



INAOE

**Instituto Nacional de Astrofísica,
Óptica y Electrónica.**

**Análisis Óptico Usado en la
Planta Piloto para la
Manufactura de una Línea de
Curricanes Electrónicos para
Pesca Deportiva.**

Trabajo apoyado por el Proyecto
PROINNOVA- CONACYT No 222330

por:

Fermín Salomón Granados Agustín

María Elizabeth Percino Zacarías

Araceli Huepa Cortés

REPORTE TECNICO

No 638

©INAOE 2016

Derechos Reservados

El autor otorga al INAOE el permiso de reproducir y distribuir copias de este reporte técnico en su totalidad o en partes mencionando la fuente.



INDICE

1	ACTIVIDADES DEL PROYECTO.	1
2	LOGROS DE METAS RESPECTO A LAS METAS COMPROMETIDAS.	1
	2.1 Modelado del sistema	2
3	LOGRO DE OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS RESPECTO DEL COMPROMISO.	5
4	LOGRO DE LOS IMPACTOS CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO, ECONOMICO Y AMBIENTAL RESPECTO DEL COMPROMISO.	5
	4.1 Grupo de trabajo.	5
5	DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES.	6
6	PRODUCTOS E INDICADORES.	6
	6.1 Vinculación.	6
8	Anexo A. Modelación y simulación numérica del desempeño de un sistema de iluminación con LEDs inmerso en aire y en agua.....	7
9	Anexo B Características Ópticas De La Resina.	15

1 ACTIVIDADES DEL PROYECTO:

Este Reporte forma parte de las actividades llevadas a cabo desde el 01 de enero al 31 de mayo 2016 como parte de la extensión del proyecto PROINNOVA- CONACYT No 222330.

El proyecto tuvo una serie de metas y actividades, especificadas en un convenio específico de colaboración entre el INAOE y la empresa. A continuación, se enlistan las actividades:

1. Investigación y selección de fuentes de iluminación y arreglos lenticulares.
2. Diseño de arreglo de sensores para mapeo de iluminación
3. Sistema de iluminación: calidad de iluminación
4. Diseño de sistema óptico UV-Vis-IR
5. Elaboración de reporte técnico

Para verificar el cumplimiento de estas actividades se definieron los siguientes entregables:

1. Fuentes de iluminación y arreglos lenticulares
2. Caracterización de haz de luz
3. Modelado dinámico 3D
4. Diseño de subsistema: óptico
5. Reporte Técnico

2 LOGROS DE METAS RESPECTO A LAS METAS COMPROMETIDAS

Se realizó la simulación numérica, del sistema de iluminación. Para lo anterior se usó un programa comercial de diseño óptico llamada ZEMAX[®]. Con este software, se pueden lograr resultados lo más aproximado a la realidad y solo se necesitan ver los resultados en campo para poder realizar pequeños ajustes en la distribución de los LED's de iluminación. Con este primer análisis se elaboró el Anexo A "Modelación y simulación numérica del desempeño de un sistema de iluminación con LEDs inmerso en aire y en agua", en dicho reporte se informa del sistema consistente en un conjunto de 14 LED's colocados en dos filas de 7 LED's cada una y que se encuentran inmersos dentro de una capsula de resina PP cristal preparada, y vendida por Poliformas Plásticas.

El objetivo es analizar el comportamiento óptico de la capsula con los LEDs cuando esta capsula se encuentra inmersa en aire y también cuando la capsula está inmersa en agua. Los LEDs utilizados en la simulación óptica son “Cree XLAMP XP-E2” con una intensidad de 750 lúmenes cada uno. Las características ópticas de la resina son similares al material PMMA por lo que se usó como índice de refracción en la línea D 1.4918 y como número de Abbe 55.44. Para el agua se usó como índice de refracción en la línea D 1.313 y como número de Abbe 55.794. Como ya se hizo mención, para el modelado y simulación óptica de uso el programa Zemax Optic Studio 14.2 Premium.

2.1 Modelado del sistema.

El modelo físico de la capsula de resina se muestra en las figuras 1, 2 y 3. En estas figuras se puede ver la posición de cada uno de los LEDs dentro de la capsula de resina, así como la forma externa de la capsula.

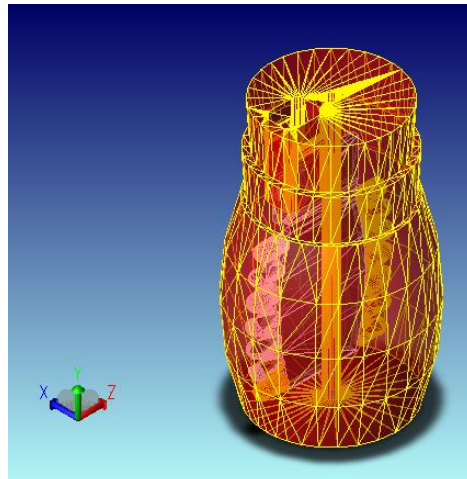


Figura 1. Capsula de resina con LED's en su interior, figura en formato WireFrame

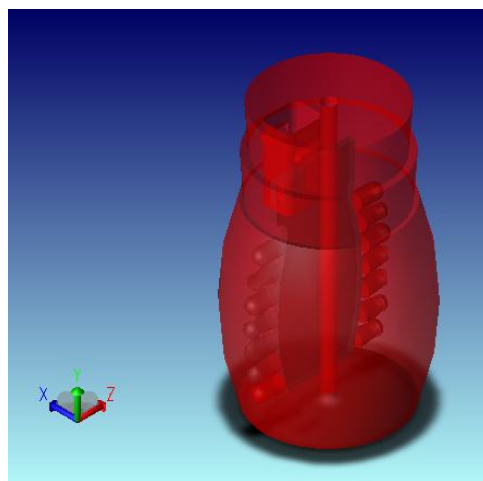


Figura 2. Capsula de resina con LED's en su interior en formato sólido y semi-transparente

En las figuras 3 y 4, se muestran la capsula y rayos luminosos saliendo de cada uno de los LEDs, los colores de los rayos son unicamente para distinguir la luz que sale de cada LED.

