

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE CIENCIAS



**DESARROLLO DE MATERIALES
HOLOGRAFICOS : TECNICA DE GELATINA
DICROMATADA Y PELICULAS DE ASFALTO**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
LICENCIADO EN FÍSICA

PRESENTADO POR:

DANIEL HUAMANI HUARANJA

LIMA – PERÚ

2006

RESUMEN

El presente trabajo de investigación presentado como el "Desarrollo de materiales holográficos: Técnica de gelatina dicromatada y películas de asfalto", se realizó cumpliendo etapas graduales establecidas para obtener dichos materiales holográficos; primeramente se tuvo que recopilar información acerca de materiales que son usados para el desarrollo de películas holográficas, con esta información se tuvo que usar materiales que existen en el mercado local ya que sus precios con mas baratos. Una vez elegido los materiales se realizó experiencias previas con la finalidad de obtener resultados y asimismo hacer evaluaciones primarias y definir los problemas encontrados. Con esta primera parte se obtuvo películas de gelatina dicromatada y de asfalto que eran sensibles a la luz solar. En segundo lugar se tuvo que hallar el tiempo de exposición al láser U.V y al láser rojo; en esta parte se varió parámetros tales como la concentración de la gelatina, concentración de la brea, temperatura de revelado, y así otros mas, como la calibración del equipo; usando el método y la técnica adecuada se logra controlar estos parámetros. Un tercer problema era mantener la imagen grabada "imagen latente" , se logró resolver cuando se encontró un método apropiado de revelado y fue éste encontrado y realizado en las mejores condiciones.

En sus inicios estas películas sensibilizadas de asfalto eran expuestas a la luz solar durante 4 días, luego 3 días, 2 días, luego se encontró una técnica adecuada que logra exponerla durante una hora y esta exposición se realizó en el laboratorio. Con respecto a las películas de gelatina dicromatada, éstas inicialmente fueron expuestas durante 3 horas al láser U.V., luego se encontró una técnica de desarrollo para estas películas lográndose exponerla ahora en un tiempo de 10 a 20 minutos. Con respecto a la gelatina dicromatada sensible al láser rojo, ésta fue

irradiada al inicio durante 2 días en el equipo holográfico vertical del laboratorio de Óptica, luego encontrando la técnica adecuada se ha logrado optimizar esta exposición hasta un tiempo de 0.5 hora.

Finalmente, se puede decir que se logró el objetivo esperado de obtener materiales holográficos realizados con asfalto y gelatina dicromatada, el espesor de la gelatina dicromatada encontrada fue de $17.7\mu\text{m}$ y la separación entre rendijas de la rejilla holográfica de $4.94\ \mu\text{m}$. Con respecto al espesor de la película de asfalto fue de $0.893\ \mu\text{m}$. y su separación entre rendijas de la rejilla de la película holográfica de $22.76\ \mu\text{m}$.

INDICE

	Pág.
Resumen	
I. Introducción	1
I.A Objetivo	2
A.1 Objetivos generales	2
A.2 Objetivos específicos	2
II. Fundamento teórico	
II.A Principio holográfico	3
II.B Tipos de hologramas	5
B.1 Holograma de transmisión	
B.2 Holograma de reflexión	
II.C Frecuencia espacial	6
II.D Red holográfica de difracción	7
II.E Sensibilidad de las capas fotográficas	8
E.1 Acción de la gelatina	8
E.2 Característica de la gelatina	9
E.2.1 Cólageno	
E.2.2 Conversión del colágeno a la gelatina	
E.2.3 Congelación y el derretir de geles	
E.2.4 Hinchazón de la capa de gelatina	
II.F Gelatina dicromatada	14
F.1 Términos fotoquímicos	14
F.2 Capas coloidales del dicromato	15
F.3 Cualidades de la gelatina	16
F.4 Teorías del proceso	18

II.G Asfalto	19
G.1 Imagen Latente en el asfalto	22
II.H Interferencia	23
H.1 Interferencia de dos fuentes de luz sincrónicas	23
H.1.1 Interferencia constructiva	26
H.1.2 Interferencia destructiva	26
III. Parte Experimental	29
III.A Preparación y desarrollo de las películas holográficas sensibles al U.V.	
A.1 Materiales para el U.V.	29
A.2 Soluciones sensibles para el U.V.	29
A.3 Procedimiento experimental para el U.V.	30
A.3.1 Formando la emulsión gelatinosa	
A.3.2 Sensibilizando la emulsión gelatinosa	
A.3.3 Proceso de secado	
A.3.4 Proceso de exposición a la luz U.V.	
A.3.5 Proceso de revelado	
A.3.6 Proceso de secado	
A.4 Descripción de la parte experimental realizados para el U.V.	33
A.4.1 Preparación del dicromato de gelatina	33
A.4.2 Verificando la sensibilidad al U.V.	34
A.4.3 Calibración del equipo de holografía	35
A.4.4 Registros sobre la película holográfica	35
A.4.5 Influencia de la fuente de comportamiento	36
A.4.6 Revelado	36
A.4.7 Hinchamiento de la gelatina	37
A.4.8 Endurecimiento de la emulsión	38

A.4.9 Lavado y secado	39
III.B Preparación y desarrollo de las películas holográficas sensibles al láser rojo.	40
B.1 Materiales para el desarrollo de películas sensibles al láser rojo.	40
B.2 Soluciones que se usaron en la gelatina para la sensibilidad al láser rojo	40
B.3 Procedimiento experimental	41
B.3.1 Formando la emulsión gelatinosa	
B.3.2 Sensibilizando la emulsión gelatinosa	
B.3.3 Proceso de bañado sobre el sustrato	
B.3.4 Proceso de secado	
B.3.5 Proceso de incidencia del láser rojo sobre la muestra preparada.	
B.3.6 Proceso de revelado	
B.4 Descripción de la parte experimental	44
B.4.1 Sensibilización para el área espectral roja	
B.4.2 Las características de la muestra.	
III.C Preparación y desarrollo de las películas holográficas asfaltadas	
C.1 Materiales para el asfalto	46
C.2 Soluciones para el asfalto	46
C.3 Procedimiento experimental para el desarrollo de películas de asfalto	47
C.3.1 Preparación de la emulsión betuminosa	
C.3.2 Proceso de la formación de la película betuminosa	
C.3.3 Proceso de secado	

C.3.4	Proceso de exposición a una fuente de luz	
C.3.5	Proceso de revelado	
C.3.6	proceso de secado	
III.D	Descripción de los materiales utilizados	51
D.1	Soporte holográfico	51
D.2	Material fotosensible	51
D.3	La emulsión de gelatina	51
D.4	Material óptico	52
D.5	Equipamiento	53
D.5.1	Láser	
D.5.2	Luz	
D.5.3	Cámara oscura	
IV.	Resultados	55
IV.A	Descripción cuantitativa de las muestras obtenidas.	
IV.B	Fotografías de películas de gelatina dicromatada y películas de	
C.1	asfalto	
IV.C	Diagrama de bloques de la técnica de gelatina dicromatada (U.V.).	
IV.D	Diagrama de bloques de la técnica de gelatina dicromatada	
C.2	sensible al láser rojo.	
IV.E	Diagrama de bloques de la técnica de películas de asfalto.	
IV.F	Caracterización óptica de la muestra (asfalto)	
F.1	Distancia entre las rendijas de una rejilla	
V.	Conclusiones y Recomendaciones	65
V.A	Para la muestra sensible al U.V.	66
V.B	Para la muestra sensible al láser rojo (visible)	66
V.C	Para la muestra betuminosa o asfáltica	66

V.D Fallos de la imagen debido a la gelatina.	67
V.E Cualidades de la gelatina	68
VI. Bibliografía	69
Anexo A	73
A.1 Aplicaciones	
A.1.1 La holografía de exhibición	
A.1.2 La holografía como instrumento de medida	
A.1.3 La holografía como almacén de información	
A.1.4 La holografía como dispositivo de seguridad	
Anexo B	76
B.1 Emisores de luz / reacciones fotoquímicas	
B.2 Reacciones fotoquímicas	
B.2.1 Fotoquímica	
B.2.2 Leyes fundamentales	
Anexo C	80
C.1 Difracción	
C.2 Difracción de Fraunhofer por dos rendijas paralelas iguales	
C.3 Difracción por rendijas múltiples.	
Anexo D	86
D.1 Seguridad y características físicas del dicromato de potasio y del alcohol isopropílico.	
D.1.1 Dicromato de potasio	
D.1.2 Alcohol isopropílico.	
Anexo E	89
E.1 Montajes de los equipos utilizados	

I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, de naturaleza experimental, consiste en la elaboración y optimización de materiales fotosensibles para su aplicación en holografía.

Estos materiales con superficies sensibilizadas en sus orígenes, han sido investigados de tal manera que se proponía obtener imágenes visibles y permanentes de objetos sobre dicha superficie por la acción de la luz, sin tener que pintar o dibujar el objeto sobre dicha superficie. Para ello prepararon superficies sensibilizadas sensibles a la luz, estas preparaciones lo realizaron inicialmente con el cloruro de plata, el cual se ennegrecía por acción de la luz (J.H. Shulze 1727), también intentaron con el nitrato de plata y fueron así perfeccionándose, logrando así la impresión, luego tuvieron un segundo problema, pues ellos aún desconocían la manera de eliminar el material sensible residual, de modo que la luz oscurecía pronto las zonas no impresionadas y borraba la imagen.

También se había intentado emplear la cámara oscura, combinando por primera vez la óptica con la química, pero sin conseguir resultados positivos.

En 1819 J. Herschel logró descubrir que el tiosulfato sódico disuelve el cloruro de plata, el cual fue posteriormente (1839) recomendado como agente fijador, para disolver las sales de plata que no habían sufrido la acción de la luz.

En 1816 Joseph Nicephore tenía dificultad en fijar las imágenes en papel sensible; sin embargo, años mas tarde (1827) logró obtener la fotografía mas antigua, es decir en una placa de peltre (aleación de cinc, plomo y estaño) pulida fue pulverizada con una mezcla de asfalto y luego fue expuesta durante 8 horas y notó que en las zonas de luz, el betún se endureció y se blanqueó según la intensidad de luz recibida y las zonas no endurecidas fueron limpiadas con disolventes de petróleo; así como se logró con el asfalto, intentaron

buscando materiales sensibles. Posteriormente lograron obtener respuestas en coloides sensibilizados, compuestos orgánicos, especialmente colorantes, así como compuestos de plata del grupo de los haluros.

Ahora, el tema de trabajo de investigación del desarrollo y elaboración de materiales fotosensibles ha sido realizado debido a que con respecto al asfalto, la física de este material aún no está del todo bien estudiada, también se requiere la difusión y el desarrollo de los sistemas holográficos. Asimismo, estos materiales holográficos tienen un costo muy alto y son difíciles de conseguir actualmente en el mercado local.

I.1 Objetivo

En el presente trabajo de investigación se ha tenido que seleccionar los materiales a usar, luego obtener métodos apropiados con la finalidad que estas muestras sean elaboradas en las mejores condiciones.

I.1.1 Objetivos generales:

Obtener el método de elaboración de materiales fotosensibles aplicados a la holografía.

I.1.2 Objetivos específicos:

a) Encontrar la técnica para desarrollar materiales fotosensibles realizada con gelatina dicromatada para aplicarlas en holografías.

b) Encontrar la técnica para obtener películas de asfalto fotosensibles para aplicarlas en holografías.

II. FUNDAMENTO TEÓRICO

II.A PRINCIPIO HOLOGRAFICO

La holografía consiste en la utilización del fenómeno de interferencia como mecanismo para codificar y guardar información. Un objeto iluminado con luz láser refleja un frente de ondas luminosas coherentes las cuales poseen información acerca del objeto. Esta información está asociada a la amplitud y a la fase de la onda. Con la holografía se consigue guardar toda la información contenida en una frente de ondas coherentes, o sea, se consigue guardar la amplitud y también la fase de la onda. Para tal, se utiliza una fuente coherente de fondo como referencia que va a interferir con la frente de ondas objeto [8]. Conforme muestra la Fig. 1, el soporte holográfico recibe dos haces de luz coherente: un haz proveniente del objeto a ser holografiado, fo , y un haz de referencia proveniente directamente del láser, fr .

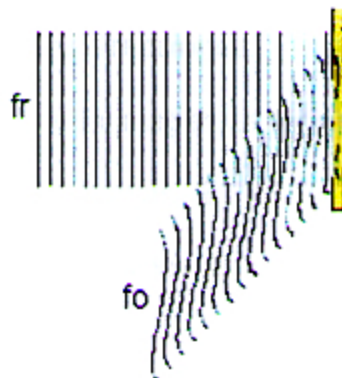


Figura 1. Formación del patrón de interferencia en el soporte holográfico.[8]

El que queda sensibilizado en el soporte holográfico son franjas de interferencia. Las franjas son el resultado de una diferencia de espesor en la emulsión causada por la exposición o no a la luz, debido a la interferencia.

La configuración de las franjas y la proximidad de ellas (frecuencia espacial) se debe a la forma y posición del objeto en relación al soporte holográfico, y consecuentemente, al ángulo entre el haz de referencia y el haz del objeto.

Como no hay pérdida de información, en la reconstrucción de la imagen se va a obtener nuevamente toda la onda objeto (amplitud y fase) tal como ella era. Así el objeto aparece como si allí estuviera, o sea, aparece a 3D y en la perspectiva en que se encontraba.

Se verifica pues que cada punto del holograma posee toda la información del objeto y que todo el holograma posee información de un solo punto del objeto [8]. Tal hecho puede demostrarse, tapando parte de un holograma que al ser observado revela en la misma toda la imagen del objeto.

En la visualización del holograma, las franjas grabadas van a funcionar como una red de difracción. Ocurre una difracción de orden cero y dos de primer orden, formándose así dos imágenes: una imagen real y otra imagen virtual. Las imágenes son tridimensionales porque son formadas por la intercepción de ondas venidas de diferentes direcciones.

De referir que la calidad de la imagen es función del tamaño de la placa y de la frecuencia espacial de las franjas. El tipo de soluciones utilizado durante la revelación así como el tipo de procesamiento químico también tienen influencia en el resultado del holograma.

II.B TIPOS DE HOLOGRAMAS

Existen varias técnicas de registro holográfico, indicaremos dos tipos básicos en la holografía:

B.1 HOLOGRAMA DE TRANSMISIÓN

En el registro de un holograma de transmisión (Fig. 2), el haz de luz del objeto y el de referencia se juntan del mismo lado de la película holográfica.

