

3. ANTECEDENTES

En las siguientes secciones se describen tres técnicas de blanqueado convencionales, en

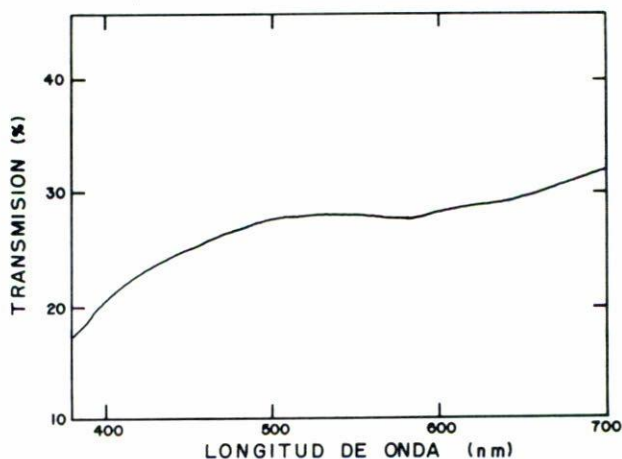


FIGURA 1. Curva de transmisión de una rejilla de difracción blanqueada con ferricianuro de potasio y revelada con D-19.

cada caso se mencionan las características generales de los hologramas procesados con cada una de ellas.

3.1. Proceso de blanqueado con ferricianuro de potasio

Los blanqueadores que contienen ferricianuro de potasio están entre los mejores para iniciarse en el uso de técnicas de blanqueado, ya que producen hologramas estables que exhiben alta eficiencia de difracción y relativamente bajo ruido (poco *scattering*), además de ser el proceso más simple y rápido para blanquear un holograma. Este proceso sustituye la plata metálica en la emulsión ya revelada por ferricianuro de plata, siendo este último compuesto transparente en la región visible del espectro.

El proceso a seguir con esta técnica de blanqueado se presenta en el procedimiento 1 del Apéndice I y la preparación de las soluciones químicas empleadas se encuentran en las fórmulas 1, 2 y 3 del Apéndice II.

Los hologramas obtenidos con esta técnica no son completamente transparentes (tienen un tinte amarillo). La Fig. 1 muestra la curva de transmisión de una de estas rejillas; para obtener estas curvas se usó un espectrofotómetro Perkin-Elmer lambda 5 UV/VIS.

Se hicieron un gran número de hologramas con diferentes exposiciones, en este caso la eficiencia es máxima para exposiciones que resulten en densidad neutral de la emulsión ya revelada entre el 1.5 y 2. Después de un periodo de varios meses, los hologramas blanqueados por este método prácticamente no se han degradado si están expuestos al aire. Sin embargo, se ha observado que cuando se mojan o humedecen comienzan a degradarse. Es posible que se degraden por absorción de humedad y/o bien que este hecho se deba a un proceso de oxidación, pues el agua al combinarse con el ferricianuro de plata produce, entre otros compuestos, óxido de plata, el cual absorbe fuertemente en la región visible del espectro.

3.2. Proceso de blanqueado de "inversión"

Este tipo de proceso reduce apreciablemente la dispersión causada por las franjas de baja frecuencia espacial debidas a la interferencia de la luz proveniente de una parte del objeto con luz proveniente de otra parte del mismo. Esto es debido a que las variaciones en el espesor de la emulsión son más pronunciadas a frecuencias espaciales bajas, de tal manera que se produce una cantidad excesiva de luz dispersada [9]; los efectos de relieve superficial tienden a cancelar los efectos de cambio de índice de refracción a frecuencias espaciales bajas y, por lo tanto, reducen la dispersión.

El proceso de blanqueado a seguir en este caso se presenta en el procedimiento 2 del Apéndice I, la preparación del blanqueador viene dado en las fórmulas 4, 5 y 6 del Apéndice II.

Para probar este proceso se hicieron distintos hologramas de transmisión con objetos varios, utilizando el haz de referencia plano. Se usó película Kodak SO173 y Agfa-Gevaert 10E75, siendo en todos los casos 2:1 la razón de intensidades referencia-objeto.