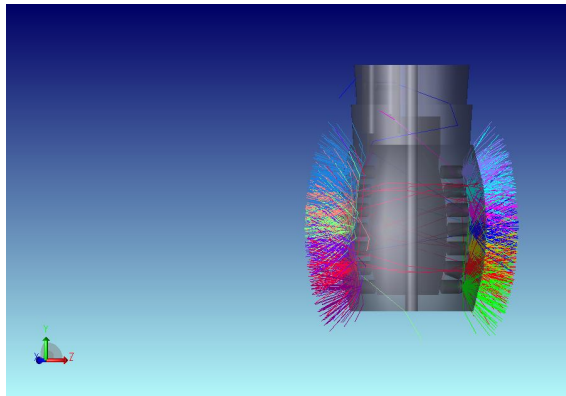


Figura 3. Capsula con LEDs y rayos luminosos

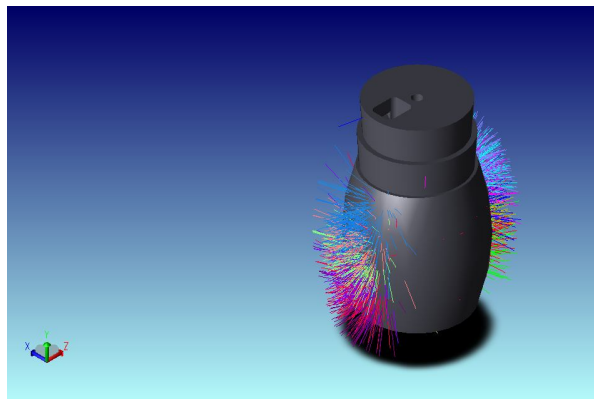


Figura 4. Capsula con LEDs y rayos luminosos

Para el análisis de la distribución de energía luminosa se colocaron 4 detectores rectangulares de 400 mm de lado y con 1000 pixeles cada uno a la distancia de 200 mm cada uno. Dos detectores se colocaron viendo de frente a cada fila de LED's y los otros dos se colocaron de forma perpendicular a los primeros, ver figura 5.

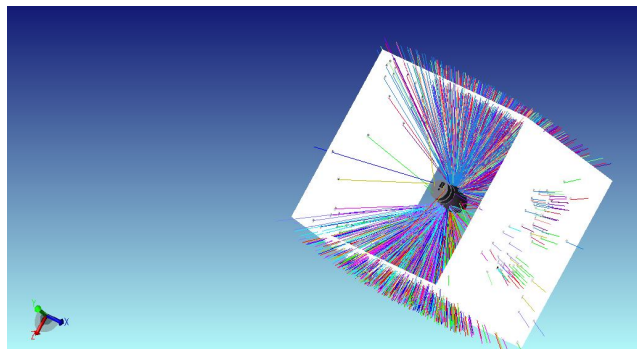


Figura 5. Capsula y detectores

Para analizar la distribución de energía se trazaron un millón de rayos desde cada LED. La figura 6, muestra la distribución de energía luminosa en cada uno de los detectores. En la figura, se observa que hay una forma alargada en el centro con mayor intensidad debido a

que los LED's están colocados en esa misma dirección. La potencia total es de 2537.2 lúmenes y la iluminancia pico es de 3.23 lúmenes/cm². El área total del detector es de 0.16 m². Obsérvese que aun en los bordes la iluminancia no es cero y tiene un valor aproximado de 0.65 lúmenes.

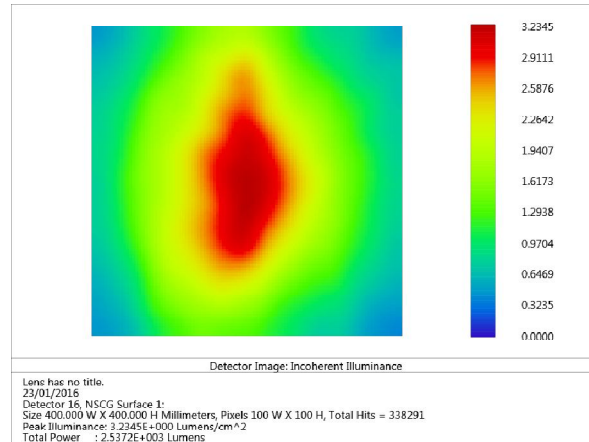


Figura 6. Distribución de energía luminosa en el detector posicionado a la derecha a 200 mm de la capsula.

Este mismo análisis se repitió en las cuatro direcciones y se reporta más detalladamente en el Anexo A. La iluminación en el espacio para este sistema se muestra en la figura 7, la distribución de iluminación en un diagrama polar también conocido como curva fotométrica obtenido con el detector polar.

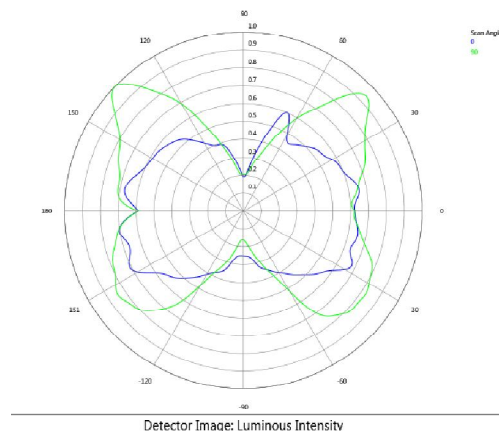


Figura 7. Diagrama polar de la intensidad luminosa.

En una curva polar de distribución luminosa, la distancia de cualquier punto de la curva al centro indica la intensidad luminosa de esa fuente en esa dirección. Aunque la información obtenida en el detector polar es tridimensional, por razones de simetría se acostumbra mostrar la información de planos únicamente, en el caso de la figura 7, se muestra la información de un plano a 0 grados en color azul y del plano a 90 grados en color verde.

Como se observa de la figura la distribución de intensidad luminosa corresponde a la distribución de los LED's dentro de la capsula.

Más detalles están señalados en el Anexo A. Solo baste mencionar que con este análisis se concluyeron con existo los entregables 1-3.

3 LOGRO DE OBJETIVOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS RESPECTO DEL COMPROMISO

Como ya se mencionó parte de los entregables por el equipo de INAOE, fue la caracterización experimental de la resina, para verificar si su desempeño es optimo y si no es el caso, elegir otra resina que incremente la ganancia de iluminación mostrada en las simulaciones numéricas. Este proceso se reporta en el Anexo B.

4 LOGRO DE LOS IMPACTOS CIENTÍFICO, TECNOLÓGICO, ECONOMICO Y AMBIENTAL RESPECTO DEL COMPROMISO

4.1 Grupo de trabajo

El grupo de trabajo estuvo constituido por el Dr. Fermín Salomón Granados Agustín, la Dra. María Elizabeth Percino Zacarías y la Lic. Araceli Huepa Cortes. Las actividades de cada uno se enlistan a continuación:

- Dr. Fermín Granados: Validación del diseño óptico con el programa comercial ZEMAX[®], integración de la información para la verificación del sistema y modificaciones del mismo para el producto final. Colaborar en la elaboración de los reportes presentados en los Anexos A y B, así como su revisión y autorización.
- Dra. María Elizabeth Percino Zacarías: Caracterización experimental de la resina y fabricación de muestras de resina. Validar las mediciones de transmitancia, y verificación de respetabilidad de las mismas, ver Anexo B. Integración de la información y elaboración del reporte final.
- Lic. Araceli Huepa Cortes: Elaboración de solicitudes de compra dentro del sistema administrativo del INAOE. Elaboración de solicitudes de comprar en función de las necesidades técnicas especificadas por el personal de la empresa y del personal científico del INAOE, para armonizar las necesidades, con las limitaciones de presupuesto y administrativas del proyecto. Además de establecer los vinculo de comunicación con todos los miembros del proyecto, vía correo electrónico, telefónica y de mensajería.

