



# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
COLEGIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

## **“IMPLEMENTACIÓN DE PIGMENTO DE BETABEL COMO AGENTE FOTOSENSIBILIZADOR EN LA OBTENCIÓN DE PELÍCULAS HOLOGRÁFICAS”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

**EDGAR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

DIRECTORAS DE TESIS:

**DRA. SANTA TOXQUI LÓPEZ**

**DRA. CLAUDIA SANTACRUZ VÁZQUEZ**

CODIRECTOR DE TESIS:

**DR. ARTURO OLIVARES PÉREZ**

FEBRERO 2014

BENEMÉRITA  
UNIVERSIDAD  
AUTÓNOMA DE PUEBLA



FACULTAD DE  
INGENIERÍA QUÍMICA

**C. EDGAR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**  
**PASANTE**  
**LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**  
**PRESENTE:**

**Oficio No. FIQ/AC/159/2014**  
**Asunto: Registro de Tema de Tesis**  
**Fecha: 06 de Febrero de 2014**

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería Química cuyo título es el siguiente:

**“IMPLEMENTACIÓN DE PIGMENTO DE BETABEL COMO AGENTE FOTOSENSIBILIZADOR EN LA OBTENCIÓN DE PELÍCULAS HOLOGRÁFICAS”**

Con el siguiente contenido:

**INTRODUCCIÓN**

**CAPÍTULO 1            ANTECEDENTES**  
**CAPÍTULO 2            METODOLOGÍA**  
**CAPÍTULO 3            RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**CONCLUSIONES**  
**BIBLIOGRAFÍA**

Director de Tesis: Dr. Santa Toxqui López

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

**ATENTAMENTE**  
**“Pensar Bien, Para Vivir Mejor”**

*Tita Vázquez E. de los Monteros*  
**M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS**  
**SECRETARIA ACADÉMICA**



**DIRECCION**

C.c.p. Director de Tesis: Dr. Santa Toxqui López  
Archivo.



# Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA

LIC. Ma. Cristina Laura Gómez Aguirre.  
Directora de la Administración Escolar  
De la BUAP.  
Presente

ASUNTO:  
AUTORIZACIÓN  
IMPRESIÓN DE TESIS

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería Química

**EDGAR HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

Quién presenta como tema de tesis:

**IMPLEMENTACIÓN DE PIGMENTO DE BETABEL COMO AGENTE  
FOTOSENSIBILIZADOR EN LA OBTENCIÓN DE PELÍCULAS  
HOLOGRÁFICAS**

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE

**“Pensar Bien, para Vivir Mejor”**

H. Puebla de Z., a 18 Febrero de 2014

Director de Tesis  
Dra. Santa Toxqui López.



Se agradecen las facilidades otorgadas para la realización de este proyecto al Laboratorio de Alimentos 106C/104 de la Facultad de Ingeniería Química de la Buap y a la beca otorgada al FONDO FOMIX-CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla.

Este proyecto fue financiado por el Fondo CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla que lleva por título: “Innovación en los sistemas de producción, manejo y comercialización de productos endémicos del Estado de Puebla”, Clave: 130749.

Producción asociada a la presente tesis: “Betacyanins pigments as photosensitizing agents for holographic recording medium” presentada en el congreso internacional “Practical Holography XXVIII: Materials and Applications” de la SPIE (International Society for optics and photonics) en “The Moscone Center-San Francisco, California, United States”, del 1-6 Febrero 2014.

## AGRADECIMIENTOS.

Me gustaría expresar mi gratitud a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial a las Doctoras, Santa Toxquí López y Claudia Santacruz Vázquez, directoras de esta investigación, por la orientación, seguimiento y supervisión de la misma, muchas gracias.

Especial reconocimiento merece el interés mostrado por este trabajo y las sugerencias recibidas por parte de mis sinodales, las Maestras María Juana Paredes Bautista y Tania Meza Gaspar, gracias por sus consejos y conocimientos brindados.

También quiero dar las gracias al cuerpo académico del Colegio de Ingeniería Química por compartir sus conocimientos los cuales fueron parte importante de mi formación profesional.

A mis profesores M.C. Jorge Ortega Pérez, Dra. Mayra Ruiz Reyes y M.C. César Luna Ortega, por todos los conocimientos que adquirí durante sus cátedras, por dejar una marca muy especial en mi formación académica-profesional al esperar siempre lo mejor de mí, y por sobre todo por su amistad.

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por abrirme sus puertas y brindarme la oportunidad de convertirme en una mejor persona y un profesional junto con la Facultad de Ingeniería Química, hogar de muchos que como yo eligieron esta carrera, y que con mucho orgullo y respeto representaré.

## DEDICATORIAS.

Le dedico este trabajo de tesis primeramente a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser fortaleza en momentos de debilidad, por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

Con todo a mi madre Cristina Hernández Serrano, la persona más importante en mi vida y a quien le debo todo, te agradezco por apoyarme siempre y por darme la oportunidad de desarrollarme y tener esta hermosa profesión. Te amo.

A mis hermanos Néstor Andrés y Guillermo Antonio, por soportar todas mis noches de desvelo y porque siempre he contado con ustedes en las buenas y en las malas, gracias por ser parte de mi familia.

A todos mis compañeros y amigos que durante mi estancia en la universidad fueron parte de mi formación académica-profesional, ya que con su ayuda ésta se hizo más fácil.

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.....	9
1.1.- HOLOGRAFÍA.....	9
1.2.- REJILLAS DE DIFRACCIÓN.....	11
1.3.- PIGMENTOS.....	12
1.4.- PIGMENTOS DE BETALAÍNAS.....	13
1.5.- ENCAPSULANTES.....	15
1.6.- SECADO POR ASPERSIÓN.....	16
1.6.1.- ETAPAS DEL SECADO POR ASPERSIÓN.....	17
1.7.- PELÍCULAS FOTOSENSIBLES COMERCIALES.....	18
1.8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES FOTOSENSIBLES.....	19
1.8.1.- SENSIBILIDAD ESPECTRAL.....	19
1.8.2.- RESOLUCIÓN.....	20
1.9.- JUSTIFICACIÓN.....	20
1.10.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.11.- HIPÓTESIS.....	22
1.12.- OBJETIVOS.....	23
1.12.1.- OBJETIVO GENERAL.....	23
1.12.2.- OBJETIVOS PARTICULARES.....	23
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.....	24
2.1.- OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA.....	25
2.2.- OBTENCIÓN DE JUGO DE BETABEL.....	26
2.3.- PROCESO DE SECADO.....	29
2.4.- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL PIGMENTO EN POLVO.....	33
2.5.- OBTENCIÓN DE POLÍMERO DE PVA (ALCOHOL POLIVINÍLICO).....	33
2.6.- SOPORTE DE LAS CAPAS DE PELÍCULAS.....	34
2.7.- MEZCLA PARA GENERACIÓN DE PELÍCULAS.....	35
2.8.- CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA GENERACIÓN DE PELÍCULA EN UV-VIS.....	38
2.9.- TÉCNICA DE REPLICACIÓN DE UN HOLOGRAMA.....	38
2.10.- REGISTRO O GRABADO DE LA PELÍCULA.....	40

2.11.- CÁLCULO DE EFICIENCIA DE DIFRACCIÓN. ....	41
CAPÍTULO3. RESULTADOS. ....	42
3.1.- PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE JUGO DE BETABEL. ....	42
3.2.- JUGO DESHIDRATADO DE BETABEL.....	42
3.3.- CARACTERIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA CAPA DE PELÍCULA. ....	44
3.4.- EFICIENCIA DE DIFRACCIÓN.....	47
CONCLUSIÓN. ....	50
RECOMENDACIONES. ....	51
REFERENCIAS. ....	52
GLOSARIO DE TÉRMINOS .....	55

## CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES.

### 1.1.- HOLOGRAFÍA.

La holografía es una técnica de registro de imágenes en tres dimensiones que ha pasado por un gran número de cambios antes de llegar a lo que es hoy en día. Cuando comenzaron a desarrollarse, los hologramas solo podían ser creados bajo circunstancias muy restringidas; el objeto que quería ser registrado en el holograma tenía que ser prácticamente transparente y la imagen únicamente podía ser reconstruida con una lámpara de vapor de mercurio, además de que la imagen que se obtenía era monocromática (esencialmente blanco y negro). Con el paso del tiempo y desarrollo científico, particularmente la invención del láser, ahora pueden crearse hologramas de colores reconstruidos con luz blanca [1].

En 1947, antes de que se inventara el primer láser de helio-neón, Dennis Gabor (1900-1981), intentó mejorar la resolución y definición del microscopio electrónico mediante un registro fotográfico de imágenes al que llamo Holografía, del griego *Holos*, que significa completo, ya que el registro que se obtiene de la imagen es completo inclusive la información tridimensional [2]. El método ideado consistía en dos pasos, el registro en una placa fotográfica del patrón de difracción producido por una onda luminosa o un haz, cuando pasa por el objeto cuya imagen se desea formar. El segundo paso era hacer pasar un haz luminoso a través del registro holográfico, una vez revelado. La luz al pasar se difractaba de tal manera que en una pantalla colocada adelante se formaba una imagen del objeto. Dennis Gabor aunque no tuvo éxito en mejorar el microscopio electrónico, encontró un método nuevo para formar imágenes y así las bases de la holografía fueron establecidas. Posteriormente

con el desarrollo del láser (Fuente de luz coherente) este método fue mejorado por los investigadores Leith y Uptnieks [2, 3].

La teoría y las técnicas experimentales reportadas que existen para la obtención de un holograma son importantes, pero cabe resaltar que también juega un papel no menos preponderante el medio donde el holograma es registrado, tanto las técnicas empleadas para la obtención de un holograma; así como el tipo de material empleado para el registro de éstos, los cuales han evolucionado a través del tiempo, debido a las exigencias de los cambios tecnológicos [4]. A pesar de que una diversidad de literatura científica describe a ciertos materiales como medios de registro holográfico (en general sales metálicas) y el desarrollo de éstos para una gran variedad de usos en óptica holográfica, actualmente el campo de investigación de materiales para registro en tiempo real o replicación holográfica es objeto de estudio en varios centros de investigación en óptica en el mundo, tal es el caso del grupo de Ingeniería, Ingeniería de Alimentos e Ingeniería Química de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con el objeto de contribuir con nuevos materiales alternativos.

En la literatura se reportan varios sistemas-materiales entre los cuales encontramos a las emulsiones de haluros de plata, sistemas fotopolimerizables, sistemas foto-enlazables y sistemas de polímeros dopados como sistemas de registro fotosensible [5].

La mayoría de emulsiones utilizadas para construir capas de película como medio de registro holográfico consisten básicamente de dos partes: el medio de suspensión y el compuesto sensible a la luz. El medio de suspensión satisface varios requisitos,

pero, en primer lugar es un coloide protector que mantiene la fase sensible altamente esparcida [4,5].

Los sistemas fotopolimerizables, requieren de un fotoiniciador el cual genera radicales libres en estado excitado e inicia la polimerización, además de un fotosensibilizador que ayuda a extender el rango espectral del medio y sensibiliza la reacción en presencia de un electrón donado.