Este proceso dió como resultado un holograma con apariencia "blancuzca" en película Agfa-Gevaert 10E75 con base antihalo, sin embargo, en película Kodak SO173 sin base antihalo se obtiene un holograma transparente. La apariencia "blancuzca" se debe entonces a la base antihalo; si se desea quitar la base antihalo se debe bañar la película en metanol sin diluir durante 1 hora (obviamente en completa oscuridad). Durante este proceso el metanol adquiere un tinte azulado. Esto se puede hacer antes de exponer o después de hacerlo; sugerimos que se haga después de la exposición para evitar reflexiones múltiples. Los hologramas blanqueados con este método son más transparentes que los blanqueados con ferricianuro y de alta eficiencia de difracción y baja dispersión, sin embargo son menos eficientes que los blanqueados con R-10.

Una observación importante sobre este método es que cuando se utiliza película Agfa 10E75 y se procesa según el procedimiento 2 del Apéndice I, pero después de blanqueado se fija con un fijador convencional (Kodak F-7 por ejemplo), la información de la imagen contenida en el holograma se pierde.

3.3. Proceso de blanqueado de tipo R-10

Los hologramas en gelatina dicromada son de alta eficiencia de difracción y muy poca dispersión y absorción, pero al mismo tiempo presentan dos desventajas. Por un lado, la gelatina dicromada sólo es sensible a la radiación desde el ultravioleta hasta el verde, mientras que las emulsiones holográficas tienen en general respuesta pancromática. Por otro lado, la gelatina dicromada es bastante menos sensible que la emulsión holográfica (la placa Agfa 10E75 es aproximadamente 500 veces más sensible que la gelatina [10]) y por lo tanto requiere tiempos de exposición más largos.

Una manera de evitar estas desventajas es utilizar emulsión holográfica de haluro de plata para producir hologramas en la gelatina que alberga al haluro [11,12]. Esto se consigue removiendo el haluro de plata y la plata metálica utilizando un fijador y un blanqueador; una vez hecho esto se tiene una capa de gelatina. Para procesar el holograma de gelatina de haluro de plata se utilizó un blanqueador de tipo R-10 con bromuro de

potasio. En el Apéndice I, procedimiento 3, se presenta el proceso a seguir y en la fórmula 7 del Apéndice II, la preparación de la solución blanqueadora.

Para probar este proceso se hicieron rejillas de difracción en placa 8E75, se utilizó un láser de He-Ne de 15 mW de potencia. El plano de la placa era perpendicular al plano de los haces incidentes, el ángulo entre los haces fue de 6 grados, de tal manera que la densidad de líneas grabadas en la placa fue de 330 líneas/mm; una vez expuestos, se procesaron según el procedimiento 3 del Apéndice I. Después del blanqueado la apariencia de las rejillas es "blancuzca", esta apariencia se elimina al sumergir el holograma en la mezcla de agua y alcohol; la eficiencia aumenta durante el proceso, pero al llegar al fijador se observa una disminución bastante pronunciada en la eficiencia de difracción. Este método sólo da buenos resultados para hologramas (o rejillas) de baja frecuencia espacial, aproximadamente hasta 300 líneas/mm.

La ventaja fundamental de este tipo de proceso es que como resultado final se tiene una imagen en relieve, siendo éste muy apreciable, facilitando que posteriormente las rejillas puedan platearse o aluminizarse para usarse en reflexión. En nuestro caso, un par de estas rejillas se aluminizaron por evaporación en el Instituto de Astronomía de la UNAM, manteniéndose la eficiencia, aunque el ruido se incrementó.

4. PROCEDIMIENTOS Y RESULTADOS DE TÉCNICAS RECIENTES

Para evaluar cada uno de los procesos químicos descritos en las siguientes subsecciones, se obtuvieron hologramas y rejillas de difracción [13]; en ambos casos se usó un láser de He-Ne de 15 mW de potencia. Las exposiciones se hicieron sobre una mesa estable para aislar al sistema de vibraciones externas diseñada y construida en el laboratorio [14]. Se usaron espejos con planicidad menor de $\frac{\lambda}{10}$, un divisor de haz variable para elegir las intensidades relativas entre haz de referencia y haz de objeto, dos filtros espaciales marca NRC modelo 900. Para medir las intensidades se utilizó un exposímetro Gossen lunasix 3 y un medidor de potencia EG&G modelo 460-1A. Se utilizaron los siguientes tipos de placa y película holográfica: a) película Kodak SO173, b) película Kodak SO253, c) película Agfa-Gevaert 10E75, d) placa Agfa-Gevaert 8E75.