5 DESVIACIONES Y/O MODIFICACIONES

De los resultados obtenidos y mostrados, para el sistema de iluminación, no hay desviación ni modificación del sistema original, no con respecto de las metas originales del convenio específico de colaboración con el INAOE. De hecho, cualquier cambio que pudiese realizarse en el sistema de iluminación será para la mejora del producto final mostrado.

6 PRODUCTOS E INDICADORES

El principal producto de esta parte del proyecto, que es el iluminante electrónico esta puesto en marcha y en funcionamiento y las simulaciones muestran una distribución de intensidad luminosa adecuada. Además, se elaboró el presente reporte técnico, con especificaciones técnicas de las simulaciones numéricas, y la caracterización de la resina y una mejora en el sistema propuesto

6.1 Vinculación

El grado de vinculación se logra de manera adecuada, porque cada equipo, el de la empresa y el INAOE cumplieron con la comunicación fluida e intercambio de ideas. Además de considerar los comentarios por parte de la empresa para realizar las modificaciones necesarias en los arreglos experimentales, pese a que el equipo de la empresa está localizado en Campeche, y el equipo de trabajo del INAOE está localizado en Tonantzintla Puebla.

Esta distancia podría pensarse como un impedimento para llevar a cabo el proyecto, pero no fue así. También se logró que el personal del INAOE comprendiera las necesidades de un producto para ser incluido en una planta piloto. Todo lo anterior gracias a la vinculación lograda.

En general se puede considerar que fué un proyecto exitoso, pues las metas por parte del equipo del INAOE, se cumplieron y se continua ayudando a optimizar el sistema propuesto.

7 ANEXO A

Modelación Y Simulación Numérica Del Desempeño De Un Sistema De Iluminación Con Leds Inmerso En Aire Y En Agua

Introducción.

En el reporte anterior se modelo y analizo el comportamiento de un conjunto de 14 LEDs colocados en dos filas de 7 LEDs cada una y que se encuentran inmersos dentro de una capsula de resina PP cristal preparada vendida por Poliformas Plásticas

En este anexo se encuentra el resultado del modelado y la simulación numérica del comportamiento óptico de dos geometrías diferentes a la analizada en el reporte previo. A estas nuevas geometrías les llamaremos *Plana y Cilíndrica* y a la geometría del reporte previo le llamaremos *Original*.

Para el modelado y simulación óptica de uso el programa Zemax OpticStudio 14.2 Premium.

Modelado del sistema.

El modelo físico de la capsula de resina para cada una de las geometrías se muestra en las figuras 1, 2 y 3.

En estas figuras se puede ver la posición de cada uno de los LEDs dentro de la capsula de resina así como la forma externa de la capsula.

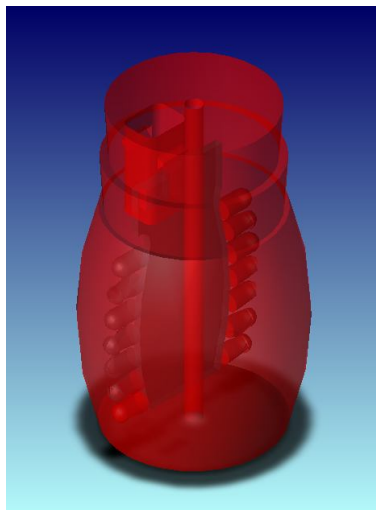


Figura 1. Capsula de resina original

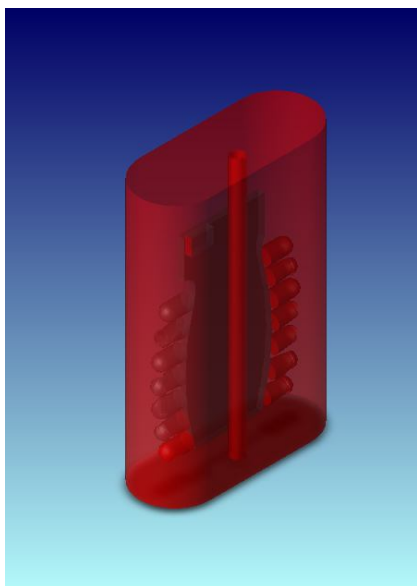


Figura 2. Capsula de resina plana

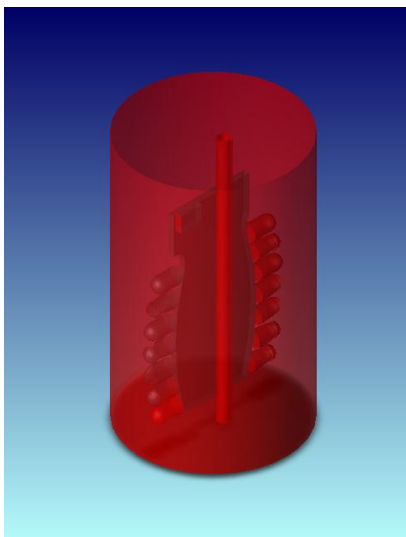


Figura 3. Capsula de resina cilíndrica

En las figuras 4, 5 y 6 se muestra las capsulas y rayos luminosos saliendo de cada uno de los LEDs, los colores de los rayos son unicamente para distinguir la luz que sale de cada LED.

