



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**Inversión de la banda de reflexión de
cristales líquidos colestéricos en
presencia de campos eléctricos y
colorantes láseres añadidos.**

Que para obtener el título de
Licenciada en Física

Presenta
Yanneth Tzitzin Chávez Gutiérrez

Director
Margarita Franco Ortiz

HERMOSILLO, SONORA

MAYO, 2021

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Agradecimientos

Por este medio, quiero mostrar mi gratitud a todas las personas que estuvieron presentes a lo largo del camino de mi formación académica, el cual me ha traído hasta aquí. Empezando todo con un sueño, que poco a poco fue culminando hasta el trabajo de hoy.

Primeramente quiero empezar dando gracias a mis padres por haber creído en mí y apoyarme durante toda mi carrera y que, a pesar de la distancia, ellos me hacían fuerte para seguir adelante y cumplir con todos mis objetivos. Gracias también a todos los profesores que tuve la dicha de conocer durante la licenciatura en Física. Nunca olvidaré su pasión por la física y las matemáticas, que me hizo ver al mundo y al universo de una manera tan bonita y diferente. Pero, sobre todo, me quedo con el nunca dejar de sorprenderme por la complejidad y hermosura de las leyes y fenómenos de la naturaleza.

Entre esos profesores, tuve la fortuna gracias al *Dr. Rodrigo Arturo Rosas Burgos* y al *Dr. Adalberto Corella Madueño* de ser parte del proyecto de investigación CONACYT: "Cristales fotónicos y fonónicos no lineales". Proyecto con el cual pude desarrollar mi trabajo de titulación y tuve la oportunidad de aprender a desenvolverme más en distintos laboratorios. Muy especialmente agradezco a mis sinodales y directora de tesis: *Margarita Franco Ortiz, Paola Ma. Mercedes Castro Garay, María del Rocío Gómez Colín* y *Olga Oralia Arias Lara*. Quienes fueron punto clave para el desarrollo y término de este trabajo de investigación.

Gracias a mis compañeras de trabajo de igual forma, quienes me ayudaron a comprender temas nuevos para mí, y siempre tuvieron disposición de ayudar en cualquier duda que tuviera.

Estoy muy agradecida y orgullosa de poder presentar este trabajo de investigación, y con ello culminar una etapa tan importante en mi vida.

Índice general

Agradecimientos	3
1. Introducción	8
2. Cristales líquidos	10
2.1. Fase nemática	11
2.2. Fase esméctica	12
2.3. Fase colestérica	13
2.4. Fase ferroeléctrica	14
2.5. Liotrópicos	14
3. Propiedades ópticas y polarización	15
3.1. Anisotropía óptica	17
3.2. Birrefringencia en cristales	18
4. Colorantes láseres y cristales líquidos	20
4.1. Propiedades generales de los colorantes láseres orgánicos	21
4.2. Niveles de energía y solventes	21
4.3. Rodamina 6G	22
4.4. DCM	23
4.4.1. Absorción	24
5. Campos eléctricos y magnéticos en cristales líquidos	25
6. Aplicación en la actualidad	27
7. Desarrollo experimental	29
8. Resultados	32
8.1. Análisis de muestras con colorante láser DCM	32
8.1.1. DCM Base	33
8.1.2. DCM concentración de colesterol 50 g/dL	34
8.1.3. DCM concentración de colesterol 100 g/dL	39
8.2. Análisis de muestras con colorante láser Rodamina 6G	44
8.2.1. Rodamina 6G Base	44
8.2.2. Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL	45
8.2.3. Rodamina 6G concentración de colesterol 100 g/dL	48
8.3. Análisis de resultados	51

8.3.1.	DCM ángulo de giro No.27	52
8.3.2.	DCM ángulo de giro No.36	53
8.3.3.	Rodamina ángulo de giro No.6	55
8.3.4.	Rodamina ángulo de giro No.24	56
8.3.5.	DCM Base con muestra de concentración 50 g/dL ángulo de giro No.28	57
8.3.6.	DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.3	58
8.3.7.	DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.12	60
8.3.8.	DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.13	61
8.3.9.	DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.14	63
8.3.10.	Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.15	64
8.3.11.	Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.33	65
9.	Conclusiones	67
A.	Ángulo de giro de los polarizadores	69
	Bibliografía	73

Índice de figuras

2.1. Pitch	14
3.1. Filtro polarizador	16
3.2. Calcita	18
3.3. Hiperstena	19
4.1. Estructura molecular Rodamina 6G	22
4.2. Estructura molecular DCM	23
7.1. Representación esquemática de celda elaborada	30
7.2. Arreglo Óptico	31
8.1. Gráficas de transmitancia sin colorante láser y con colorante láser añadido (Rodamina 6G) sin campo eléctrico aplicado a)Polarizadores paralelos b)Polarizadores cruzados. Gráfica documentada en artículo por publicar. Ángela Judith Teposte Villalpando.	32
8.2. DCM Base ángulo de giro No.28	33
8.3. DCM Base ángulo de giro No.27	34
8.4. DCM Base ángulo de giro No.36	34
8.5. DCM 50 ángulo de giro No.3	35
8.6. DCM 50 ángulo de giro No.12	36
8.7. DCM 50 ángulo de giro No.13	37
8.8. DCM 50 ángulo de giro No.14	37
8.9. DCM 50 ángulo de giro No.27	38
8.10. DCM 50 ángulo de giro No.28	38
8.11. DCM 50 ángulo de giro No.36	39
8.12. DCM 100 ángulo de giro No.3	39
8.13. DCM 100 ángulo de giro No.6	40
8.14. DCM 100 ángulo de giro No.12	40
8.15. DCM 100 ángulo de giro No.13	41
8.16. DCM 100 ángulo de giro No.14	42
8.17. DCM 100 ángulo de giro No.27	42
8.18. DCM 100 ángulo de giro No.36	43
8.19. Rodamina Base ángulo de giro No.6	44
8.20. Rodamina Base ángulo de giro No.24	45
8.21. Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.6	45
8.22. Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.15	46
8.23. Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.24	47

8.24. Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.33	47
8.25. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.6	48
8.26. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.14	49
8.27. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.15	49
8.28. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.24	50
8.29. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.27	50
8.30. Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.33	51
8.31. Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.27	52
8.32. Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.36	54
8.33. Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.6	55
8.34. Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.24	56
8.35. Comparación muestras base y concentración de colesterol 50 g/dL con DCM en ángulo de giro No.28	57
8.36. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.3	59
8.37. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.12	60
8.38. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.13	62
8.39. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.14	63
8.40. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.15	64
8.41. Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.33	65

Capítulo 1

Introducción

En la actualidad, podemos encontrar cristales líquidos por muchas partes, en dispositivos electrónicos de uso diario como celulares, pantallas y relojes. Hasta ahora, los cristales líquidos siguen siendo una rama de gran interés para investigaciones, ya que se ve mucho potencial al provecho que se le puede sacar a estos materiales que consumen una pequeña cantidad de energía al cambiar su estado, por influencias con campos eléctricos, temperatura y otros. Todo esto, pudiéndose utilizar para mejoras en las áreas en las que ya se utilizan estos materiales, como lo son la medicina y la tecnología.

Los cristales líquidos son sustancias que comparten características de los líquidos y los sólidos. Desde pequeños se nos ha enseñado que los estados o formas de la materia se dividen en gases, líquidos y sólidos. En la actualidad, sabemos que existen estados intermedios o “mesofases” en las que se encuentran estos cristales líquidos. El primero en observar un cristal líquido fue el botánico Austriaco Friedrich Reinitzer en 1888, observando una sustancia sólida derivada del colesterol que al calentarlo hasta su punto de fusión, formaba un líquido turbio. Y al seguirlo calentando la turbidez persistía hasta llegar a cierta temperatura, luego el material se volvía transparente. Un año después, en 1889, el físico Alemán Otto Lehmann llama a estas sustancias que presentaban el mismo comportamiento “Cristales Líquidos”, nombre con el que se les sigue conociendo en la actualidad. En pocas palabras, se presenta un nuevo estado de la materia. En 1964 George Heilmeyer descubre que estas sustancias permitían o impedían el paso de luz al encender o apagar un campo eléctrico. [1, p. 1] Los cristales líquidos están compuestos de moléculas que al igual que en un líquido, viajan libremente y de forma un tanto desordenada, ya que tienen la propiedad de los sólidos cristalinos en los cuales las moléculas tienen orientación y además, en los cristales líquidos al aplicar un campo eléctrico sus moléculas pueden ser reorientadas en cierta dirección dependiendo de la dirección en que se les aplique el campo. El primer uso que se le dió a estos cristales, fue para las pantallas de las primeras calculadoras de bolsillo que sacó la industria, para después utilizarse en las primeras pantallas planas de LCD.

De igual forma las mismas propiedades que hacen a un cristal líquido útil en las pantallas LCD, los hace potencialmente útiles como componentes para biosensores. Un biosensor se define como un dispositivo que mide parámetros biológicos como, por ejemplo, la presencia de analitos. Los analitos típicos de sensores son la glucosa o la insulina, que son principalmente utilizados para el control de la diabetes. Los cristales líquidos se utilizan en los biosensores siendo depositados sobre sustratos químicos, ya que ópticamente los cristales líquidos son capaces de detectar la presencia de cantidades microscópicas de ciertas moléculas biológicas unidas a las superficies.

Los cristales líquidos son utilizados en pantallas por su propiedad de birrefringencia. Luz con diferente polarización experimenta diferentes índices de refracción al pasar por la muestra de cristal líquido, dependiendo del alineamiento de las moléculas en relación con la dirección de la luz.

En este trabajo de investigación se analizará si la banda de reflexión selectiva del cristal líquido colestérico es reversible ante la aplicación a la muestra de dos distintos colorantes láseres: DCM y Rodamina 6G, por separado, y en presencia de campo eléctrico con el propósito de que sea un grabador óptico, siendo esto posible si, al quitar el campo eléctrico, se recupera la información óptica con la que se contaba. Esto sería, recuperando la banda de transmisión original sin campo eléctrico aplicado, o recuperando de igual forma alguna otra banda de transmisión para cierto voltaje específico.

En el capítulo dos se revisarán los conceptos básicos sobre los cristales líquidos, algo de su historia, algunas de sus principales características, y algunos tipos de cristales líquidos conocidos.

En el capítulo tres se describen algunos conceptos como el de la polarización, que es crucial, la respuesta óptica de los cristales líquidos y otras propiedades ópticas importantes.

El capítulo cuatro se enfoca en los colorantes láseres, en especial los utilizados en la base experimental de este trabajo de investigación, los cuales son la Rodamina 6G y el DCM.

El capítulo cinco aborda un tema de gran importancia para la base experimental de este trabajo que es el efecto de campos eléctricos y magnéticos en los cristales líquidos.

En el capítulo seis trata sobre algunas de las aplicaciones actuales de los cristales líquidos, como lo son los biosensores, su aplicación láser y los grabados ópticos.

El capítulo siete contiene el desarrollo experimental de este trabajo de investigación.

Finalmente en los capítulos ocho y nueve se analizan los resultados y se dan las conclusiones del trabajo de investigación.

Capítulo 2

Cristales líquidos

Los cristales líquidos son sustancias que comparten características de los líquidos y los sólidos. Generalmente se sabe que los estados o formas de la materia se dividen en gases, líquidos y sólidos. El estado de agregación cambia elevando su temperatura, pasando de sólido a líquido, y de líquido a gas. En la actualidad, sabemos que existen estados intermedios o “mesofases” en las que se encuentran los cristales líquidos. En pocas palabras, se descubre este nuevo estado de la materia, este estado intermedio entre una fase líquida y sólida a la que llamamos cristales líquidos. Este nombre les fue dado por el físico alemán Otto Lehmann, quien en 1889 recibe una carta del botánico Austriaco Friedrich Reinitzer donde le comentaba de estos estados intermedios que se encontraban al calentar benzoato de colesterol. Reinitzer en sus experimentos, al aumentar la temperatura de una muestra sólida, observó el cambio del cristal en un líquido opaco. Cuando aumentó más la temperatura, el material cambió de nuevo a un líquido claro, transparente. Reinitzer no fue capaz por sí mismo de explicar el fenómeno del “doble punto de fusión” y la existencia del líquido opaco, por lo que el botánico Reinitzer manda una muestra a Otto Lehmann quien se encargó de estudiar más a fondo este material y descubrió que, efectivamente, en esas fases intermedias, el material presentaba un efecto de doble refracción, cosa que sólo ocurría con los cristales, y estableció rápidamente la anisotropía óptica de las “fases líquidas opacas de Reinitzer”. Debido a que la doble refracción era algo que ocurría en cristales, decide llamar a este material “cristal líquido”, considerando que compartía características de los líquidos como su fluidez, su capacidad para formar y fusionar gotas, y a su vez, simetrías heredadas de los cristales como lo es la anisotropía de las propiedades ópticas, eléctricas y magnéticas, de igual forma, arreglos periódicos de moléculas en una o más direcciones espaciales.