4.1. El revelador GP-8

El revelador soviético GP-8 [15] es un revelador de tipo físico-químico que contiene un solvente de haluro de plata (tiocianato de amonio), el cual, si la emulsión holográfica ha sido sobreexpuesta, produce plata coloidal en el proceso de revelado. La dificultad en el empleo de este revelador, radica en estimar el tiempo de exposición óptimo, a tal grado que éste debe determinarse por prueba y error siguiendo los siguientes criterios: a) cuando el holograma una vez revelado se observa en transmisión de color rojo y al reconstruir se obtiene una imagen brillante y bien definida, la exposición ha sido adecuada; el color rojo se debe a la producción de plata coloidal durante el proceso de revelado. b) Si el color observado en el holograma en transmisión es ligeramente gris, significa que en el revelado no hubo producción de plata coloidal y el holograma está subexpuesto. c) Cuando el holograma está sobreexpuesto, también se ve rojo en transmisión, pero

cuando se reconstruye, la imagen que se obtiene es muy poco eficiente y la emulsión muestra sobre su superficie un poco de plata depositada.

Cuando se procesa un holograma de reflexión, los criterios para determinar el tiempo de exposición son los siguientes: a) Si el holograma una vez procesado se ve negro cuando está mojado y plateado cuando está seco, la exposición fue correcta; b) si se ve gris cuando está mojado, entonces está subexpuesto; c) si es ligeramente café, está sobreexpuesto.

Es importante mencionar que los tiempos de exposición que se requieren si se usa este revelador son del orden de 10 veces mayores que si se utiliza como revelador el D-19. El revelador debe ser preparado justo antes de usarse y cambiarse a cada revelado, debido a que uno de los agentes reveladores (fenidona) se consume. El tiempo de vida de este revelador sin degradarse, en un envase sellado, es de aproximadamente 3 semanas, al cabo de las cuales adquiere un color amarillo.

Para probar este revelador se hizo un holograma de reflexión de dos pasos en placa Agfa-Gevaert 8E75. De las emulsiones utilizadas solamente ésta tiene la resolución adecuada (≥ 5000 líneas/mm) para hologramas de reflexión. La razón de intensidades haz de referencia-haz de objeto fue 2:1. El proceso de revelado se muestra en el procedimiento 4 del Apéndice I y la preparación del GP-8 se presenta en la fórmula 8 del Apéndice II.

Este tipo de revelador es particularmente recomendable para hologramas de reflexión por su alta resolución. En estos hologramas el periodo de la frecuencia espacial del holograma es cercana a la mitad de la longitud de onda de la luz utilizada.

4.2. Proceso de blanqueado de tipo R-10 con revelador GP-8

Tratando de optimizar el proceso de blanqueado de tipo R-10, se obtuvieron rejillas de difracción en placa holográfica Agfa 8E75. En este caso el ángulo entre los haces fue de 3.38 grados, de tal manera que la densidad de líneas grabada en la placa fue de 180 líneas/mm.

El proceso a seguir se presenta en el procedimiento 5 del Apéndice I y es básicamente el que se sigue para blanquear con R-10, excepto que modificamos el proceso químico en lo siguiente: por un lado, observamos que el baño en dicromato de amonio prácticamente no contribuía a mejorar la eficiencia de difracción de las rejillas, de tal manera que decidimos omitirlo; por otro lado, dado que al fijar la eficiencia se reducía, se optó por fijar primero y blanquear después, además de incorporar en un caso una solución preendurecedora. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: a) En el primer caso, sin endurecedor (el proceso se presenta en el procedimiento 5 del Apéndice I), la rejilla obtenida posee las características siguientes: a orden cero se transmite el 30.2% de la luz incidente, la eficiencia de difracción a primer orden difractado (orden +1) es de 17.0%; cabe mencionar que la rejilla obtenida presentaba 18 órdenes difractados. b) En el segundo caso, con endurecedor (se presenta el proceso en el procedimiento 6 del Apéndice I y la preparación del endurecedor en la fórmula 10 del Apéndice II), la rejilla obtenida tiene las siguientes características: a orden cero se transmite el 24.4% de la luz incidente, mientras que la eficiencia de difracción a primer orden (orden +1) era de 23.0%; el número de órdenes en esta rejilla era también de 18. De los resultados anteriores se observa que el proceso con endurecedor es más eficiente.