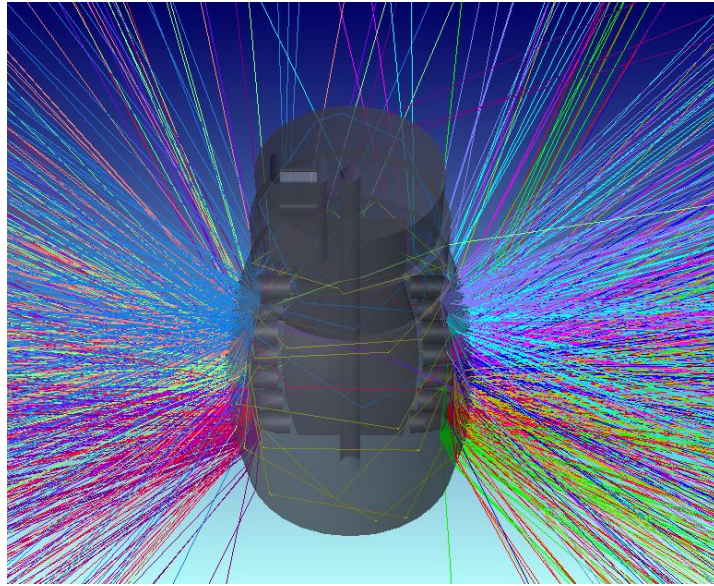


Figura 4. Capsula *original* con LEDs y rayos luminosos

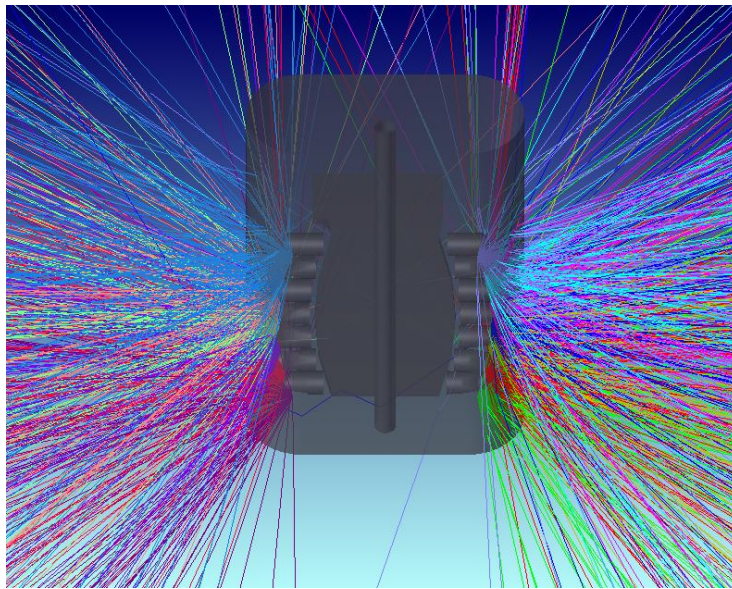


Figura 5. Capsula *plana* con LEDs y rayos luminosos

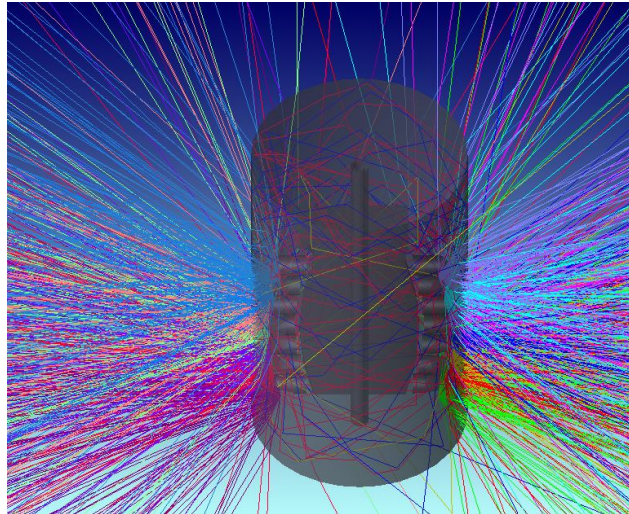


Figura 6. Capsula *cilíndrica* con LEDs y rayos luminosos

Análisis del comportamiento óptico de los tres sistemas inmersos en agua.

Para este análisis las capsulas con los LEDs se introdujeron en un cubo de agua de 600 mm de lado. Todos los detectores están fuera del estaque de agua, es decir, los detectores están en aire y se considera el efecto de refracción al pasar la luz del agua al aire. Esta iluminación es la que se vería desde el exterior del tanque de agua.

En las figuras 7, 8 y 9 se muestra el arreglo de las capsulas con LEDs dentro del estanque de agua y los detectores.

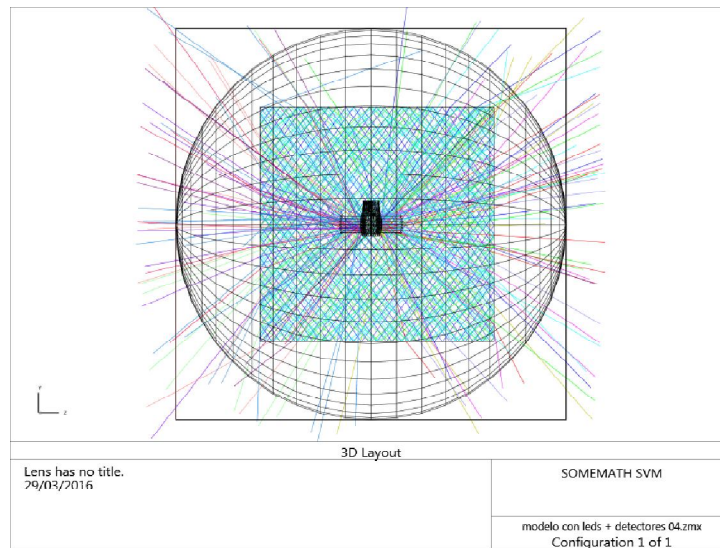


Figura 7. Capsula *original* dentro del cubo de agua y los detectores.

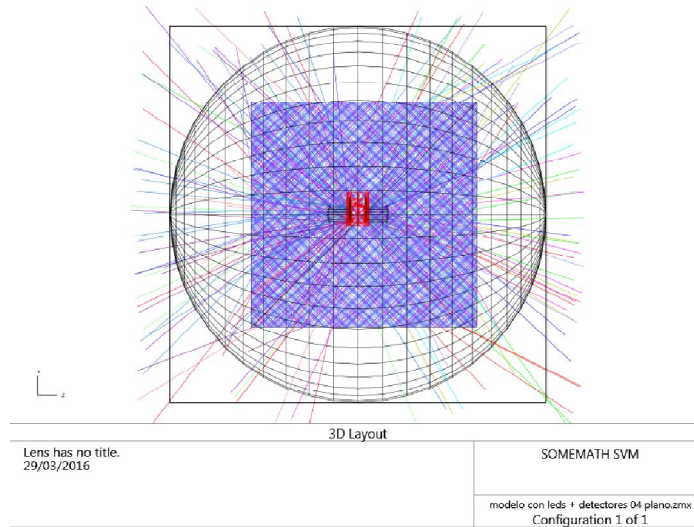


Figura 8. Capsula *plana* dentro del cubo de agua y los detectores.