La combinación resultante de propiedades de líquidos y sólidos tiene implicaciones importantes de los cristales líquidos en la actualidad para diferentes dispositivos tecnológicos. En 1966, se vislumbraron las primeras aplicaciones prácticas de los cristales líquidos y en 1970, la primera de ellas se materializó: las pantallas para relojes digitales. Después en otros dispositivos electrónicos como lo son las calculadoras, computadoras portátiles y pantallas planas de televisión.

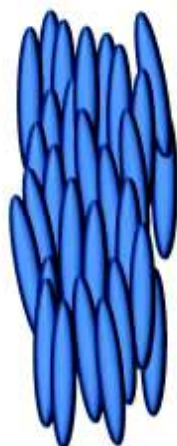
Dependiendo del arreglo molecular en la mesofase, o de su simetría, existen varias clasificaciones para las fases de cristal líquido (CL): en primer lugar, puede distinguirse entre los sistemas que presentan una fase CL por adición de un solvente (CL liotrópicos) y los que la presentan en un intervalo de temperatura entre el sólido y el líquido isotrópico (CL termotrópicos) [2, p. 17]. Los descubiertos por Reinitzer son los **termotrópicos**, que ocurren en un cierto rango de temperaturas. Dependiendo de la variación de la temperatura, se encontrarán diferentes fases del cristal líquido.

También podemos encontrar los cristales líquidos de tipo **isotrópico**, los cuales reaccionan con agua u otros solventes. Estos cristales líquidos pueden encontrarse en los sistemas vivos como las proteínas y membranas celulares. Las moléculas de los cristales líquidos liotrópicos están posicionadas de manera aleatoria con orientaciones aleatorias también [3, p. 2]. Por definición, un líquido isotrópico no tiene ningún orden orientacional. Para cuantificar el grado de orden en un material, se define un parámetro de orden (S) como $S = \frac{1}{2} \langle 3\cos^2\theta - 1 \rangle$, donde θ es el ángulo entre el vector director y el eje mayor de cada molécula. En un líquido isotrópico el promedio de las orientaciones aleatorias de las moléculas es cero, y por consiguiente el parámetro de orden es igual a cero. Para un cristal perfecto, el parámetro de orden vale uno. Los valores típicos para el parámetro de orden de un cristal líquido se encuentra entre 0.3 y 0.9, siendo el valor exacto una función de la temperatura, como resultado del movimiento molecular. [4, p. 55].

Los cristales líquidos de tipo termotrópico, se dividen en tres tipos: Nemáticos, Esmécticos, Colestéricos. Los cuales se describen a continuación:

2.1. Fase nemática

Una de las fases más comunes de los cristales líquidos es la fase nemática. Esta fase se encuentra dentro de la fase isotrópica líquida y la totalmente ordenada de un cristal sólido. En esta fase, los cristales pueden ser alineados por un campo eléctrico lo que los hace muy útiles en las pantallas para celulares, calculadoras, laptops, y pantallas planas. En física, el nemático es un estado de la materia que permite que las moléculas se dispongan en paralelo entre ellas antes de cristalizar. Todas las simetrías traslacionales son continuas; aunque poseen un orden orientacional de largo alcance con los ejes alargados de las moléculas [5, p. 1]. Sus orientaciones son todas parecidas, por lo que la simetría rotacional se mantiene discreta. De hecho, el ordenamiento u orientación de las moléculas en forma de tubo en esta fase de cristal líquido, es de forma en que están alineadas a lo largo de un eje en común, estando en paralelo entre ellas tal como se muestra en la figura.



La dirección preferida puede variar en todo el medio, a esta dirección promedio del ordenamiento de las moléculas se le llama director. La orientación del **director** es representada por un vector unitario $\hat{n}(\mathbf{r})$ [5, p. 1].

La tendencia de las moléculas de los cristales líquidos a apuntar a lo largo del vector director lleva a una condición conocida como la **anisotropía**. Este término significa que las propiedades de un material dependen de la dirección en que ellas están orientadas [4, p. 56]. Podemos decir que los directores en esta fase están todos prácticamente en paralelo.

En un nemático, las moléculas son capaces de rotar alrededor de sus ejes largos, y no hay arreglo preferente de sus extremos, incluso si difieren. Por lo tanto, el signo del director no tiene significado físico, y el nemático se comporta ópticamente como un material uniaxial con un centro de simetría [5, p. 1].

Estas fases de cristales líquidos de tipo termotrópico, se obtienen al variar la temperatura, por lo tanto, serán estables dentro de cierto rango de temperaturas. Si subimos la temperatura y pasamos a la que se le llama "punto de aclaramiento" (T_c), la orientación de las moléculas original se pierde y este cristal líquido nemático se transforma en un fluido isotrópico. En esta fase isotrópica no existe orden en los ejes moleculares y están distribuidas aleatoriamente en el espacio.

Por otra parte, si bajamos la temperatura, la materia tiende a evolucionar de estados altamente desordenados, con simetrías continuas, a estados ordenados con simetrías discretas [3, p.3]. Si bajamos la temperatura en la fase nemática, usualmente se transforma en una fase un tanto más sólida (estado ordenado con simetría discreta) que es la fase Esmética-A.

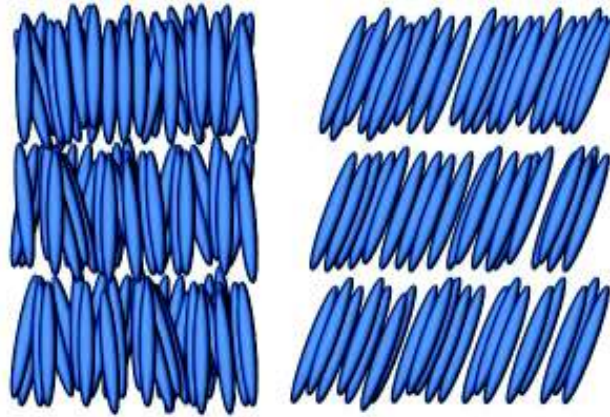
El cristal líquido nemático causa la polarización, esto es que cambia las ondas de luz que pasan a través de él. El cambio en la polarización dependerá intrínsecamente de la intensidad del campo eléctrico aplicado.

2.2. Fase esméctica

Los cristales líquidos esmécticos forman capas como el jabón, se hecho su nombre se les da por esa similitud que tienen con el jabón. Su capacidad de estratificación es una de las principales características que lo distingue de los nemáticos y colestéricos. Esta fase se presenta a las temperaturas más bajas, como ya lo mencionamos anteriormente, se pueden formar a partir de enfriar una fase nemática del cristal líquido. A temperaturas más bajas, la simetría traslacional continua se transforma en simetrías discretas. Cuando la simetría traslacional se transforma a lo largo de sólo una dirección, la fase esméctica de los cristales líquidos es obtenida. Su simetría traslacional es discreta en una dirección (en la vertical) y continua en las otras dos direcciones. La simetría continua traslacional es horizontal ya que las posiciones de las moléculas están desordenadas y móviles en esta dirección [3, p. 3]. Dentro de esta fase, podemos encontrar otras tres sub fases: (esméctico A, esméctico B, esméctico C).

A temperaturas suficientemente bajas, para transformar la traslación continua en todas sus direcciones, se forma el cristal ordinario..

En la fase esméctica-A se sigue presentando un orden orientacional en las moléculas de cristal líquido. En esta fase, las moléculas forman capas y están orientadas. Las moléculas están orientadas perpendicularmente a las capas mencionadas. Si seguimos enfriando esta nueva fase, tendremos ahora fases parcialmente ordenadas como lo son la fase esméctica C, esméctica B, etc. [6, p. 1].



Ordenamiento de las moléculas en la fase esméctica A (Izquierda), las cuales están organizadas en capas; en la fase esméctica C (derecha), las moléculas están inclinadas dentro de cada capa.

2.3. Fase colestérica

Los cristales líquidos colestéricos reflejan diferentes longitudes de onda de la luz, dependiendo de su tono. Se pueden encontrar en anillos de cambio de humor, termómetros y algunos monitores.

La fase colestérica es similar a la nemática, ya que tiene un orden orientacional largo, pero no un de orden posicional de largo alcance de los centros de masa de las moléculas [5, p. 2].

Este cristal líquido es de estructura helicoidal, por lo que podemos decir que es quiral. La quiralidad es una propiedad asociada a las moléculas que no son simétricas respecto a un plano de reflexión. El director no está fijo en el espacio como en una fase nemática; sino que rota a través de la muestra.

Estos cristales se organizan en capas sin orden de posicionamiento dentro de las mismas capas. Pero, sí con un eje director, que varía en las capas. Esta mesofase difiere de la nemática ya que su director varía sobre todo el medio de un modo regular.

Una de las características importantes de la fase colestérica es el paso p (pitch) de la hélice. El paso p , se define como la distancia recorrida por el vector director al realizar un giro completo en la hélice [4, p. 57].

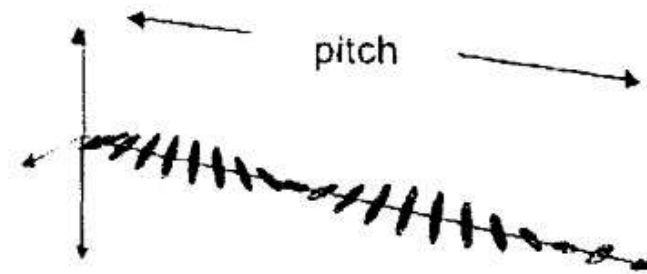


Figura 2.1: Pitch
[4]

Una propiedad de la fase nemática quiral es su habilidad para reflejar selectivamente luz de longitud de onda igual a la longitud del paso. Para que un color se refleje, el paso debe ser igual a la longitud de onda correspondiente de luz en el espectro visible [4, p. 57].

2.4. Fase ferroeléctrica

Las propiedades ferroeléctricas en los cristales líquidos se predijeron por primera vez en 1975 por Meyer y colaboradores. Estas existen en un grupo esméctico ya mencionado, en la llamada fase C*, las moléculas quirales en forma de barra están posicionadas en capas. Los ejes longitudinales de las moléculas son paralelos entre sí e inclinados en un ángulo respecto al plano de la capa. El eje polar se encuentra paralelo al doble eje de rotación del plano de la capa. Sin embargo, el carácter quiral de las moléculas hace que los ejes moleculares en las capas adyacentes asuman una disposición helicoidal con respecto a la normal de la capa. En consecuencia, no surge una polarización macroscópica en el estado libre de campo. En un campo eléctrico lo suficientemente fuerte dirigido paralelo a los planos de las capas, la dirección de la polarización espontánea puede ser alterada como en el caso de un ferroeléctrico regular. Un ejemplo de tal cristal líquido ferroeléctrico es el p-deciloxibenzilideno-p'-amino-2-metil-butil-cinamato [7].

2.5. Liotrópicos

Comportamiento de cristal líquido también es encontrado en ciertos coloides (soluciones de coloides) como soluciones acuosas de tabaco, virus del mosaico y ciertos polímeros. Este tipo de cristal líquido es llamado: Liotrópico. En ellos, el parámetro de control importante es la concentración, en lugar de la temperatura o la presión [5, p. 3].

Capítulo 3

Propiedades ópticas y polarización

Para comprender las múltiples aplicaciones que los cristales líquidos pudieran tener, es importante resaltar sus propiedades ópticas. Por ejemplo, los cristales líquidos nemáticos, se pueden comportar como polarizadores gracias a su propiedad de absorción selectiva. Entre otros ejemplos, se encuentran los cristales líquidos colestéricos, los cuales se comportan como espejos reflectores. Debido a su propiedad óptica de reflexión selectiva. Para la caracterización de las propiedades ópticas de las muestras de cristales líquidos, utilizaremos polarizadores cruzados, y polarizadores paralelos. Por este motivo, en este capítulo abordaremos conceptos sobre polarización, propiedades de absorción y reflexión selectiva, además de la clasificación óptica de los cristales líquidos.