En general un sistema foto-enlazable, consiste de un fotosensibilizador que son iones metálicos, los cuales sufren una reacción fotoquímica e induce enlazamiento dentro del medio de registro siendo los responsables de los cambios en la modulación del índice de refracción y en la formación del holograma.

Sistemas de polímeros dopados, se refiere a sistemas en los que se añaden tintes o colorantes al medio de suspensión, en este estudio, el alcohol polivinílico en solución acuosa dopado con pigmento de betabel [5].

## **1.2.- REJILLAS DE DIFRACCIÓN.**

Las rejillas de difracción son una gran cantidad de líneas paralelas distribuidas de forma uniforme en una pequeña porción de espacio, donde comúnmente una rejilla tiene algunos miles de líneas por centímetro que se generan mediante un arreglo experimental interferométrico utilizado para el grabado con láser de la película, este arreglo tiene la característica de difractar el haz de luz láser y enfocarlos mediante el uso de espejos en un punto a cierta distancia [6].

### 1.3.- PIGMENTOS.

Los pigmentos o colorantes son compuestos químicos que absorben la luz en el rango de longitud de onda de la región visible. El color producido es debido a una estructura molecular específica, la cual, captura la energía generando la excitación de un electrón de un orbital produciendo su paso a un orbital más alto; la luz no absorbida es reflejada y/o refractada para ser capturada por el ojo, donde los impulsos neuronales generados son transmitidos al cerebro donde pueden ser interpretadas como color [7].

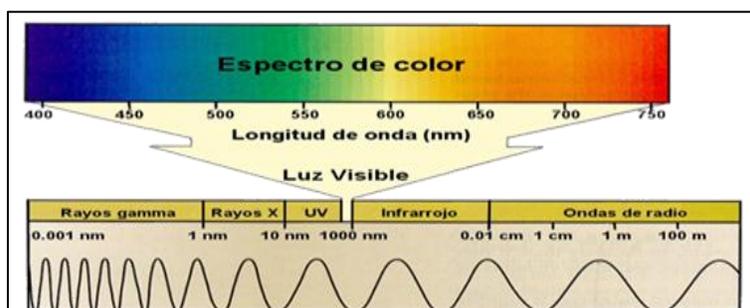


Figura 1. Espectro electromagnético y rango de luz visible.

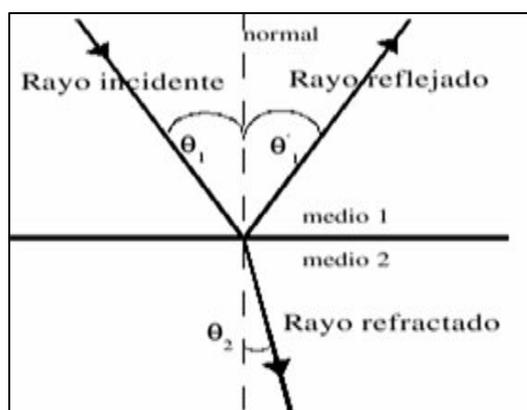


Figura 2. Reflexión y refracción de la luz.

En la actualidad la industria de los alimentos utiliza colorantes que son aditivos utilizados para mejorar la apariencia de los alimentos y los hace más atractivos para el consumidor ya que consumir una conserva parda o un jugo descolorido debido a algún proceso tecnológico no es atractivo para los consumidores, de ahí que se le adicionen colorantes a los alimentos para mejorar su apariencia [7]. Por otra parte, Los consumidores de ahora ponen mayor atención en las etiquetas de los alimentos porque se cuida más la salud, por lo tanto los fabricantes de aditivos alimentarios están buscando más productos naturales para sustituir a los artificiales [8].

#### 1.4.- PIGMENTOS DE BETALAÍNAS.

Uno de los colorantes naturales más empleados dentro de la industria alimentaria son los pigmentos de betalaínas obtenidas del betabel (*Beta vulgaris*) debido a que poseen una gran solubilidad en agua para dar coloraciones deseadas en alimentos procesados tales como bebidas, lácteos, cárnicos, etc. [7,9]. Sin embargo, en esta investigación se muestra que este tipo de pigmentos pueden ser empleados como agentes fotosensibilizadores en el área de materiales para registro holográfico.

Los pigmentos de betabel, las betalaínas, son compuestos derivados del ácido betalámico, que a su vez, se divide en dos tipos diferentes de pigmento; las betacianinas que son las responsables de otorgar una coloración roja, y las betaxantinas que proporcionan una coloración amarilla, ambos han sido empleados generalmente como colorantes naturales en la rama alimenticia. De acuerdo a la literatura, los contenidos de betacianina y de betaxantina en el betabel varían dentro del rango de 0.04-0.21% para betacianina y 0.02-0.14% para betaxantina, en otras palabras, el betabel además de ser barato, produce cerca de 5 g de betacianina por kilogramos de betabel [8]. Químicamente la definición de betalaínas abarca todos

los compuestos con estructuras basadas en la fórmula general mostrada en la Figura 3.

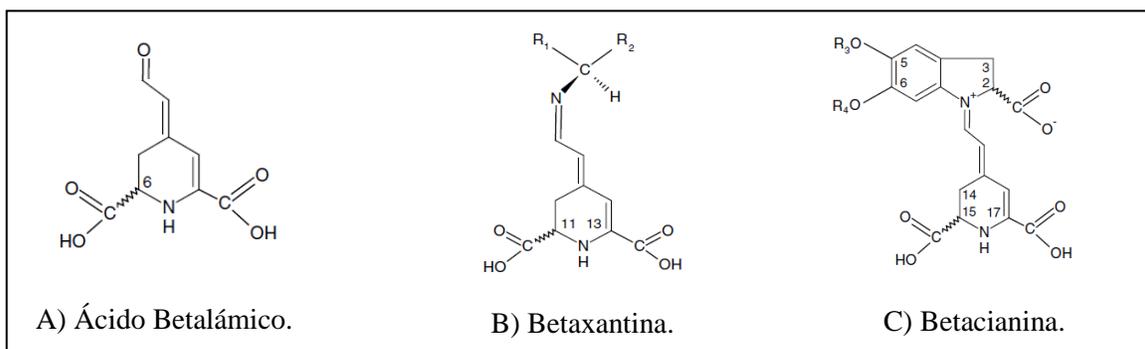


Figura 3. Ácido betalámico (A), Betaxantina (B), Betacianina (C).

Esta investigación, se enfoca únicamente a la implementación del pigmento betacianina, ya que es el grupo pigmento predominante en el betabel rojo. Esta molécula es ópticamente activa, ya que posee dos centros quirales en C-2 y C-15, y presentan un máximo de absorción de luz en 540 nm [9]. El color de las moléculas de betacianina y betaxantina se le atribuye a sus dobles enlaces conjugados, en donde el máximo de absorción de luz a 480 nm es para las betaxantinas amarillas y se desplaza a 540 nm característico de las betacianinas rojas [10].

La caracterización óptica de colorantes es un campo extensamente estudiado desde finales del siglo pasado, sin embargo, existe poca información o reportes de la caracterización óptica en fitocolorantes, por lo que se presenta como una interesante oportunidad de incursionar en esta área con un amplia gama de posibilidades; debido a lo anterior se pretende la implementación de estos al campo de la holografía,

específicamente para el grabado de hologramas en tiempo real y la replicación de información [7, 9, 10].

### 1.5.- ENCAPSULANTES.

Una de las dificultades que se presentan durante el proceso de secado de jugo de frutas y otros productos con alto contenido de azúcar, se deben a la elevada higroscopicidad y termo-plasticidad a altas temperaturas y humedades [11]. Debido a esto se ha incrementado la adición de algunos materiales como maltodextrina, gomas, pectinas, silicato de calcio, entre otros, para la producción de polvos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos con el fin de encapsular componentes activos.

El encapsulante es una barrera entre el componente en la partícula y el medio ambiente, la cual lo protege del oxígeno, agua, luz y contacto con otros ingredientes, además de controlar la difusión. Las maltodextrinas son utilizadas principalmente en materiales que presentan dificultades para su deshidratación, tales como jugo de frutas, condimentos y endulzantes, ya que reducen los problemas de adherencia y aglomeración durante el almacenamiento, mejorando así la estabilidad del producto [12].

La mayor dificultad durante el proceso de secado por atomización de productos como los jugos de frutas y vegetales, es su alta adherencia. La deshidratación por atomización de jugos de fruta sin encapsulante puede ocasionar que se pegue a las paredes, se caramelize o se quemé [13]. La relación adecuada de jugo y

maltodextrina utilizada para lograr un secado sin que el producto se vuelva pegajoso fue estudiada por Adhikari y colaboradores en el 2004 [11].

La encapsulación con maltodextrina de jugo de betabel es entonces importante durante el proceso de secado, es por ello que la maltodextrina es utilizada cuando se emplea el sistema de secado por atomización (aspersión) [14].

### **1.6.- SECADO POR ASPERSIÓN.**

El secado por aspersión (también llamado atomización) es una operación continua para convertir una solución líquida, suspensión o papilla, en un polvo seco mediante la deshidratación de gotas minúsculas. Dentro de la cámara de secado, se ponen en contacto una corriente de aire caliente en gran volumen con la suficiente temperatura para lograr la evaporación, con la corriente de líquido el cual, debido a la atomización posee una gran área superficial a través de la cual ocurre la evaporación de la humedad. La aspersión o atomización permite crear una superficie de intercambio muy grande entre el aire y el fluido (jugo de betabel), propiciando intercambios de calor y transferencia de masa muy rápidos, lo cual se traduce en tiempos de residencia del producto a secar muy cortos (5 y 100 s) [12], el cual es una de las grandes ventajas del secado por aspersión [13].

Por las razones antes mencionadas se eligió el sistema de secado por aspersión sobre la técnica de secado por liofilización, el cual es un proceso en el cual el material a secar es primeramente congelado, en esta etapa el solvente se concentra (generalmente agua), para luego ser retirado por sublimación a presión reducida, hasta alcanzar valores de 5% de humedad o menores, disminuyendo las pérdidas de

componentes importantes. Sin embargo, esta técnica tiene la gran desventaja de que es costosa y requiere mucho tiempo de proceso.

#### **1.6.1.- ETAPAS DEL SECADO POR ASPERSIÓN.**

El proceso de secado por aspersión se realiza en 4 etapas [15]:

En la primera etapa el jugo de betabel se transporta con auxilio de una bomba peristáltica y es forzado a pasar a través de un pequeño orificio debido al efecto de presión realizado por una corriente de aire comprimido que hace ingresar al fluido a una boquilla de acero inoxidable donde se encuentra dicho orificio, formando una corriente líquida de pequeñas partículas que ingresan a la cámara de secado. En esta misma etapa un flujo de aire caliente se hace pasar a través de la cámara de secado, el cual va a producir la evaporación del agua presente en el jugo de betabel.

La segunda etapa es la dispersión de las partículas en el aire. Durante la aspersión de la alimentación, el área superficial del jugo aumenta considerablemente debido a que se forman partículas del jugo de betabel, lo cual conlleva al secado de las partículas al estar en contacto con la corriente de aire caliente.