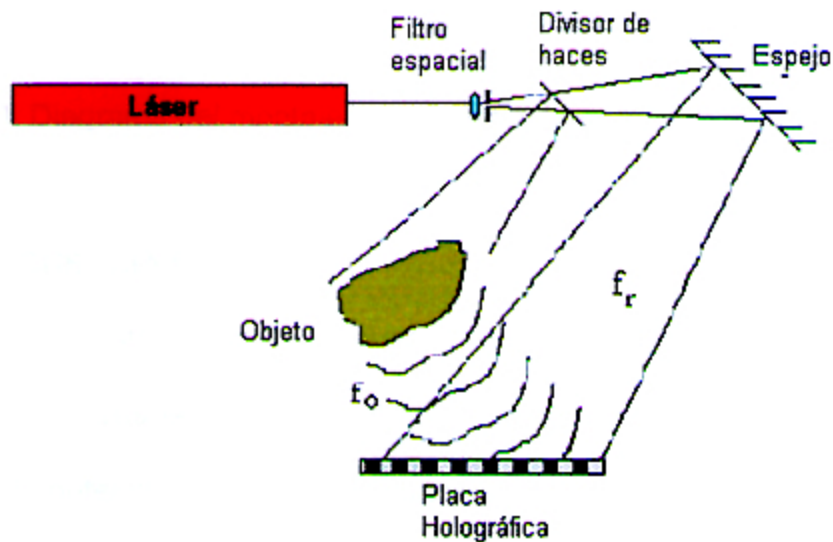


Figura 2 Diagrama del montaje experimental para holograma de transmisión.[8]

B.2 HOLOGRAMA DE REFLEXIÓN

En el registro de un holograma de reflexión o holograma Denisyuk (Fig. 3), el haz de luz del objeto y el de referencia se juntan, venido de lados opuestos de la película holográfica.

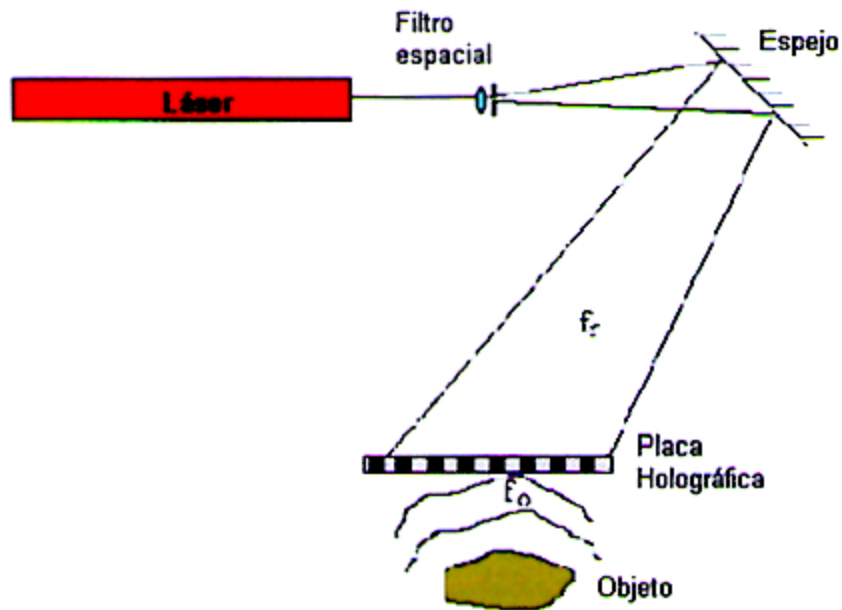


Figura 3. Diagrama del montaje experimental para holograma de reflexión [8].

II.C FRECUENCIA ESPACIAL

Durante el registro de un holograma, si la longitud de onda del láser utilizado fuera λ , entonces la separación d entre los franjas del patrón de interferencia (Fig. 4) es obtenida a partir de la ecuación de Bragg [8]:

$$d = \frac{\lambda}{\text{sen } \theta_r + \text{sen } \theta_o}$$

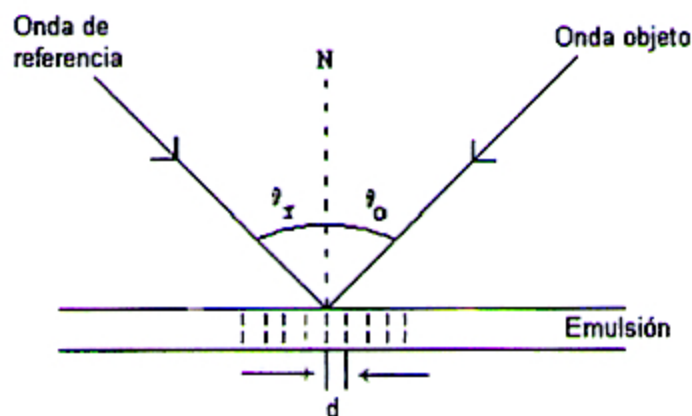


Figura 4. Representación de los ángulos de los Rayos de luz incidentes con la normal a la película/placa holográfico(a).

Ahora, como la frecuencia espacial, f_s , es el inverso de la distancia entre las franjas; lo determinaremos así:

$$f_s = \frac{1}{d}$$

$$f_s = \frac{\text{sen } \theta_r + \text{sen } \theta_o}{\lambda}$$

II.D RED HOLOGRÁFICA DE DIFRACCIÓN

Si registramos el patrón de interferencia entre dos frentes de ondas planas, obtenemos un holograma elemental, constituido por rayas planas equidistantes, distanciadas de la orden de la longitud de onda media (Fig. 5). Esto significa que para grabar una red holográfica de difracción necesitamos que el haz de luz del objeto sea igual al de referencia. Tal situación se puede obtener utilizando un espejo como objeto (Fig. 6).

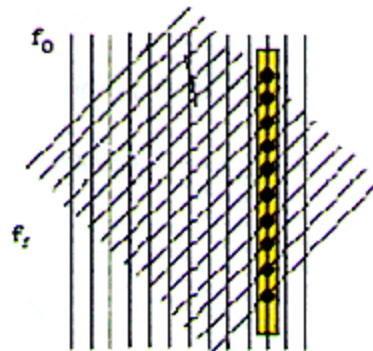


Figura 5. Formación del patrón de interferencia entre dos frentes de ondas planas - holograma elemental [8].

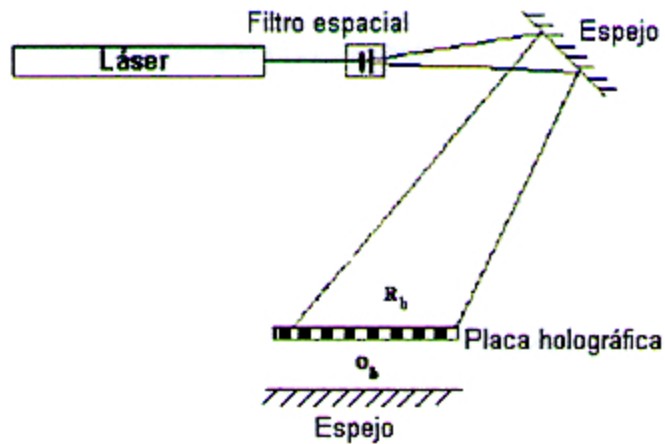


Figura 6. Diagrama experimental para grabación de redes holográficas de difracción por reflexión [8].

II.E SENSIBILIDAD DE LAS CAPAS FOTOGRÁFICAS

En esencia, una capa sensible es una suspensión de cristales que puede ser el dicromato de potasio en la gelatina que le sirve de soporte. La preparación de una emulsión se lleva a cabo mezclando la solución de dicromato de potasio con gelatina. La gelatina permite mantener el precipitado en suspensión del dicromato de potasio.

Generalmente la emulsión depende de la concentración del dicromato de potasio, y de la temperatura en la cual se esta preparando. Asimismo, el elemento esencial de la capa sensible es el grano del cromo.

E.1 ACCION DE LA GELATINA

La gelatina desempeña un papel mecánico importante, al impedir la aglomeración de los granos durante la precipitación y también al servir de aglutinante para mantenerlos en la superficie del soporte sobre la película acabada. Además tiene la ventaja de ofrecer una permeabilidad suficiente para la

penetración en la capa de los constituyentes de los baños de revelado y fijado, sin que sea demasiado frágil cuando está mojada.

Pero la gelatina desempeña dos papeles aún más fundamentales, ya que contribuye a proteger los granos absorbiéndose en su superficie y evitando así que se revelen espontáneamente, aún sin estar expuestos a la luz, y aporta a los cristales de dicromato de potasio ciertas impurezas que, son necesario para la exaltación de su sensibilidad. El factor principal en la fabricación de una emulsión fotográfica radicaba en la adecuada elección de la gelatina.

E.2 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA GELATINA

Las partículas sensibles a la luz en una emulsión fotográfica se suspenden normalmente en la gelatina, la cual es un medio de dispersión excelente para los granos sensibles (dicromato de potasio) y las imágenes reveladas. Permite la penetración rápida de las soluciones en los procesos, asimismo se puede obtener claridad muy buena en la película formada y gran capacidad de gelificarse.

La gelatina es un medio de suspensión, que permite obtener humedades bajas y a la tendencia de modificar sus propiedades formando así películas.

La gelatina es el colágeno manufacturado, su fabricación ocurre de componentes de proteínas, principalmente de la piel, del hueso, y de ciertos tejidos finos de animales.

E.2.1 Colágeno

Aunque el colágeno es insoluble en agua, demuestra solubilidad leve al ser diluido en ácido, sal, o en las soluciones alcalinas. El colágeno es una proteína

estructural extracelular del hueso y del tejido conjuntivo; se disuelve con dificultad y es resistente al ataque de las sustancias químicas.

El colágeno esta compuesto de α -amino ácidos conectados junto con la familia de los péptido.

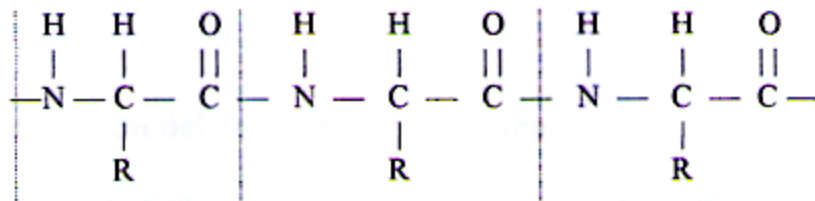


Figura 7. Estructura química típica de la molécula del colágeno [19].

El colágeno es inusual entre las proteínas en tener un alto contenido de los amino ácidos , proline y de la hidroxiprolina, contiene la siguiente estructura [19],

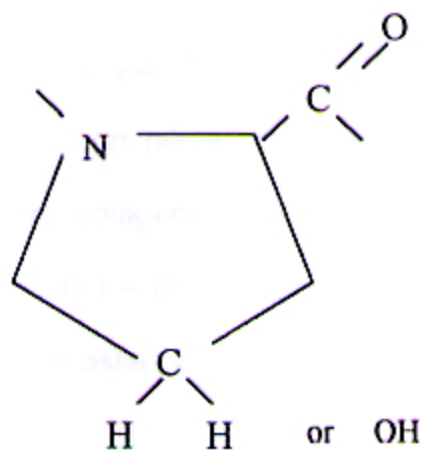


Figura 8. Estructura de una cadena cerrada del colágeno [19]

El colágeno sólido tiene una estructura fibrosa, y se puede subdividir para dar fibrillas más pequeñas; el ácido, la base, o aún las soluciones de sal solubilizarán las fracciones pequeñas del colágeno total.

El colágeno consiste de tres cadenas polipéptida, cada uno de las cuales tiene una estructura helicoidal con un eje en dirección de la mano izquierda, similares a la estructura del poly-L – proline II.

En la estructura propuesta, estas tres hélices se enrollan alrededor de uno a otro gradualmente según la regla de la mano derecha.

E.2.2 Conversión del colágeno a la gelatina

Al calentar lentamente la solución (colágeno con mezclas de ácidos), el colágeno soluble demuestra una pérdida fuerte de viscosidad y de rotación óptica; y se rompe separándose en dos o tres cadenas. Cada uno de estas cadenas ha perdido la mayoría, o toda, su estructura helicoidal y se encuentra enrollado aleatoriamente. A este material a veces se le llama "gelatina patrón". Sin embargo, la gelatina preparada comercialmente no se deriva de las moléculas individuales del colágeno, sino de una matriz infinita del colágeno insoluble, reticulado.

La naturaleza de los enlaces que insolubilizan la red es de ninguna manera clara, pero la existencia de un número de enlaces covalentes que podrían servir como retícula entre colágeno y gelatina se ha demostrado. Estos incluyen al imide (- CO – NH – CO -), las cadenas de péptidos envolviendo carboxyl, amino, o ambas, el ester y el fosfato [19].

E.2.3 Congelación y el derretir de geles

Las soluciones de gelatina al 1% de concentración se enfrían por debajo de 30°C, comenzando a desarrollar una rigidez. De acuerdo a las concentraciones de la gelatina podemos obtener su rigidez, el cual podrá mostrarse en tiempos mayores.

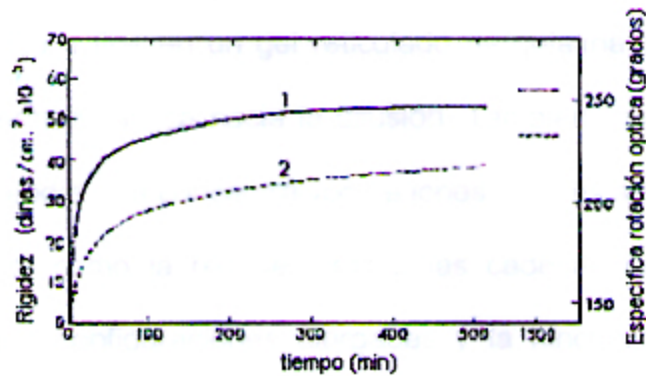


Figura 9. Ajuste de la gelatina provenientes de tejidos, pH 6.0 y 6.0 g/ml: Curva 1, rotación óptica; curva 2, rigidez. Soluciones enfriadas de 40°C a 18.9°C [19].

En tiempos muy prolongados la rigidez de la gelatina envejecida se gelifican sobre la gama de concentraciones, excepto cerca del punto de fusión. La rigidez de un gel es proporcional a la concentración de reticulaciones eficaces. La diferencia en la rigidez entre las muestras de gelatina están relacionadas con las diferencias de aminoácido, a lo largo de las cadenas de estas muestras, que determinan la proporción de los residuos capaces de formar el doblez del colágeno.

La congelación se ha descrito como una actual fase de transición entre las estructuras amorfas y cristalinas, o alternativamente, como una dependencia de temperatura asociada en los segmentos de la cadena.

EL número de reticulaciones eficaces en un gel se convierte en menos que el número crítico requerido para formar una red continua.

Los puntos de fusión, como la rigidez, depende de como se obtuvo la gelatina, de la concentración, el peso molecular y la temperatura a fijar.

E.2.4 Hinchazón de las capas de la gelatina

El agua tiende a fluir en un gel reticulado de gelatina debido a la ordinaria tendencia termodinámica hacia la dilución. También, si la gelatina tiene una carga neta tendrá una concentración de iones móviles asociados a ella.

Sin embargo, como la red se hincha, las cadenas entre las reticulaciones asumirán que configuraciones alargadas y la hinchazón cesará cuando las fuerzas elásticas reactivas sea igual a la tendencia de hincharse. Uno, por lo tanto, esperaría que la hinchazón fuera mayor a la carga sobre la gelatina. La presencia de la sal adicional en el sistema tiende para hundir fuera de la diferencia en la concentración de la sal dentro y fuera del gel, y la sal por lo tanto reduce la hinchazón de geles cargados.

La hinchazón grande que se ha producido, lavándose después del arreglo ácido es reducida por la presencia de un endurecedor, tal como ión del aluminio, en el fijador. Otro factor que afecta la hinchazón es la temperatura; cuanto más es la temperatura (debajo del punto de fusión del gel), el más alto será la hinchazón. Esto es en gran parte debido a la disminución del número de las reticulaciones causadas por la disociación de las reticulaciones de una estabilidad termal más baja.