Los cristales líquidos tienen la capacidad de alterar la polarización de la luz que pasa a través de ellos. La luz es una radiación electromagnética compuesta por ondas de los campos eléctrico \vec{E} y magnético \vec{H} que vibran en un plano ortogonal a la dirección de propagación. La polarización electromagnética es un fenómeno que puede producirse en las ondas de luz, en el cual el campo eléctrico puede ser orientado sólo en un plano determinado, la dirección que toma el campo eléctrico es la polarización de la onda de luz. Cuando la dirección del campo eléctrico es constante decimos que la luz se encuentra linealmente polarizada en esa dirección.

Si contamos con dos ondas linealmente polarizadas, vibrando ortogonalmente una respecto a la otra, con amplitud diferente y una diferencia de fase diferente de 0 , π o $\pi/2$, en este caso tendríamos una onda electromagnética con polarización elíptica. Para cierto desfase $\pi/2$ o cualquier valor aumentado o disminuido en múltiplos de $\pi/2$ y misma amplitud, tendríamos una polarización circular [8, p. 324].

La polarización circular y elíptica puede ser descrita a partir de la superposición de dos estados de polarización ortogonales, considerandolos entonces dos estados de polarización lineales tenemos E_x y E_y :

$$E_x = a \cos(kx - wt + \delta_1) \quad \text{y} \quad E_y = b \sin(kx - wt + \delta_2) \quad (3.0.1)$$

Donde a y b son las amplitudes de los campos, k es la magnitud el vector de propagación del campo electromagnético, w es la velocidad angular, x es la posición, t es el tiempo. La fase tiene la forma de $kx - wt$ la adición de δ_1 y δ_2 es el desfase.

Considerando la descripción matemática de la polarización de la luz, tanto la luz lineal como la circular, se pueden considerar como casos específicos de la polarización elíptica. Para esto, partiendo de (3.0.1) considerando el caso elíptico y haciendo manipulaciones matemáticas obtenemos

la ecuación de la elipse:

$$\left(\frac{E_x}{a}\right)^2 + \left(\frac{E_y}{b}\right)^2 - 2\frac{E_x}{a}\frac{E_y}{b}\cos\delta = \sin^2\delta \quad (3.0.2)$$

Con $\delta = \delta_2 - \delta_1$

A partir de (3.0.2), para el caso de la polarización circular, tendríamos que considerar amplitudes iguales ($a = b$) y diferencia de fase de múltiplos de $\pi/2$. Con esto, se reduce la ecuación a la de un círculo:

$$E_x^2 + E_y^2 = a^2 \quad (3.0.3)$$

Para volver al estado de polarización lineal, la diferencia de fase de nuestros estados ortogonales de polarización, tendrá que ser igual a un múltiplo de π ($\delta = m\pi$ con $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$) tenemos entonces la ecuación de la recta:

$$E_x = (-1)^m \frac{a}{b} E_y \quad (3.0.4)$$

¿Qué es y para qué sirve un polarizador?

El filtro polarizador bloqueará una de las componentes ortogonales del campo eléctrico que representa la luz blanca o también llamada 'Unpolarized light' traducida en español como 'luz no polarizada', mostrado en la representación esquemática de la Figura 3.1. El filtro polarizador está compuesto por un material especial, el cual puede ser un polímero al que se le realiza por un método de tallado, unos surcos los cuales se rellenan con una solución de yodo, el cual es un conductor. Este, siendo capaz de bloquear como ya hemos mencionado, una de las componentes ortogonales del campo eléctrico que representa la luz blanca. A este fenómeno se le llama absorción selectiva.

Por este motivo, el polarizador actúa como una rejilla, este filtro se encarga de seleccionar una sola componente de luz polarizada para que pase a través de él, mientras absorbe todas las demás componentes de onda.



Figura 3.1: Filtro polarizador [9]

Si un segundo polarizador es colocado encima del primero, pero con su eje de polarización rotado 90° , nada de luz puede pasar a través de él, ya que la luz polarizada que pasó a través

del primer filtro es precisamente la luz que el polarizador del segundo filtro estará bloqueando. A este arreglo se le llama **polarizadores cruzados**.

Los polarizadores posicionados paralelamente, es decir, que los ejes de polarización de cada polarizador estén direccionados hacia donde mismo al contrario de los cruzados, los **polarizadores paralelos** permiten que pase la mayor cantidad de luz a través de ellos.

Cuando materiales ópticamente activos como lo son los cristales líquidos, son situados entre polarizadores cruzados, alguna luz podrá pasar, ya que el material intermedio cambia la polarización de la luz.

Si el director del nemático no está alineado con cualquiera de los filtros polarizadores, la luz polarizada que pasa a través del primer filtro, se convierte parcialmente polarizada a lo largo del director nemático. Esta componente de luz, a su vez posee una componente alineada con el filtro polarizador superior, así que una fracción de la luz entrante pasa a través de todo el ensamble.

La cantidad de luz que pasa es mayor cuando el director del nemático es posicionado a 45° de ambos filtros. La luz es totalmente bloqueada cuando el director es paralelo a un filtro o al otro [3, p. 5].

Los investigadores pioneros ya mencionados tal como el alemán Otto Lehmann y el botánico Austriaco Friedrich Reinitzer, durante la década del siglo XIX, se encargaron de equipar microscopios ordinarios con pares de filtros polarizados para obtener imágenes de las fases nemática y esméctica de los cristales líquidos. Descubrieron que la variación espacial en el alineamiento del director nemático, causa variación espacial en la intensidad de luz.

Los campos eléctricos y/o magnéticos proporcionan medios alternativos de influenciar la orientación de los directores nemáticos. Las moléculas podrían preferir alinearse con el fin de que sus directores, por decir, sean paralelos a un campo eléctrico aplicado.

Los cristales líquidos nemáticos, al igual que los polarizadores, tienen propiedades de absorción selectiva, es decir, transmiten una de las componentes ortogonales de la luz no polarizada, y reflejan la otra. De la misma forma que estos cristales, los cristales líquidos colestéricos, transmiten una de sus componentes ortogonales, y reflejan la otra. A este fenómeno se le conoce como reflexión selectiva. Con esto podemos ver que los cristales líquidos nemáticos son birrefringentes pero no cuentan con la propiedad de reflexión selectiva. También los cristales líquidos colestéricos son birrefringentes pero no cuentan con la propiedad de absorción selectiva. Para entender el concepto de birrefringencia, lo analizaremos en la siguiente sección.

3.1. Anisotropía óptica

Como se mencionó anteriormente, la anisotropía es una condición de la tendencia de las moléculas de los cristales líquidos, a apuntar a lo largo del vector director. Las propiedades del material dependerán de la dirección en las que las moléculas estén orientadas. Un material anisótropo, podrá presentar diferentes características según la dirección en la que son examinadas. La anisotropía de los materiales es más acusada en los sólidos cristalinos, debido a su estructura atómica y molecular regular.

Los cristales son birrefringentes, gracias a su naturaleza anisotrópica. A continuación se hablará un poco sobre la birrefringencia en los cristales, propiedad que adoptan los cristales líquidos por tener características de los cristales.

3.2. Birrefringencia en cristales

Los cristales líquidos exhiben simetrías especiales cuando son deslizados en ciertas direcciones o rotan por ciertos ángulos.

Cristales transparentes como el cuarzo, y de igual forma los cristales líquidos, pueden exhibir propiedades ópticas, una de ellas conocida como **birrefringencia**. Cuando un haz de luz pasa a través de un cristal birrefringente, el haz es curvado o refractado a un cierto ángulo, dependiendo de la dirección de la luz y su polarización. Un haz simple y único se descompone en dos haces de luz polarizados perpendiculares entre sí como si el material tuviera dos índices de refracción distintos. El haz se separa en rayos ordinarios y extraordinarios. Los dos rayos viajan a diferentes velocidades y se salen de fase. [3, p. 2] Un ejemplo de un material con esta propiedad es la calcita, el cual es un mineral formado por carbonato cálcico y cuenta con una birrefringencia extremadamente grande. La birrefringencia en este material es tan grande, que uno puede ver una imagen doble cuando mira a través de estos cristales. Una imagen permanecerá fija cuando se gire el cristal. A este rayo es al que llamamos rayo ordinario. Sin embargo la otra imagen rotará con el cristal, trazando un pequeño círculo al rededor de la imagen normal. Este rayo es el rayo extraordinario.



Figura 3.2: Calcita
[10]

Al igual que la calcita que forma dos imágenes, existen otros cristales como el del mineral hiperstena, el cual cuentan con dos índices de refracción distintos, 1.69 y 1.77, lo que indica que es birrefringente. Esto provoca que se observe de diferente color sus dos direcciones ortogonales. A este fenómeno que se da con el cambio de color, se le llama **dicroísmo**.



Figura 3.3: Hiperstena
[11]

En los cristales líquidos, la propiedad de la birefringencia puede ser utilizada para transformar luz linealmente polarizada a luz elípticamente polarizada. Esto puede ser demostrado en donde luz bloqueada por el paso a través de dos polarizadores cruzados, puede hacerse pasar a través de estos polarizadores cruzados cuando un material birrefringente como lo es el cristal líquido, es colocado entre los polarizadores. Analizando este proceso, podemos representarlo por medio de la descomposición del haz de luz en dos rayos, el rayo ordinario y extraordinario. Debido a que estos viajan a velocidades distintas las ondas se desfazan. Cuando estos rayos se recombinan al salir del material el estado de polarización ha cambiado debido al desfase.

El espesor de la muestra será un parámetro importante a considerar en este proceso. Ya que el desfase aumenta mientras la luz se propaga en el interior del material. Con esto, podemos concluir que cualquier estado de polarización puede alcanzarse mediante una combinación precisa de los parámetros de birrefringencia los cuales son los índices de refracción y el espesor de la muestra [4].

En un cristal líquido los parámetros mencionados, no son constantes sobre toda la muestra, por lo que algunas áreas aparecerán claras y otras oscuras al analizarlas con un microscopio con luz polarizada. Estas áreas oscuras y claras nos muestran regiones con diferente orientación del vector director, birrefringencia y espesor.

Capítulo 4

Colorantes láseres y cristales líquidos

En este capítulo se hablará de los colorantes láseres, qué son, cuáles tipos de colorantes láseres existen, y se hará especial énfasis en los colorantes utilizados en la base experimental en este trabajo de investigación, los cuales son la **Rodhanimna 6G** y **DCM**.

Los colorantes láseres orgánicos fueron descubiertos en 1966 por Sorokin y Lankard en el Thomas J. Watson Research Center de IBM. Ellos fueron los primeros en obtener emisión estimulada de un componente orgánico llamado “Cloro-aluminio-ftalocianina”. [12]

Los colorantes láseres son una clase importante de láseres, estos se caracterizan por emplear como medio activo (medio láser) moléculas orgánicas en solución, ya sea en forma de solución líquida o en estado sólido, que, en la mayoría de los casos, son excitadas ópticamente por luz de baja energía como la luz visible. Una de las propiedades que los caracterizan de igual forma, es que estos pueden ser ajustados a un rango de longitud de onda. Esto dió paso a una revolución en la espectroscopía óptica y la óptica no lineal. Los colorantes láseres también son conocidos por ser capaces de proporcionar una amplia variedad de formas de salida que van desde pulsos ultracortos a pulsos de energía alta.

Al introducir el medio activo en forma de líquido, esto genera ventajas en la manipulación del material ya que facilita la operación, y hace posible el fluir del colorante para evitar efectos de calentamiento y descomposición, también es de bajo costo [13, p. 1].

La mayoría de los colorantes láseres en fase líquida son fuentes de radiación visible, coherente y sintonizables, muy atractivas dadas sus características y propiedades como lo son su excelente calidad óptica y espacial, sintonizables también de emisión que va desde el UV (ultravioleta) hasta el IR (infrarrojo) con pequeña anchura de banda, lo que hace posible generar pulsos ultracortos por acoplamiento de modos, etc [14, p. 4].

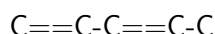
El dopar los cristales líquidos con colorantes láseres y a diferentes concentraciones genera resultados significantes al cristal líquido en sus propiedades ópticas. Algunas de las propiedades que se ven modificadas en la variación de concentración de colorante láser en cristales líquidos son: La absorción, difracción, polarización, índice de refracción y reorientación de las fases.

Una principal característica de los colorantes es que poseen una banda de absorción amplia. Gracias a esta banda de absorción, los colorantes pueden ser excitados con luz de baja energía, como la luz visible [14, p. 3].