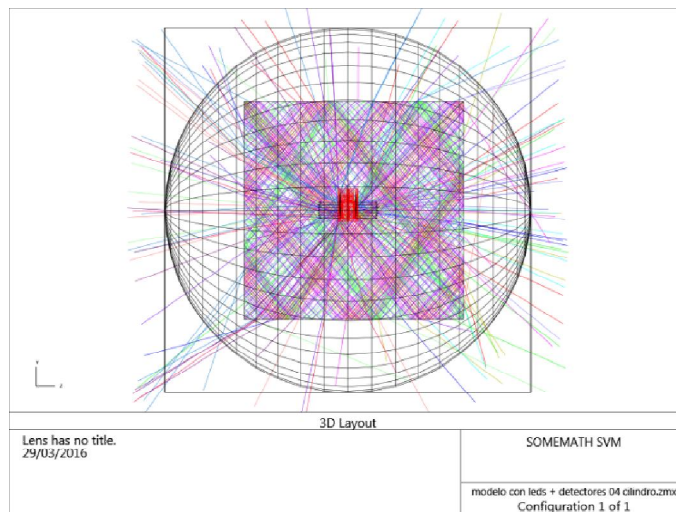


Figura 9. Capsula *cilíndrica* dentro del cubo de agua y los detectores.

Se utilizan 4 detectores rectangulares y un detector polar. Los detectores rectangulares son de 1 m de lado y se encuentra colocados a 500 mm de la capsula. El detector polar tiene un diámetro de 1 m. la distribución de energía en los detectores se muestra en las figuras 10, 11, 12, 13 y 14.

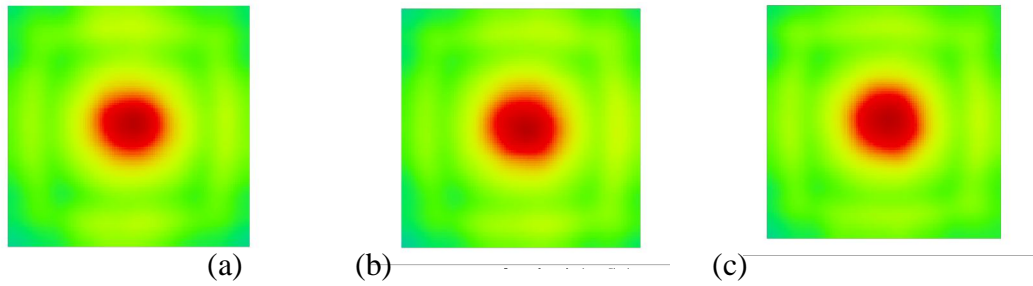


Figura 10. Distribución de energía en el detector que ve a los LEDs de frente y a 500 mm a la derecha de la capsula. (a) Corresponde a la capsula original, (b) a la capsula plana y (c) a la capsula cilíndrica.

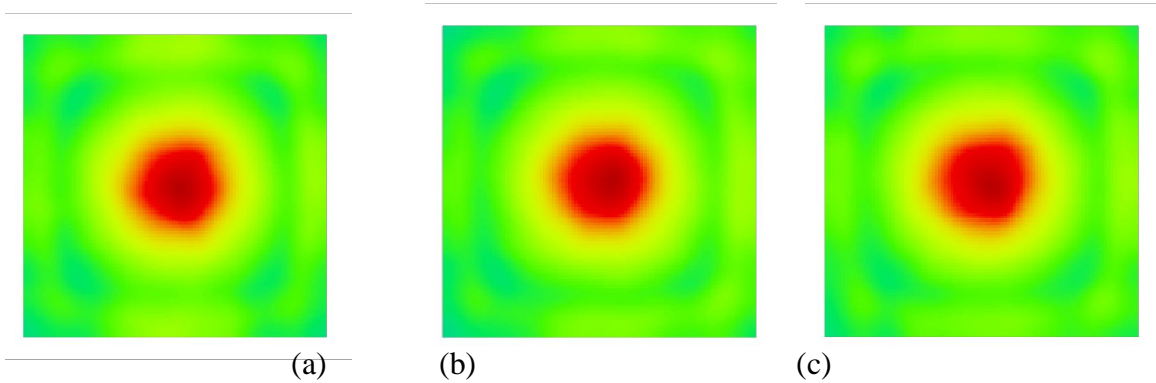


Figura 11. Distribución de energía en el detector que ve a los LEDs de frente y a 500 mm a la izquierda de la capsula. (a) Corresponde a la capsula original, (b) a la capsula plana y (c) a la capsula cilíndrica.

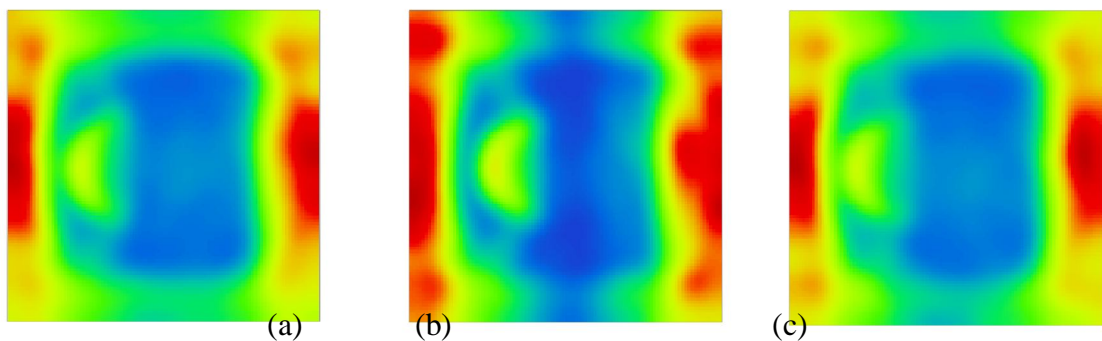


Figura 12. Distribución de energía en el detector que ve a los LEDs lateralmente y a 500 mm de frente a la capsula. (a) Corresponde a la capsula original, (b) a la capsula plana y (c) a la capsula cilíndrica.