El secado se considera como la tercera etapa. Corresponde al momento en que las gotas viajan y se convierten en material seco, durante esta etapa el solvente se evapora y el diámetro de la gota disminuye.

La recolección de los sólidos secos es la última etapa. En la salida de la cámara de secado, el producto es recuperado del aire en un ciclón. Adicionalmente se requiere

hacer la remoción del polvo de betabel de las paredes del ciclón con el apoyo de escobillones.

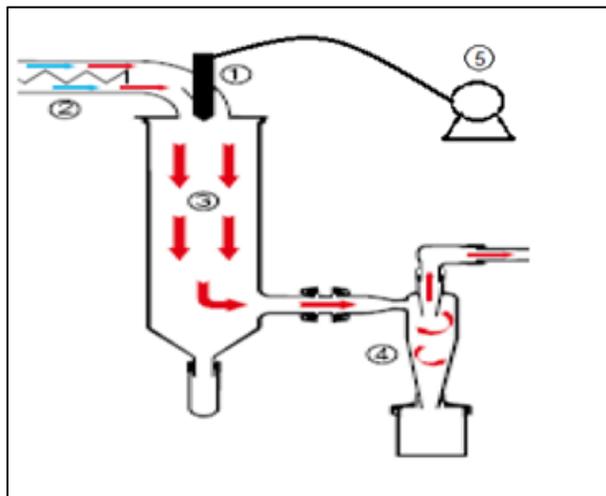


Figura 4. Esquema de un secador por aspersión.

Dónde:

- 1) Boquilla operada por aire comprimido para dispersar la solución en gotas.
- 2) Calentamiento eléctrico del aire de secado.
- 3) Cámara de secado de las gotas hasta partículas sólidas.
- 4) Ciclón para la separación de las partículas sólidas.
- 5) Bomba peristáltica.

### 1.7.- PELÍCULAS FOTSENSIBLES COMERCIALES.

Existe una gran cantidad de materiales fotosensibles que se pueden usar en holografía, como son los haluros de plata, gelatina dicromatada, cristales fotorrefractivos, fotoresinas, termoplásticos, fotopolímeros, etc. Sin embargo las emulsiones de haluros de plata son de los materiales más viejos y comúnmente

utilizados como materiales grabables. Consisten de una capa de gelatina en la cual, granos microscópicos de haluro de plata están dispersos (usualmente AgBr). Esta capa se coloca sobre un vidrio o un acetato, donde el espesor de la emulsión esta entre 5 y 15  $\mu\text{m}$  [16]. Son muy utilizadas porque posee gran sensibilidad a la luz ( $10^{-5}$  a  $10^{-3}$   $\text{mJ}/\text{cm}^2$ ) comparado con otros materiales y también puede ser grabado con buena resolución (más de 6000 líneas/mm). Por otra parte, su principal características negativa es la necesidad posterior de un baño químico que revele la información contenida en la película utilizando productos peligrosos a la salud y al medio ambiente [4].

## **1.8.- CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES FOTOSENSIBLES.**

### **1.8.1.- SENSIBILIDAD ESPECTRAL.**

Esta característica se refiere al intervalo de longitudes de onda que un material fotosensible es capaz de absorber. Para que un material se pueda usar en holografía es necesario que el material holográfico sea sensible a la longitud de onda del láser utilizado. Entre los láser comúnmente utilizados en holografía están los de Argón (Ar), Helio-Cadmio (He-Cd), Helio-Neón (He-Ne),  $\text{CO}_2$  y láseres de diodo. Los primeros emiten luz en la parte azul-verde del espectro visible, por otro lado, el láser He-Ne y el láser de diodo emiten en la parte roja del espectro [17].

### 1.8.2.- RESOLUCIÓN.

Una de las características importantes de los materiales de registro es la resolución. Se conoce como resolución ( $\nu$ ) a la capacidad de registrar el mínimo detalle de la información proveniente del objeto, y se expresa normalmente en ciclos o líneas por centímetro (Rejillas de difracción) [17].

### 1.9.- JUSTIFICACIÓN.

Existen una gran variedad de películas aceptadas comercialmente para el registro holográfico, pero una de las desventajas que presentan es que son altamente costosas y, por otro lado, algunas de ellas requieren un proceso de revelado con productos químicos peligrosos para la salud aumentando así tiempo, costos y riesgos para la obtención de hologramas [18]. Las betalaínas obtenidas del betabel implementadas en el proceso de generación de películas holográficas tienen la característica de eliminar el proceso de revelado con productos químicos, situación que ha motivado el desarrollo de este estudio ya que se presenta como una alternativa viable económicamente en reducción de tiempos y costos, además de ser amigable con el medio ambiente y la salud.

### 1.10.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

El betabel (*Beta vulgaris*) es una planta herbácea anual, de la familia de las quenopodiáceas, que llega a medir hasta dos metros que tiene una raíz grande redonda o alargada y es carnosa de color rojo o morado, muy conocida como comestible ya que de ella se extraen azúcares [19].

Las betacianinas extraídas del betabel producen un colorante llamado rojo betabel (colorante E-162) que ha sido utilizado en la industria de procesamiento de alimentos para dar color en sustitución de colorantes sintéticos a muchas cosas desde una sopa hasta un licor [7, 9]. Logrando una gran aceptación de parte de los consumidores, y, aunque hay diversos temas en torno a su aplicación a la industria de alimentos se están buscando nuevos campos de aplicación para estos colorantes naturales y su incursión en otras ramas de la ciencia como la óptica.

Esta investigación se enfoca al análisis de las betacianinas, uno de los pigmentos de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) presentes en el betabel obtenidos del jugo deshidratado de éste [7, 9], y su implementación como agente fotosensibilizador en la generación de películas holográficas para su grabado en tiempo real o replicación de hologramas obtenidos previamente (Máster).

### 1.11.- HIPÓTESIS.

Las betalaínas están formadas por dos subgrupos: las betacianinas, de color rojo y las betaxantinas de color amarillo. Se estudia principalmente a los pigmentos de betacianinas, los cuales se extraen del jugo de betabel mediante deshidratación por aspersión, las cuales han demostrado poseer características ópticas debido a sus carbonos quirales en C2 y C25 [5], y a que absorben radiación visible en el rango de 400-600 nm con un máximo en los 537 nm a un pH de 5 [9], debido a esto las betacianinas pueden formar parte de la formulación como agente fotosensibilizador y así ser implementadas en el proceso de obtención de películas fotosensibles para replicación o grabado de información en tiempo real.

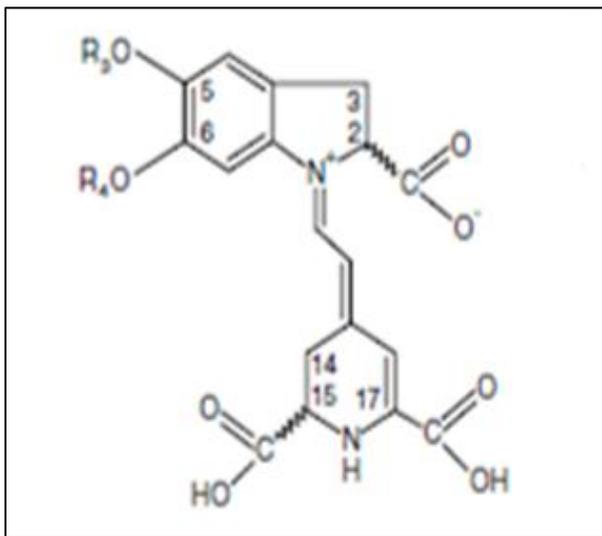


Figura 5. Estructura química de las betacianinas.

## **1.12.- OBJETIVOS.**

### **1.12.1.- OBJETIVO GENERAL.**

Implementar los pigmentos de betacianina obtenidas del jugo deshidratado de betabel como agente fotosensibilizador y como medio dispersor a una emulsión de alcohol polivinílico y agua en el proceso de obtención de películas fotosensibles para registro holográfico.

### **1.12.2.- OBJETIVOS PARTICULARES.**

- Obtención de pigmentos de jugo deshidratado de betabel.
- Caracterizar las propiedades fisicoquímicas del jugo de betabel.
- Obtención de la mezcla pigmento, PVA y agua.
- Obtención de películas holográficas mediante el método de gravedad.
- Caracterizar la mezcla obtenida por espectroscopía de UV-VIS.
- Replicación de información contenida en un máster.
- Grabado de la película mediante interferencia óptica.
- Cuantificación de la eficiencia de difracción.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.

Los procedimientos descritos a continuación se realizaron en la Facultad de Ingeniería Química de la Benemérita universidad Autónoma de Puebla en el laboratorio 106C/104 ubicado en Avenida San Claudio s/n Ciudad Universitaria, en conjunto con el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE) ubicado en Santa María Tonatzintla, San Andrés Cholula, 72840 Puebla, México. Los mapas de ubicación satelital son realizados con el programa online “Google Earth”.

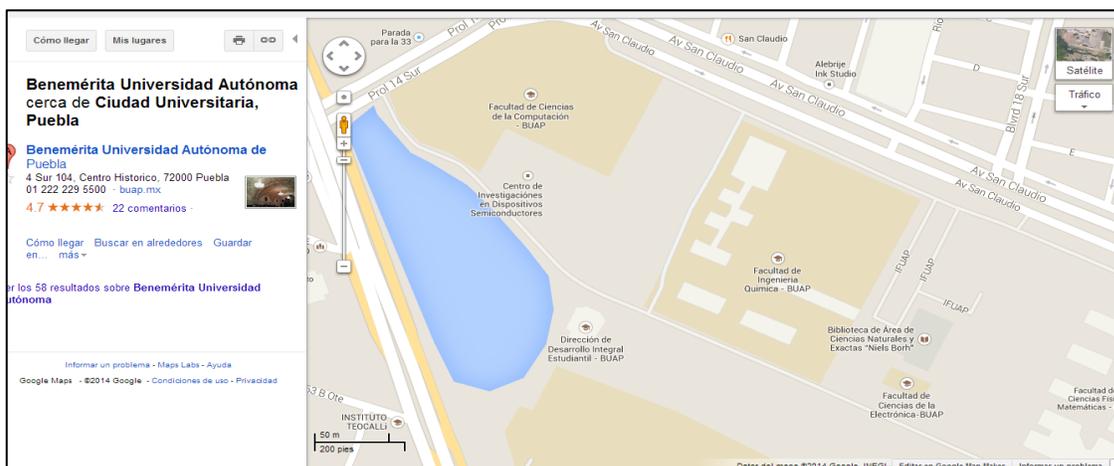


Figura 6. Ubicación satelital FIQ-BUAP.



Figura 7. Ubicación satelital INAOE.

El proceso para la obtención de películas holográficas con la implementación de pigmento de betacianina obtenido del betabel rojo se lleva a cabo desde la obtención del polvo deshidratado del jugo de la planta y la determinación de sus propiedades fisicoquímicas, hasta la medición de la eficiencia de difracción de las películas obtenidas mediante un arreglo experimental interferométrico para el grabado con láser en tiempo real y su representación en función del tiempo mediante representaciones gráficas.