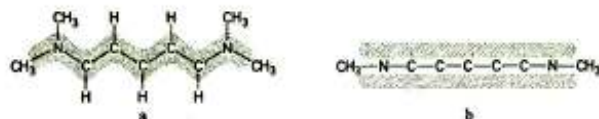
El efecto que tiene el colorante láser al ser disuelto con un cristal líquido es que este incrementa su absorción en alguna región de longitud de onda específica ya que un simple colorante puede cubrir un significativo rango espectral.

4.1. Propiedades generales de los colorantes láseres orgánicos

Los colorantes orgánicos son sustancias que se caracterizan por su fuerte absorción de banda ente el ultravioleta y el infrarrojo. La estructura química es única para todos estos materiales y alterna de enlaces singulares a enlaces dobles de enlaces de carbón a carbón.



El estado base de la configuración consiste en dos electrones P. En la estructura molecular de un colorante, los enlaces entre carbonos están formados por electrones. Estos electrones son libres de moverse por la molécula. La mayoría de las moléculas de colorantes tienen forma lineal recta o forma lineal en zigzag. En cualquiera de los casos, la molécula es planar. En la molécula de colorante en forma de zigzag, veremos que la “nube de electrones” que forma alrededor de la molécula, se verá como una nube en zigzag alrededor de la molécula. (Figura 1a) Pero si vemos la nube de electrones, por un lado, veremos que los electrones están en una barrera de potencial de una dimensión. (Figura b)



4.2. Niveles de energía y solventes

La característica principal de los niveles de energía de los colorantes láseres es que son como una banda ancha, o, en otras palabras, un continuo de niveles vibratorios y rotacionales. Los colorantes exhiben una absorción muy fuerte en la transición de los niveles electrónicos de estado base S_0 a su primer estado excitado S_1 , generalmente está en el rango visible. Así como los colorantes cuentan con una banda de absorción grande, también cuentan con una emisión fluorescente fuerte.

Existen muchos tipos de colorantes láseres, pero solo algunos cuentan con la estructura de banda precisa que les permite ser relevante para la acción láser.

El solvente en el que el colorante láser es diluido juega un papel muy importante al momento de selección del rango de longitud de onda para la cual es utilizado el colorante láser elegido. La razón por la que es tan importante el solvente a utilizar es por la interacción que se tiene con el colorante láser, el proceso de polarización-despolarización y transferencia de protones entre el solvente y el colorante. Estos cambian los niveles de energía considerablemente.

Cuando dos o más moléculas de Rodamina 6G en cierto solvente son separadas por una distancia intermolecular muy corta, sus anillos pueden interactuar electrostáticamente para formar agregados, o asociaciones moleculares llamadas monómeros, dímeros, trímeros, etc. Los dímeros, normalmente tienen una banda de absorción fuerte en longitudes de onda más corta que los monómeros, y con frecuencia, una banda adicional más débil del lado de las longitudes de onda largas [15, p. 18]. Como resultado de estos agregados, la banda de absorción puede verse modificada por presencia de estas asociaciones moleculares, por lo que la fluorescencia cambia a diferentes áreas del espectro. Algunas veces, más de 200nm de distancia. Esto quiere decir que un mismo colorante láser con diferente solvente puede ser utilizado para cubrir gran parte del espectro visible. Una banda de absorción con un solo máximo en cierta longitud de onda, representa la formación de un monómero.

El mecanismo físico que permite que el colorante tenga un rango espectral tan amplio, es precisamente su ensanchamiento tan homogéneo, este ensanchamiento es el resultado de un continuo de estados rotacionales y vibracionales.

A continuación se hablará de los colorantes láseres utilizados en la base experimental en este trabajo de investigación:

4.3. Rodamina 6G

La Rodamina es el nombre de una familia de compuestos orgánicos heterocíclicos fluorescentes, basados en el Xanteno [16]. Esta familia pertenece al grupo de colorantes láseres más comerciales. Está compuesta por sales, lo que las hace un colorante polar y soluble en agua, el cual también cuenta con propiedades fluorescentes [14, p. 19]. Esta familia de colorantes cubre una región de longitud de onda de 500nm a 700nm y son generalmente muy eficientes [17, p. 19].

La Rodamina 6G (Rh6G) uno de los colorantes utilizados en la base experimental en este trabajo de investigación, también conocida como Rodamina 590 cloruro, es probablemente el colorante más conocido dentro de la familia de las Rodaminas.

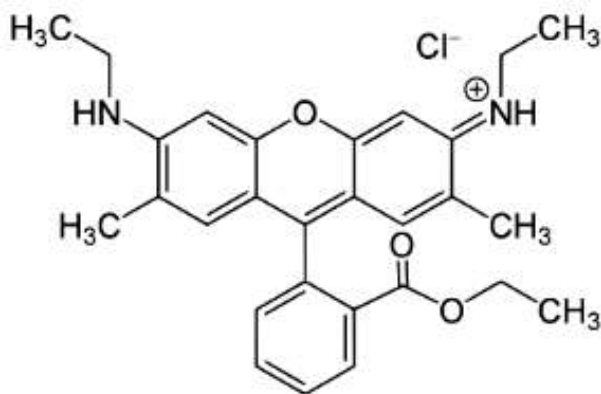


Figura 4.1: Estructura molecular Rodamina 6G

4.4. DCM

El colorante láser 4-(Dicianometilen)-2-metil-6-(p-dimetilaminoestiril)-4H-pirano, mejor conocido como DCM, o colorante rojo, una molécula receptor-donante de electrones que se caracteriza por su ventaja de ser un colorante ampliamente ajustable y eficiente. Exhibe propiedades fotofísicas muy importantes tales como altos coeficientes de absorción y la emisión espectral, los que proporcionan una manera directa de estudiar los detalles de la naturaleza electrónica en el fotoproceso primario que son operacionales en un colorante fluorescente tal como lo es el DCM.

El DCM es de los colorantes comúnmente utilizados como emisor en los diodos orgánicos de emisión de luz, también conocidos como OLED (organic light-emitting diode). Uno de los temas actualmente de interés para las investigaciones de los OLEDs es la realización de operación estable de emisores rojos de alta eficiencia. La emisión y la eficiencia de emisión son dependientes del dopaje de concentración del DCM. [18, p .1]

También se ha sintetizado y explorado varios DCM análogos para otras aplicaciones prácticas como láseres de estado sólido, sensores fluorescentes, puertas lógicas, energía fotovoltaica, óptica no lineal y bioimagen de células [19, p .1]

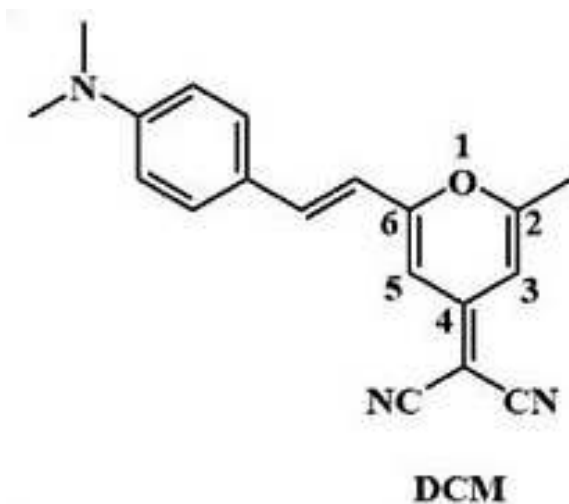


Figura 4.2: Estructura molecular DCM [19]

4.4.1 Absorción

El DCM tiene una absorción máxima del espectro de absorción en los 450-500 nm, rango que depende fuertemente de la polaridad del solvente a tratar. Las propiedades espectrales del DCM son notables en cuanto a el débil traslape entre el espectro de absorción y la emisión del espectro. [20, p .1]

Curiosamente, el máximo de absorción electrónica del DCM sufre un corrimiento al rojo al aumentar con la polaridad del medio, lo que comúnmente se conoce como cambio solvatocrómico de la absorción. [19]

Capítulo 5

Campos eléctricos y magnéticos en cristales líquidos

En este capítulo hablaremos del efecto de campos eléctricos y magnéticos en los cristales líquidos, ya que gran parte del trabajo experimental realizado consistió en aplicar diferentes voltajes a nuestras muestras de cristal líquido y analizar el comportamiento de la banda de transmisión. Se abordarán temas de los efectos en las muestras de cristal líquido, al ser sometidas a distintos voltajes.

Una de las grandes razones por las que los cristales líquidos son de gran importancia para las pantallas de dispositivos electrónicos, es la gran respuesta que tienen a campos eléctricos externos aplicados.

Como se ha mencionado anteriormente, los cristales líquidos son materiales anisotrópicos por lo cual, su estructura molecular a menudo alargada, induce una dirección común o preferida, a la que llamamos "director". Desde un punto de vista tecnológico, el interés principal de estas propiedades ópticas únicas, es el cómo este director puede ser manipulado al modificar el campo del director. Esto es investigado ya que puede llegar a ser difícil determinar la dirección del director, y solucionar eso es de gran interés para mejoras en rendimiento óptico para la velocidad de funcionamiento en dispositivos, grandes ángulos de visión y estabilidad ante perturbaciones externas [21, p.2].

La mecánica de los medios continuos, es una rama de la física que se encarga de estudiar el comportamiento de sólidos deformables, sólidos rígidos y fluidos. Se estudian los materiales a nivel macroscópico, sin tener en cuenta discontinuidades de los niveles microscópicos. Por lo tanto, las descripciones matemáticas de estos medios y sus propiedades, se realizan mediante funciones continuas.

La teoría del continuo elástico nos habla de cómo las fuerzas elásticas de la estructura molecular del material, se resisten a cualquier distorsión del campo del director de su estado de equilibrio. Estas interacciones comúnmente surgen de campos externos como el campo magnético o el eléctrico [21, p.1].

En el caso de este trabajo de experimentación, se aplicó el campo eléctrico a la muestra, que contaba con capas conductoras. La aplicación de un campo eléctrico puede inducir un dipolo

eléctrico en cada una de las moléculas del cristal líquido. Las cuales podrán interactuar con cualquier dipolo eléctrico permanente que se presente. Bajo la influencia del campo eléctrico aplicado, las torcas ejercidas en estos dipolos, pueden ocasionar que las moléculas del cristal líquido cambien su orientación espacial natural. Las moléculas tienden a orientarse a lo largo de la dirección del campo. Por ende, el cambio de orientación de las moléculas, modifica las propiedades ópticas del cristal líquido, lo que, en la base experimental, se registró tomando datos de la transmitancia y cómo cambiaba esta a diferentes voltajes y distintos estados de polarización.

Los efectos de los campos magnéticos sobre las moléculas de los cristales líquidos es similar al de los campos eléctricos. Ya que un campo magnético es generado a partir de movimiento de cargas eléctricas, los dipolos magnéticos permanentes son producidos por electrones que se mueven sobre los átomos. Cuando un campo magnético es aplicado, las moléculas tenderán a alinearse en forma paralela o antiparalela al campo [4, p .68].

Capítulo 6

Aplicación en la actualidad

En este capítulo se menciona el papel importante que tienen los cristales líquidos en la actualidad, de igual forma como sus diversas aplicaciones, y qué aspectos se trabaja actualmente en el área de la investigación, para que se tenga un mejor desempeño.

Los cristales líquidos siguen siendo un tema de estudio de gran interés. Gracias a sus aplicaciones tecnológicas y médicas, se les dedica gran importancia ya que en la actualidad la tecnología y el área médica son un área muy importante para nuestro desarrollo.

Las aplicaciones que nos dedicaremos a abordar, específicamente serán sobre el uso de cristales líquidos para **biosensores**, **aplicación láser** y de igual forma, su uso para **grabados ópticos**.