La temperatura de secado de la película gelatinosa preparada afecta la hinchazón, cuando se trata de temperaturas altas por debajo del punto de fusión el sistema quedará formado por los enlaces mas fuertes, por lo tanto tendrá la capacidad de hincharse mas.

Las fuerzas contráctiles y expansivas se convierten en los interfaces de la gelatina/película durante el secado y cuando es bañado, pueden ser muy fuertes. Estas son una principal causa de la falta de la adherencia en este interfaz.

II. F GELATINA DICROMATADA

Cuando se expone a una fuente de luz sobre una capa de gelatina dicromatada causa en ella un endurecimiento de la capa, a través de una reacción (fotografía-sintética), el endurecimiento sólo ocurre en la parte expuesta, a través de esta exposición ocurre un cambio en su índice refractivo en la parte expuesta, asimismo la reducción fuerte de la solubilidad. En el revelado, se hace óptimo la alteración de la fase eficaz dependiendo de la estructura del holograma, esta fase ocurre a través del relieve denso interior así como el relieve exterior de la superficie generada [4].

Después de ser irradiada, el área espectral usada, es casi completamente libres de absorciones. Igualmente, muestran por su estructura molecular casi ninguna dispersión.

Las densidades de energía para estas emulsiones a exponer se deben de encontrar aproximadamente entre 50 y 100 mJ/cm² [1].

Además, la gelatina dicromatada es prácticamente insensible para las longitudes de onda más grandes. Los procedimientos a realizarse para su sensibilización, deben de estar sobre 633nm. Sin embargo esto es muy extensivo.

F.1 TÉRMINOS FOTOQUÍMICOS

Desde 1800 es conocido que la mezcla de dicromato soluble en agua y ciertos coloides orgánicos son biológicamente fotosensible [1].

La fotoquímica es el estudio de las reacciones químicas producidas por la luz. La absorción de un fotón de luz de suficiente energía ($h\nu$), puede promocionar una molécula a un estado electrónico excitado, donde será más probable originar una reacción química que en el estado electrónico fundamental [4].

El fenómeno fotoquímico precisa de fases principales:

- 1.- Recepción de la energía luminosa;
- 2.- Reacción química propiamente dicha.

Según se opere con una sustancia única o con un sistema de varios cuerpos en presencia, se realizará, bien una descomposición de la sustancia en sus elementos (fotólisis), bien una combinación de varios cuerpos en uno solo (fotosíntesis).

F.2 CAPAS COLOIDALES DEL DICROMATO

Las capas coloidales son sustancias viscosas o bituminosas que permiten aglutinar es decir unir elementos adherentes poniéndolas en contacto. A la solución gelatinosa se debe sensibilizar, para ello tenemos :

Posible coloide :

La gelatina, la proteína, la cola del pez, el alcohol de polivinil, clara de huevo, miel, éter, pólvora, etc.

Sensibilizadores :

El sodio, potasio, amonio y dicromato de pirina.

La combinación más atractiva en la gelatina es el dicromato de potasio por que posee solubilidad alta de K_2CrO_7 en el agua, de tal manera que permite una concentración de la dotación alta sin cristalizarse; es higroscópico, y se puede verter de tal manera que pueda resbalarse fácilmente sobre un sustrato para elaborar una película de gelatina dicromatada.

Para formar la película de gelatina dicromatada, dependerá del modo como se verte sobre el sustrato, es decir su pendiente o modo de esparcirlo y su

espesor dependerá de su concentración o del número de veces que se pueda verter sobre el sustrato.

Cuando la gelatina dicromatada se ha preparado, es necesario realizarlo en cuarto oscuro, por que ya es sensible a la luz, caso contrario ocurrirá que toda la película se vuelva menos soluble en agua para el revelado.

El dicromato de amonio produce una sensibilidad un poco mayor que el dicromato de potasio.

Cuando la película esta preparada para ser irradiada, en la exposición los quantum de luz $h\nu$ son absorbidos y con él los iones de Cr^{+6} sobre conexiones intermedias diferentes de cromo con iones de Cr^{+3} reducidos.

Los iones Cr^{+3} causan una conexión de los grupos más vecinos del carboxílico con las cadenas de gelatina, esta relación es la responsable de la conexión existente (Fig. 10).

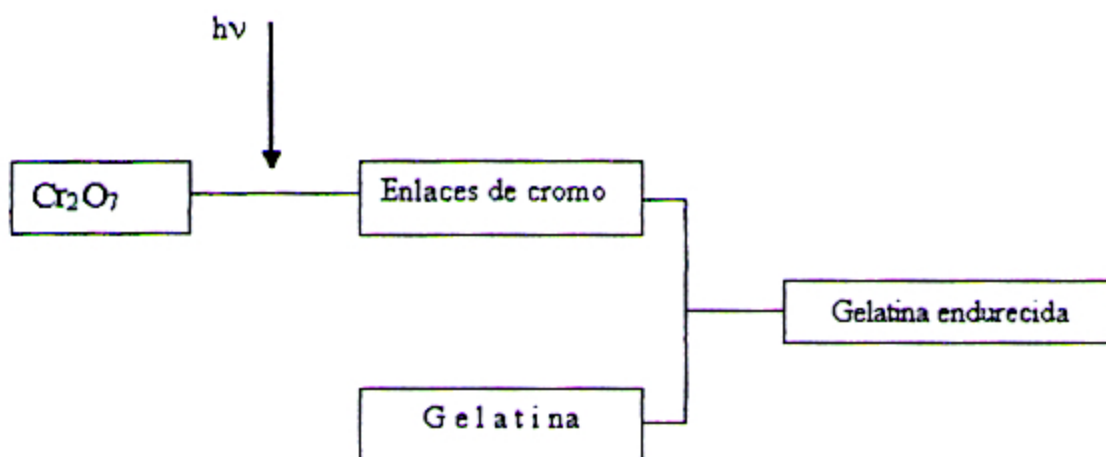


Figura 10. Reacción fotoquímica, para obtener la solidez de la gelatina [4].

F.3 CUALIDADES DE LA GELATINA

La gelatina se solubiliza a una temperatura de 30°C aproximadamente y

cuando se enfría se solidifica siendo una solución amorfa como un gel cristalino el cual posee cualidades mecánicas diferentes, es decir al verter esta solución sobre un sustrato de vidrio y luego dejar secar, esta película delgada son significativamente sólidas y menos quebradizas, contribuyendo así a la formación de una superficie lisa y cristalina regular para la formación de hologramas

Las moléculas de colágeno se convierten en cadenas irregulares del polipéptido de aminoácidos, se dividen y forman la gelatina. Una estructura química típico de tales moléculas es representado esquemáticamente en la Fig. 11.

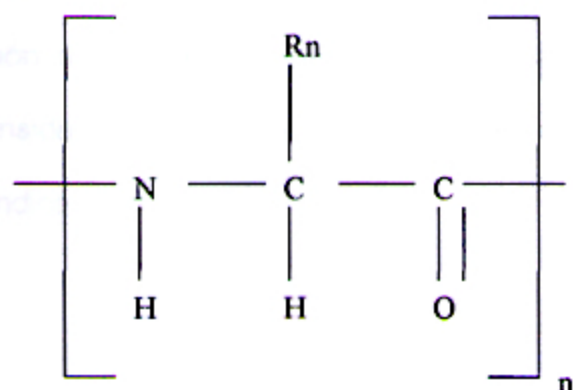


Figura 11. Estructura química típico de una molécula de colágeno [4].

Los aminoácidos se pueden ordenar en una cadena polar y no-polar, es por eso que su estructura cambia alternativamente, por consiguiente la longitud de la cadena lateral de Rn y el tipo dan lugar a modificaciones innumerables, el cual se hace notable en la dureza de la película desarrollada.

También puede endurecerse la gelatina por medio de calor o radiaciones UV, IR u otros [4].

El proceso fotográfico esta basado en la reacción fotoquímica (Fig. 10). Con el cual la película aumenta la solidez del gel, la solubilidad baja y el punto de fusión asciende.

F.4 TEORÍAS DEL PROCESO

Cuando se tiene la película sensibilizada, y luego es expuesta a la luz U.V. ocurre una absorción dinámica , permitiendo así que si fuera en la radiación UV la capa altere su color de naranja amarillo a marrón oscuro, dicho cambio se realiza ligeramente en el tiempo; el cambio ocurre por la formación de las conexiones de cromo intermediarias (Fig. 10) [4].

Otro acceso para la comprensión de la formación del holograma en Dicromato de gelatina es el examen de la dureza fotoinducida de la capa y resultando de eso la modulación del índice refractivo. Debido a la exposición, localmente cambiará la densidad óptica en la capa; no es lineal el cambio entre la exposición y el índice refractivo.

II.G ASFALTO

El asfalto es un material negro y pegajoso que se extrae del petróleo crudo, a menudo se confunde con el alquitrán de hulla o la brea. El alquitrán de hulla proviene del carbón de piedra, no del petróleo, el asfalto es una sustancia sólida o semisólida. Se mezcla con solventes para volverlo más líquido y más fácil de trabajar. Algunos de los solventes que se usan para mezclar con el asfalto son nafta, tolueno y xileno. Estos solventes son sustancias peligrosas, inflamables, muy apestosas y que aumentan los peligros potenciales de los trabajos con asfalto. Existen diferentes tipos y grados de asfalto que se usan actualmente.

Las moléculas del asfalto se encuentran sostenidas por débiles estructuras moleculares, las cuales pueden ser destruidas por calentamiento o por esfuerzos cortantes; esto proporciona al asfalto, sus características visco-elásticas. No han sido identificadas hasta el momento, correlaciones entre los varios componentes químicos y el comportamiento del asfalto.

La química del asfalto es en general muy compleja; para propósito de estudio, los componentes han sido derivados a través de técnicas de separación química. Los métodos más utilizados y recomendados en los libros respecto al tema son el Método Cromatográfico de CORBETT (ASTM D 4124) y el Método de Precipitación de ROSTLER [16].

Los asfaltos usados en los pavimentos bituminosos están formados químicamente por complejas combinaciones de hidrocarburos; además de hidrógeno y carbono, también contienen pequeñas cantidades de azufre, oxígeno, nitrógeno, así como pequeñas trazas de metales tales como vanadio, níquel, hierro, magnesio y calcio. Por el hecho de tener entre el 90% al 95% de hidrocarburos, los asfaltos son propensos al envejecimiento por oxidación; lo

anterior junto a otras formas de oxidación, permite cambios en la estructura química de los asfaltos [16].

Es comúnmente aceptado que esos compuestos son cadenas con lados alcalinos que llevan sistemas de anillos aromáticos polinucleares condensados (Fig 12). El número de anillos varía entre 6 a 20 en los sistemas más importantes.

Investigaciones de la macroestructura del asfalto por difracción de rayos-x permitieron la determinación de una estructura organizada consistente de grupos de cuatro o cinco moléculas que tienen sus planos aromáticos superpuestos en paralelo. La distancia entre planos aromáticos ha sido medida como 3.6 – 3.8 Å.

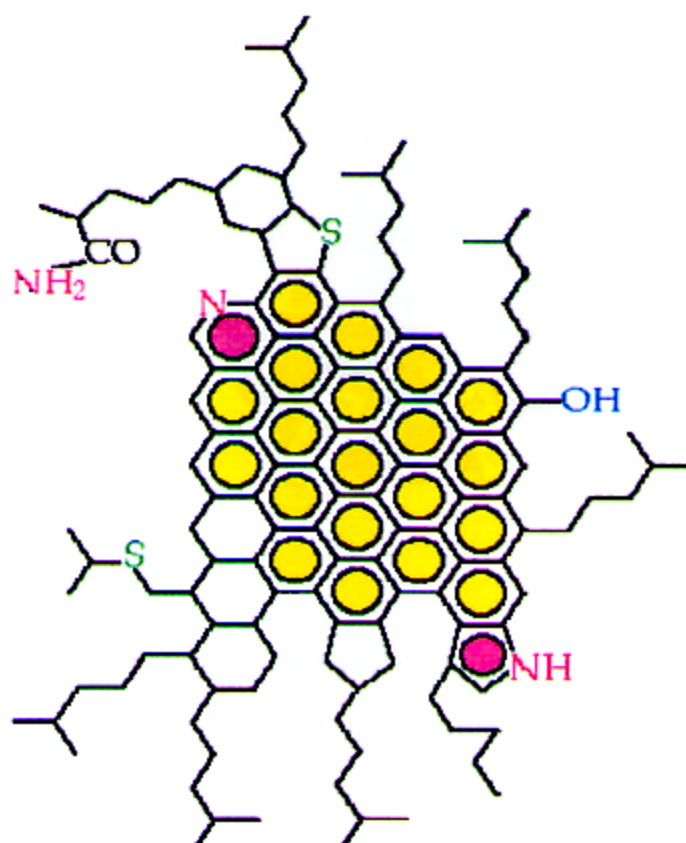
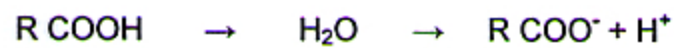


Figura 12. Estructura molecular del asfalto propuesto para el residuo 510C del crudo venezolano por Carbognani [INTEVEP S.A. Tech. Rept., 1992] [16].

Por las características visco-elásticas del asfalto. él mismo presenta una variedad de comportamiento. tanto ante un esfuerzo físico como a temperatura. A alta temperatura es fluido o tiene un comportamiento plástico. mientras que a baja temperatura, el asfalto tiende a ser rígido y elástico. A temperaturas intermedias actúa como una combinación de los dos fenómenos.

Los betunes asfálticos constituidos por moléculas de elevado peso molecular presentan en su constitución grupos ácidos del tipo RCOOH, que le proporcionan al asfalto un cierto carácter negativo en presencia de agua [16].



Esquemáticamente se puede representar de la siguiente forma:



Figura 13. Molécula del betún asfáltico [16].

G.1 Imagen latente en el asfalto

En si la composición real del asfalto es el asfalteno, aromático, moléculas de hidrógeno carburado con cadenas alifáticas.

Bajo condiciones normales las moléculas se ordenan como una pila de hojas en capas (Fig 14) . Bajo la influencia de la luz se forman uniones químicas de hoja a hoja-mientras más intensiva es la luz, mucho más unión: Las moléculas se desunen a través de la foto oxidación. De ahí que el efecto de los fotones sobre el lugar de unión queda reducido, entonces la disolución es óptima. El grosor de la capa de asfalto restante luego del lavado depende de la cantidad de la luz recibida [3].

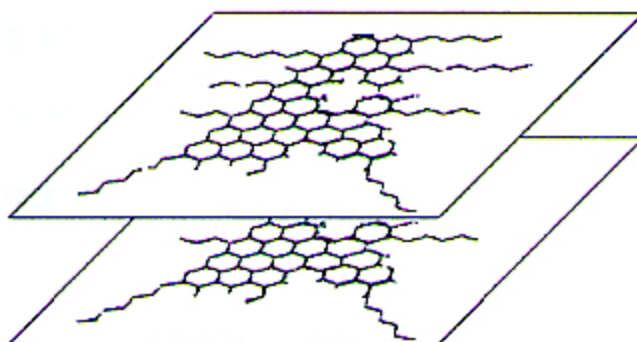


Figura 14. Moléculas de asfalto [3].