## 2.1.- OBTENCIÓN DE MATERIA PRIMA.

La materia prima (betabel rojo) se adquirió en toda ocasión en el expendio local con ubicación en: Avenida Rosendo Márquez y 49 poniente colonia La Paz, donde la materia prima es proveniente de la región de Acatzingo en el Estado de Puebla. Se busca el mismo expendio para evitar variaciones mayores debidas a condiciones de almacenamiento por parte del proveedor de la materia prima.



Figura 8. Ubicación satelital expendio local.

## 2.2.- OBTENCIÓN DE JUGO DE BETABEL.

El proceso de extracción del jugo se realiza de la siguiente manera: Se retira la cascara y raíces que pueda tener el betabel y se corta en trozos de aproximadamente  $2\text{ cm}^3$  de volumen para después someterlos a la extracción de jugo utilizando un extractor de jugos; Modelo 6708, “Big Mouth” marca Hamilton Beach con No. de serie: C4311ATS de fabricación canadiense, con lo cual se obtiene fibra como residuo y jugo de betabel como producto.

El jugo obtenido se somete a un proceso de filtrado utilizando un filtro marca “Whatman” de número 1, para prevenir que algunas impurezas entren al secador (como fibras de residuo) con el apoyo de una bomba de vacío marca “Felisa”, modelo FE-1500 L de fabricación nacional, donde las condiciones de vacío son de 50 cmHg. Una vez filtrado, al jugo se le agrega maltodextrina marca “Fabsa, S.A. de C.V.” como encapsulante en una concentración del 10% sobre el jugo obtenido,

agitando continuamente para evitar la formación de grumos con el auxilio de un agitador magnético y varilla de vidrio hasta disolver completamente la maltodextrina, la cual nos ayuda a proteger el jugo de la oxidación del medio ambiente, de la temperatura y de otros ingredientes, además nos brinda una protección efectiva y prolongada del ingrediente activo (betacianinas) y ayuda a facilitar su transición de líquido a polvo[11].



Figura 9. Betabel rojo.



Figura 10. Extractor de jugos.



Figura 11. Filtrado con bomba de vacío.

### 2.3.- PROCESO DE SECADO.

Una vez obtenido el jugo de betabel mezclado con Maltodextrina “Fabsa, S.A. de C.V.” se mide el volumen deseado y se somete al proceso de secado por aspersión en el equipo Spray Dryer marca “Prendo” con No. Serie: 1212IA900054A hecho en México propiedad de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla de convección forzada, tipo neumático, provisto con una boquilla de atomización de 0.9 mm de diámetro interno y una bomba peristáltica para alimentar el producto (jugo de betabel) en el que se registra el tiempo de inicio y fin que toma este proceso de secado.

Al terminar el proceso se extrae el polvo de betabel obtenido en el ciclón y se guarda en recipientes oscuros perfectamente sellados para evitar la absorción de la humedad del ambiente.

Las condiciones de operación del secador por aspersión, que se indican a continuación, se obtuvieron experimentalmente y en base en información del catálogo del equipo:

**Tabla 1. Condiciones de operación del secador por aspersión.**

<b>Variables de proceso.</b>	
Flujo de alimentación	2.71 ml/min
Flujo volumétrico de aire de secado	28 m <sup>3</sup> /h
Flujo másico de aire de secado	33.6 kg/h
Diámetro de la cámara	0.2 m
Altura de la cámara	0.8 m

Tipo de boquilla.	Presión
Diámetro de boquilla.	0.9 mm
Temperatura de entrada de aire.	150-160 °C
Temperatura promedio de salida de aire.	70 °C
Potencia requerida para calentar el aire.	0.581 kW/h
Longitud de la resistencia eléctrica requerida.	0.68 m
Presión de aire para atomización.	4 bar
Aire atmosférico promedio en la ciudad de Puebla. (Agosto 2013).	80% HR 20°C
Capacidad máxima de la bomba.	1.81 l/h



Figura 12. Secador por aspersion.

El proceso de obtención de jugo deshidratado de betabel descrito anteriormente puede ser esquematizado en un diagrama de flujo de proceso (DFP). A continuación se muestra el esquema realizado para este proceso el cual se obtuvo mediante la aplicación del software Aspen Plus V7.3.

Dónde:      Equipo 1: Extractor.

Equipo2: Filtro.

Equipo 3: Mezclador.

Equipo 4: Bomba peristáltica.

Equipo 5: Compresor.

Equipo 6: Secador por aspersión.

Equipo 7: Resistencia eléctrica para calentar aire.

Equipo 8: Empacado.

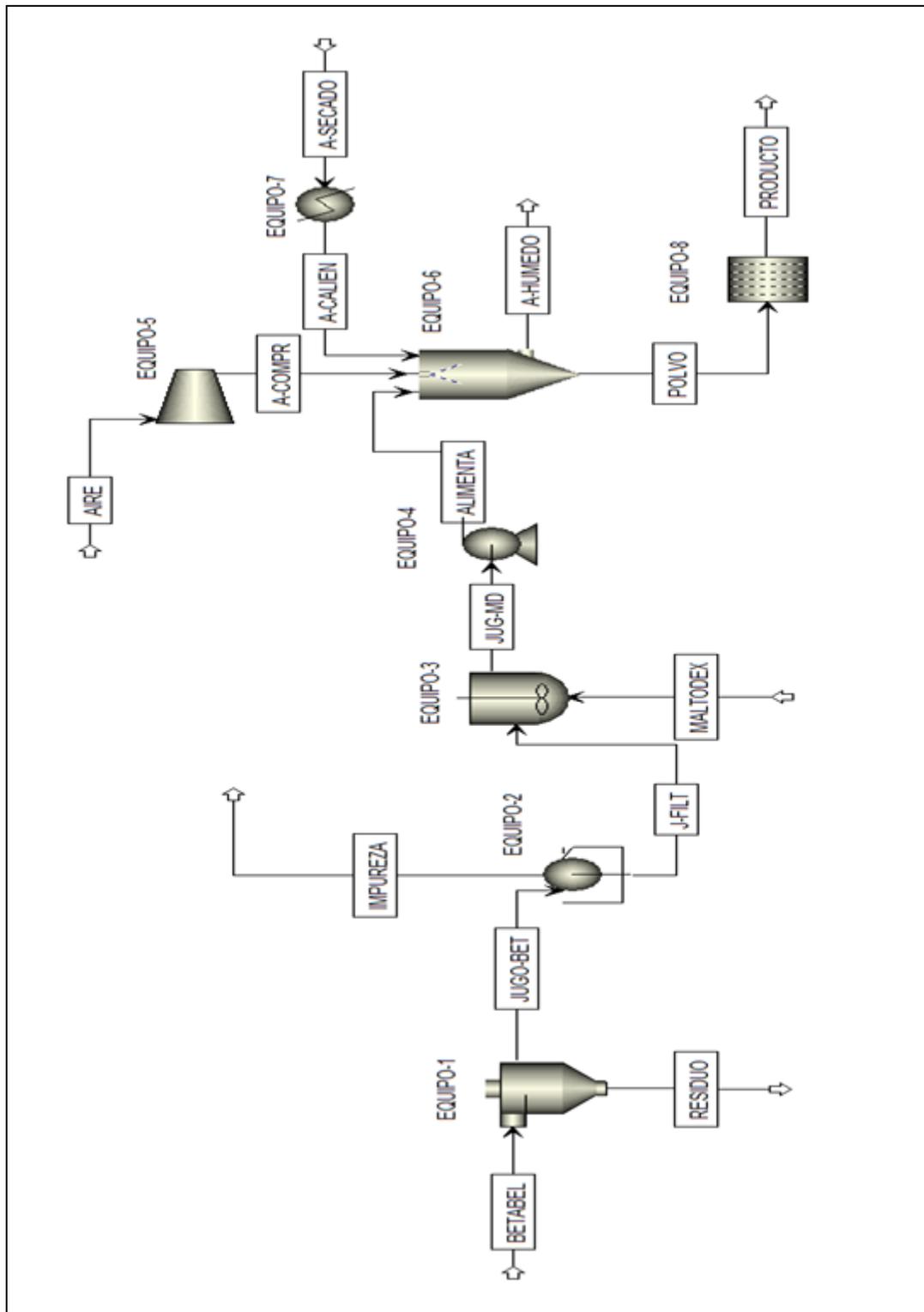


Figura 13. Diagrama de flujo de proceso de obtención de pigmento en Aspen Plus V7.3.

#### **2.4.- DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL PIGMENTO EN POLVO.**

La densidad aparente, se realiza por medición del peso en un recipiente con volumen conocido (como en un picnómetro), en donde se mide su peso sin material y con material, para que al hacer la diferencia conocer la cantidad de masa contenida en esa cantidad de volumen y así poder conocer la densidad [20].

#### **2.5.- OBTENCIÓN DE POLÍMERO DE PVA (ALCOHOL POLIVINÍLICO).**

Un polímero sintético soluble en agua como alcohol polivinílico (PVA) se presenta en forma de gránulos o polvo blanco que tiene las características de ser inodoro, no tóxico, resistente al oxígeno además de poseer gran flexibilidad e incoloro en solución acuosa, además de formar excelentes películas, por lo que es la elección óptima para el papel del medio de suspensión para el pigmento de betabel [21]

La obtención de polímero de PVA se realiza mediante la disolución de los gránulos de alcohol polivinílico  $(C_2H_4O)_n$  al 88% parcialmente hidrolizado grado técnico, marca "J.T. Baker". Estos gránulos se diluyen en agua destilada a 85°C en agitación continua con auxilio de un agitador magnético y de agitación mecánica manual permanente con varilla de vidrio, para formar una solución de 12%, evitando que se pegue a las paredes del vaso de precipitados ya que este material posee una gran adherencia en solución acuosa y será muy difícil el proceso de limpiado. Al terminar se somete a un periodo de secado por 24 horas y se guarda en un recipiente oscuro perfectamente sellado, ya que puede contaminarse por efecto del medio ambiente y tornarse de color amarillento.

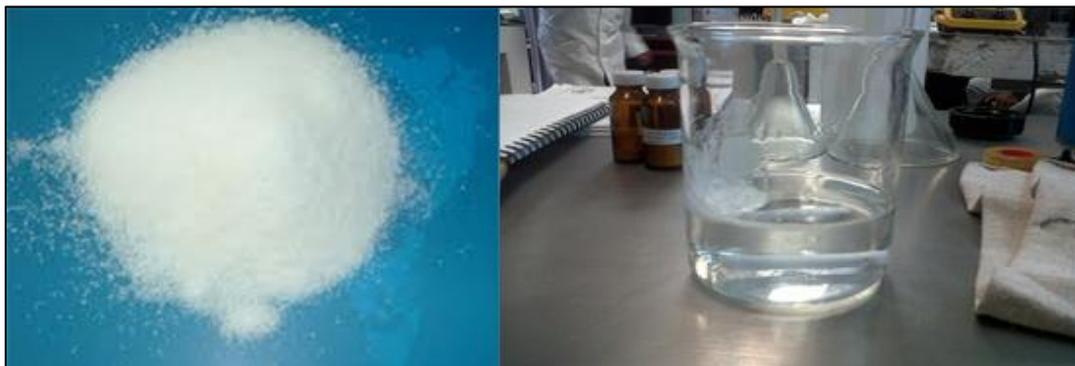


Figura 14. Alcohol polivinílico.