Los biosensores de cristales líquidos son una nueva área de investigación para la tecnología de sensores. Estos se basan en cambios en la orientación de las moléculas de cristal líquido inducidos por eventos de enlace específicos de biomoléculas [22]. Estos biosensores tienen el propósito de servir como un sistema de detección de biomoléculas, o actividad biomolecular. Los biosensores de cristal líquido, funcionan gracias a una de las principales características de los cristales líquidos, la cual es, la birrefringencia. Como ya se mencionó anteriormente, los cristales líquidos tienen la capacidad de cambiar a fases intermedias, a las que llamamos mesofases, por medio de cambios en la temperatura. Y con esto, a diferentes mesofases, podemos hablar también de cambios en la estructura química que afectarán la interacción de corto alcance y secuencias de orientación de largo alcance. Resultando en transiciones de orientación. Por lo que, los cristales líquidos podrán ser utilizados como materiales que responden a presencia de especies ajenas o eventos ocurrientes en los alrededores [23]. En 1998, el grupo de investigación Abbott, utilizaron los cristales líquidos como un convertidor de señal para convertir la inmunorreacción antígeno-anticuerpo en la interfaz sólida, en una señal de respuesta óptica del cristal líquido [24]. Los cristales líquidos por medio de investigación teórica y experimental, han sido desarrollados como un nuevo tipo de convertidor de señal para detección de moléculas biológicas y químicas. Este método de detección a base de cristales líquidos, nos ofrece una nueva técnica de detección visual, y abre camino a nuevas y diferentes aplicaciones de los cristales líquidos.

La aplicación de los sensores ha tenido mucho progreso en diagnóstico de células cancerígenas, así como en la detección de virus, bacterias, proteínas, ADN, glucosa, iones de metal, y otras moléculas pequeñas.

Por otra parte, tenemos también la aplicación láser de los cristales líquidos. Los láseres de

cristal líquido son un área con grandes expectativas para el campo de fotónica de materia blanda ya que sus aplicaciones abren camino a una nueva era de fuentes láser ultradelgadas y altamente versátiles. Estos láseres se caracterizan por muchas cualidades importantes, una de ellas, siendo su capacidad de sintonización de banda ancha, una grán área de coherencia, y en algunos casos, una emisión multidireccional. También cuentan con el potencial de combinar grandes potencias de salida con dimensiones de cavidad muy pequeñas. Todas estas características son aplicables para herramientas de diagnóstico médico, hasta pantallas láser holográficas de gran superficie [25].

En el proceso del grabado óptico, se hace uso de una pantalla de cristal líquido la cual es capaz de mostrar varias imagenes por medio de un controlador programable. La técnica de grabado óptico, es utilizada en productos, con el fin de la identificación de los mismos [26].

Una alternativa para realizar los grabados ópticos, con la cuál se puede llevar a cabo y controlar de manera más eficaz la orientación de las moléculas del colorante láser en el cristal líquido, es mediante el uso de colorantes dicroicos fotocromáticos. En los que los colorantes dicroicos están unidos covalentemente a los grupos fotocromáticos, estos grupos son moléculas con las propiedades químicas que al ser expuestas a radiación ultravioleta, visible e infrarroja experimenta una modificación estructural generando una nueva especie que posee color. También son conocidos como interruptores moleculares. Estos pueden sufrir fotoisomerización de forma reversible. La fotoisomerización es el uso de luz para controlar la quiralidad de alguna molécula, se da de forma reversible y puede ser aplicado en elementos de memoria molecular para el almacenamiento y procesamiento óptico de datos [27, p.289].

Gracias a que la molécula del colorante está controlada por un cambio geométrico de una sola molécula fotocromática, el tiempo de respuesta es mucho más corto que el tiempo de respuesta para el movimiento de todo un grupo de moléculas de los cristales líquidos [28].

Capítulo 7

Desarrollo experimental

En este capítulo se describe el desarrollo experimental de este trabajo de investigación. Se expone el proceso para la preparación de muestras que contienen a los cristales líquidos, los diferentes colorantes láseres **Rodhanimna 6G**, **DCM**, y los análisis pertinentes a las muestras expuestas a luz blanca polarizada con polarizadores cruzados y paralelos a diferentes variaciones de campo eléctrico.

Para la preparación de la mezcla de las muestras, se hizo uso de los cristales líquidos **5CB** y **5OCB**. Ambos tienen esquemas químicos similares, diferenciándose por un oxígeno. La apariencia del 5CB es en estado líquido, y la apariencia del 5OCB en polvo, ya que cuenta con el oxígeno extra. Al ser el 5OCB un cristal líquido polar, su disolución se facilitó utilizando este otro cristal líquido mencionado, el 5CB, un cristal líquido nemático con coloración grisácea similar al blanco y negro.

Para preparar los cristales líquidos helicoidales se añadió **bromo** a la muestra de cristales líquidos mencionada arriba. Los cristales líquidos de la muestra, son tipo barra, y al añadir el bromo, estas moléculas en forma de barra giran y se vuelven helicoidales.

Al aumentar el **colesterol**, nuestra muestra se hace más helicoidal. En nuestras mezclas, variamos la concentración de colesterol para analizar el comportamiento a diferentes concentraciones dadas.

En todas las muestras se añadieron clorobenceno, y colorantes láser. El **clorobenceno** se añade con el fin de aumentar la respuesta óptica. Para que inmediatamente al aplicar campo eléctrico, el cristal líquido responda. Los **colorantes** se agregan con el fin de disminuir la viscosidad en las mezclas y las celdas pudieran llenarse con más facilidad y rapidez. Con esto analizaremos si nuestras muestras tienen propiedades reversibles. Es decir, analizaremos si la reflectancia es mínima cuando la transmitancia es máxima y si al aplicar campo eléctrico, es capaz de invertirse.

Hemos preparado mezclas iguales, con colorantes distintos. Ambas con cristales líquidos 5CB, 5OCB, clorobenceno, S-1-Bromo-2-metilbutano, y colesterol. Hemos preparado la mezcla nemática de los cristales líquidos al 47 % y 19 % respectivamente. El clorobenceno se agregó al 4 %, y el bromo al 30 %. De igual forma los colorantes láseres, Rodamina 6G y DCM se agregaron al 0.04 %. Las concentraciones de colesterol que se utilizaron fueron: 50 g/dL y 100 g/dL.

Al tener listas mezclas, de igual forma se preparó el PVA el cual se depositaría en los ITOs como primer paso. El PVA es un polímero, una molécula muy larga. Este es aplicado a la muestra con el fin de realizar el método del "rubbing", con este método se generan surcos en los que se espera que se acomoden las moléculas del cristal líquido y queden alineadas. Dependiendo del método de tallado que se lleve a cabo se puede hacer que las moléculas se orienten de forma horizontal, vertical, o a 45°. El depósito del PVA se llevó a cabo en un aparato llamado "spin coating" (revestimiento por giro) lo cual nos aseguraba la distribución homogénea de una película delgada de PVA sobre la celda. El "spin coating" se programó a 1000 revoluciones para 30 segundos. Con una jeringa depositamos el PVA sobre la cara conductora del ITO, y se inicia el funcionamiento del "spin coating". Una vez hecho el depósito, las celdas se dejan reposar para después proceder con el "rubbing". El "rubbing" (o tallado), es una técnica que se aplicó a las celdas ya con el PVA para que al tallar en una dirección el PVA, al momento de hacer el depósito, las moléculas se posicionaran en la dirección deseada.

Las mezclas se depositaron entre dos vidrios conductores (ITO) con un recubrimiento de óxido de estaño dopado con indio. El cual es un óxido conductor transparente (OCT). A continuación se muestra una representación de la celda con la muestra depositada y de sus componentes.

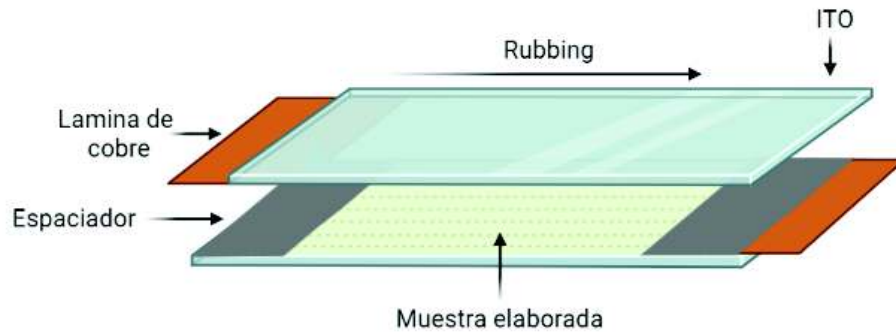


Figura 7.1: Representación esquemática de celda elaborada
Creada en BioRender.com

Al tener las muestras terminadas, se instaló el arreglo óptico para el análisis de datos. Este arreglo óptico consiste de una lámpara de luz blanca, un diafragma, dos lentes biconvexas, dos polarizadores Glan Taylor lineales, un porta muestras, una fibra óptica, el espectrómetro UV-VIS, y un controlador de campo eléctrico.

A continuación se muestra un esquema del arreglo óptico elaborado con los materiales mencionados, y una breve explicación de la importancia de cada uno en este arreglo experimental.

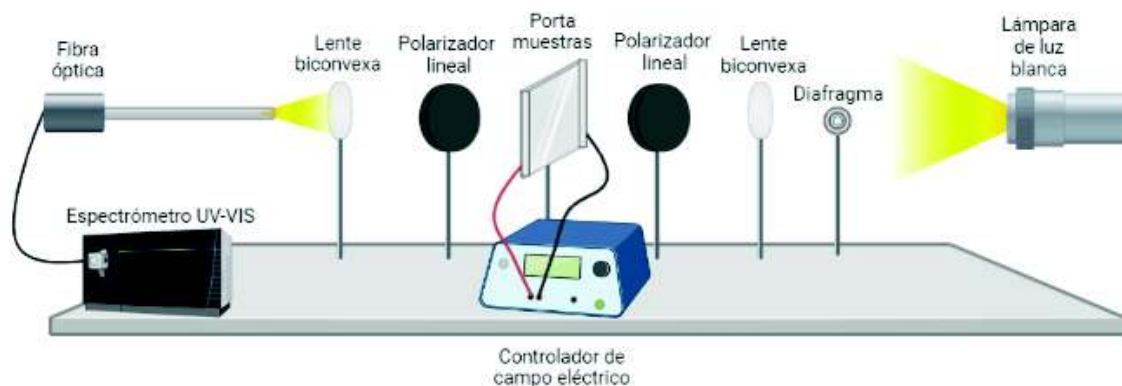


Figura 7.2: Arreglo Óptico
Creada en BioRender.com

De la lámpara, emergen todas las frecuencias de la luz blanca, en la región del espectro electromagnético del visible. Las cuales pasan a través de un diafragma el cual tiene el propósito de limitar los rayos de luz incidentes a ángulos pequeños, los cuales pasan a través de la lente biconvexa y convergen en el porta muestras. El porta muestras se ubica entre dos polarizadores. Con el primer polarizador lineal elegimos una dirección lineal del campo eléctrico de la luz, la cual al pasar por la muestra, se monta en el sistema de referencia helicoidal. Y con el otro polarizador, analizamos la componente del campo eléctrico que es transmitida a través de la muestra. La otra lente biconvexa ubicada después del segundo polarizador, se encarga de hacer converger la luz transmitida, hacia la fibra óptica. La fibra óptica pasa los datos al espectrómetro UV-VIS y se analizan los datos de transmitancia en la computadora.

El controlador del campo eléctrico, está conectado a los electrodos de la muestra, el cual al variar el voltaje, cambia el índice de refracción de la muestra y por lo tanto la respuesta óptica de transmitancia también cambia y es captada por el espectrómetro mencionado.

Realizamos dos medidas independientes con el mismo arreglo, para cada celda, con polarizadores cruzados, y polarizadores paralelos. En todas las medidas se obtuvieron datos de longitud de onda contra intensidad. Para polarizadores cruzados al momento de situarlos en el arreglo, se buscó primero los ángulos para los que en este caso, se encontrara la intensidad de salida mínima y para polarizadores paralelos la intensidad máxima. El ángulo en el que se encontró la intensidad mínima (Polarizadores cruzados): Polarizador 1: 245° y Polarizador 2: 40° . Ángulo en el que se encontró la intensidad máxima (Polarizadores paralelos): Polarizador 1: 300° y Polarizador 2: 0° . Estos ángulos se denominaron como ángulos de giro No.0, en este ángulo de giro se hacen mediciones, rotamos los polarizadores 10 grados para hacer la siguiente medición y así sucesivamente hasta haber rotado los polarizadores 360° y tener todas las mediciones necesarias.

Capítulo 8

Resultados

8.1. Análisis de muestras con colorante láser DCM

En esta primera parte de análisis de resultados, se mostrarán los resultados obtenidos para las muestras con colorante láser DCM. Las gráficas muestran el comportamiento de las muestras bajo polarizadores cruzados y polarizadores paralelos a diferentes voltajes en los que se obtuvo respuesta. Se grafica la transmitancia para cada caso. Estas gráficas serán comparadas a partir de resultados obtenidos para muestras en ausencia de colorantes láseres. Se verá la reacción que tiene con distintos colorantes aplicados y diferente concentración de colesterol.