La sensibilidad del asfalto es contraria a lo que se podría pensar, es extremadamente pequeño. Niépce nunca explicó exactamente sobre su tiempo de exposición (no claramente), pero en experimentos posteriores se pudo juzgar que, debieron estar de 40 a 60 horas para un campo bien soleado.

La mezcla con algunos solventes casi no cambia su color el asfalto, pero la intensidad de luz disminuye su solubilidad.

II.H INTERFERENCIA

La interferencia ocurre cuando dos o más movimientos ondulatorios coinciden en el espacio y en el tiempo, en nuestra experiencia se utiliza luz láser, el cual es una fuente de luz coherente, es decir, su radiación está caracterizada por la constancia de fase, el cual se mantiene durante largo período, que permite producir patrones observables de interferencia estacionaria, donde los máximos y mínimos se mantienen constante en todo tiempo. Es evidente que sólo puede lograrse un patrón estacionario, si las fuentes tienen la misma frecuencia, y por tanto, sólo si hay una relación bien definida de fase entre ellas, que persista durante largos períodos.

H.1 Interferencia de dos fuentes de luz sincrónica:

Consideremos dos fuentes puntuales S_1 y S_2 (Fig.15) que oscilan con la misma velocidad angular w y amplitudes ϵ_{o1} y ϵ_{o2} .

Las dos ondas respectivas serán :

$$\epsilon_1 = \epsilon_{o1} \cos (kr_1 - wt) \quad (1)$$

$$\epsilon_2 = \epsilon_{o2} \cos (kr_2 - wt) \quad (2)$$

donde r_1 y r_2 son las distancias desde P a S_1 y S_2 respectivamente

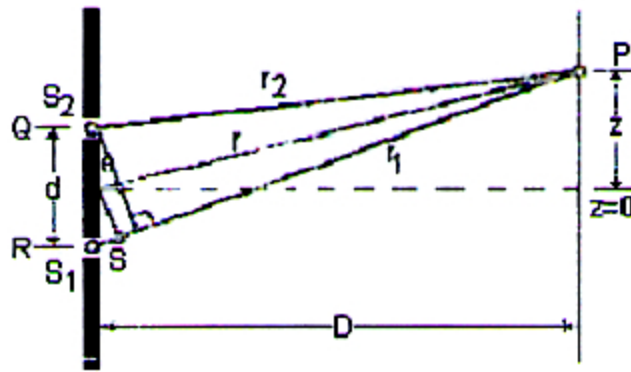


Figura 15. Diferencia de fase entre dos ondas que llegan al punto P. [6]

La diferencia de trayectoria $\bar{r}_1 - \bar{r}_2$ entre las distancias que recorre cada onda antes de incidir en la pantalla introduce una diferencia de fase significativa entre las 2 ondas que llegan al punto P.

Estos vectores (ϵ_1 y ϵ_2) de propagación tienen la misma magnitud debido a que en ambas fuentes se emite luz de la misma longitud de onda, por tanto: de (1) y (2):

$$\epsilon = \epsilon_1 + \epsilon_2 \quad ; \quad \epsilon_{01} = \epsilon_{02} = \epsilon_0$$

es decir :

$$\epsilon = \epsilon_0 [\cos (kr_1 - \omega t) + \cos (kr_2 - \omega t)] \quad (3)$$

pero :

$$\cos (a) + \cos (b) = 2 \cos \left(\frac{a+b}{2} \right) \cos \left(\frac{a-b}{2} \right)$$

entonces en la ecuación (3) :

$$\epsilon = 2 \epsilon_0 \cos \left[\frac{k}{2} (r_1 - r_2) \right] \cos \left[\frac{k}{2} (r_1 + r_2) - \omega t \right] \quad (4)$$

O también se puede escribir como :

$$\epsilon = 2 \epsilon_o \cos\left(\frac{\delta}{2}\right) \cos(kr - wt) \quad (5)$$

donde :

$$\delta = k(r_1 - r_2)$$

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_1 - r_2) \quad ; \quad r = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

ahora como :

$$\delta = \frac{2\pi}{\lambda} (r_1 - r_2)$$

además del gráfico (Fig. 15), la diferencia del recorrido es :

$$r_1 - r_2 = d \operatorname{sen}(\theta)$$

en tanto que $d \ll D$

entonces el desfase entre los dos movimientos ondulatorios en cualquier punto P es :

$$\delta = \frac{2\pi d \operatorname{sen}(\theta)}{\lambda} \quad (6)$$

Bien, en la pantalla aparecerá un patrón de interferencia con franjas alternas brillantes y oscuras.

El espaciamiento dependerá de :

- a) La longitud de onda de la luz
- b) Separación entre las rendijas (fuentes de luz) y
- c) La distancia entre las fuentes y la pantalla.

H.1.1 INTERFERENCIA CONSTRUCTIVA

Ocurre cuando (de la ecuación 5):

$$\cos\left(\frac{\delta}{2}\right) = \{1, -1\}$$

es decir:

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{\lambda} (r_1 - r_2) = 0, \pm\pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \dots$$

entonces :

$$|r_1 - r_2| = n\lambda \quad ; n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

H.1.2 INTERFERENCIA DESTRUCTIVA

De la ecuación (5), cuando $\cos\left(\frac{\delta}{2}\right) = 0$, es decir :

$$\frac{\delta}{2} = \frac{\pi}{\lambda} (r_1 - r_2) = \pm\frac{\pi}{2}, \pm\frac{3\pi}{2}, \pm\frac{5\pi}{2}, \dots$$

tendremos entonces :

$$|r_1 - r_2| = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad ; n = 0, 1, 2, 3 \quad (8)$$

Si deseáramos calcular la distancia z a las que ocurren las franjas:
de la figura 15, la diferencia del recorrido es :

$$r_1 - r_2 = d \operatorname{sen}(\theta)$$

ahora, en (7) los máximos:

$$|d \operatorname{sen}(\theta)| = n \lambda \quad (9)$$

y en (8) los mínimos :

$$|d \operatorname{sen}(\theta)| = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad (10)$$

del gráfico :

$$\operatorname{Sen}(\theta) = \frac{z}{r} = \frac{z}{\sqrt{D^2 + z^2}}$$

como $z \ll D$, $\operatorname{Sen}(\theta) \approx \frac{z}{D}$

entonces en los máximos (Ec. 9):

$$\left|d \frac{z}{D}\right| = n \lambda \quad \rightarrow |z| = \frac{n \lambda D}{d} \quad (11)$$

de igual manera para los mínimos:

$$\left|d \frac{z}{D}\right| = \left(n + \frac{1}{2}\right) \lambda \quad \rightarrow |z| = \left(n + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda D}{d} \quad (12)$$

De acuerdo a las ecuaciones obtenidas podremos decir que :

De acuerdo con la ecuación (6), el primer mínimo de un patrón de interferencia ocurre cuando la diferencia en los recorridos es $\lambda/2$, pero, por la figura es fácil ver que sin importar el valor que tenga θ , la diferencia en el trayecto siempre debe ser menor que la distancia entre las rendijas. Ahora si λ es demasiado grande (por ejemplo, mayor que zd), no puede observarse un patrón de interferencia y la intensidad en la pantalla será más o menos uniforme. Por otra parte, si λ es demasiado pequeña, las franjas de interferencia serán muy numerosas y estarán espaciadas estrechamente y el ojo no podrá distinguir entre los mínimos y máximos. Esto puede ocurrir si λ es muchos órdenes de magnitud menor que d . Un patrón de interferencia es más pronunciado cuando el número de franjas es grande, pero no demasiado. A su vez, esto ocurre cuando el espaciamiento entre las rendijas es mucho mayor que la longitud de onda, aunque no en muchas órdenes de magnitud.

III. PARTE EXPERIMENTAL

III.A PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE LAS PELÍCULAS HOLOGRÁFICAS SENSIBLES AL U.V.

A.1 MATERIALES PARA EL UV :

Los materiales que se usaron para el desarrollo de las películas holográficas son los siguientes :

- Gelatina – colapiz (1.5 gr.)
- Agua destilada (30 ml)
- Fijador
- Dicromato de potasio 5%
- Sustrato de vidrio (portamuestras)
- Lámpara de luz UV
- Plantilla patrón
- Alcohol isopropílico
- Horno
- Láser pulsante U.V (337nm).

A.2 SOLUCIONES SENSIBLES PARA EL UV :

Se deben de preparar las siguientes soluciones, para los baños de la película :

a) DICROMATO DE POTASIO 5%

$K_2Cr_2O_7$	+	H_2O
5 gr.		100 ml.

b) FIJADOR / ENDURECEDOR

FIJADOR /ENDURECEDOR	+	H_2O
100 gr.		800ml.

c) ALCOHOL ISOPROPILICO

Se utilizará a diferentes porcentajes :

10, 50 y 100% de concentración

A.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL PARA EL UV:

Para realizar la película holográfica seguir los siguientes pasos :

A.3.1 Formando la emulsión gelatinosa : (Se realiza en un ambiente con luz)

1. Limpiar bien los sustratos de vidrios (5 x 10 cm) y ponerlos a secar; al momento de limpiar los vidrios notar que éstos no tengan ninguna rajadura ni grietas.

2. Preparar la siguiente solución en un vaso de precipitación:

gelatina	+	agua
1.5 gr		30 ml.

La solución deberá de estar a una temperatura de 45°C a fin de que se pueda disolver toda la gelatina, y asimismo deberá de estar moviéndose lentamente con una vagueta a fin de no producir burbujas sobre la gelatina, durante un tiempo de estimado es de 40 minutos.

3. Bañe bien con la solución gelatinosa los sustratos de vidrio (sobre una cara), deberá siempre de mantener caliente la solución a 45°C., porque si se enfría se tornará gelatinoso. (Solubilidad de la gelatina)

4. Después del baño, dejar que repose en forma vertical, por el espacio de unos 10 min. de manera que tengamos mejor uniformidad y este mejor adherido al sustrato. (Se puede preparar la emulsión gelatinosa sobre el sustrato de vidrio y dejarlo reposar para otro día).

Luego a partir de este momento realizar todos los procedimientos en cuarto oscuro.

A.3.2 Sensibilizando la emulsión gelatinosa :

Verificar que las soluciones en las cuales se van a sumergir, deben de estar libres de impurezas (limpias), asimismo deberá estar en constante movimiento (agitar las soluciones en la cual esta sumergida)

5. Remoje el sustrato con la solución gelatinosa adherida durante 3 min. en el fijador.
6. Luego remojarlo durante 3 min. en agua destilada.
7. Asimismo remojarlo durante 5 min. en dicromato de potasio (5%)

A.3.3 Proceso de secado

8. Poner a secar el sustrato con la emulsión sensibilizada durante 25 min. (en el horno a 45 °C), el interior del horno debe de estar en oscuridad.

A.3.4 Proceso de exposición a la luz U.V.

En nuestra experiencia esta emulsión gelatinosa lo hemos expuesto a 3 fuentes diferentes, con el fin de ver su efectividad y sensibilidad al U.V:

- Primeramente utilizamos como fuente de luz al sol, en esta etapa era para verificar que se puede grabar información sobre la imagen latente formada; se utilizó una plantilla con agujeros (papel platino). El tiempo estimado fue de 1 hora.

- Seguidamente, utilizamos como fuente de luz una lámpara de U.V., el cual nos permitió trabajar dentro del laboratorio (cuarto oscuro), se obtuvo como respuesta sobre la película sensible después de 1 hora.

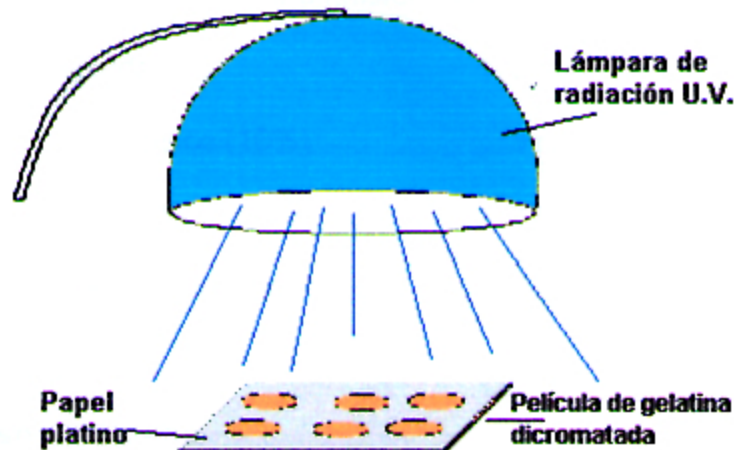


Figura 16. Película sensibilizada expuesta a una lámpara de radiación U.V.

- Finalmente, verificado que nuestra película es sensible al U.V., en el proceso de fotografía; usamos como fuente de luz la láser pulsante U.V. (337nm) pero ahora para formar patrones de interferencia. Se ha logrado obtener como tiempo de exposición de 10 a 15 minutos.(Fig. 17)

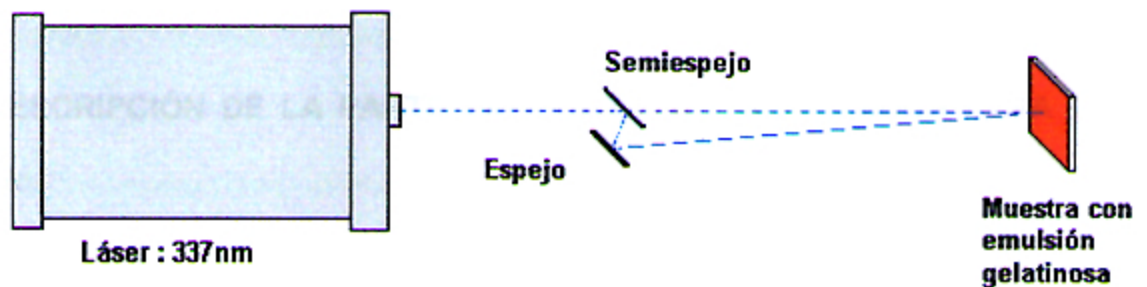


Figura 17 Montaje del equipo para formar patrones de interferencia sobre la emulsión gelatinosa

A.3.5 Proceso de revelado

Para el revelado, tener mucho cuidado de no tocar la parte en la cual ha sido expuesta a la luz:

9. Remojar el sustrato con la emulsión expuesta a la luz U.V. en :

- agua destilada : 3 min.
- alcohol isopropílico (10%) : 3 min.
- alcohol isopropílico (50%) : 3 min.
- alcohol isopropílico (100%) : 3 min.

A.3.6 Proceso de secado

10. Colocar la muestra en el horno a 45°C durante 20 minutos

A.3.7 Resultado final

Estos valores de tiempo de secado, temperatura, tiempo de exposición, gramos de gelatina, revelado y otros parámetros son datos finales que obtuvimos que nos permiten tener una muestra sensible con tiempo de 10 min. de exposición.

A.4 DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL REALIZADOS PARA EL UV:

A.4.1 PREPARACIÓN DEL DICROMATO DE GELATINA

La preparación del dicromato de gelatina se realiza desde los pasos 2 al 7, es decir desde la emulsión gelatinosa, hasta la sensibilización, que corresponde al bañado en el dicromato, se utilizó dos tipos de gelatinas (colapiz y gelatina de fresa).