## 2.6.- SOPORTE DE LAS CAPAS DE PELÍCULAS.

Con el fin de actuar como el soporte de la capa de película se emplean sustratos de vidrio común de 5X5 cm ya que por ser muy lisos se podrá tener una buena adherencia de la emulsión en los sustratos. Estos se someten a un proceso de limpieza para que se encuentren libres de partículas y contaminación.

Es empleado un método convencional que consiste en lo siguiente:

- Lavado del sustrato con detergente y enjuagado con agua destilada y desionizada.
- Inmersión del sustrato en acetona, posteriormente en etanol y por último en alcohol isopropílico.
- Inmersión del sustrato en hidróxido de amonio y enjuague con agua desionizada.

Es también utilizado un sustrato de mayor tamaño (30X24 cm) el cual tiene la función de actuar como soporte para los sustratos de menor tamaño, este de igual forma es sometido al proceso de limpieza semejante al descrito anteriormente. Este sustrato de mayor tamaño es colocado sobre una base especialmente diseñada, ya que posee niveladores en su parte inferior para que al colocar los sustratos menores se pueda estabilizar, nivelar y así evitar las desviaciones del líquido que se verterá en los sustratos, ya que en estos se vierte la mezcla líquida de PVA, pigmento de betabel y agua, obteniendo así una distribución uniforme de la mezcla en los sustratos por efecto de gravedad.

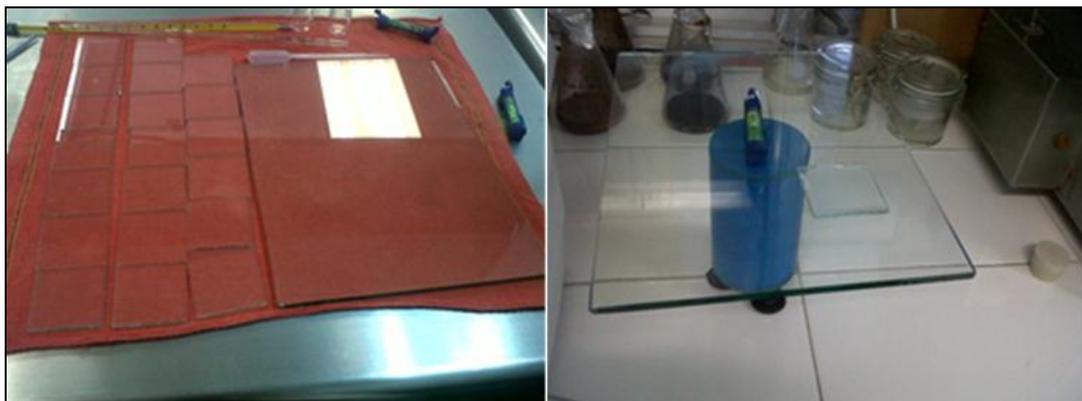


Figura 15. Sustratos de vidrio y base con niveladores.

## 2.7.- MEZCLA PARA GENERACIÓN DE PELÍCULAS.

Se utiliza una mezcla de los 3 componentes para formar la película: Pigmento de betabel, PVA y agua, la cual forma una solución de color rojiza con buena transparencia capaz de someterse al proceso de grabado en tiempo real con láser (He-Ar) y replicación de información. Esta mezcla a utilizar en la formulación de la película fue resultado de múltiples pruebas de concentraciones de los tres

componentes (pigmento de betabel, PVA y agua) en donde se encontraron las mejores condiciones para lograr el grabado de la película y para el replicado de la información contenida en un máster (transparencia, grosor y uniformidad sobre el sustrato).

Es conveniente mencionar que la transparencia de la mezcla es función de la concentración de pigmento a utilizar, en el aspecto de que al incluir demasiado pigmento, la mezcla final será demasiado oscura, por lo cual el láser de grabado no será capaz de atravesar la película y no se grabará ninguna información.



Figura 16. Mezcla pigmento, PVA y agua obtenida.

Esta solución es esparcida manualmente y de forma uniforme en los sustratos de vidrio que han sido sometidos al proceso de esterilización y limpieza, tomando en cuenta que la cantidad de solución vertida en el sustrato influirá en el grosor de la película, y por tanto en su calidad para grabado; Debido a que a mayor cantidad de

solución vertida, mayor será el grosor de la película y el láser tampoco será capaz de atravesar la capa de película.

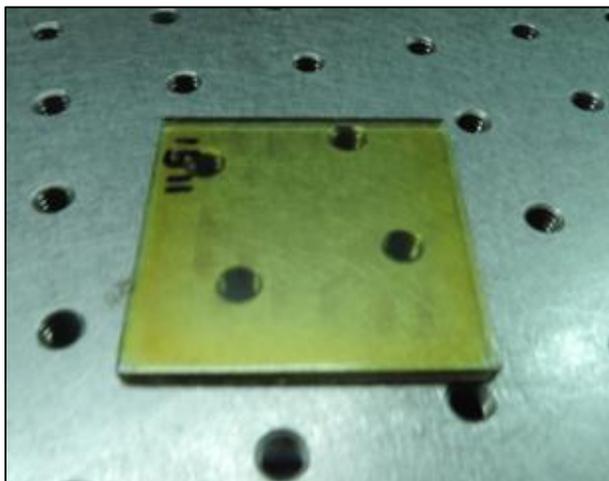


Figura 17. Capa de película en sustrato de vidrio

La uniformidad sobre el sustrato es referida al hecho de que los sustratos de menor tamaño ubicados sobre el sustrato mayor se encuentran nivelados en conjunto con la base de diseño especial. Debido a esto la solución se distribuye uniformemente sobre todo el sustrato por efecto de gravedad, conocido también como el método de generación de películas por el método de gravedad [21].

## 2.8.- CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA PARA LA GENERACIÓN DE PELÍCULA EN UV-VIS.

La caracterización de la formulación de la capa de película se realiza en un espectrofotómetro de UV-VIS Genesys 10, marca “Thermo Scientific” propiedad de la Facultad de Ciencias Químicas de la BUAP, trabajando en un rango de 200 a 900 nm, tomando como línea base agua destilada propia de la formulación de la mezcla.



Figura 18. Espectrofotómetro de UV-VIS.

## 2.9.- TÉCNICA DE REPLICACIÓN DE UN HOLOGRAMA.

Esta técnica consiste en la replicación de información contenida en un máster, primeramente el sustrato es sometido al proceso de limpieza y de implementación de la solución de la capa de película. Una vez seca la película se alinea con el máster y entran a una cámara que irradia luz ultravioleta.

Al paso de 5 minutos dentro de la cámara se retira el máster y la información es replicada al ser observada en la capa de película con pigmento de betabel.

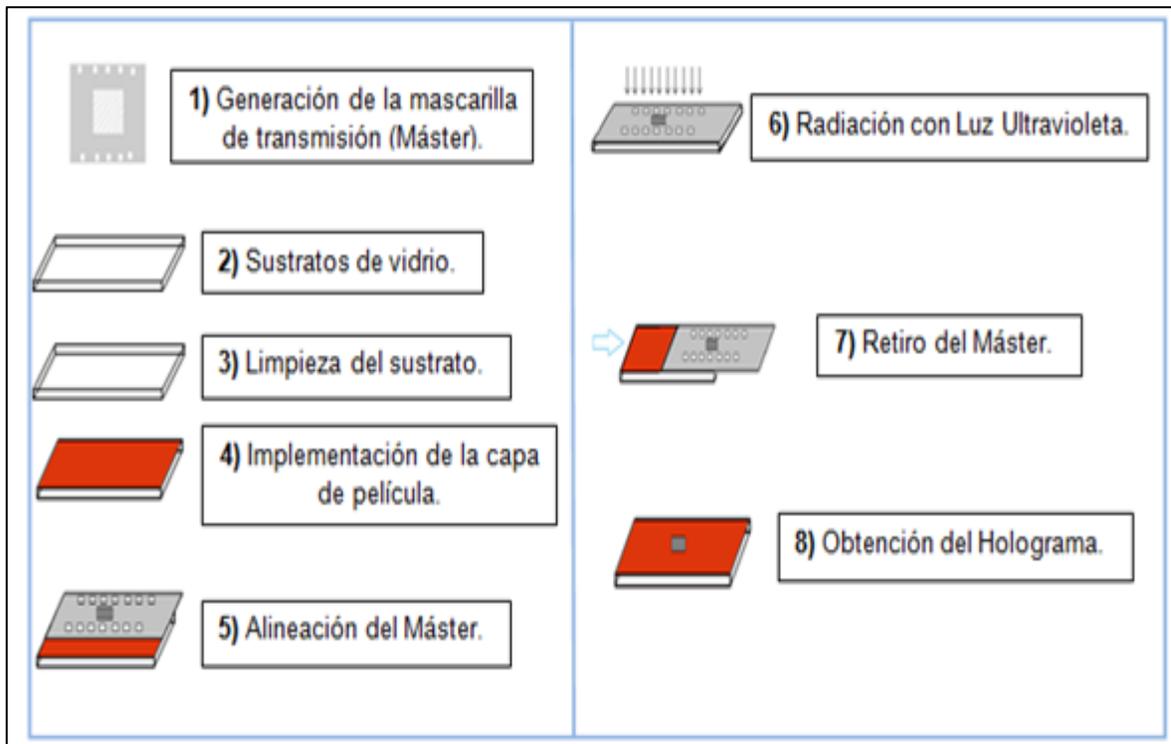


Figura 19. Técnica de replicación de un holograma.



Figura 20. Cámara de luz ultravioleta.

## 2.10.- REGISTRO O GRABADO DE LA PELÍCULA.

El grabado de la capa de película se realiza en tiempo real, es decir, que el material se somete a un arreglo experimental interferométrico en donde se graba el patrón de interferencia. El arreglo experimental consiste de un diodo láser para grabado, del cual emerge un haz de luz monocromática que incide en un divisor de haz, que divide al haz en dos haces resultantes, uno se dirige hacia el espejo 1 y otro hacia el espejo 2, finalmente se superponen e inciden en un punto localizado de la película fotosensible formando el patrón de interferencia. Y para la reconstrucción se utiliza un láser de Helio-Neón.

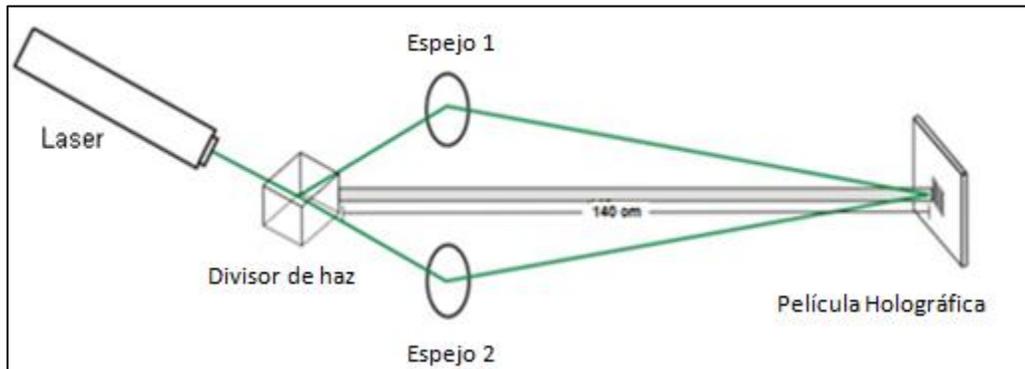


Figura 21. Esquema del arreglo experimental interferométrico.