A continuación mostraremos las gráficas de las muestras en ausencia de colorantes láseres, con las que compararemos nuestras muestras. En figura a) tenemos la muestra bajo polarizadores paralelos, y la figura b) la muestra bajo polarizadores cruzados. En el caso de polarizadores paralelos, en ausencia de colorante láser, encontramos un mínimo en la banda de transmisión en 500-650nm. En ausencia del colorante, en el caso de polarizadores cruzados, encontramos una banda de transmisión en el ancho de longitud de onda de 475-625nm con amplitud máxima en 550nm aproximadamente.

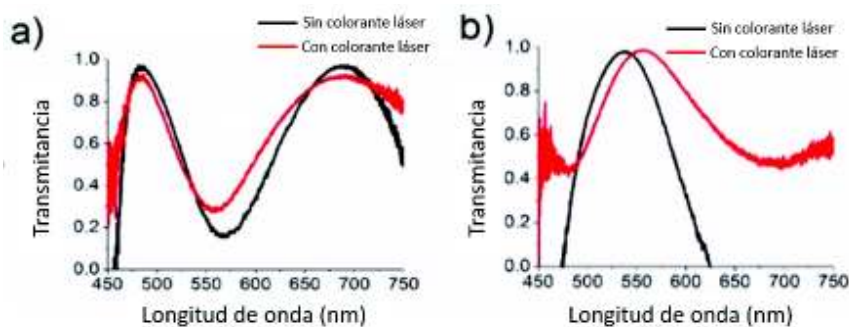


Figura 8.1: Gráficas de transmitancia sin colorante láser y con colorante láser añadido (Rodamina 6G) sin campo eléctrico aplicado a) Polarizadores paralelos b) Polarizadores cruzados. Gráfica documentada en artículo por publicar. Ángela Judith Teposte Villalpando.

8.1.1 DCM Base

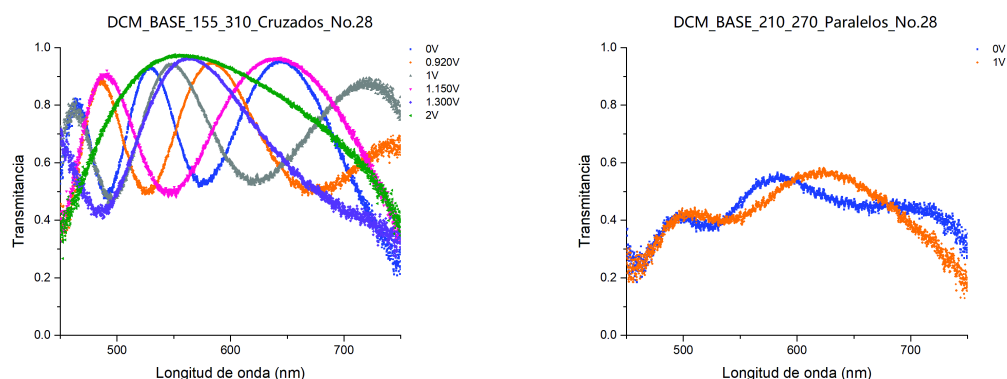


Figura 8.2: DCM Base ángulo de giro No.28

En el caso de polarizadores cruzados cuando el colorante láser DCM fue añadido (Fig. 8.2). Se encontraron dos máximos en la banda de transmisión en 530nm y 650nm aproximadamente, en ausencia de campo eléctrico gráfica en color azul rey. Cuando el campo eléctrico fue aplicado, relacionado con el voltaje de 0.920V, se encontró una inversión de la banda de transmisión en el rango de (500-550nm) presentando un mínimo en la transmisión y por lo tanto un máximo en la banda de reflexión gráfica en color naranja. En ausencia de campo eléctrico, el segundo máximo en la banda de transmisión en el rango de (600-700nm) y en presencia de campo eléctrico (0.920V) se encontró una inversión parcial en la banda de transmisión de (625-650nm) como se observa en la gráfica de polarizadores cruzados. Por otro lado, en el caso de polarizadores cruzados, la banda de transmisión es mínima, en ausencia de campo eléctrico en el ancho de banda de 550-600nm (0V). Podemos observar que este comportamiento es congruente en el caso de polarizadores paralelos, ya que en ese mismo rango de longitud de onda, la banda de reflexión en polarizadores paralelos tiene un máximo, como se observa en la figura 8.2 para polarizadores paralelos. Este mismo comportamiento se observa en la aplicación de 1V, encontramos un mínimo en la banda de transmisión en las longitudes de onda de 600-650nm para polarizadores cruzados, y es congruente para este mismo rango de longitud de onda, encontrar un máximo en la banda de reflexión para el caso de polarizadores paralelos. En el caso de polarizadores cruzados, al aplicar el voltaje, se encuentra una inversión de la banda parcial para campo eléctrico 1.150V. Recuperando la inversión de la banda completa, aplicando el campo de 1.300V. Al ir aumentando el voltaje al valor de 2V encontramos que aumenta el ancho de banda en la banda de transmisión de aproximadamente 200nm. Y al continuar aplicando voltajes mayores a 2V, desaparece la banda de transmisión.

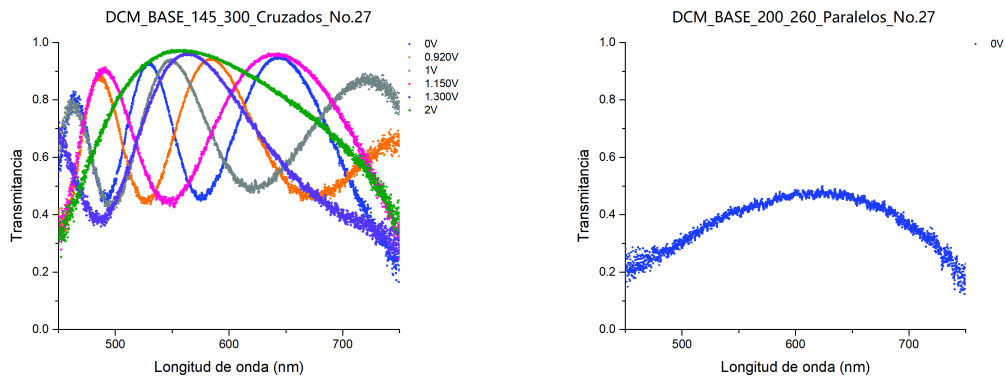


Figura 8.3: DCM Base ángulo de giro No.27

En el caso de polarizadores cruzados, la grafica en otro ángulo de giro (No.27), presenta un comportamiento similar a la figura 8.2 con la diferencia de que los anchos de la banda son aproximadamente 50nm más grandes. En caso de polarizadores paralelos, no se observaron los límites en el ancho de la banda de reflexión, en ausencia de campo eléctrico ni en presencia de campo eléctrico.

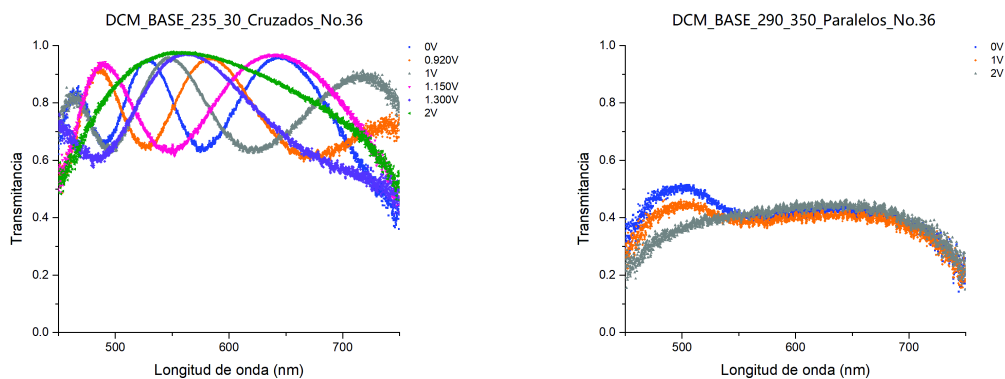


Figura 8.4: DCM Base ángulo de giro No.36

En el caso de polarizadores cruzados, en el ángulo de giro No.36, se observa un comportamiento similar a las gráficas anteriores. En este ángulo de visión disminuyó la intensidad de la transmisión, por lo que concluimos que hay un problema de absorción. También disminuye el ancho de la banda. En el caso de polarizadores paralelos, no se encuentran muy bien definidos los límites de la banda de reflexión, y los datos se encuentran muy cerca del límite inferior izquierdo, por lo que no los consideramos tan confiables.

8.1.2 DCM concentración de colesterol 50 g/dL

En este trabajo, también se consideró aumentar la quiralidad del cristal líquido utilizado, añadiéndole sustancias liposas, como lo es en este caso el colesterol y observamos cual fue la reacción. Cuando agregamos 50 g/dL de colesterol, observamos lo siguiente:

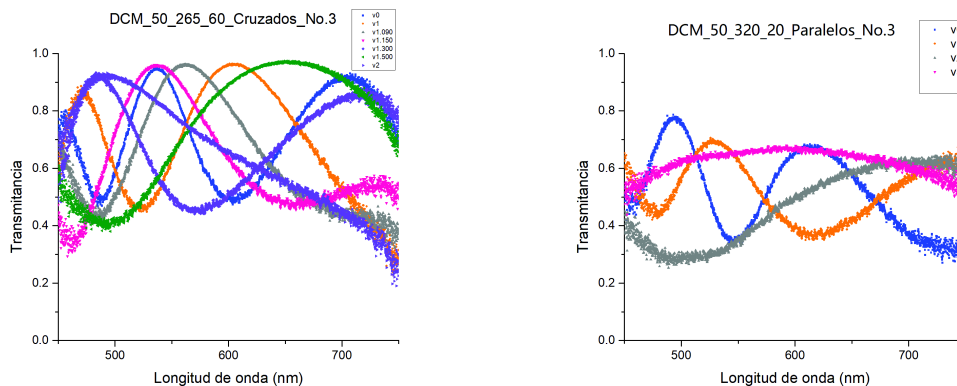


Figura 8.5: DCM 50 ángulo de giro No.3

Para polarizadores cruzados, en ausencia de campo eléctrico en la muestra a la cual se le agregó colorante láser menor al .1% y colesterol de 50 g/dL se observa la banda de transmisión con amplitud apreciable y un ancho en la longitud de onda de aproximadamente de 90 nm. Con lo cual podemos concluir que la muestra no perdió sus propiedades de reflexión selectiva que usualmente presentan los cristales líquidos colestéricos. Al comenzar a aplicar voltajes con valores de 1 volt, se encontró una inversión parcial de la banda de transmisión que pueden tener aplicación en sistemas de grabado óptico. Al continuar aumentando el voltaje hasta alcanzar el valores de 1.090V y 1.150V casi recuperamos la banda de transmisión inicial encontrada en ausencia de campo eléctrico. Nuevamente encontramos inversión parcial de la banda en valores de campo eléctrico de 1.300V con un apreciable aumento en el ancho de banda de aproximadamente 200 nm. Observamos que al continuar aumentando el valor del voltaje, nuevamente se encuentra una inversión de la banda, y se observa un corrimiento de la banda hacia las longitudes de onda del violeta. Con un ancho de banda de aproximadamente 230nm. Al continuar aumentando el voltaje observamos que la banda de transmisión tiene un corrimiento hacia longitudes de onda del violeta, pero ya no se encuentra bien definido el limite de la banda de menor energía. Para polarizadores paralelos en ausencia de campo eléctrico al agregar el colesterol de 50 g/dL se formó una banda de transmisión que no existía en la muestra base la cual contenía colorante laser menor al 0.1%. Esta banda de transmisión presenta un mínimo de 0.3 de energía en unidades arbitrarias y se encuentra localizado en la longitud de onda de 550nm. Al comenzar a aumentar el voltaje se encontró una inversión parcial de la banda de transmisión con una amplitud de aproximadamente 0.7 unidades de energía y se observó un corrimiento en la banda de transmisión a longitudes de onda del color violeta. Cuando se continua aplicando voltaje no se observa que se forme una banda de transmisión apreciable.