TABLA I. Se comparan las eficiencias de difracción de dos rejillas. En la rejilla 1 el tiempo de exposición es 5 veces mayor que el de la rejilla 2.

orden difractado	eficiencia de difracción rejilla 1	eficiencia de difracción rejilla 2
0	2.83%	24.46%
+1	21.14%	23.40%
+2	9.32%	3.13%
+3	2.64%	0.26%
+4	0.57%	0.05%
+5	0.13%	0.005%
+6	0.05%	—

El tiempo de exposición modifica las características de las rejillas procesadas de esta manera. En la Tabla I se comparan las eficiencias de difracción de dos rejillas obtenidas bajo las mismas condiciones, excepto que en una de ellas el tiempo de exposición es 5 veces mayor. Como puede observarse, a mayor exposición la eficiencia en los órdenes superiores aumenta, mientras que a orden cero disminuye apreciablemente. Por otro lado, también se incrementa el número de órdenes difractados. En este caso, la intensidad luminosa sobre la emulsión fue de 44 lux candela, medidos con el exposímetro Gossen, y el tiempo de exposición óptimo fue de 10 segundos; sobrepasando este valor, disminuye la eficiencia de difracción de manera notable.

Una característica que presentan estas rejillas de difracción es que son muy transparentes en toda la región del visible, de tal manera que se puede utilizar cualquier longitud de onda en el visible para reconstruir. La Fig. 2 muestra la curva de transmisión de una de estas rejillas; por otro lado, debido a su baja absorción, estos hologramas pueden emplearse con láseres de alta potencia sin que la rejilla sea afectada. Para probar lo anterior, se iluminó una de estas rejillas con un láser de argón de 3 watts con el haz sin expandir durante un período de 15 minutos y no se observó daño alguno en la rejilla; por el contrario, cuando se hizo lo anterior con rejillas blanqueadas con ferricianuro de potasio, al cabo de unos segundos se quema la emulsión y, por tanto, se destruye la información que se tenía grabada.

La suma de las eficiencias de difracción de todos los órdenes ($+n$ y $-n$) en transmisión, es aproximadamente de 70% cuando la exposición es óptima (véase Tabla I, rejilla 1); en reflexión se observa un patrón de difracción similar aunque con menor intensidad. La suma de ambas contribuciones se estimó aproximadamente de 90%, siendo este valor cercano al límite teórico.

Este tipo de proceso mantiene las características antes mencionadas a baja frecuencia espacial, del orden de hasta 300 líneas/mm; a mayor frecuencia espacial la eficiencia de difracción disminuye.

Estas rejillas de alta eficiencia de difracción y baja absorción son atractivas para utilizarse intracavidad en láseres de pigmento orgánico, sin embargo su limitante es la densidad de líneas que se pueden grabar.

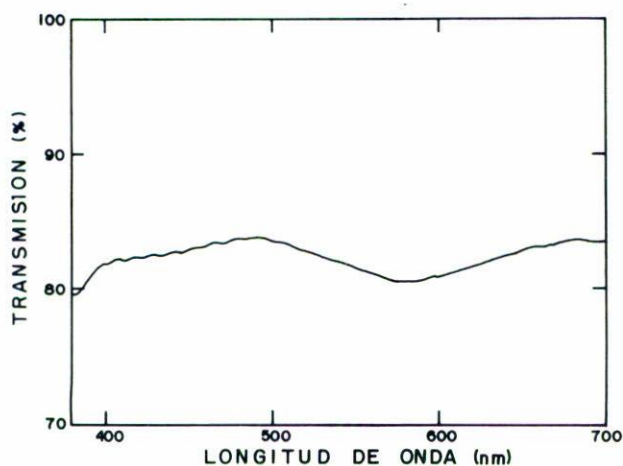


FIGURA 2. Curva de transmisión de una rejilla de difracción blanqueada con R-10 y revelada con GP-8.

4.3. Blanqueador de ferricianuro con revelador GP-8

Debido a las ventajas que presentaba el revelador GP-8 de producir hologramas con una alta eficiencia de difracción y bajo ruido, se probó el efecto que se conseguía al blanquear con ferricianuro de potasio hologramas revelados con GP-8. Después de realizar un gran número de pruebas, se observó que la eficiencia de difracción y el ruido dependen fuertemente del método de secado, se optó entonces por secar con un baño de alcohol isopropílico. Asimismo, se probaron soluciones de ferricianuro de potasio solamente y ferricianuro de potasio con bromuro de potasio, encontrándose que esta última solución blanqueadora daba mejores resultados porque reduce el esparcimiento (*scattering*).