Cabe resaltar que este arreglo experimental se instala sobre una mesa especial antivibraciones en uno de los laboratorios de óptica de INAOE, como se muestra a continuación (Figura 21). Se puede observar la fuente de luz láser (parte inferior izquierda), los espejos 1 y 2 (sujetos con varillas metálicas), y el divisor del haz de láser (cubo transparente en el centro de la imagen).

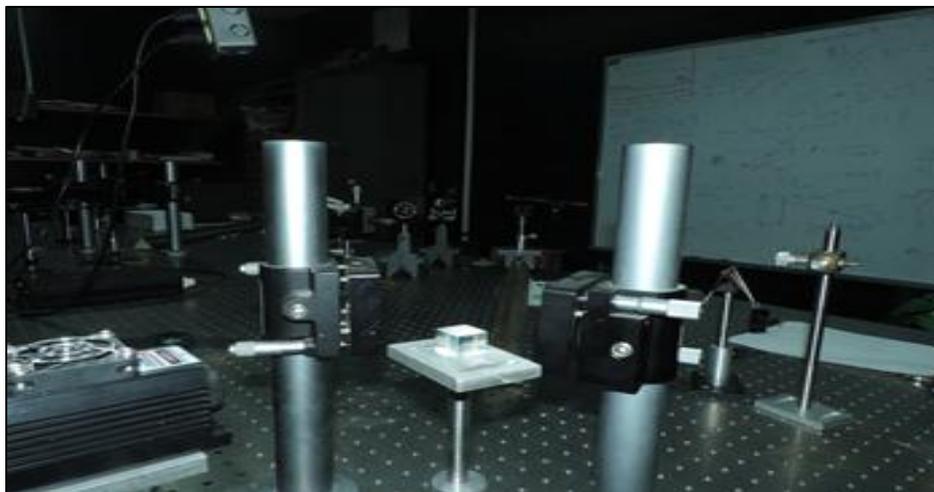


Figura 22. Arreglo experimental interferométrico real.

## 2.11.- CÁLCULO DE EFICIENCIA DE DIFRACCIÓN.

La eficiencia de difracción es la variable más utilizada y reportada en las mediciones experimentales ya que nos da una buena idea de la calidad que tendrá nuestra película. Generalmente cuando se graba una rejilla se hace con dos haces de luz intensa, en nuestro caso fueron dos haces de color azul y rojo incidentes en la placa de película. La eficiencia de difracción se define mediante la siguiente ecuación [22]:

$$\eta = \frac{\sum I_t}{I_0} \times 100 \quad (1)$$

Dónde:  $I_t$ : Flujo de energía transmitida para cada orden (con sustrato).

$I_0$ : El flujo correspondiente a la energía incidente (sin sustrato).

## CAPÍTULO 3. RESULTADOS.

### 3.1.- PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE JUGO DE BETABEL.

En cuanto a la caracterización de las propiedades fisicoquímicas, se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 2. Propiedades fisicoquímicas del jugo de betabel a 20 °C**

Contenido de sólidos solubles sin adición de maltodextrina (°Bx)	11.2
Contenido de sólidos solubles con adición de maltodextrina (°Bx)	18
pH	6.25
% Acidez	11.8509
Índice de madurez	0.9450
Densidad aparente del jugo deshidratado	0.1527

### 3.2.- JUGO DESHIDRATADO DE BETABEL.

En la obtención de pigmentos de jugo deshidratado de betabel, se obtuvieron 4.5 g de polvo deshidratado por cada 150 ml de jugo de betabel (290 g de betabel sin cascara), el cual es un valor promedio tomado entre todos los procesos de secado realizado para jugo de betabel que ingresaron al secador por aspersion.



Figura 23. Pigmento de betabel.

El polvo obtenido se analizó por Microscopía Electrónica de Barrido para poder determinar el tamaño de partícula, este análisis fue realizado en el Centro Universitario de Vinculación y Transferencia de Tecnología (CUVyTT), en el cual obtenemos un tamaño promedio de partícula de 5  $\mu\text{m}$  [23].

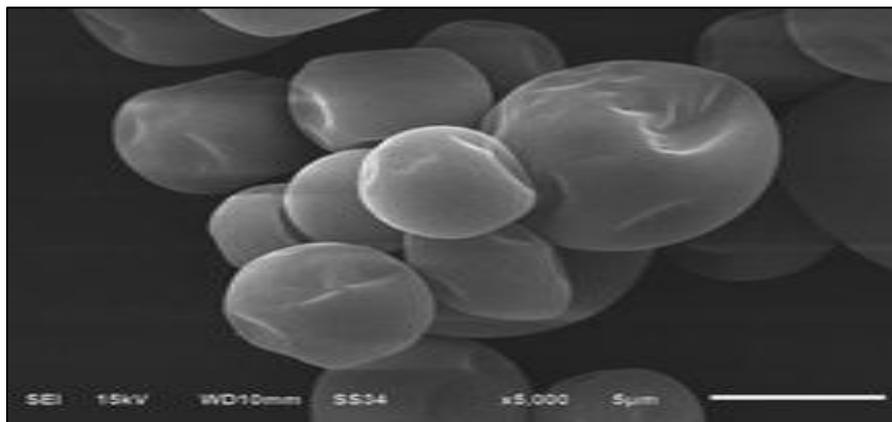


Figura 24. Tamaño promedio de partícula.

### 3.3.- CARACTERIZACIÓN DE LA SOLUCIÓN PARA CAPA DE PELÍCULA.

En la siguiente figura (Figura 25), se muestra el espectro de absorción ultravioleta (200 a 900 nm) de la solución que forma la capa de película con pH de 6.1 y densidad de  $1.2 \text{ g/cm}^3$ , en los que se observan dos picos de absorbancia que corresponden a pigmentos amarillos (betaxantinas; 485 nm) y a pigmentos rojos (betacianinas; 537 nm), los cuales son pigmentos plenamente identificados en la literatura asociados a pigmentos de betabel [10]. También se observó un tercer pico a 276 nm en donde se sugiere la presencia de proteínas acompañando a las betalaínas [6], sin embargo, no se reporta en la literatura algún informe sobre la interacción de proteínas con las betalaínas del betabel.

Composición de la mezcla obtenida:

0.025g Pigmento de betabel + 0.7 ml PVA + 0.3 ml H<sub>2</sub>O

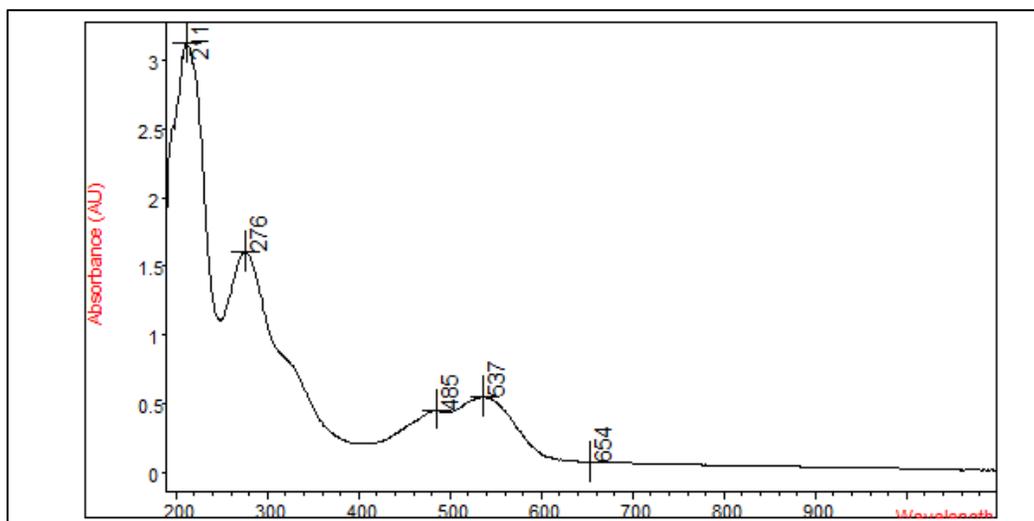


Figura 25. Espectro de absorción ultravioleta.

Debido a que la solución de la capa de película puede absorber la luz en un rango de 400 a 600 nm, el grabado debe realizarse con un láser que trabaja en ese mismo rango de intensidad de luz; se utilizó un diodo láser de luz azul con una intensidad de 457 nm para el grabado de la película y un láser de luz roja de Helio-Neón para la reconstitución de la información.

Durante el proceso de grabado también es posible medir la intensidad de primer y segundo orden que se obtienen en el grabado en tiempo real de la película; esto es que, cuando el diodo láser y el de reconstrucción inciden sobre la película se difracta en dos haces (orden uno y dos), con el apoyo de un radiómetro y al graficar los resultados en función del tiempo, se observa que la película se graba inmediatamente y hasta un tiempo de 30 segundos, ya que después de este tiempo la película deja de presentar grabado y se torna completamente oscura en la zona de incidencia del láser.



Figura 26. Radiómetro y detector en capa de película.

Al término del grabado se pueden observar las rejillas de difracción debidas a la incidencia del láser.



Figura 27. Película grabada con láser.

Las siguientes gráficas muestran la intensidad del haz de luz láser registrada por el radiómetro en función del tiempo (Figura 28) y el ajuste realizado a los datos mediante un polinomio de quinto grado (Figura 29) en software Polymath 6.0.

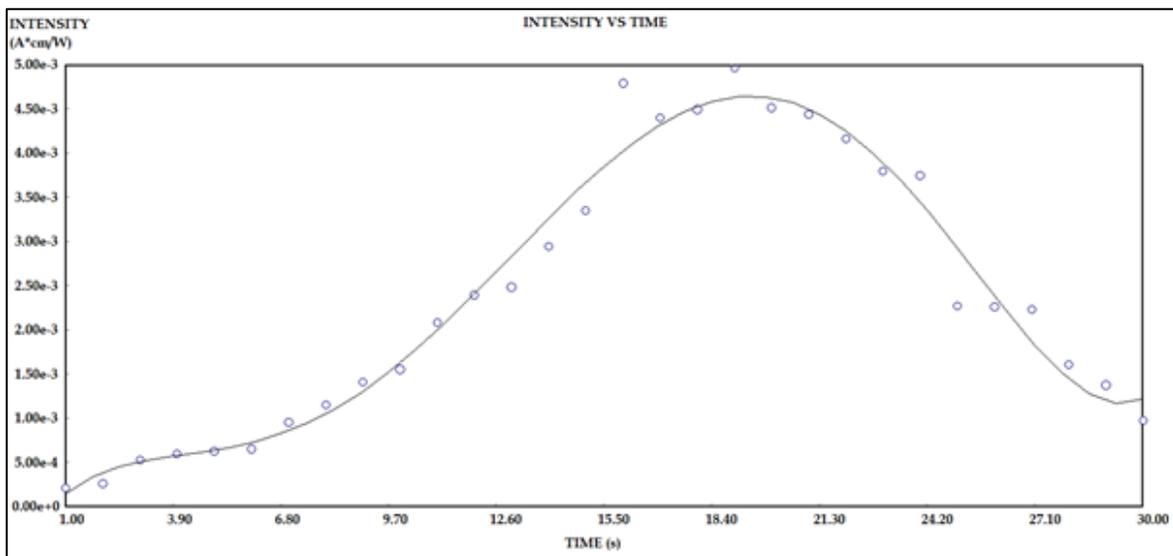


Figura 28. Intensidad Vs. Tiempo.