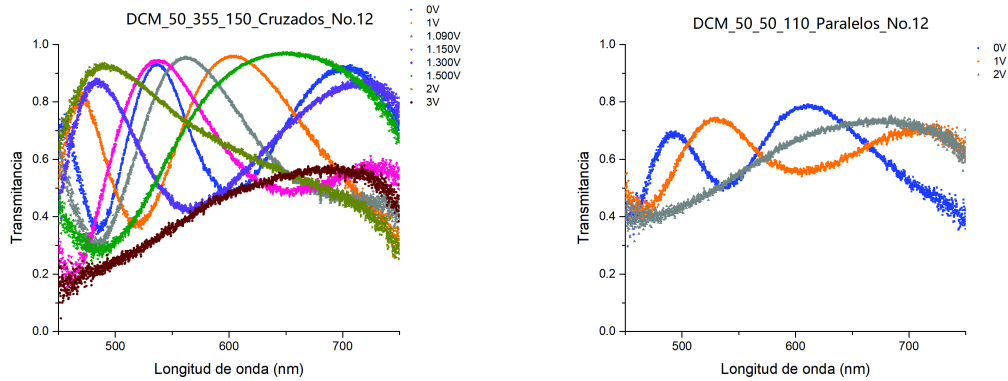


Figura 8.6: DCM 50 ángulo de giro No.12

En polarizadores cruzados, al introducir el colorante láser DCM en la muestra, notamos que hay una disminución en el ancho de la banda de transmisión aproximadamente de 25nm que se observa en la gráfica de color azul rey (0V). Al aplicar un campo eléctrico de aproximadamente 1V, observamos una inversión parcial de la banda de transmisión como se observa en la gráfica de color naranja. Al continuar incrementando el voltaje al valor de 1.090V, casi recuperamos la banda de transmisión original como se puede observar en el gráfico de color gris. Con voltaje de 1.150V notamos un corrimiento de la banda hacia el ultravioleta con un ancho de banda desde 475nm, hasta 625nm. Al continuar incrementando el voltaje hasta alcanzar un valor de 1.300V continuamos observando el corrimiento hacia el violeta como se observa en la gráfica de color morado, el ancho de banda va de 450-550nm. Nuevamente al incrementar el voltaje hasta el valor 1.500V notamos inversión de la banda parcial de transmisión como se observa en la gráfica verde. Para voltajes de 2 y 3 volts se observa que los límites no son claros de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos, al introducir el colorante láser DCM, observamos que disminuyó el ancho de banda aproximadamente 50 nm. Por efectos de absorción, el mínimo se encuentra en 0.5 en unidades arbitrarias de intensidad, y no en 0.2 como en la gráfica original. Efecto que se manifiesta al momento de dopar con colorante (gráfica azul rey). Al aplicarle un campo eléctrico con valores de aproximadamente 1V, notamos una inversión de la banda total de la banda de transmisión (gráfica naranja). Al incrementar el valor del voltaje, desaparece un límite claro en la banda de transmisión.

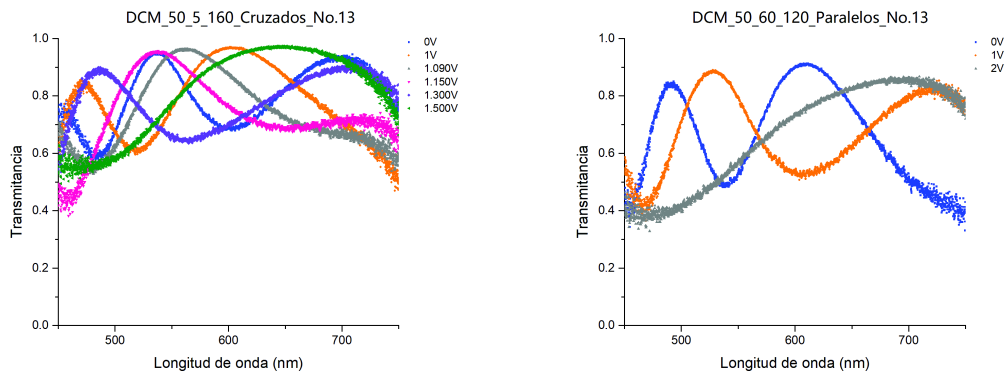


Figura 8.7: DCM 50 ángulo de giro No.13

En el caso de polarizadores cruzados la gráfica en otro ángulo del plano de polarización de la luz, se comporta de manera similar a la figura 8.6, con la excepción de que el efecto de absorción es mayor. Es decir, los mínimos en transmisión, se encuentran en 0.6 unidades arbitrarias de intensidad, a diferencia de la otra gráfica. También los límites de la banda de transmisión, desaparecen en voltaje de valor 1.5V como se aprecia en la gráfica de color verde. Podemos concluir que a este ángulo, las moléculas de cristal líquido, coincidieron con alguna de las direcciones de los polarizadores, ya sea la paralela o la ortogonal por lo que hay más absorción. En el caso de polarizadores paralelos con la gráfica en otro ángulo del plano de polarización, es mejor que la gráfica anterior es decir, tiene menos absorción, y tiene un comportamiento similar a la otra. Hay una inversión de la banda de transmisión, cuando el valor del voltaje es 1, y a voltajes mayores a 1, la banda desaparece.

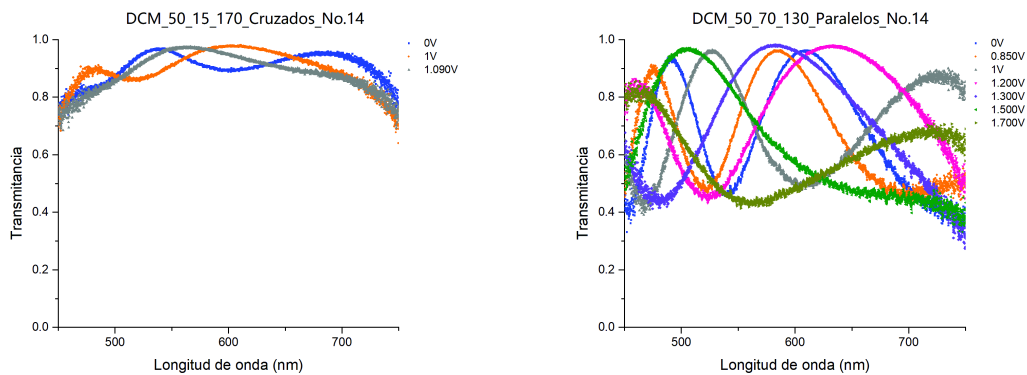


Figura 8.8: DCM 50 ángulo de giro No.14

En la figura 8.6 en el caso de polarizadores cruzados, no existe una banda de transmisión porque los límites no son claros. Para polarizadores paralelos a voltaje 0, respecto a la gráfica original, solamente se observa una disminución en el ancho de banda, y al incrementar el voltaje, se observa corrimientos hacia lo longitud de onda del ultravioleta, a voltaje 0.85V. Con 1V notamos una inversión de la banda casi total (gráfica gris). Al incrementar, para 1.2V, volvemos a obtener una inversión de la banda casi total. Para 1.3V, notamos otro corrimiento hacia la longitud de onda del violeta. Y a voltaje 1.5V se observa una inversión de la banda casi total de nuevo. Y a valores mayores de 1.7V ya se pierde la banda de transmisión.

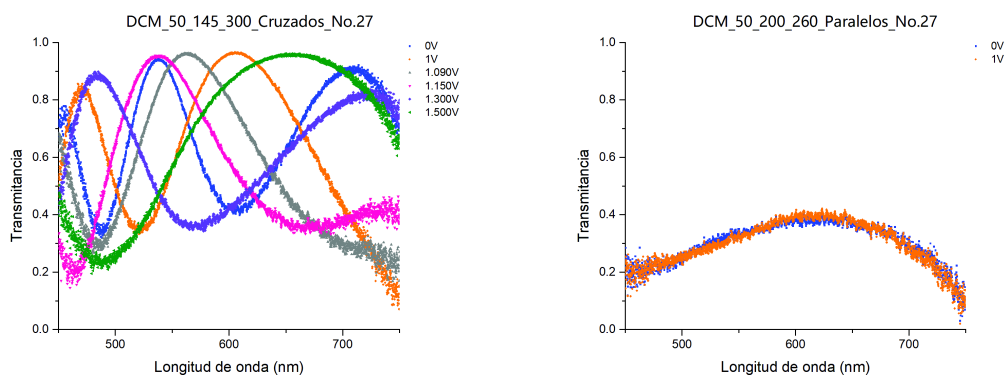


Figura 8.9: DCM 50 ángulo de giro No.27

Para polarizadores cruzados, cuando el colorante láser DCM fue añadido a la muestra, no se observaron cambios en el ancho de banda de transmisión en ausencia de campo eléctrico (azul rey). Solamente notamos efectos de absorción. Cuando aplicamos un voltaje de 1V, observamos una inversión de la banda parcial. Cuando seguimos incrementando el voltaje a 1.09V se recupera la banda de transmisión inicial a 0V, pero con un ancho de banda mayor. Al seguir aumentando el voltaje a 1.15V, continua el mismo comportamiento, con un ancho de banda menor y desplazado ligeramente hacia el ultravioleta. Al incrementar nuevamente el voltaje a 1.3V, notamos una inversión parcial de la banda de transmisión. En los siguientes voltajes, no están bien definidos los límites de las bandas de transmisión. Para el caso de polarizadores paralelos, no se observan los límites de las bandas de transmisión claros.

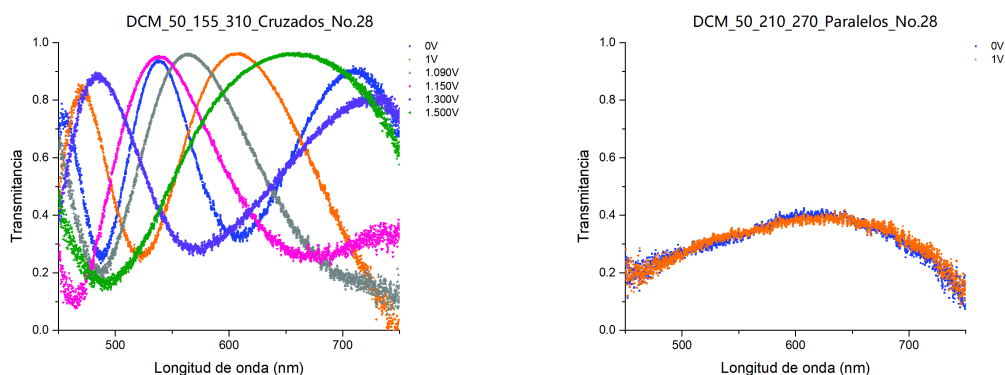


Figura 8.10: DCM 50 ángulo de giro No.28

En la figura 8.10 se muestra un comportamiento similar a la grafica anterior, sólo que con más intensidad. Para polarizadores paralelos, no se encuentran bien definidos los límites de transmisión.

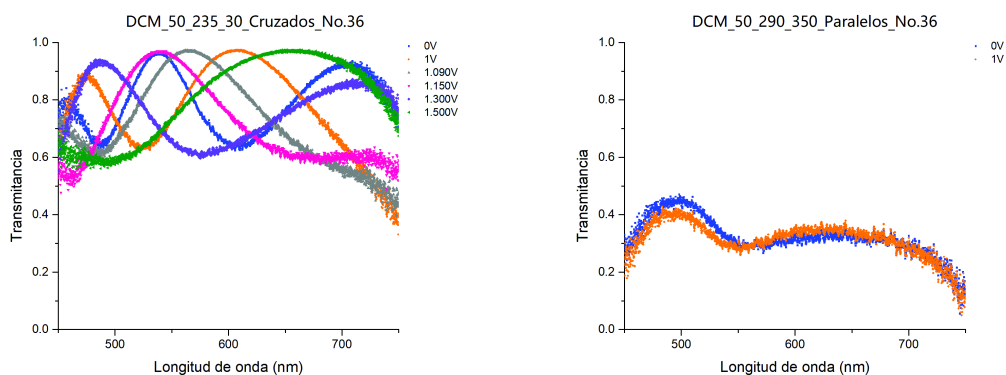


Figura 8.11: DCM 50 ángulo de giro No.36

En estas gráficas vemos comportamiento similar a las anteriores, sólo notamos efecto de absorción. En polarizadores paralelos se comienza a formar una banda con mucha absorción de 450-550nm, por el efecto del colorante se realiza una inversión de la banda. En ausencia de colorante se tiene un mínimo de energía en la transmitancia y en esta gráfica, encontramos un máximo de 0.5 en unidades de energía en la transmitancia.