Se obtuvieron rejillas de difracción bajo las mismas condiciones que en la sección anterior con los siguientes resultados: a orden cero se transmite el 6.5% del haz incidente, la eficiencia de difracción a primer orden (orden +1) es del 25.75%. A diferencia de los hologramas obtenidos en la Sec 3.1, los obtenidos con este último proceso prácticamente no tienen esparcimiento (*scattering*) y son más transparentes. En comparación con el proceso descrito en la Sec. 4.2, estos hologramas tienen menor transparencia, aunque su eficiencia de difracción a primer orden es similar, en este caso su apariencia es ligeramente azul. La Fig. 3 muestra el espectro de transmisión de esta rejilla; como se observa, tiene un máximo en 492 nm, de tal manera que la longitud de onda de reconstrucción óptima coincide con la emisión de un láser de argón en lugar de uno de He-Ne, pues la emisión de este último está muy próxima al mínimo en transmisión que presenta la rejilla.

El proceso seguido en este caso se muestra en el procedimiento 7 del Apéndice I y la preparación de la solución blanqueadora se da en la fórmula 9 del Apéndice II. En la Tabla II se muestra la eficiencia de difracción para cada uno de los órdenes difractados por esta última rejilla; como puede observarse, el orden +1 es el más eficiente, mientras que el orden 0 es inclusive menor que el orden +2. La ventaja principal del proceso es que permite altas frecuencias espaciales, del orden de 2000 líneas/mm.

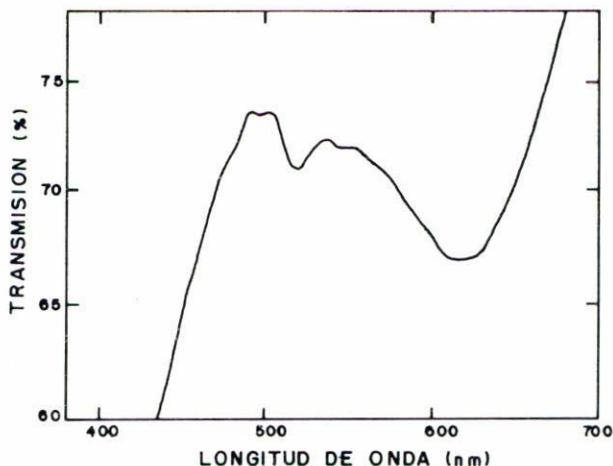


FIGURA 3. Curva de transmisión de una rejilla de difracción blanqueada con ferricianuro de potasio y revelada con GP-8.

TABLA II. Se muestra la eficiencia de difracción para cada uno de los órdenes difractados por una rejilla de difracción con ferricianuro de potasio y revelada con GP-8.

orden difractado	eficiencia de difracción
0	6.50%
+1	25.75%
+2	7.98%
+3	2.52%
+4	0.60%
+5	0.11%
+6	0.024%

5. CONCLUSIONES

Las técnicas de blanqueado que usan como base el revelador soviético GP-8 producen hologramas más eficientes que aquéllos basados en el revelador Kodak D-19. Para frecuencias espaciales bajas (de hasta 300 líneas/mm), los blanqueadores de tipo R-10 con endurecedor presentan eficiencias de difracción cercanas al límite teórico [procedimiento 6]. Como complemento, para frecuencias espaciales altas (mayores de 300 líneas/mm), el blanqueador de ferricianuro de potasio [procedimiento 7] tiene mayor eficiencia que el R-10, aunque en este caso existe un compromiso entre transparencia del holograma blanqueado y frecuencia espacial grabada.

AGRADECIMIENTOS

Deseamos hacer patente nuestro reconocimiento a los físicos Roger Cudney B., Pablo Habychain P. y Juan Martínez S., sin cuya labor este trabajo no hubiese sido posible.

También queremos agradecer al Dr. Emmanuel Haro P. sus valiosos comentarios para mejorar el manuscrito y a Carlos García G. por su apoyo técnico.

APÉNDICE I

Se presentan los procedimientos a seguir con cada uno de los procesos. Se sugiere que el manejo de los químicos se haga con guantes, debido a que algunas sustancias manchan las manos.