Para obtener una buena preparación era necesario que toda la gelatina se diluya a temperatura aproximada de 45°C., es recomendable que agite lentamente durante 40min de tal manera de eliminar toda burbuja que pueda aparecer en la solución. Este proceso tratar de realizarlo en cuarto semioscuro, es decir que la luz no llegue directamente a la solución.

Podrá verificar que la emulsión se encuentra lista, cuando la gelatina se toma transparente, y asimismo cuando lo puede bañar sobre las paredes internas del vaso precipitado en el cual esta preparando y notará que se escurre suavemente sobre dicha pared.

Se utilizó vidrio como sustrato por que tiene aproximadamente el mismo índice refractivo que la gelatina y por consiguiente no llevan a reflexiones adicionales. Es por eso que se debe de realizar un tratamiento térmico a la emulsión gelatinosa sobre el vidrio.

Es recomendable que al finalizar el paso 4 dejar reposar (en forma vertical) por lo menos un día a fin de tener una película gelatinosa uniforme, o para realizar un segundo baño y que la película este más gruesa.

Una vez sensibilizado tener mucho cuidado de no tocar la parte sensibilizada ni exponerla en luz.

Es recomendable tener los sustratos de vidrios del tamaño adecuado de acuerdo a la irradiación con la cual serán expuestas.

A.4.2 VERIFICANDO LA SENSIBILIDAD AL U.V.

Antes de exponerla al equipo de holografía (irradiando U.V. de 337nm) se debe de verificar su sensibilidad es decir que pueda grabarse información sobre la imagen latente formada. para ello se utilizó una lámpara de U.V. con una muestra patrón sobre el sustrato, a fin de comprobar su sensibilidad, el tiempo de exposición es de 1hr.

A.4.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO DE HOLOGRAFÍA

La calibración consiste en enfocar bien los dos haces que interferirán sobre la placa gelatinosa en estudio, luego poner una película de prueba (kodak, irradiar 3 pulsos sobre ella) a fin de comprobar que exista una respuesta holográfica en el revelado sobre dicha película.

A.4.4 REGISTROS SOBRE LA PELÍCULA HOLOGRAFICA

Para realizar lo registros holográficos sobre la película sensibilizada se debe de tener en cuenta que, como un holograma no es más que la grabación del patrón de interferencia entre dos haces de luz, es necesario que el sistema, durante la exposición, esté completamente inmóvil y exento de vibraciones. Si tal condición no existe, desaparece inmediatamente el patrón y nada se consigue grabar, quedando la película sin registro de información. Si, por algún motivo, ocurriera algún movimiento en uno de los haces de luz, el otro tiene que sufrir un movimiento igual y simultáneo de modo que la velocidad relativa de los haces de luz sea cero.

Como la distancia entre los dos haces es del orden nanométrica, se debe utilizar un equipamiento antivibraciones . El sistema puede parecer inmóvil y exento de vibraciones, pero en la realidad, pueden existir pequeñas oscilaciones (de la orden referida), que no son de fácil percepción y que imposibilitan el registro, el estudio de su estado vibracional se puede realizar montando el sistema sobre un interferómetro para medir su estado vibracional, el cual no es materia de estudio en este caso.

Para este registro los dos haces llegan de un mismo lado a la placa holográfica (holograma de transmisión)

Se procede después a algunos ensayos, de modo a optimizar el tiempo de exposición. Finalmente, se hace el registro del holograma, con todo el sistema listo, exponiendo la película /placa holográfico(a) durante el tiempo que fue estimado. Durante la exposición tiene que existir el mínimo ruido y buena estabilidad en los equipos a operar.

A.4.5 INFLUENCIA DE LA FUENTE DE COMPORTAMIENTO

La fuente de luz coherente influirá sobre la emulsión gelatinosa, cuando los dos haces que llegan a la placa no irradian sobre el mismo punto, además el porcentaje de intensidad de ambos haces sobre la película deberá de ser en el mismo orden de porcentaje, eso dependerá del semiespejo (que permite desviar parte del haz del láser)

El pulso que irradia el láser no siempre es constante en su intensidad (concentración del haz sobre la película dicromatada sensibilizada), además su frecuencia de incidencia, y eso repercute en la formación de la película holográfica.

A.4.6 REVELACIÓN

Después de la exposición de la placa holográfica, ésta es retirada del soporte cuidadosamente, de tal manera de no tocar la parte irradiada, para luego ser tratada en una secuencia de baños químicos (ver A.3.5) y posteriormente colocada a secar. (Todo el revelado se realiza en cuarto oscuro). Si se sumerge por mucho tiempo ocurrirá daños físicos sobre la película, y si fuera poco tiempo, no podría apreciarse los patrones de interferencia, porque la superficie del sustrato estaría borroso debido a la gelatina que no ha sido expuesta.

A.4.7 HINCHAMIENTO DE LA GELATINA

Para el revelado de la imagen latente, el material se sumerge en una serie de soluciones que provocan el hinchamiento de la gelatina, tornándola permeable para que las sustancias en dilución puedan actuar y recuperando mediante el secado final su estado original, es decir, tornándose dura, resistente y flexible.

Cuando la gelatina está hinchada se torna frágil, pudiendo absorber hasta 7 veces su peso en agua. Este es un punto crítico en el manipuleo de las películas, puesto que existe riesgo de que se produzcan daños mecánicos.

El nivel de hinchamiento de la gelatina depende de varios factores: de si fue preparada en un medio alcalino o ácido, y por el otro, del pH de la solución y su temperatura. De todas maneras, en términos generales existe un valor de pH donde el hinchamiento es mínimo. Esto es de particular importancia en el diseño y combinación de las soluciones del proceso de revelado. (Fig. 18).

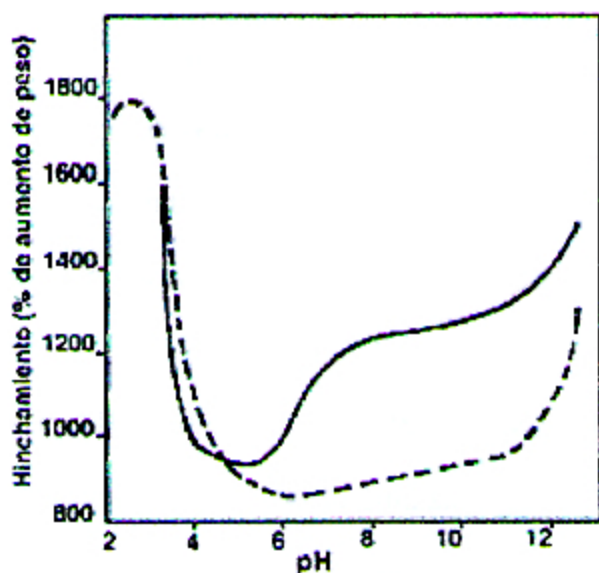


Figura 18. Gráfico del hinchamiento de la gelatina. La línea continua corresponde a una gelatina tratada en medio alcalino y la línea punteada a una gelatina tratada en medio ácido. (Tomado de "Fotografía, Teoría y Práctica" de L.P. Clerc) [5].

Debemos de tener en cuenta que si la película no se escurre bien, luego de emplear el baño gelatinoso, o al pasarla a un baño de una solución (fijador, dicromato, etc.) sin antes ver que se haya secado bien, podrá ocurrir que se

forme burbujas entre la gelatina y el sustrato de vidrio; por tanto cuando ocurra el proceso de revelado sobre dicha película tendrá problemas en su hinchamiento por consiguiente sobre toda la película.

El hinchamiento también se incrementa por el aumento de temperatura. Como la gelatina, está adherida a un soporte que no se expande (sustrato de vidrio) o sea que su aumento es poco con el aumento de la temperatura, hace que solo se pueda hinchar en dirección perpendicular. Además tener cuidado si el hinchamiento es excesivo, producirá una presión tangencial, es decir, hacia los costados, que puede causar desprendimiento o deformación permanente.

Por otra parte, debe tenerse presente que para revelar una película, sucesivamente se la sumerge en una solución alcalina, después en un baño ácido, luego un baño de fijado ácido y, por último, el lavado en agua. Estos cambios hacen que la gelatina primero se hinche en la solución alcalina, se contraiga en el baño ácido y finalmente vuelva a hincharse en el lavado. Si, además, existe diferencia apreciable de temperatura entre cada uno de los baños, los sucesivos hinchamiento/ contracción/ hinchamiento tendrán mayor diferencia entre sí, pudiendo causar daños y afectar la nitidez de la imagen debido a los desplazamientos de los granos de cromo

A.4.8 ENDURECIMIENTO DE LA EMULSIÓN (fijación)

Al terminar de preparar la emulsión gelatinosa es necesario fijar la solución, de tal manera de concentrar mejor la solución (mejor concentración por unidad de área) o eliminar burbujas si los hubiera, asimismo prepararla para los siguientes baños en su sensibilidad o en el revelado; también permite el fijador que la gelatina ya no absorba la humedad del ambiente en la cual podría estar expuesta.

A.4.9 LAVADO Y SECADO

El lavado permite eliminar el fijador y todas las sales solubles que se producen por su acción. Además limpia toda la parte de la cual no ha sido expuesta a la irradiación, dejando solo la parte irradiada.

Con un fijado insuficiente, ocurrirá que durante el lavado de la película se notará deterioro o degradación de la imagen, porque en la sensibilización con el dicromato no ha existido los suficientes de cromos para ser irradiados .

En el transcurso del proceso de lavado la temperatura del agua deber ser idéntica a la de los demás baños y, si no lo es, la diferencia no debe ser muy grande. Es posible lavar las películas en agua con una temperatura de hasta 30 °C.

El flujo de agua debe ser constante pero un gran caudal de agua no significa que la emulsión se lave más rápido. Sucede que los compuestos del fijador abandona la gelatina por diferencia de concentración respecto al agua, es decir, por presión osmótica. Sucesivos cambios de agua, cada 5 minutos, tienen entonces el mismo efecto que un caudal constante que se renueve totalmente en el mismo lapso de tiempo o menor.

Entre el lavado y el secado se recomienda siempre un baño humectante que elimina la tensión superficial del agua, haciendo que escurra con uniformidad sin formar gotas que tienden a dejar manchas. También tiene propiedades antiestáticas, reduciendo la posibilidad de que se adhieran impurezas del aire.

La gelatina soporta temperaturas de secado de hasta 40 grados y, si ha sido tratada con endurecedor (fijador), es posible alcanzar los 60° C.

Si las películas son sometidas a una elevada temperatura o largo tiempo de secado, la excesiva deshidratación puede producir resquebrajamiento de la emulsión.

III.B PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE LAS PELÍCULAS HOLOGRÁFICAS SENSIBLES AL LASER ROJO.

B.1 MATERIALES PARA EL DESARROLLO DE PELÍCULAS SENSIBLES AL LÁSER ROJO.

Gelatina - colapiz (2 gr)

Agua destilada (30 ml)

Fijador (0.5gr)

Dicromato de potasio (0.2ml)

Sustrato de vidrio

Láser rojo

Solución de tetramethylguanidine (T.M.G.) 25 %

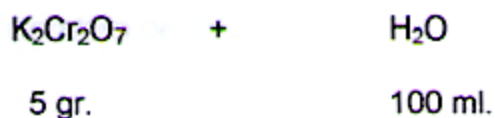
Solución de acetato – T.M.G (T.M.G.A)

Solución de methylene blue (M.B.)

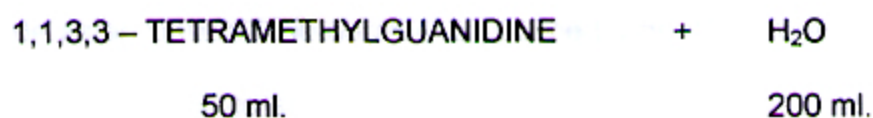
B.2 SOLUCIONES QUE SE USARAN EN LA GELATINA PARA LA SENSIBILIDAD AL LASER ROJO

Estas soluciones deberán de guardarse en cuarto oscuro:

DICROMATO DE POTASIO 5%



TETRAMETHYLGUANIDINE (TMG) 25%



ACETATO – TMG (TMGA)

Solución de TMG (25%)	+	ACIDO ACETICO
80 ml.		8ml.

METHYLENE BLUE (MB) 0.4%

METHYLENE BLUE	+	H ₂ O
1 gr.		250ml.

FIJADOR / ENDURECEDOR

FIJADOR/ENDURECEDOR	+	H ₂ O
100 gr.		800ml.

B.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL :

B.3.1 Formando la emulsión gelatinosa:

Realizar los siguientes pasos :

1. Limpiar bien los sustratos y ponerlos a secar.
2. Prepara la solución (agua – gelatina colapiz - fijador) deberá de prepararse a una temperatura de 45° C.

Agua	+	gelatina	+	fijador
20 ml.		2 gr.		0.2 gr.

Deberá de estar moviéndose durante un promedio de 40 min. a fin de que no exista granulo en la gelatina.

Luego de obtener la gelatina bien diluida pasaremos a sensibilizar la solución, es en este momento que deberemos añadir las siguientes soluciones, se debe de realizar en un cuarto semioscuro, es decir que la luz no le debe llegar directamente a la solución que se está preparando, en todo momento se deberá agitar lentamente la solución y que la temperatura permanezca en 45°C.

B.3.2 Sensibilizando la emulsión gelatinosa:

3. Luego con una pipeta añadirle :

+ dicromato de potasio (0.2 ml.)

Deberá de añadir lentamente y agitarse bien la solución debido a que tiende a solidificar rápidamente la solución o a ponerlo mas ligoso. (La temperatura de la solución deberá de mantenerse a 45 °C aproximadamente).

4. Seguidamente usar la pipeta para agregar :

+ TMG (0.7 ml.)

Cuando se agrega el TMG deberá de tener mucho cuidado cuando se le agregue, (gota a gota) se tiene que realizar lentamente, debido a que posee una característica de solidificar rápidamente la solución en la cual se está vertiendo.

5. Además, deberá de añadir :

+ TMGA (0.5 ml.)

Esta solución permite afianzar más la solución de TMG (la temperatura deberá de mantenerse siempre a 45 °C aproximadamente) la solución de TMGA al momento de ser añadida deberá uno siempre de agitar la solución con el fin de homogenizar en todo el conjunto.

6. Finalmente deberá agregar a la solución:

+ MB (0.9 ml.)

Esta solución permite adherirse a la solución creada con la finalidad de que la solución con la gelatina dicromatada sea sensible al láser rojo.

B.3.3 PROCESO DE BAÑADO SOBRE EL SUSTRATO DE VIDRIO

7. Una vez preparado la solución con la emulsión gelatinosa (pasos del 2 al 6), se debe de introducir el sustrato de vidrio (remojar) en dicha solución, durante 3 minutos.(este proceso se realiza en cuarto oscuro)

B.3.4 PROCESO DE SECADO

8. Una vez preparado sobre el sustrato de vidrio la emulsión gelatinosa, se debe colocar la muestra en el horno (45°C) durante 40 minutos. Realizado el tratamiento térmico, se deberá dejar reposar a la muestra por lo menos en 1 día.

B.3.5 PROCESO DE INCIDENCIA DEL LASER ROJO SOBRE LA MUESTRA PREPARADA

9. Antes de llevar la muestra a ser irradiada por el láser rojo, se deberá calentar la muestra en el horno a 45°C durante 20 minutos. El tiempo en la cual será

irradiada la muestra por el láser (sistema holográfico de geometría vertical) será de 30 minutos.