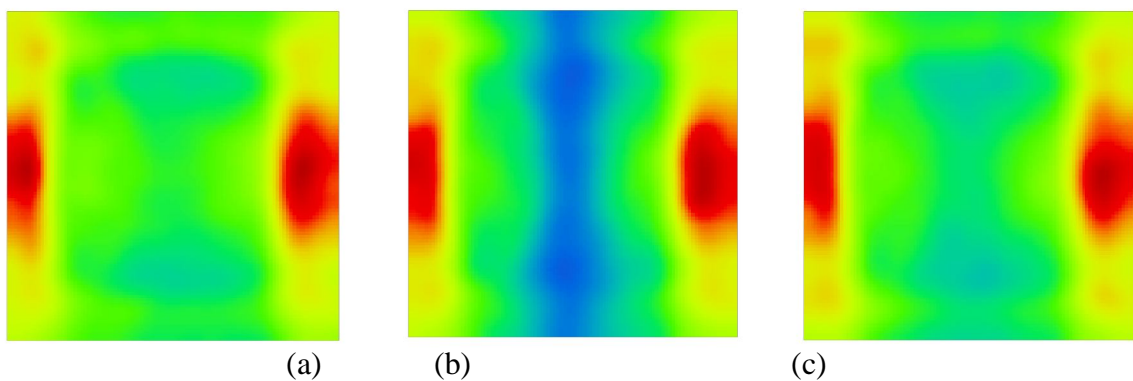


Figura 13. Distribución de energía en el detector que ve a los LEDs lateralmente y a 500 mm por atrás de la capsula. (a) Corresponde a la capsula original, (b) a la capsula plana y (c) a la capsula cilíndrica.

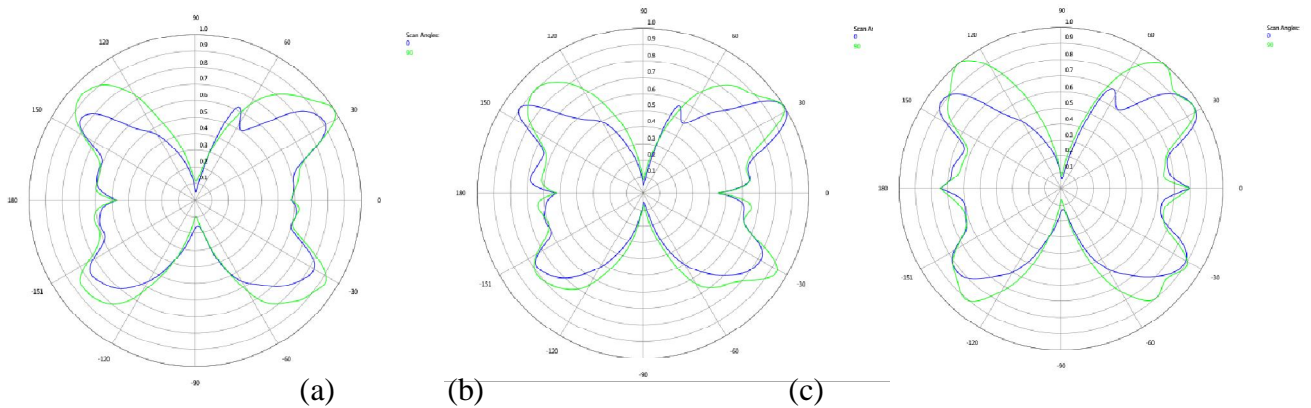


Figura 14. Curvas polares de todo el sistema. (a) Corresponde a la capsula original, (b) a la capsula plana y (c) a la capsula cilíndrica.

Conclusiones.

Se construyeron tres modelos físicos de dos filas de LEDs de 7 LEDs cada una dentro de una capsula de resina de acuerdo a los requerimientos del cliente. Un modelo corresponde a la configuración original, el segundo a la configuración plana y el tercero a la cilíndrica.

Se analizó el comportamiento óptico de la distribución de la energía luminosa con los detectores rectangulares así como la fotometría con detectores polares para cada una de las geometrías de las capsulas.

Se calculo la fotometría y la distribución de energía para cada una de las capsulas inmersas en agua pero con los detectores en el exterior del tanque de agua, es decir, en este caso los detectores estuvieron en aire para considerar la refracción en la interface agua aire.

Al analizar las figuras 10, 11, 12, 13 y 14 se observa que las diferencias en la distribución de energía son mínimas y se puede concluir que el comportamiento óptico de cada una de las geometrías propuestas para las capsulas es el mismo, por lo que es indistinto usar cualquiera de las geometrías y deberá optarse por la de más simple fabricación.

8 ANEXO B

Características Ópticas De La Resina

INTRODUCCION.

Una de las formas de pescar peces espada sin usar anzuelos tradicionales es usar una lámpara, la cual debe poder sumergirse en agua salada. Una propuesta es fabricar una lámpara de leds y encapsularla en una resina transparente, ver fig. 1. Para lo cual es necesario poder determinar la transmitancia de esta resina y poder encontrar la distancia a la que la lámpara podrá iluminar bajo el mar.

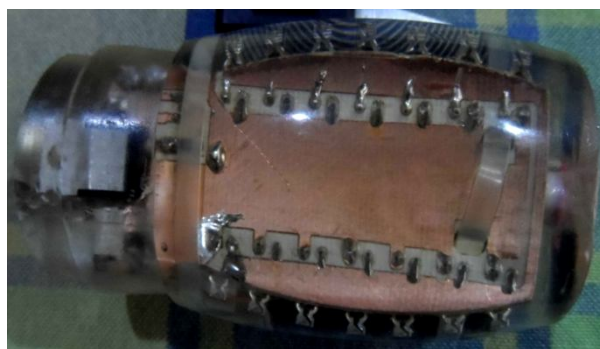


Fig. 1 Lámpara de Leds encapsulada.

La cual para poder determinar su desempeño es necesario conocer las propiedades de la resina del encapsulado, Es por esto que debe medirse la respuesta de la resina a las diferentes ondas de luz visible y su índice de refracción.

Para llevar a cabo estas tareas se fabricaron cinco muestras de $1 \times 1 \times 2$ cm, de resina PP CRISTAL PREPARADA de Poli formas plásticas y se etiquetaron como A, B, C, D y E, para poder distinguirlas, ver fig. 2.