PROCEDIMIENTO 1.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador Kodak D-19	5 minutos	oscuro
2	baño detenedor	30 segundos	oscuro
3	fijar en fijador Kodak F-7	5 minutos	oscuro
4	lavar en agua corriente	5 minutos	luz ambiente
5	blanquear en ferricianuro de potasio	1 minuto	luz ambiente
6	lavar en agua corriente	10 minutos	luz ambiente
7	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 2.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador Kodak D-19	5 minutos	oscuro
2	baño detenedor	30 segundos	oscuro
3	enjuagar en agua corriente	1 minuto	oscuro
4	blanquear en blanqueador Kodak R-9	3 minutos	luz roja
5	lavar en agua corriente	1 minuto	luz roja
6	baño en solución A	1 minuto	luz roja
7	baño en solución B	1 minuto	luz roja
8	lavar en agua corriente	5 minutos	luz ambiente
9	bañar en una solución 1:1 de agua destilada y metanol	1 minuto	luz ambiente
10	bañar en alcohol isopropílico	1 minuto	luz ambiente
11	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 3.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador Kodak D-19	5 minutos	oscuro
2	baño detenedor	30 segundos	oscuro
3	enjuagar en agua corriente	1 minuto	oscuro
4	blanquear en blanqueador Kodak R-10	después que se "aclara", 1 minuto	luz roja
5	lavar en agua corriente	1 minuto	luz roja
6	baño de dicromato de amonio al 0.5%	3 minutos	luz roja
7	fijar en fijador Kodak F-7	3 minutos	luz roja
8	lavar en agua corriente	10 minutos	luz ambiente
9	enjuagar en agua destilada	3 minutos	luz ambiente
10	baño en solución 50/50 de agua destilada y alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
11	baño en alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
12	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 4.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador GP-8	3 minutos	oscuro
2	lavar en agua corriente	2 minutos	oscuro
3	fijar en fijador Kodak F-7 (opcional)	2 minutos	oscuro
4	lavar en agua corriente	5 minutos	luz ambiente
5	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 5.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador GP-8	3 minutos	oscuro
2	enjuagar en agua corriente	1 minuto	oscuro
3	fijar en fijador Kodak F-7 (opcional)	2 minutos	luz roja
4	blanquear en blanqueador Kodak R-10	después que se "aclara", 1 minuto	luz ambiente
5	lavar en agua corriente	10 minutos	luz ambiente
6	enjuagar en agua destilada	3 minutos	luz ambiente
7	baño en solución 50/50 de agua destilada y alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
8	baño en alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
9	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 6.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador GP-8	3 minutos	oscuro
2	enjuagar en agua corriente	1 minuto	oscuro
3	fijar en fijador Kodak F-7 (opcional)	2 minutos	luz roja
4	lavar en agua corriente	10 minutos	luz ambiente
5	baño preendurecedor	3 minutos	luz ambiente
6	lavar en agua corriente	2 minutos	luz ambiente
7	blanquear en blanqueador Kodak R-10	5 minutos	luz ambiente
8	lavar en agua corriente	10 minutos	luz ambiente
9	enjuagar en agua destilada	3 minutos	luz ambiente
10	baño en solución 50/50 de agua destilada y alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
11	baño en alcohol isopropílico	3 minutos	luz ambiente
12	secar por aire		luz ambiente

PROCEDIMIENTO 7.

Paso	Descripción	Tiempo	Iluminación
1	revelar en revelador GP-8	3 minutos	oscuro
2	lavar en agua corriente	2 minutos	oscuro
3	fijar en fijador Kodak F-7 (opcional)	2 minutos	oscuro
4	blanquear en ferricianuro de potasio	2 minutos	luz ambiente
5	lavar en agua corriente	5 minutos	luz ambiente
6	secar por aire		luz ambiente

APÉNDICE II

Se presentan las fórmulas de las soluciones químicas utilizadas. En cada caso los químicos utilizados son químicamente puros; también en todos los casos los químicos se deben disolver en el orden indicado.

FÓRMULA 1.

Revelador Kodak D-19	
Agua a 50°C	500 ml.
Elon	2 grs.
Sulfito de sodio	90 grs.
Hidroquinona	8 grs.
Carbonato de sodio	52.5 grs.
Bromuro de potasio	5 grs.
Aforar con agua fría a	1000 ml.

FÓRMULA 2.