B.3.6 PROCESO DE REVELADO

10. Se deberá sumergir en las siguientes soluciones, considerando su tiempo estimado :

Solución dicromato de potasio 5%	2 min.
Solución fijador	2 min.
Agua destilada	5 min.
Alcohol isopropílico 50%	2 min.

B.3.7 Resultado final

11. Se obtuvo la película holográfica, con los valores en mención, estos valores se han obtenido después de realizar una serie de variaciones en sus parámetros de elaboración.

B.4 DESCRIPCIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL :

La molécula de tetramethylguanidine 1.1.3.3 existe como un número de estructuras de la resonancia de equilibrio.

Una vez que TMG se neutralice con el ácido acético y se agregue a la formulación de la gelatina es una sustancia razonablemente inofensiva. Sin embargo, el producto químico puro es un volátil, de mal olor y muy alcalino cuál no debe ser inhalado y la protección de ojo debe ser usada al usarlo.

El TMG es higroscópico por eso que para aumentar su sensibilidad tener cuidado, ya que la superficie se toma algo pegajosa.

B.4.1 Sensibilizaciones para el área espectral roja

Antes de agregar el azul de metileno, es muy importante mantener el pH entre 9 y 9.5. El ajuste debe ser realizado muy cuidadosamente agregando la solución de TMG gota a gota mientras que la solución gelatinosa se revuelve bien. Si el pH de la solución se eleva sobre 9.5 debe ser disminuido inmediatamente por una gota del ácido acético. No es posible dar un valor exacto de las cantidades de cualquiera de estos datos reactivos a este punto, porque dependerá de la cantidad de gelatina utilizada.

En la muestra de estudio, después de haber sido revelada sino se observa ninguna coloración azul cuando es secada, entonces es probable que el pH sea demasiado bajo y no tendrían ninguna sensibilidad al láser rojo.

La sensibilidad de la gelatina al rojo es debido al Metileno Azul (MB), el cual permite expandir su sensibilidad.

Si el pH de la solución se encuentra debajo de 8.5, el azul de metileno formará un precipitado improductivo con los iones de dicromato.

La solución preparada, puede seguir siendo activa por varias semanas a temperatura ambiente aunque es mejor almacenarla en un lugar frío, pero no congelarla.

B.4.2 Las características de la muestra

Las características de la muestra, con respecto a su hinchamiento, endurecimiento, lavado, calibración del equipo, es similar a los pasos realizados del A.4.2 al A.4.9

III.C PREPARACIÓN Y DESARROLLO DE LAS PELÍCULAS HOLOGRÁFICAS ASFALTADAS

C.1 MATERIALES PARA EL ASFALTO

Los materiales para la elaboración de películas de asfalto para holografía son:

Esencia de lavanda 40/42, SC-800, dulce, española

Brea (1 gr.)

Horno

Sustrato de vidrio

Un pincel delgado

Equipo de holografía de geometría vertical

Lavanda SC 800 (revelador)

C.2 SOLUCIONES PARA EL ASFALTO

Las soluciones que se usarán deberá de estar en un frasco oscuro a fin de que no se degrade (o reaccione con la luz), y son las siguientes:

Esencia de lavanda:

- 40/42
- SC-800
- Dulce
- Española

C.3 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCION EXPERIMENTAL PARA EL DESARROLLO DE PELICULAS DE ASFALTO

Para la elaboración de estas películas se ha utilizado brea (conocido como asfalto), el cual no era ni sólido ni tampoco líquido, sino una especie de pasta dura, difícil de deformar con las manos, y aceite de lavanda diluido, de distintos porcentajes(esencia de lavanda 40/42,SC-800,dulce, española).

C.3.1 PREPARACION DE LA EMULSION BETUMINOSA

En un recipiente limpio, a temperatura del laboratorio se mezclan :

Brea	+	Esencia de lavanda SC-800
1 gr.		10 ml.

Se deberá estar agitando lentamente durante 40 minutos, luego dejarlo reposar por lo menos 1 día.

C.3.2 PROCESO DE LA FORMACION DE LA PELICULA BETUMINOSA

Usando un sustrato de vidrio limpio, seco y sin ralladuras, se cubrirá sobre ella la solución del asfalto esparciéndola en forma uniforme con la ayuda de un pincel, este proceso deberá de realizarlo en un cuarto a media luz (la luz no debe incidir directamente sobre la película en formación).

C.3.3 PROCESO DE SECADO

Se deberá de realizar un tratamiento térmico a la película, colocándola en un horno (90°C) durante 30 minutos. Esto permitirá que elimine contaminantes adheridos a la película y a la mejor formación de la superficie de la brea sobre el sustrato. Una vez realizado el tratamiento térmico sobre la muestra, se tiene que dejar reposar por lo menos 1 día.

C.3.4 PROCESO DE EXPOSICION A UNA FUENTE DE LUZ.

Esta muestra se expuso las siguientes radiaciones:

- Se colocó sobre la superficie de la muestra un papel platino agujereado, y luego fue expuesto al sol durante 3 horas (Figura 19).

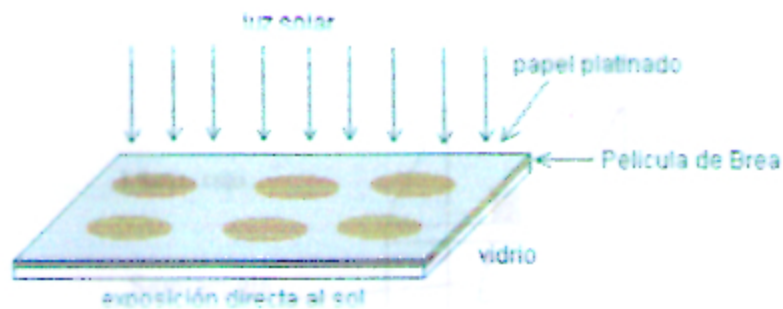


Figura 19. Película de brea expuesta a la luz solar

- Como segunda fuente se usó un láser rojo, en la parte superior, de donde se derivan 2 haces, los cuales son enfocados sobre la muestra en estudio. Todo el sistema se encuentra apropiadamente sobre una mesa holográfica. El sistema holográfico de geometría vertical fue construido en el laboratorio de Optica de la UNI (Figura 20), con este equipo se ha realizado las rejillas de difracción en la película betuminosa. Para ello se ha tenido que realizar las siguientes operaciones:

1. Calibración del equipo (Enfocar los haces de luz)
2. Ubicar la muestra en el equipo y dejarla reposar por lo menos 10 minutos.
3. Ser irradiada durante 1 hora.

Después de las exposiciones es necesario que repose 3 minutos, para que la parte irradiada se enfríe

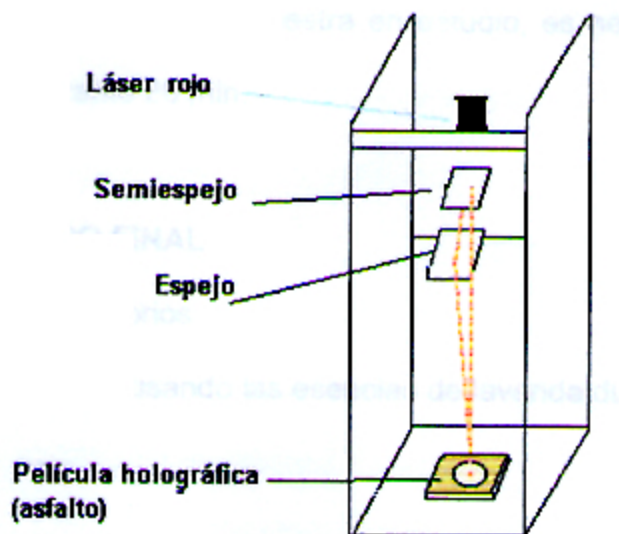


Figura 20. Sistema holográfico de geometría vertical.[12]

C.3.5 PROCESO DE REVELADO

Para revelar la muestra irradiada, es decir para mostrar el contenido de la imagen latente formada, es necesario que ésta se sumerja en aceite de lavanda diluido SC-800, deberá estar en constante movimiento cuando se encuentre sumergida, el tiempo estimado es de 2 a 3 segundos. La luz no debe de llegar directamente a la muestra.

C.3.6 PROCESO DE SECADO

Cuando ha sido revelado la muestra en estudio, es necesario colocarla en el horno a 45°C, durante 20 min.

C.3.7 RESULTADO FINAL

- Resultados satisfactorios
- Se realizó muestras usando las esencias de lavanda dulce y española.

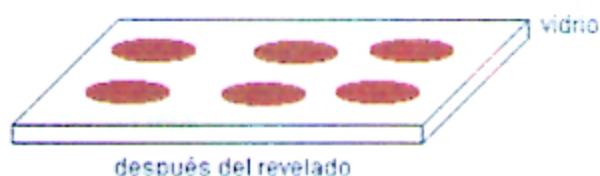


Figura 21. Película de brea después de ser revelada

III.D DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

D.1 SOPORTE HOLOGRAFICO

Es el material donde se realiza el registro del holograma, para nuestro caso es un sustrato de vidrio, el cual permite preservar la información de la fase, asimismo no altera sus estructura en los procesos al cual son influenciados.

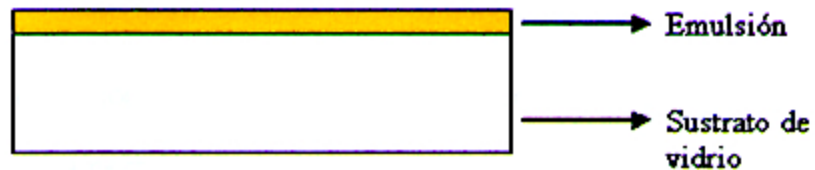


Figura 22. Esquema de la vista lateral ampliada de una película/placa holográfico/a

D.2 MATERIAL FOTSENSIBLE

Existen varios compuestos químicos y varios materiales sensibles a la luz: gel dicromatado (DCG), fotopolímeros, fotorresistentes, termoplásticos, cristales ferroeléctricos halogenuros de plata y otros.

D.3 LA EMULSIÓN DE GELATINA

Una emulsión consiste en un líquido cuya característica principal es ser permanentemente heterogéneo, es decir, que posee densidades distintas de su propia masa. Por lo general es la mezcla de dos o más líquidos que mutuamente no son solubles pero que se mantienen en suspensión uno en el otro, ya sea por agitación o por adición de sustancias conocidas como emulsionantes. Emulsiones típicas son la leche y la mayonesa.

En nuestro caso la emulsión fotográfica consiste en iones de cromo en suspensión en gelatina.

Nuestra técnica para la fabricación de la emulsión ocurre desde la preparación de la gelatina, la incorporación de las sustancias químicas y el extendido sobre el soporte.

El grosor varía según la concentración de la gelatina o el número de baños que se realiza sobre una misma capa de la película, por consiguiente puede ser una emulsión con diferentes tipos de capas.

Cuando la emulsión estaba lista, se realizó pruebas con el fin de obtener los parámetros que permitan un óptimo desarrollo en la grabación de la holografía y tomar en cuenta cual de aquellos parámetros afectan; y obtener las recomendaciones posibles. (temperatura, concentraciones de la gelatina, baños, etc.)

D.4 MATERIAL ÓPTICO

Los materiales ópticos utilizados para holografía son : lente, espejo, divisor de haces de luz (semiespejo), los respectivos soportes y un soporte para la placa holográfica.

- La lente es utilizado para enfocar o concentrar el haz del láser.
- El soporte de la placa holográfica tiene un mecanismo en su base, que permite controlar la zona en el cual el haz de referencia y del objeto incidirán, es decir determina el área en el cual se van ha irradiar. El fondo donde se coloca la placa emulsionada es necesario que este revestida de negro con el fin de evitar efectos de reflexión sobre la placa.
- La utilización de espejos permite dar la versatilidad en el manejo de la desviación de los haces de luz.

- El divisor de haces (semiespejo) sirve, para dividir el haz de modo de tal que podamos obtener un haz de referencia y un haz de objeto

D.5 EQUIPAMIENTO

El equipamiento necesario para la holografía se necesita una mesa (muy pesada) anti – vibraciones y un láser He - Ne de potencia 5mW.

D.5.1 LASER

Dispositivo que, basado en la emisión inducida, amplifica de forma notable un haz de luz monocromático y coherente. El nombre láser corresponde a las siglas de la expresión inglesa Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (amplificación de la luz por emisión estimulada de radiaciones).

El láser permite disponer de un haz de luz muy estrecho y concentrar con precisión gran cantidad de energía en un punto determinado.

D.5.2 LUZ

La luz blanca está compuesta por una serie de colores, cada uno de los cuales se caracteriza por una longitud de onda determinada, que son: el rojo, el naranja, el amarillo, el verde, el azul, el añil y el violeta. De ellos, el rojo es el que tiene la longitud de onda mayor y el violeta la menor. Sin embargo, todos estos colores no están nítidamente divididos entre sí sino que forman un espectro continuo.

Como consecuencia de la diferencia de longitudes de onda, la luz de los diversos colores se propaga con velocidades distintas y ángulos de difracción

diferentes, lo cual da lugar a la separación de la luz blanca en el espectro continuo antes mencionado.

3.5.3 CAMARA OSCURA

Todo el sistema holográfico debe ser montado en una cámara oscura (cuarto oscuro). Como la emulsión es sensible a la radiación de la luz láser utilizada, la grabación y revelación del holograma pueden ser realizada en la presencia de luz de diferente longitud de onda a la que se está utilizando (p.ej. verde).

IV. RESULTADOS película en sustrato

IV. A Descripción cuantitativa de las muestras obtenidas 20%

A.1.- Espesor de la película de gelatina dicromatada: 4.29 cm

Masa de la película sobre el sustrato : $m = 0.04234\text{gr}$ (20)

Área de película gelatinosa : $A = 17.6225\text{ cm}^2$

Densidad de la gelatina : $\rho = 1.35\text{ gr/cc}$ [20]

Entonces , el espesor de la gelatina :

$$e = m / (\rho A)$$

$$e = 17.7\ \mu\text{m.}$$

A.2.- Separación entre rendijas de la rejilla de una la película holográfica de gelatina dicromatada :

- Distancia de separación entre las fuentes y la pantalla :

$$D = 22\text{ cm}$$

- Separación entre las dos fuentes coherentes de láser U.V. :

$$d = 1.5\text{ cm}$$

- Longitud de Onda del laser U.V. :

$$\lambda = 337\text{nm}$$

- Usando la ecuación (11) [7] :

Separación entre rendijas :

$$z = n \lambda D / d$$

$$z = 4.942\ \mu\text{m}$$

A.3.- Espesor de la película de asfalto

Masa de la película sobre el sustrato	:	$m = 0.00069 \text{ gr}$	
Área de película asfáltica	:	$A = 6.89 \text{ cm}^2$	
Densidad de la gelatina	:	$\rho = 1.121 \text{ gr/cc}$	[20]
Entonces , el espesor de la película de asfalto :			

$$e = m / (\rho A)$$

$$e = 0.893 \mu\text{m.}$$

A.4.- Separación entre rendijas de la rejilla de una película de asfalto:

$$z = 22.76 \mu\text{m.} \quad [\text{IV F ,F1}]$$

A.5 Area de exposición de la película de gelatina dicromatada, debido al láser U.V : 1 cm^2

IV.B Fotografías de películas de gelatina dicromatada y películas de asfalto.