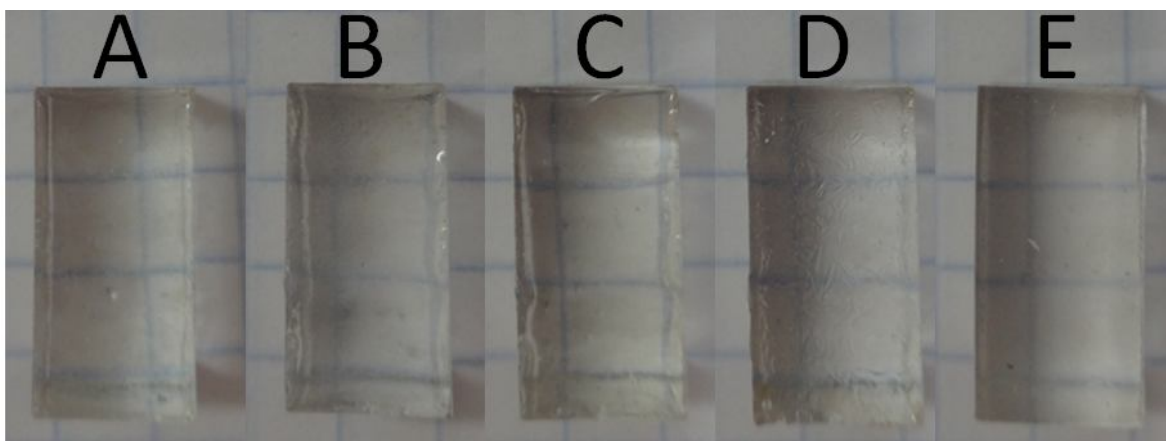


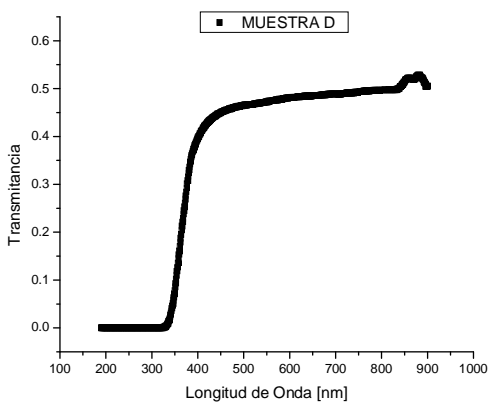
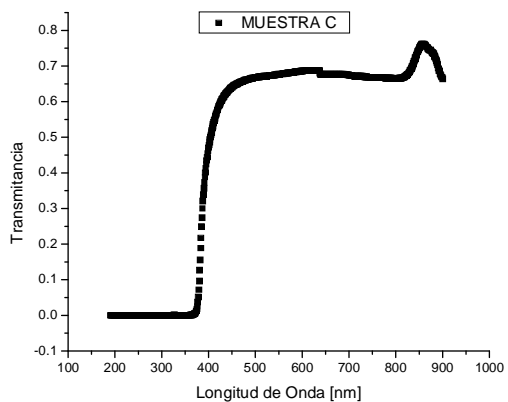
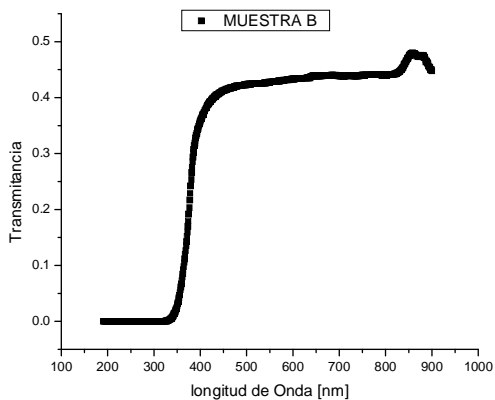
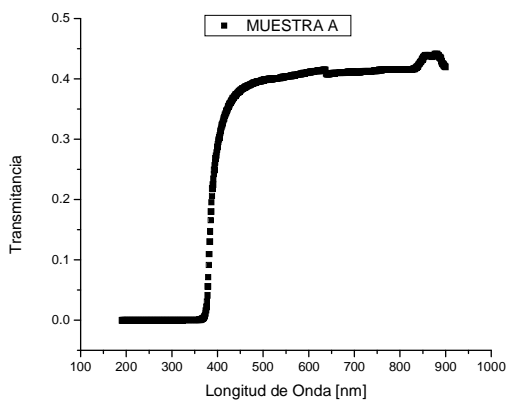
Fig. 2 Muestras de resina.

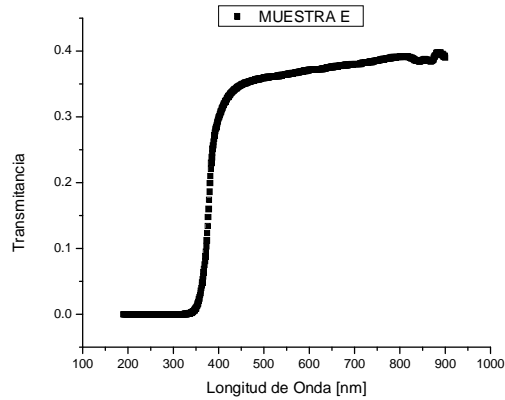
PROCEDIMIENTO.

1. MEDICION DE TRANSMITANCIA

Las mediciones de Transmitancia se realizaron con en un Espectrómetro marca Perkin-Elmer modelo Lambda 3B, en un rango de longitudes de onda de 190nm a 900nm (ultravioleta a infrarrojo) y a 1nm de intervalo, para conocer además del comportamiento en el rango visible, también en los no visibles cercanos.

Una vez realizadas las mediciones de Transmitancia, se obtuvieron 710 valores para cada muestra, con estos datos se obtuvieron las gráficas que se muestran a continuación.





Puesto que cada muestra fue fabricada del mismo material y del mismo tamaño, los resultados deberían ser los mismos. Sin embargo como se observa en las gráficas esto no ocurre. Esto se debe al acabado rugoso que se tiene en las superficies de cada muestra, el cual es diferente para cada una. Como podemos observar la muestra C tiene mayor transmitancia, aproximadamente 0.7 en el visible, pues es menos rugosa que las otras cuatro. No obstante salvo un factor de escala el comportamiento de todas las muestras es similar. Además podemos observar que la Transmiancia se comporta de forma lineal en el rango visible del espectro.

2. INDICE DE REFRACCION

Para obtener el índice de refracción se utilizó la ley de Snell

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \alpha' \quad (1)$$

Un esquema de esta ecuación lo podemos ver en la figura 3.

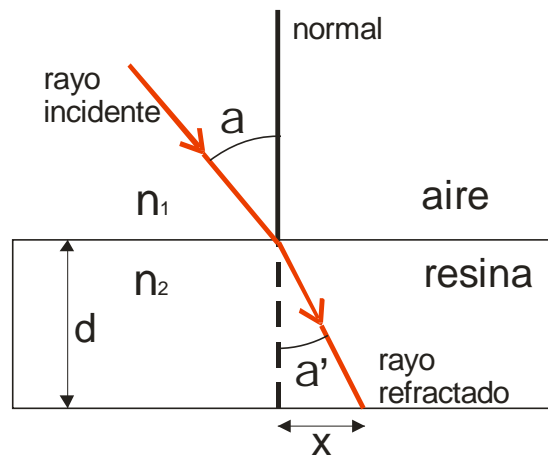


Fig. 3, Rayo refractado en la muestra de la resina.