Fijador Kodak F-7	
Tiosulfato de sodio	360 grs.
Cloruro de amonio	50 grs.
Sulfito de sodio	15 grs.
Acido acético glacial	13 ml.
Acido bórico en cristales	7.5 grs.
Alumbre de potasio	15 grs.
Agua a completar	1000 ml.

FÓRMULA 3.

Blanqueador de ferricianuro de potasio	
Ferricianuro de potasio	15 grs.
Agua destilada	1000 ml.

FÓRMULA 4.

Blanqueador R-9	
Agua destilada	1000 ml.
Dicromato de potasio	9.5 grs.
Acido sulfúrico concentrado	1.4 ml.

Nota: Se debe tener cuidado con el ácido sulfúrico, éste se debe añadir lentamente a la solución y se debe agitar constantemente para evitar que al hacer contacto con el agua el ácido "hierva" y salpique.

FÓRMULA 5.

Solución A	
Agua destilada	750 ml.
Permanganato de potasio	2.5 grs.
Acido sulfúrico concentrado	8.0 ml.
Aforar con agua destilada a	1000 ml.

FÓRMULA 6.

Solución B	
Agua destilada	750 ml.
Bisulfito de sodio	10.0 grs.
Aforar con agua destilada a	1000 ml.

FÓRMULA 7.

Blanqueador R-10	
Solución 1	
Agua destilada	50 ml.
Dicromato de amonio	2.0 grs.
Acido sulfúrico concentrado	1.4 ml.
Aforar con agua destilada a	100 ml.
Solución 2	
Bromuro de potasio	4.2 grs.
Aforar con agua destilada a	100 ml.

Preparación de la solución de trabajo: Justo antes de usarse, mezclar una parte de la solución 1 con 10 partes de agua destilada y entonces mezclar una parte de 2 con la solución diluida de 1.

FÓRMULA 8.

Revelador GP-8	
Fenidona	0.015 grs.
Sulfito de sodio	10.0 grs.
Hidroquinona	0.5 grs.
Hidróxido de potasio	1.06 grs.
Tiocianato de amonio	2.4 grs.
Aforar con agua destilada a	100 ml.

Nota: Es muy importante usar las cantidades indicadas en la fórmula, el contenido de fenidona es particularmente crítico.

Preparación de la solución de trabajo: Antes de usarse, se mezclan 6 ml. de GP-8 con 45 ml. de agua destilada.

FÓRMULA 9.

Blanqueador de ferricianuro de potasio con bromuro de potasio	
Ferricianuro de potasio	8 grs.
Bromuro de potasio	7 grs.
Agua destilada	1000 ml.

FÓRMULA 10.

Endurecedor	
Sulfito de sodio anhidro	75 grs.
Acido acético al 28%	235 ml.
Acido bórico en cristales	37.5 grs.
Alumbre de potasio	75 grs.
Agua a completar	1000 ml.

REFERENCIAS

1. A. Graube *Appl. Opt.* **13** (1974) 2942.
2. J. Upatnieks and C. Leonard, *Appl. Opt.* **8** (1969) 85.
3. V. Russo and S. Sottini, *Appl. Opt.* **7** (1968) 202.
4. J. N. Latta, *Appl. Opt.* **7** (1968) 2409.
5. C.B. Burckhardt and E.T. Doherty, *Appl Opt.* **8** (1969) 2479.
6. H. Kogelnik, in *Proceedings of the Symposium on Modern Optics*, J. Fox Ed., Polytechnic Press, Brooklin (1967).
7. R.T. Collier, C.B. Burckhardt and L.H. Lin, *Optical Holography*, Academic Press, New York (1975).
8. C.B. Burckhardt, *J. Opt. Soc. Amer.* **57** (1967) 601.
9. W.T. Cathey, *Optical processing and holography*, John Wiley and Sons, New York (1974).
10. R.A. Bartolini, *SPIE* **123** (1977) 2.
11. B.J. Chang and K. Winick, *SPIE* **215** (1980) 172.
12. S.P. Mc Grew, *SPIE* **215** (1980) 24.
13. L. Escobar, *Holografía*, Reporte Interno. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa (1986).
14. M. Fernández, R. Cudney, *Rev. Mex. Fís.* **33**, 4 (1988) 631.
15. A.E. Ennos (comunicación privada).
16. R. Shehadi, *Química para fotógrafos y formulario*, Universidad Veracruzana (1984).