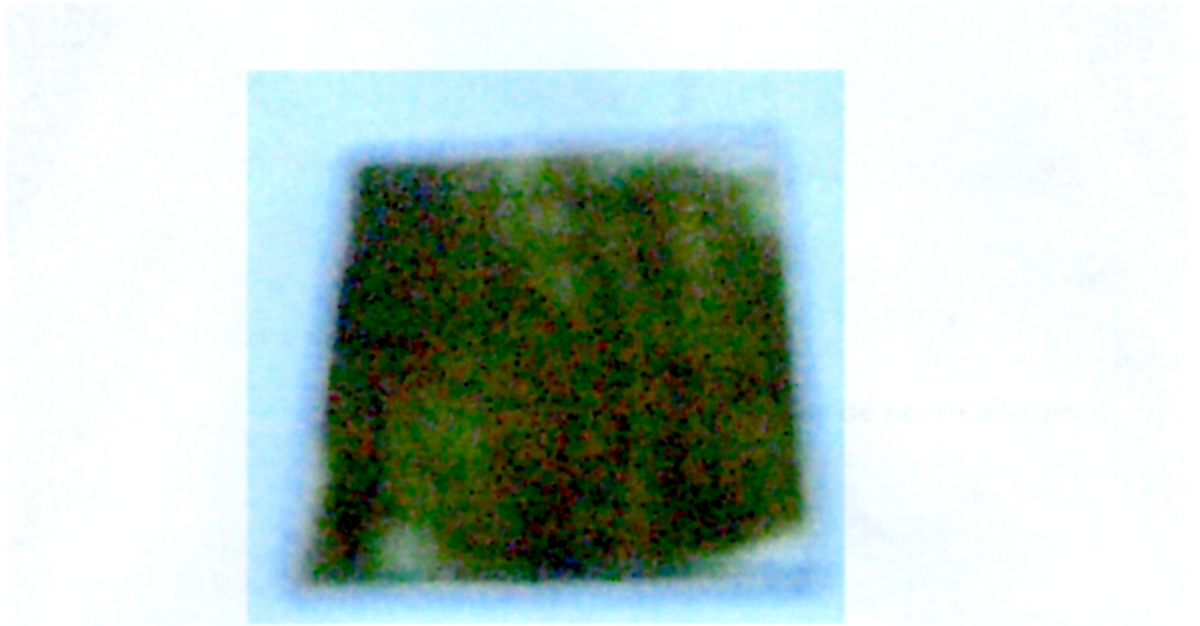


Figura 23A. Sustrato de vidrio bañado con emulsión asfáltica.

Figura 23A. Sustratos de vidrio, con emulsiones asfálticas, después de ser revelado.

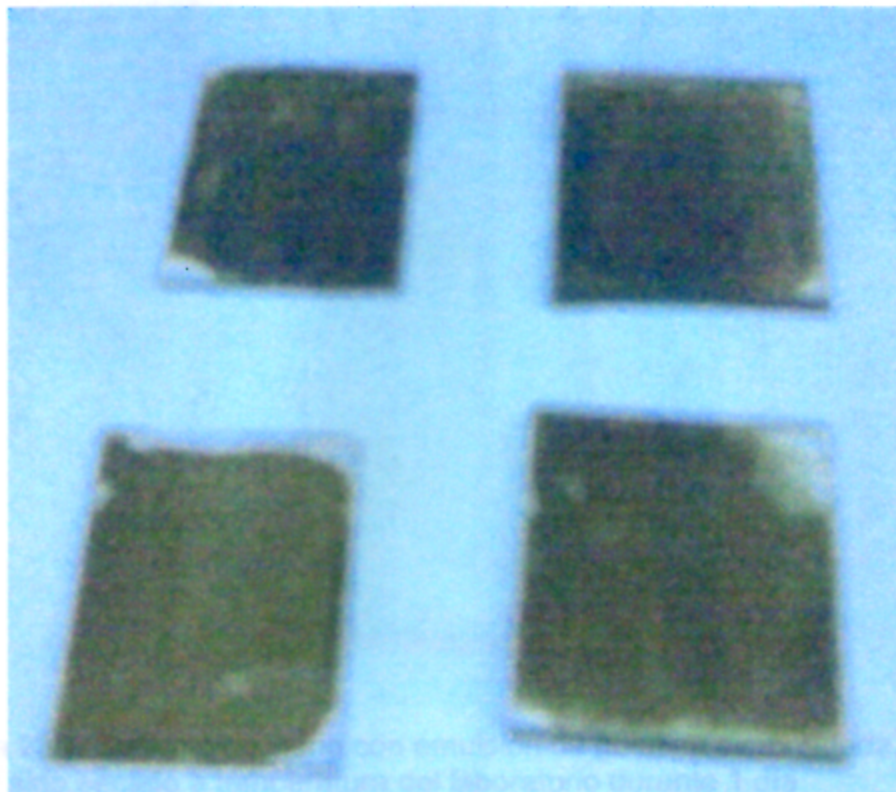


Figura 23B. Sustratos bañados con diferentes concentraciones de emulsiones asfálticas

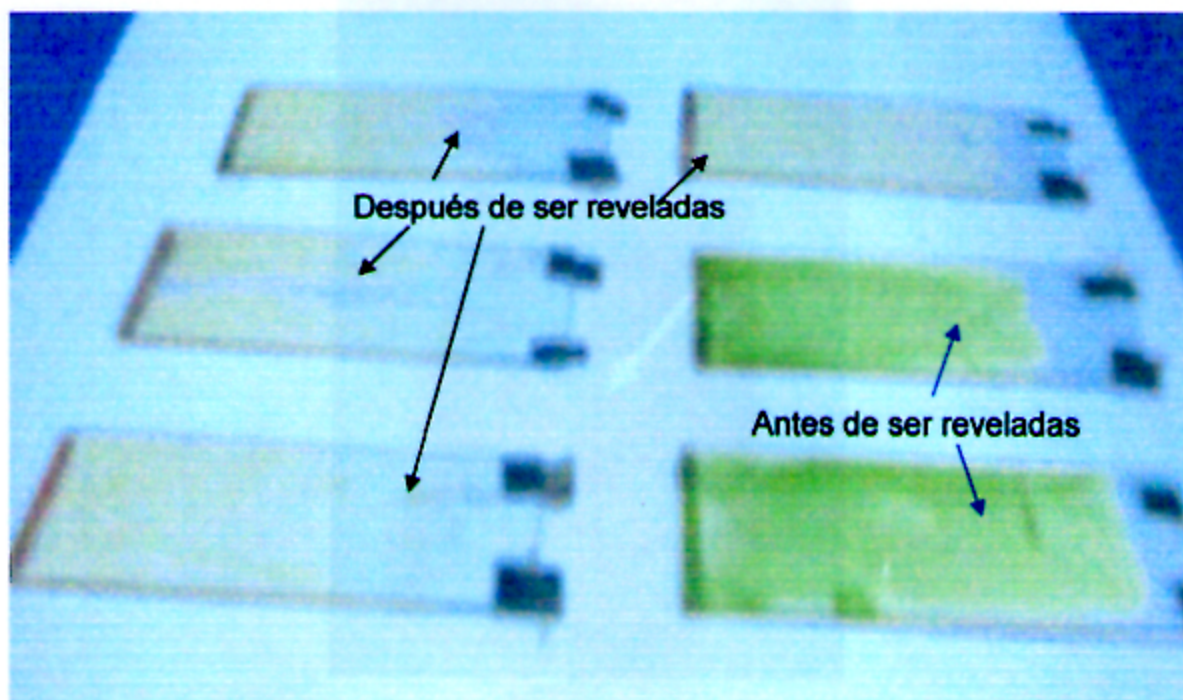


Figura 23C. Sustratos de vidrios, con emulsiones de gelatina dicromatada antes y después de ser reveladas



Figura 23D. Sustrato de vidrio con emulsión de gelatina dicromatada, después de haber sido secado a temperatura del laboratorio durante 1 día

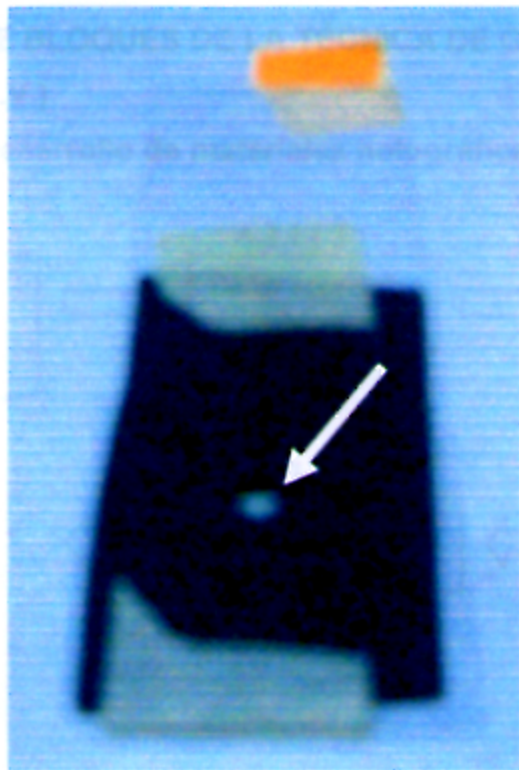
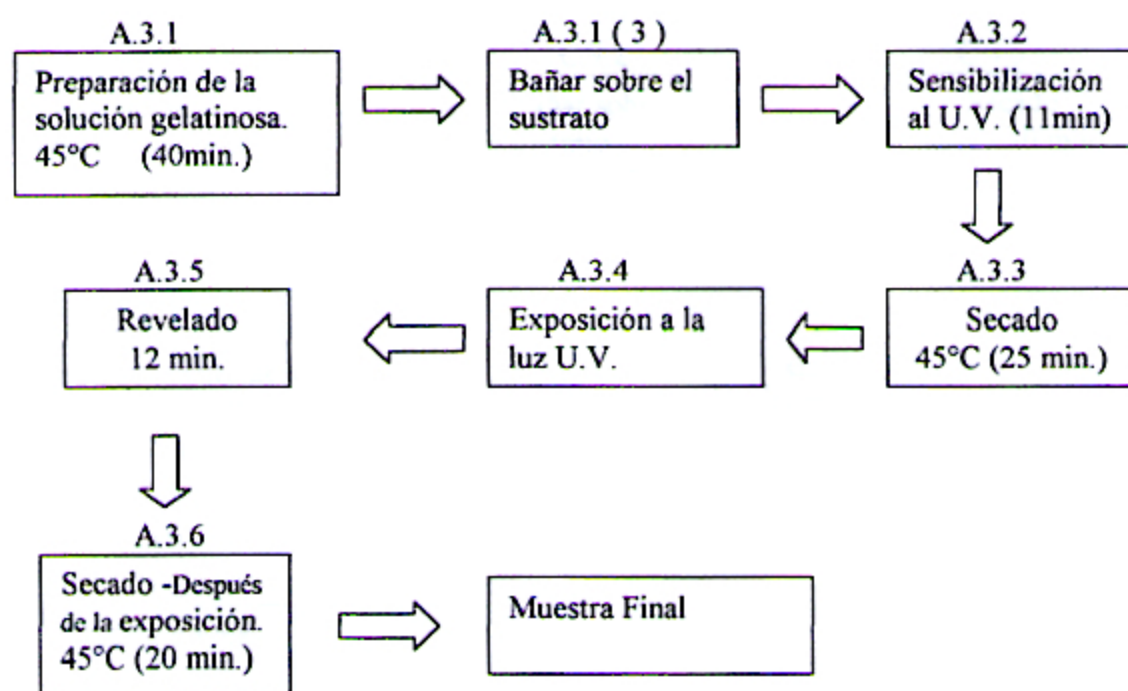


Figura 23E. Área seleccionada del holograma obtenido.

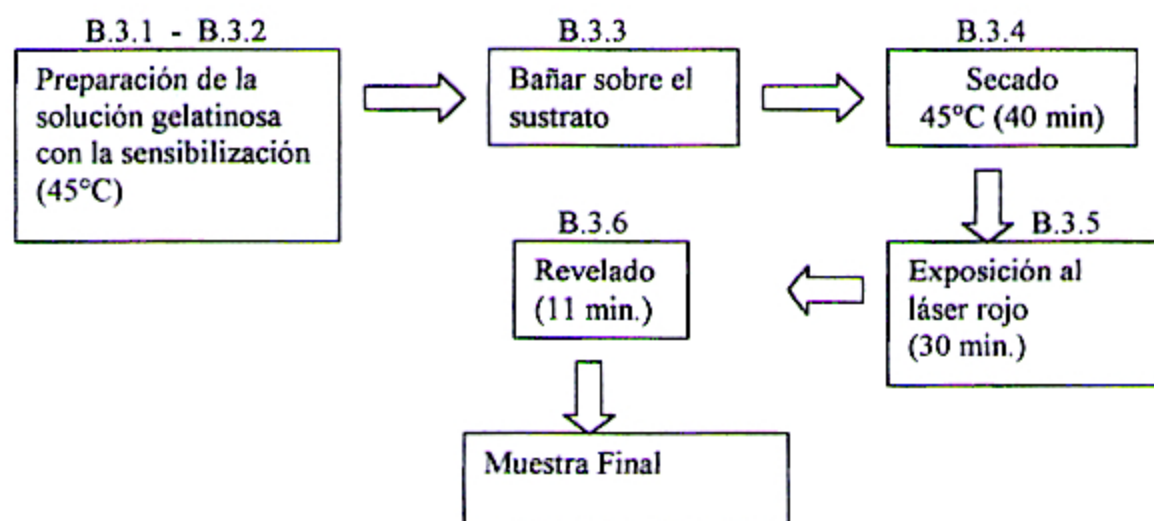
IV.C DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TÉCNICA DE GELATINA DICROMATADA (U.V.)