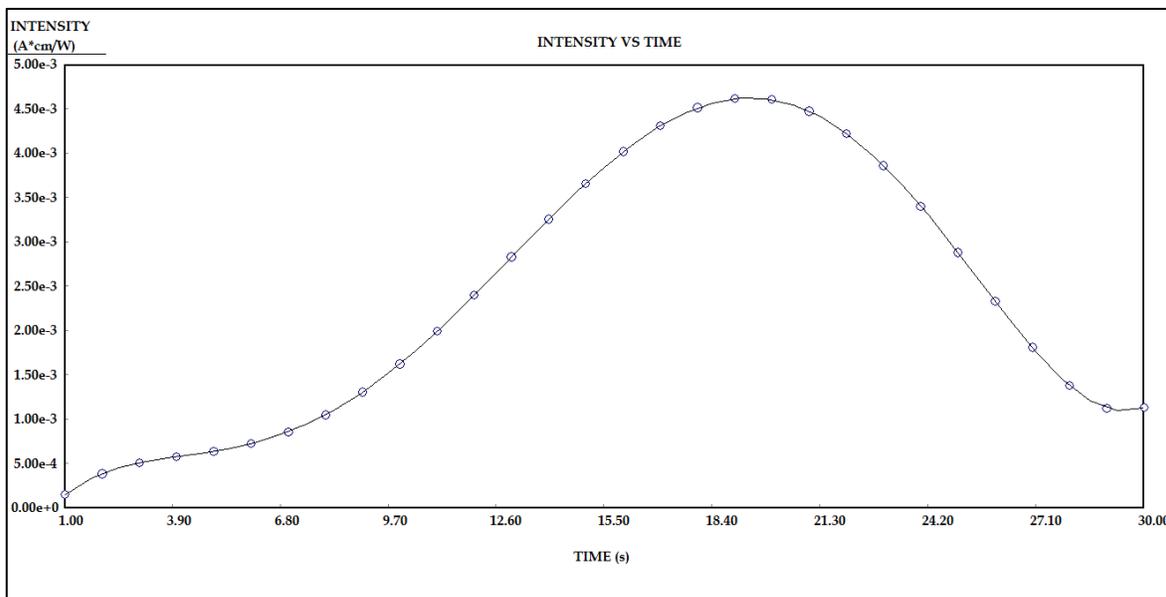


Figura 29. Ajuste de datos de Intensidad Vs. Tiempo.

### 3.4.- EFICIENCIA DE DIFRACCIÓN.

Para caracterizar la película, se emplea el parámetro de eficiencia de difracción, mediante el registro de rejillas de difracción en la película. Cuando se reconstruye la información (las rejillas) con el láser de Helio-Neón, se obtiene el patrón de difracción de ésta; aparecen dos órdenes, orden 1 y orden 2, de los cuales se mide su intensidad mediante el radiómetro y así poder calcular la eficiencia de difracción. Con base a los resultados obtenidos en el radiómetro para la incidencia del haz de luz láser con sustrato ( $I_t = 0.00535 \text{ A*cm/W}$ ), y sin sustrato ( $I_0 = 0.0435 \text{ A*cm/W}$ ), empleando la ecuación 1, se obtiene una eficiencia de difracción del 12.32% para orden uno, lo que se traduce a 24.59% para los dos órdenes obtenidos. Lo cual es un número cercano a la eficiencia máxima alcanzada para hologramas de transmisión (los generados mediante arreglo interferométrico) del 33.9% según se reporta en la literatura, lo que se traduce en una resolución del bastante aceptable [22].

Con el apoyo de las siguientes gráficas se puede observar la variación de la eficiencia de difracción en función del tiempo de exposición de la capa de película en el láser de grabado (Figura 30); la eficiencia de difracción con la energía en función del tiempo de exposición (Figura 31); y la intensidad de segundo orden en función del tiempo de exposición (Figura 32); realizadas en software Polymath 6.0.

El parámetro de la energía hace referencia a la energía de luz láser que actúa sobre la capa de la película en función del tiempo de exposición, donde la fuente de luz láser es de  $0.053 \text{ W/cm}^2$ .

Las gráficas siguientes son obtenidas mediante la siguiente tabla de datos.

**Tabla 3. Datos obtenidos en el radiómetro.**

Tiempo	Primer_orden	Segundo_orden	Eficiencia_difraccion	Energia
1	2.18E-04	4.36E-04	1.002298851	0.053
2	2.63E-04	5.26E-04	1.209195402	0.106
3	5.36E-04	1.07E-03	2.464367816	0.159
4	6.02E-04	1.20E-03	2.767816092	0.212
5	6.34E-04	1.27E-03	2.914942529	0.265
6	6.58E-04	1.32E-03	3.025287356	0.318
7	9.58E-04	1.92E-03	4.404597701	0.371
8	1.16E-03	2.32E-03	5.333333333	0.424
9	1.42E-03	2.83E-03	6.510344828	0.477
10	1.56E-03	3.12E-03	7.172413793	0.53
11	2.09E-03	4.18E-03	9.609195402	0.583
12	2.40E-03	4.80E-03	11.03448276	0.636
13	2.44E-03	4.88E-03	11.2183908	0.689
14	2.95E-03	5.90E-03	13.56321839	0.742
15	3.36E-03	6.72E-03	15.44827586	0.795
16	4.80E-03	9.60E-03	22.06896552	0.848
17	4.41E-03	8.82E-03	20.27586207	0.901
18	4.50E-03	9.00E-03	20.68965517	0.954
19	4.97E-03	9.94E-03	22.85057471	1.007
20	4.52E-03	9.04E-03	20.7816092	1.06
21	4.45E-03	8.90E-03	20.45977011	1.113
22	4.17E-03	8.34E-03	19.17241379	1.166
23	3.80E-03	7.60E-03	17.47126437	1.219
24	3.75E-03	7.50E-03	17.24137931	1.272
25	2.28E-03	4.56E-03	10.48275862	1.325
26	2.27E-03	4.54E-03	10.43678161	1.378
27	2.24E-03	4.48E-03	10.29885057	1.431
28	1.61E-03	3.23E-03	7.420689655	1.484
29	1.38E-03	2.76E-03	6.349425287	1.537
30	9.81E-04	1.96E-03	4.510344828	1.59

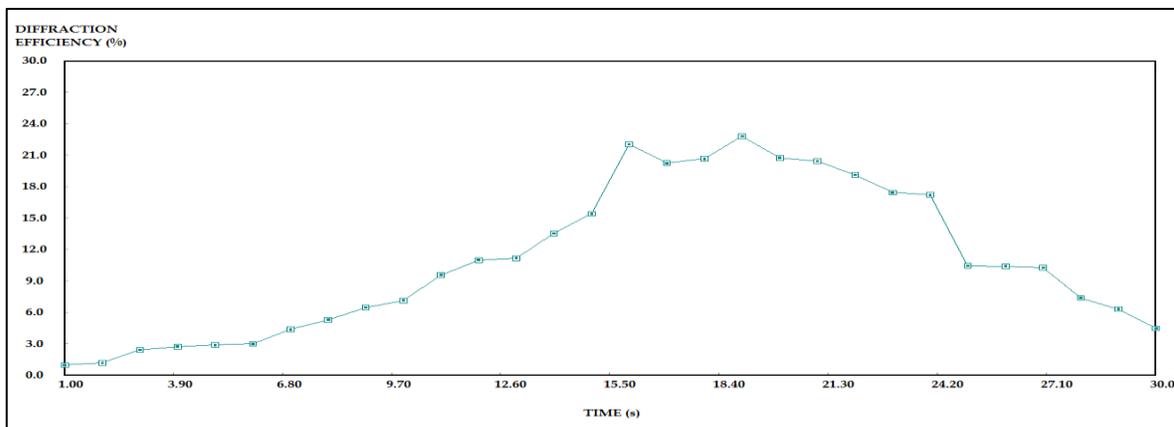


Figura 30. Eficiencia de difracción Vs. Tiempo.

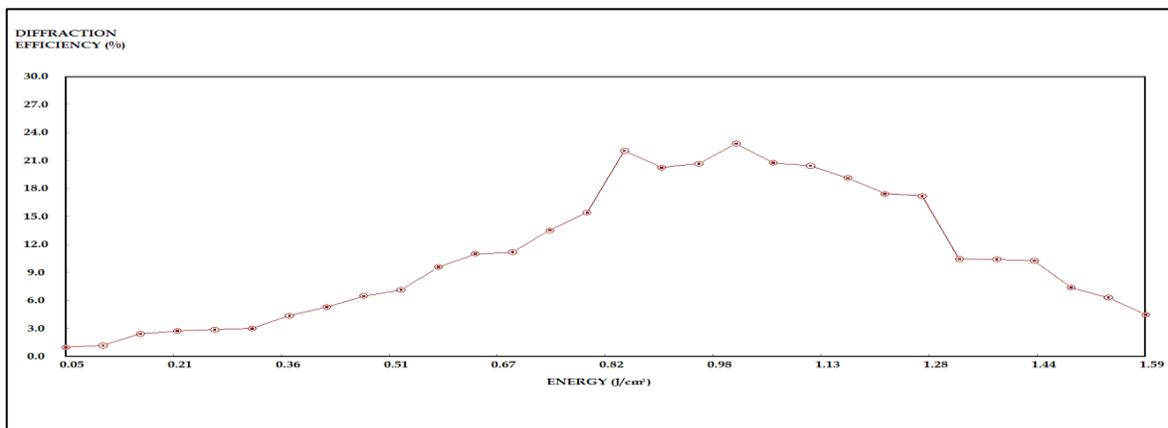


Figura 31. Eficiencia de difracción Vs Energía.