Donde n_1 es el índice de refracción del aire, el cual tiene un valor de 1, α es el ángulo del rayo incidente, n_2 es el índice de refracción de la muestra de resina que queremos conocer, α' es el ángulo del rayo refractado, d es el espesor de la muestra y x es la distancia a dónde llega el rayo refractado sobre la muestra.

Despejando n_2 de la ecuación (1) tenemos

$$n_2 = \frac{n_1 \sin \alpha}{\sin \alpha'} \quad (2)$$

En donde

$$\alpha' = \tan^{-1}\left(\frac{x}{d}\right) \quad (3)$$

Por lo tanto solo debemos determinar la distancia x para los ángulos de 10° , 20° , 30° y 40° y tres longitudes de onda, las cuales fueron: $\lambda=405\text{nm}$ (violeta), $\lambda=532\text{nm}$ (verde), $\lambda=632.8\text{nm}$ (rojo), a cada una de las muestras.

2.1.Desarrollo experimental.

Con el objetivo de obtener el índice de refracción de la resina, se montó el arreglo experimental que se muestra en la figura 4. En donde se usaron tres diferentes láseres y un goniómetro para dar el ángulo de incidencia.

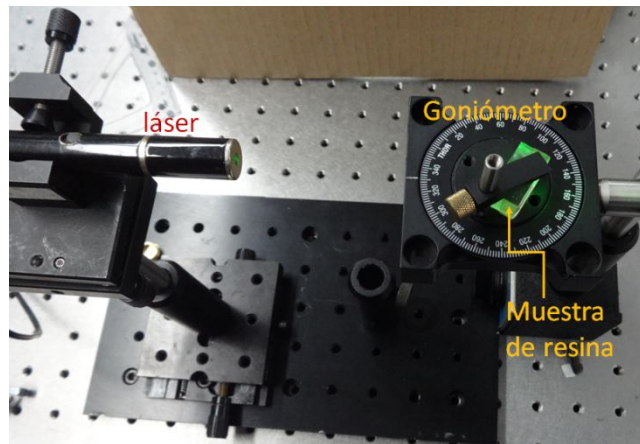


Fig. 4 Arreglo experimental para medir la distancia x .

Sobre la superficie opuesta de la entrada del láser a la resina, se pegó papel del mismo tamaño que la superficie para poder marcar el centro de la mancha formada por el haz de láser refractado a cada ángulo de incidencia, ver figura 5.

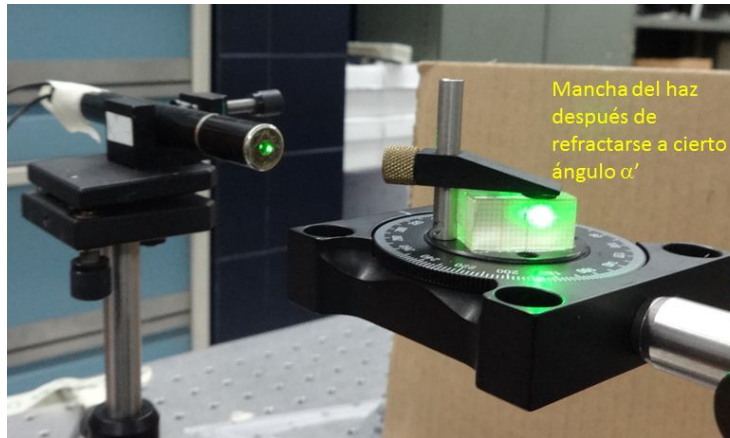


Fig. 5 Mancha de la luz refractada en la muestra de resina.

Posteriormente, para obtener mayor precisión en las medidas de x , se escanearon las muestras con el papel pegado, como se muestra en la figura 6.

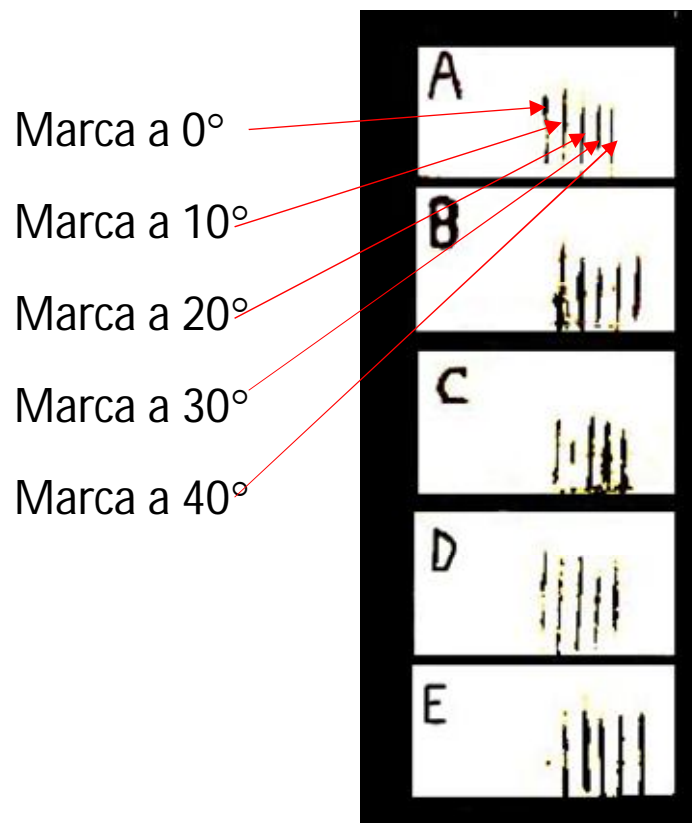


Fig. 6 Marcas realizadas en los centros de las manchas del haz refractado.

Con la ayuda del programa Corel PHOTO-PAINT X4, y se midieron pixel a pixel, la distancia entre las líneas. Este procedimiento se realizó con cada una de las muestras y cada longitud de onda.

Al sustituir los valores de las distancias en la fórmula (3) y a su vez, α' en la fórmula (2), se obtuvieron los valores del índice de refracción para cada muestra, que al promediarlos nos da los resultados mostrados en la tabla 1.

TABLA 1

Longitud de onda λ	n_2
$\lambda=405\text{nm}$ (violeta)	1.5026 ± 0.03
$\lambda=532\text{nm}$ (verde)	1.4986 ± 0.06
$\lambda=632.8\text{nm}$ (rojo)	1.4976 ± 0.03

CONCLUSIONES

1. La rugosidad en el acabado de la lámpara debe ser homogénea para tener una transmitancia constante sobre toda la lámpara.
2. La transmitancia en el espectro visible que es aproximadamente de 380 a 770nm, tiene un comportamiento lineal.
3. Debido a la irregularidad de las muestras en su forma y textura de las superficies, las mediciones no pudieron ser realizadas con más precisión.