Procesos para el desarrollo de materiales holográficos sensibles al U.V.:



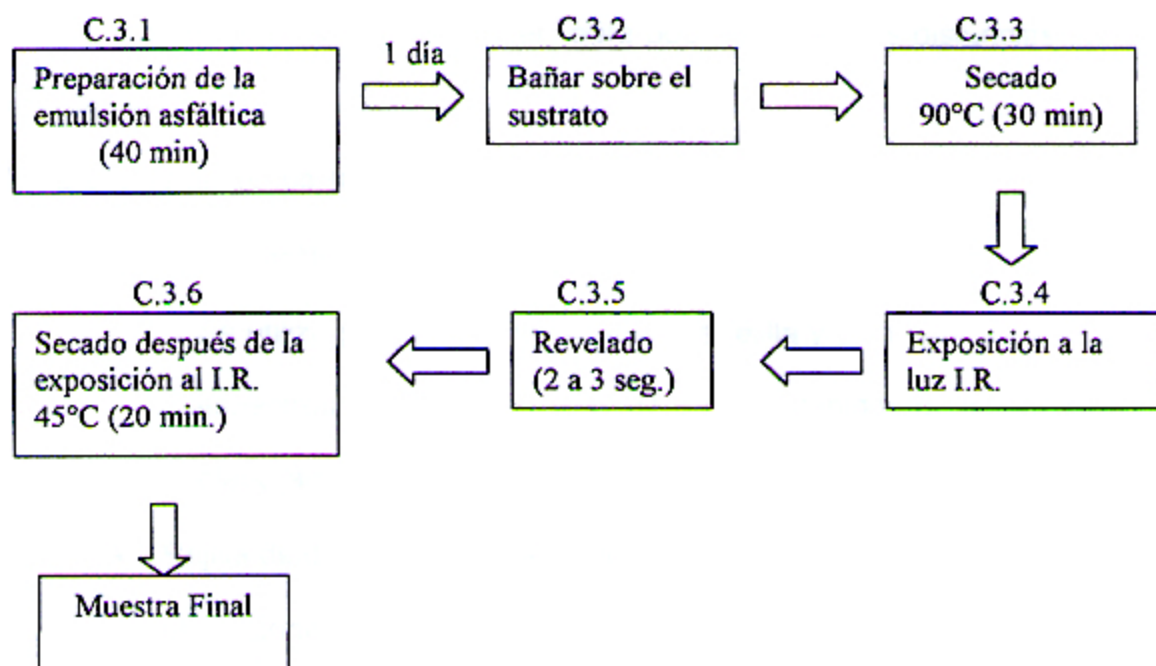
IV.D DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TÉCNICA DE GELATINA DICROMATADA SENSIBLE AL LASER ROJO

Procesos para el desarrollo de materiales holográficos sensibles al láser rojo:



IV.E DIAGRAMA DE BLOQUES DE LA TÉCNICA PELÍCULAS DE ASFALTO:

Procesos para el desarrollo de materiales holográficos asfaltados:



IV.F CARACTERIZACIÓN ÓPTICA DE LA MUESTRA

F.1 Distancias entre las rendijas de una rejilla

Con los patrones de interferencia obtenidos sobre la película, se usó el experimento de difracción Fraunhofer para poder obtener las distancias entre las rendijas.

Para ello se utilizó los siguientes equipos :

- Láser de He-Ne ($\lambda = 632,8\text{nm}$)

Se utilizó para poder incidir sobre la rejilla y así poder obtener los espectros o patrones de difracción debido a dicha rejilla elaborada.

- Rejilla de difracción (placa holográfica)
- Mesa goniométrica
- Celda fotovoltaica
- Multímetro

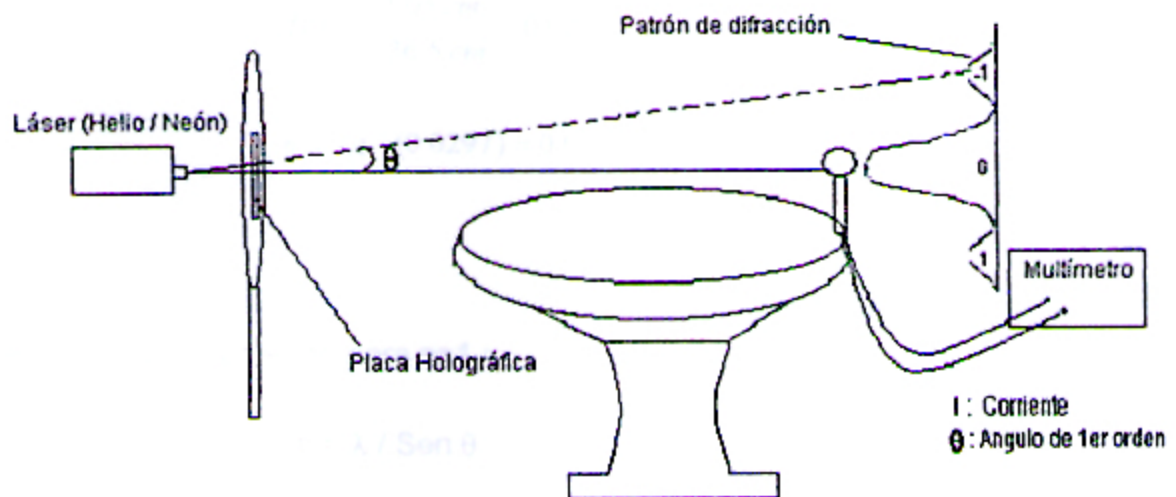


Figura 23F Montaje del equipo para obtener los patrones de difracción.

Analizando la rejilla de difracción holográfica, tenemos que la separación entre 2 marcas grabadas holográficamente viene dado por la ecuación (9):

$$d \text{Sen } \theta = n \lambda$$

para $n = +1, -1$ tenemos:

$$d \text{Sen } \theta_{+1} = \lambda ; \quad (n= 1)$$

$$d \text{Sen } \theta_{-1} = -\lambda ; \quad (n= -1)$$

además:

$$D = 136,5 \text{ cm}$$

$$I_{+1} = 4 \text{ cm.}$$

$$I_{-1} = 4,1 \text{ cm.}$$

de donde : $I_{\text{prom.}} = 4,05 \text{ cm.}$

de la figura 24

$$\text{Tg} \theta = \frac{4,05 \text{ cm}}{136,5 \text{ cm}} = 0,0297$$

$$\theta = \text{Tg}^{-1}(0,0297) = 0,0297 \text{ rad}$$

en la ecuación anterior, para $n=1$:

$$d = \lambda / \text{Sen } \theta$$

$$= 0,675 \mu\text{m.} / \text{Sen}(0,0297 \text{ rad})$$

$$= 22,76 \mu\text{m.}$$

Así, la separación entre rendija es $22,76 \mu\text{m.}$

Y para aproximadamente 1 mm de diámetro del haz del láser,

este se ve 10^{-3} mm./ 22.76×10^{-6} longitud por rendija;

es decir,

aproximadamente 44 rendijas;

o sea 44 líneas/mm.

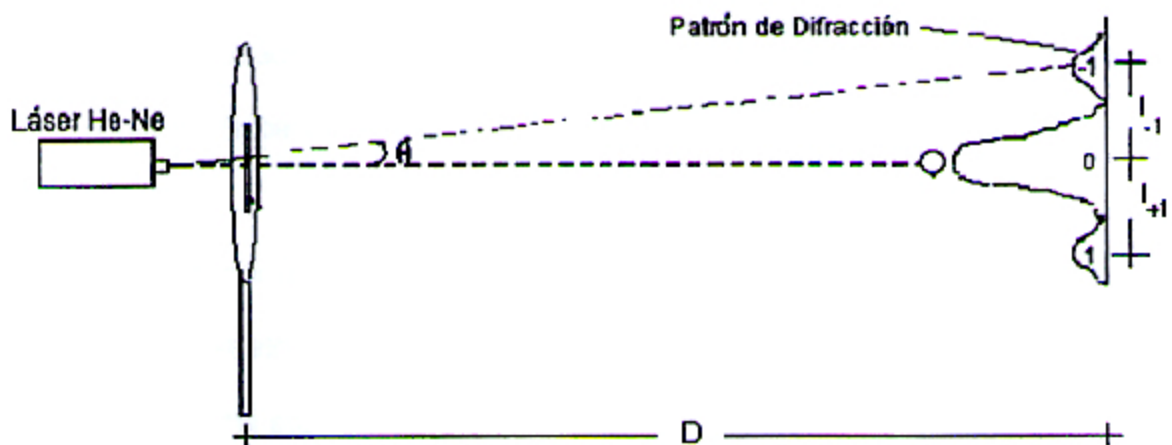


Figura. 24 Equipo de medición de intensidad del patrón de difracción de la placa holográfica

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. A Para la muestra sensible al U.V

A) Se debe de tener en cuenta tres factores en la película holográfica: permanencia, definición y rapidez. La permanencia se logra con la fijación sobre el sustrato de vidrio y la definición indica como esta grabado la imagen sobre la emulsión gelatinosa (tiempo de exposición, revelado, lavado, secado, etc) , y la rapidez es la optimización (parámetros que controlan la calidad del tiempo en uso)

B) Para obtener una película adecuada debemos de considerar lo siguiente:

- 1) El sustrato de vidrio debe de estar bien limpio (y seco) sin ralladuras sobre dicha superficie.
- 2) La gelatina preparada deberá de estar bien disuelta sin granulaciones.
- 3) En la sensibilización tener en cuenta el tiempo en el cual es sumergida la emulsión gelatinosa
- 4) Tener en cuenta que se ha formado una película ortocromática (son capaces de registrar solo algunas longitudes de onda.) y no una película pancromática (capacidad de "reaccionar" a todos los colores del espectro solar)
- 5) La temperatura de la gelatina debe de ser bien controlada. (45°C)
- 6) Verificar y calibrar bien el equipo de irradiación.
- 7) Tener cuidado con el hinchamiento de la gelatina en los baños.

V. B Para la muestra sensible al Láser Rojo (visible).

- A) Tener bien limpio los sustratos de vidrios y bien secos, es decir que no posean asperezas
- B) En todo instante deberá de estar moviéndose la solución, a fin de que no se decante
- C) Tener mucho cuidado cuando se agrega el DICROMATO, debido a que solidifica muy rápido a la solución si no ha sido muy diluida. (o posee menos porcentaje de agua)
- D) En todo instante la temperatura de la solución deberá de estar en promedio a los 45°C aproximadamente.
- E) La razón de TMG y TMGA debe de estar cerca a la proporción 4/3
- F) La cantidad de el dicromato está dado con la razón de la solución de gelatina-agua-fijador. Es decir si no es muy diluido, el dicromato deberá de ser menor.

V.C Para la muestra betuminosa o asfáltica

- A) Al esparcir la solución lavanda- brea sobre el sustrato con el pincel, tener mucho cuidado al formar la superficie, debe de ser lisa y uniforme.
- B) Es recomendable dejar reposar por lo menos 1 día a la solución lavanda – brea, después de haberla preparada
- C) En el revelado, después de haber sido expuesta a la fuente de luz coherente, se tiene que usar una luz no directa, y ver como se va mostrando las grabaciones realizadas sobre la película betuminosa, el revelado es de unos cuantos segundo. (por lo menos 3 segundos).

V. D Fallos de la imagen debido a la gelatina

Algunos factores, que afectan la emulsión gelatinosa en el proceso de revelado:

A) **Puntos negros irregulares:** Adherencia de partículas de revelador cristalizado sobre la emulsión, o de sustancias que provocan velo o aceleran el revelado.

B) **Puntos transparentes irregulares:** Se deben a partículas sólidas depositadas sobre la emulsión antes de la exposición. También son causados por burbujas de aire adheridas a la gelatina en los primeros minutos o durante todo el revelado.

La formación de burbujas obedece a varias razones, siendo la más común por diluir el revelador con agua vertida por un grifo a alta presión o por diluir el revelador con agua más fría que la temperatura ambiente ya que, al calentarse, libera aire. También son causados por salpicaduras de agua previa al revelado o por condensación de humedad sobre la película. La condensación se produce por transportar la cámara de la película desde un ambiente muy frío a uno más cálido.

C) **Teñido pardo o amarillento:** Utilización de un revelador muy agotado o falta de sulfito de sodio.

D) **Deformación de la imagen:** Es causada por la fusión de la gelatina al ser sometida a una muy alta temperatura mientras se encuentra húmeda.

E) **Sustancias incrustadas:** Falta de higiene en el horno de secado. El polvo en el ambiente (desprendimiento de pintura de paredes y techos), se adhieren a la emulsión cuando aún está húmeda.

V. E Cualidades de la gelatina

- A) La gelatina impide la coagulación del dicromato de potasio, haciendo que estén en suspensión más o menos uniforme en todo el aglutinante.
- B) Calentada, la gelatina forma un líquido fácil de mezclar y cómodo de depositar en el soporte y sin embargo, fragua rápidamente (forma geles) cuando se le enfría o se seca.
- C) La gelatina es muy transparente, carece de grano y es virtualmente incolora.
- D) La gelatina es permeable, hinchándose cuando se pone en solución, de modo que permite la penetración de las sustancias químicas y la eliminación por lavado de cualquier compuesto soluble. Al mismo tiempo, el gel dicromatado no resulta alterado a las temperaturas normales de trabajo.
- E) La gelatina es de fácil obtención y no se deteriora fácilmente.

VI. BIBLIOGRAFÍA

[1]. Dichromated gelatin for the fabrication of holographic optical elements

B. J. Chang and C. D. Leonard

Applied Optics vol 18 No 14 1979

[2]. Revisión bibliográfica sobre materiales de registro holográficos

Rosalina Reyes y Lisset Rubiera

Centro de desarrollo de equipos e instrumentos Científicos, Ministerio de ciencia, tecnología y medio ambiente. México

www.intranet.dict.uh.cu/rev_fis_2001_no1.asp

[3]. Nicéphore Niépce und die Erfindung der Photographie

Von Jean – Louis Marignier und Michel Ellenberger

Spectrum der Wissenschaft, 1997

[4]. Red sensitive dichromated gelatine: investigations on the influencia of some parameter on difracction efficiency

Thomas Rimpler, Günther Wernicke, Hartmut Gruber

Optical Engineering 1128-1131 (1995)

[5]. Dichromated gelatin for holography optical elements

David Shell, Pilkington Plc.

Spie vol 1212 Practical Holography IV 1990

- [6]. Física para ciencias e ingeniería 2
John P. McKelvey- Howard Grotch
Harla – México .Primera edición 1978. 1290 pág.
- [7]. Física Vol. II Campos y Ondas
Marcelo Alonso – Edward J. Finn
Fondo Educativo Interamericano S.A. 1970. 1036 pág.
- [8]. Gravacao de redes hologáficas de difraccão
www.cienciaviva.pt/docs/redes.pdf
- [9]. Photographers' formulary
Catalog Number 07-0110 (800-922-5255)
www.digitaltruth.com/store/formulary_tech/07-0110.pdf
- [10].The History of Dichromates: DCG References
www.alt.xmission.com/~ralcon/dcg-refs.html
- [11].Hoja de seguridad XIV - Dicromato de potasio
<http://www.fquim.unam.mx/sitio/uploads/pdfs/hoja14.pdf>.
- [12].Tesis de Licenciatura de Eyzaguirre Gorvenia, Carmen Rosa
Desarrollo de un sistema holográfico de geometría vertical
Abril 1996. Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ciencias.

- [13]. Cinética fotoquímica www2.uca.es/grup-invest/corrosion/integrado/P9.pdf
- [14]. Holography
SPIE's Internacional technical Group Newsletter
Vol 13, No 2 (2002)
www.spie.org/Membership/pdfs/Holography/Holography2-13.pdf
- [16]. El asfalto en la construcción de pavimentos flexibles.
Dr. Jorge O. Agnusdei
Asociación Peruana de caminos. (segundo curso – Marzo 2002)
Bituper S.A.C / Petroperu
- [17]. Methylene Blue sensitived dichromated gelatina holograms: a new electron donor for their improved photosensitivity.
J. Blyth
Appl. Optics 30, 1589 – 1602 (1991)
- [18]. Photographic gelatin
Curme H.G.
Ed. Mc Millan Publishing 4th ed. 1972 Marshall A.S.

[19]. The structure and properties of solid gelatine and the principles of their modification

P.V. Kozlov

Polymer 1983, vol 24 Jun 1983 pp 651-666

Department of chemistry, M.V. Lomonosov Moscow state university, USSR and G.I Burdygina

[20]. Enciclopedia de tecnología química

R. Kira, D. Othmer

Tomo II y VIII. Primera Edición en español.

Unión tipográfica editorial Hispano- americana México