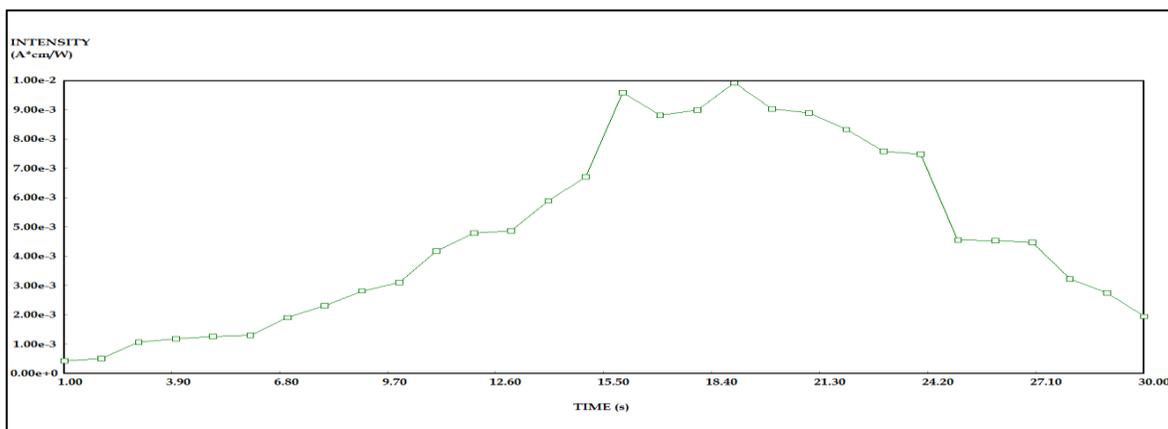


Figura 32. Intensidad Vs. Tiempo.

## CONCLUSIÓN.

Actualmente los colorantes naturales tienen un rol principal en la industria alimenticia como un medio para remplazar a los colorantes artificiales, y han tenido una aceptación excepcional de parte de los consumidores, sin embargo, otros estudios enfocados a implementar estos colorantes a campos diferentes de la ciencia han sido prácticamente nulos.

Por la razón anterior, la implementación como agente fotosensibilizador de pigmentos de betabel obtenidos a partir de la deshidratación de jugo del mismo, en la formulación para obtener películas holográficas es posible gracias a que estos fitocolorantes absorben longitudes de onda del espectro de luz en el rango de las 400 a 600 nm como se ha demostrado en el análisis del espectro de luz ultravioleta, por lo que, empleando arreglos interferométricos con fuentes de luz láser que trabajen en el mismo rango del espectro de luz, obteniendo películas que muestran buenos resultados en eficiencia de difracción, con lo que se obtiene una buena resolución; además de que se obtiene un grabado en cortos periodos de tiempo como ha sido demostrado en las gráficas anteriores, logrando alcanzar los objetivos planteados al inicio de la investigación.

Este estudio realizado como proyecto de tesis de licenciatura en ingeniería química posee un gran potencial para seguir trabajando con él para futuros intereses, ya que dentro de las variables de proceso pueden ser optimizados algunos parámetros, y así, lograr la transición de técnicas analíticas cualitativas en nivel laboratorio a las técnicas cuantitativas y a mayor escala.

Este estudio es solo un pequeño paso en la inclusión de los colorantes naturales a diferentes campos de la ciencia, como la óptica, lo cual hoy en día es un tema prácticamente inexplorado.

## **RECOMENDACIONES.**

Durante la realización de este proyecto de tesis se presentan diversos parámetros, los cuales, ajenos a los objetivos del mismo, pueden ser investigados más a fondo para lograr una mejora en los resultados, tal es el caso, de la implementación de una técnica rigurosa que permita la confirmación microscópica de la uniformidad de la capa de película sobre el sustrato.

También, es muy importante el establecimiento de un parámetro, además del cualitativo experimental, que nos indique si la transparencia y espesor de una capa de película fotosensible dopada con pigmentos naturales sobre sustratos de vidrio es la correcta para ser llevada al proceso de grabado con láser. Esto, debido a que como ya se comentó con anterioridad, no existen referencias literarias a las cuales apegarnos para determinar cuantitativamente este parámetro.

Se puede sugerir que para satisfacer los parámetros anteriores, se sigan lineamientos similares a los ya existentes, referidos a técnicas de medición y determinación de espesor de películas y hojas por medición directa con micrómetro, incluidos en NMX-E-003-SCFI-2003, sólo por mencionar alguna.

**REFERENCIAS.**

- [1] Sczygelski, E. , “The History of Holography,” Wisconsin University. Paper 325, (2006).
- [2] Sean, J. , “Attributing Scientific and technological progress: The case of holography,” History and Technology. Article 21, 367-392 (2005).
- [3] Tung, J. , “Basic principles and applications of holography,” Fundamentals of photonics. Article 10, 381-417 (2000).
- [4] Hans, I. , “New recording materials for holography,” (s.f.) Recuperado de: [http://www.rps.org/resources/group\\_downloads/hcon1hb1.pdf](http://www.rps.org/resources/group_downloads/hcon1hb1.pdf)
- [5] Aparicio L. , “Caracterización del Norland optical adhesive No. 65 y violeta de genciana como material fotosensible,”U.M.S.N.H. Tesis de licenciatura (2007).
- [6] Diffraction Grating and Interference. (s.f.) Recuperado de: <http://www.sci.ccnycunyu.edu/physics/LabMan/grating.pdf>
- [7] Delgado, F.; Jimenez, A.; Paredes, O. , “Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains - Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability,” C. R. Food Sci. N. Article 40(3), 173-289 (2000).
- [8] Alison, D.; Collins, P. , “Colouring our foods in the last and next millennium,” Int. J. F. Science T. Article 35, 5-22 (1999).
- [9] Henriette, M. , “Betalains: Properties, sources, applications, and stability - a review,” I. J. Food Sci. Tech. Article 44, 2365-2376 (2009).
- [10] Marañón, V.; De-La-Torre, L. , “Caracterización de las propiedades ópticas de Betacianinas y Betaxantinas por espectroscopia UV-VIS y Barrido en Z,” Superficies y Vacío. Artículo 24(4),113-120 (2011).

- [11] Adhikari, B.; Howes, T. , “Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickness of sugar and acid-rich food during convective drying: experiments and modeling,” J. Food Eng. Article 62, 53-68. (2004).
- [12] Ceballos, A. , “Estudio comparativo de tres sistemas de secado para la producción de un polvo deshidratado de fruta,” U.N.C.S.M. (2004).
- [13] Masters, K. , “Spray drying handbook (Quinta edición),” New York: Longman Scientific and technical. (1991).
- [14] Fuchus, M.; Turchiuli, C.; Bohin, M.; Cuvilier, M. , “Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidized bed agglomeration,” J. Food Eng. Article 75, 27-35. (2006).
- [15] Long, G. , “Spraying theory and practice” Chemical engineering. Article 85(6), 73-77. (1978).
- [16] Lawrence, R.; O’Neill, F.; Sheridan, J. , “Photopolymer holographic recording material,” I. J. Light Elec. Optics. Article 112 (10), 449-463 (2001).
- [17] Solano, C. , “Principales parámetros de los materiales fotosensibles para utilizarse en holografía,” Rev. Mex. Física. Artículo 40 (5), 686-712 (1994).
- [18] Eastman Kodak Company. “How to process and print Black and White Film,” Technical data/ Black and white film. (2005).
- [19] Klewicka, E. , “Antimutational Activity of Beetroot Juice,” Food Technology and Biotechnology. Article 48(2): 229–233 (2010).
- [20] Sablani, S.; Shrestha, A.; Bhanradi, B., “A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder,” J. Food Eng. Article 87, 416-421. (2008).

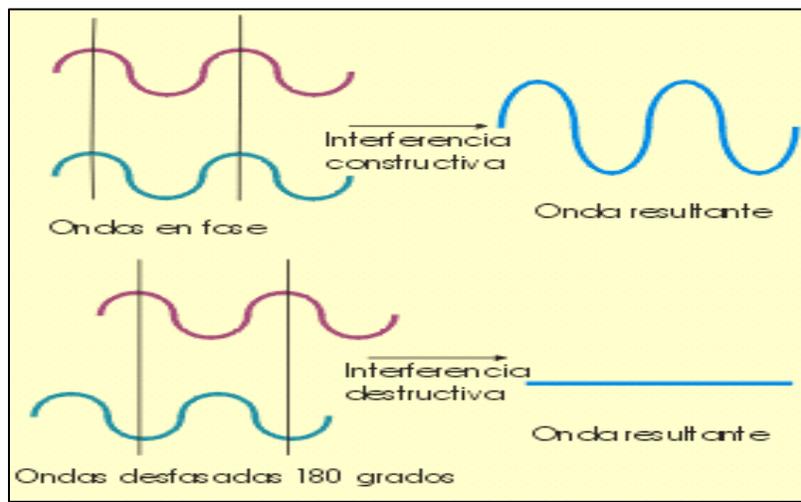
[21] Dorantes-García, V., Olivares-Pérez, A., Ordoñez-Padilla, M. , “Holograms preparation using commercial fluorescent benzyl,” J. Phys.: Conf. Ser. 274 012038. (2011).

[22] Aron, A. , “Generación de un nuevo material fotosensible,” Tesis UMICH. (2004).

[23] Cuatlayol, R. , “Obtención de pigmentos betalaínicos a partir de pitaya (*Stenocereusgrius*) y betabel (*Beta vulgaris*),” Tesis BUAP. (2014).

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

Fase: La fase indica la situación instantánea en el ciclo, de una magnitud que varía cíclicamente como lo es la onda de luz.



Luz coherente: Fuente de luz con longitud de onda bien definida y con fase estable, generalmente fuentes de luz láser.

Máster: Película fotosensible ya grabada, que fue obtenida por algún método, ya sea fotográfico u holográfico, que característica principal que es semitransparente.

Higroscopicidad: Es la capacidad de los materiales para absorber la humedad atmosférica.

Termo-plasticidad: Es la capacidad que tienen los materiales para ablandarse mediante la acción del calor.

Difusión: En ingeniería química es un fenómeno de transporte irreversible, donde las partículas de un material a una cierta concentración se introducen en un medio diferente al que estaba inicialmente, provocando un aumento de entropía del sistema, por lo que las partículas empiezan a propagarse en el nuevo medio donde se difunden o disuelven.

Área superficial: Es importante porque es la superficie por donde una fase sólida, líquida o gas interactúa con lo que le rodea, ya sea otro gas, líquido o sólido. A medida que el tamaño de partícula disminuye, el área superficial por unidad de masa aumenta.

Tiempo de residencia: Describe la cantidad de tiempo que un elemento diferencial de un fluido puede pasar dentro de un recipiente con flujos de entrada y salida.

Liofilización: Es una técnica de conservación, en el cual el material primero se congela y se conserva el solvente (generalmente agua) para luego ser retirado por sublimación a presión reducida hasta alcanzar valores de 5% de humedad o menores, disminuyendo así la pérdida de los componentes volátiles o termosensibles.

Sublimación: Cambio de estado de sólido al estado gaseoso sin pasar por líquido.

Arreglo interferométrico: Es un acomodo físico experimental, donde un haz de luz láser es difractado en dos o más haces, por efecto de atravesar un divisor, para después volver a ser enfocados mediante el uso de espejos sobre un punto a ubicado a una cierta distancia

Patrón de interferencia: Es el conjunto de líneas paralelas formadas por el efecto de incidencia de haces de luz láser sobre un material fotosensible.



Patrón de difracción: Cuando se reconstruye la información grabada con el diodo láser se obtiene el patrón de difracción; orden uno y orden dos, similares a los obtenidos en la siguiente imagen.



Material fotosensible: Material que contiene una capa sensible a la luz que reacciona al entrar en contacto con ella, formando una imagen.