8.1.3 DCM concentración de colesterol 100 g/dL

Buscando aumentar la quiralidad del cristal líquido utilizado, añadimos sustancias liposas como lo es el colesterol y observamos cual fue la reacción. Cuando agregamos 100 g/dL de colesterol, observamos lo siguiente:

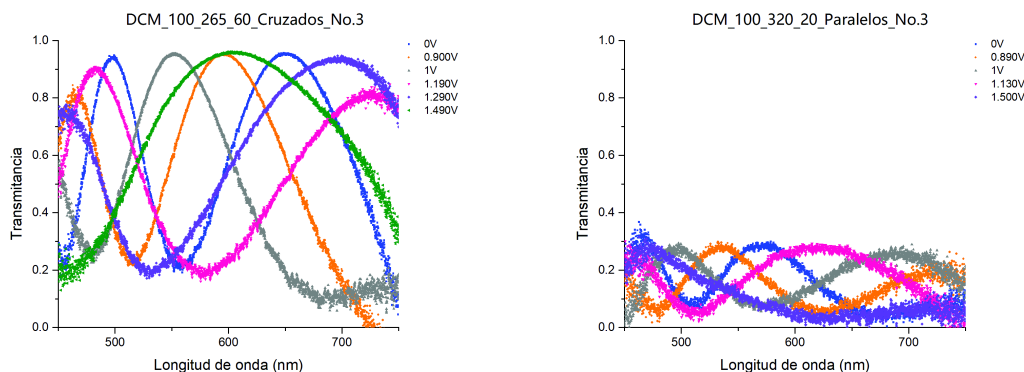


Figura 8.12: DCM 100 ángulo de giro No.3

Para los polarizadores cruzados, en presencia del colorante DCM, observamos la formación de un dímero en la banda de absorción que se refleja en esta gráfica. Se encuentra en el ancho de banda de 475-625nm. (gráfica color naranja). Al incrementar el voltaje a 0.9V, observamos inversión de la banda respecto a la gráfica sin campo eléctrico y sin colorante láser. Al seguir incrementando el voltaje a 1V, se invierte la banda de transmisión y se recorre a regiones del espectro electromagnético del color rojo. Continuando en voltaje 1.19V, casi logramos recuperar la gráfica en voltaje cero. Para voltaje 1.29V se encuentra una inversión de la banda total respecto

a la gráfica sin colorante láser. Para voltajes mayores no se encuentran bien definidos los límites. Para polarizadores paralelos hay una inversión de la banda respecto a la gráfica sin colorante laser. Para 1V, la banda se recorre a longitudes de onda más pequeñas, en la región del color violeta. Para voltaje de 1.150V, tenemos una inversión parcial de la banda. Para 1.300V observamos corrimiento al violeta.

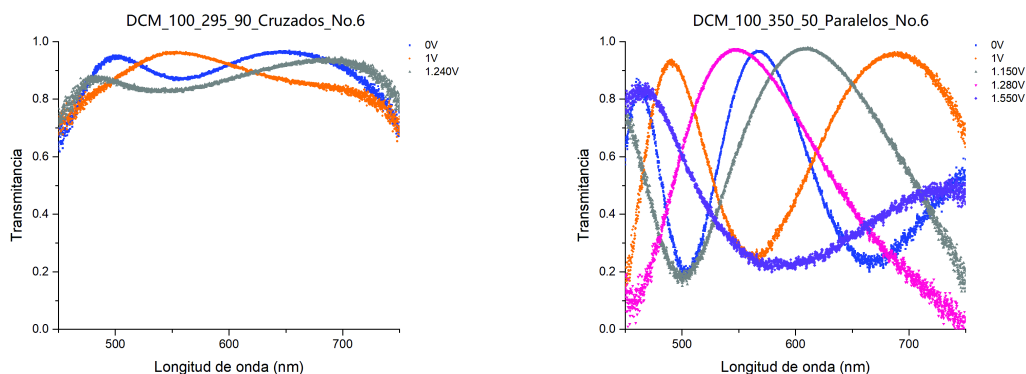


Figura 8.13: DCM 100 ángulo de giro No.6

En la aplicación de colorante láser DCM, se observa información de un dímero en la longitud de onda de 475-625nm y observamos un ligero corrimiento hacia la región del espectro electromagnético del color rojo. Al aplicar el campo eléctrico de 1V, observamos una inversión parcial de la banda y corrimiento hacia la región del espectro electromagnético del color rojo. Para polarizadores paralelos en ausencia de campo eléctrico, observamos una inversión de la banda de transmisión en el rango de la longitud de onda de 500-650nm con respecto a la gráfica de la banda de transmisión en ausencia de colorante láser y colesterol. Aplicando un campo eléctrico a 1V, se recupera la banda de transmisión original con ausencia de colorante. Para voltaje de 1.150V, encontramos una inversión parcial de la banda. Para 1.280V, se mantiene parecida a 1.150, sólo recorrida a longitudes de onda más cortas. Para 1.550V, la banda se va a longitudes de onda más cortas en la región del violeta.

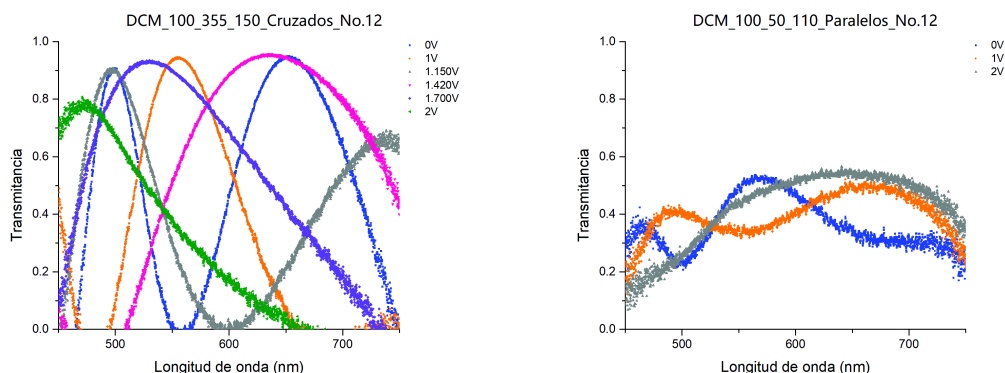


Figura 8.14: DCM 100 ángulo de giro No.12

Cuando se incrementó la cantidad de colesterol en la muestra, encontramos una inversión de la banda de transmisión. Pasó de ser un máximo de transmisión a un mínimo (color azul). Al

incrementar el voltaje se realizó una inversión de la banda de transmisión completa (naranja), de un mínimo en transmitancia pasó a un máximo, con un ancho de banda apreciable. Al incrementar el voltaje a 1.150V casi recuperamos la banda de transmisión a 0V, con un corrimiento hacia la región del espectro electromagnético del rojo y se aprecia un ancho de banda de 500-750nm (gris). Con 1.420V se alcanza a observar una inversión de la banda parcial, aunque no está bien definido el límite superior. Para 1.700V se observa una inversión de la banda de transmisión parcial. Con un ancho de banda muy grande casi de 400 a 750nm. Para 2V no se encuentra bien definido el límite inferior (verde). Para polarizadores paralelos cuando incrementamos la cantidad de colesterol, en 0V se conserva el ancho de banda de transmisión sólo observamos una inversión respecto a la banda de transmisión sin colorante láser que tiene un ancho de banda de 500-650nm, y se observan efectos de absorción. Ya que la transmisión se redujo en unidades arbitrarias de energía. A 1V observamos nuevamente la inversión de la banda. No se recupera la banda de transmisión sin colorante láser, porque el efecto de absorción de energía es muy grande y la transmisión se redujo mucho en unidades arbitrarias de energía. Para 2V se invierte nuevamente la banda de transmisión con un gran ancho de banda que va de 500 a casi 750nm y se observan efectos de absorción muy apreciables de igual forma.

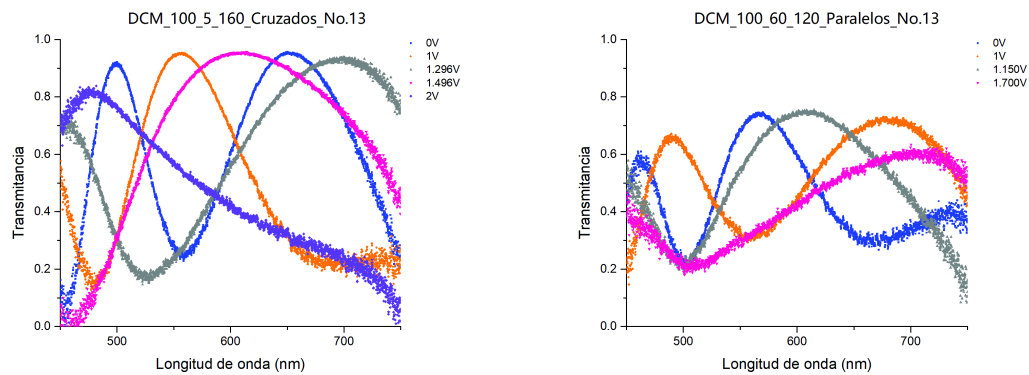


Figura 8.15: DCM 100 ángulo de giro No.13

En polarizadores cruzados cuando incrementamos la cantidad de colesterol a 0V observamos una inversión de la banda de transmisión respecto a la banda sin colorante láser con efectos de absorción apreciables ya que el mínimo de transmisión se encuentra en 0.2 unidades arbitrarias de energía. Al incrementar el voltaje a 1V observamos inversión de la banda recuperando casi por completo la banda de transmisión sin colorante láser. Al incrementar el voltaje a 1.296V observamos nuevamente inversión de la banda y un corrimiento hacia la región del espectro electromagnético del color violeta. Para 1.496V se observa otra inversión con un ancho de banda muy grande sin observarse muy bien definido el límite superior, casi recuperando la banda de transmisión sin colorante láser. Cuando aumentamos el voltaje a 2V no se observa muy bien el límite superior en la banda de transmisión. En el caso de polarizadores paralelos, al incrementar la cantidad de colesterol, observamos una inversión comparándola con la figura 8.1 sin colorante láser de la banda de transmisión, con un apreciable efecto de absorción. Cuando incrementamos el voltaje observamos una inversión parcial de la banda, casi recuperando la banda de transmisión sin colorante láser, sólo en el ancho de banda no en la transmisión. Para 1.150V se vuelve a invertir la banda, con un ancho de banda muy grande, de 500-700nm aproximadamente. Y para 1.7V no se logra apreciar bien los límites de la banda de transmisión.

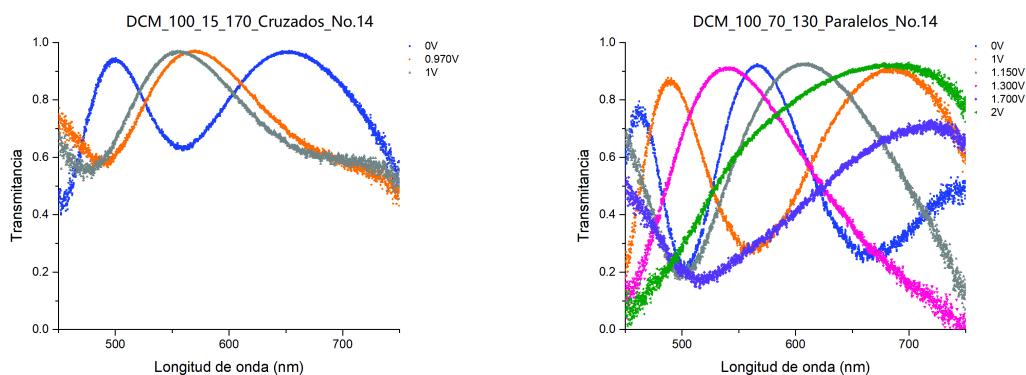


Figura 8.16: DCM 100 ángulo de giro No.14

En polarizadores cruzados cuando se incrementó la concentración de colesterol, apreciamos que para 0V hay una inversión de la banda respecto a la banda de transmisión sin colorante láser y se muestran efectos de absorción muy apreciables. Al incrementar el voltaje se realiza nuevamente la inversión de la banda casi recuperando la banda de transmisión sin colorante láser, solamente en el ancho de banda, ya que se observan efectos de absorción apreciables. Y al seguir incrementando el voltaje a 1V, solamente notamos un corrimiento pequeño hacia la región del espectro electromagnético del violeta respecto a la gráfica con voltaje de 0.970V. Para polarizadores paralelos aumentando la concentración de colesterol, con 0V notamos una inversión total de la banda respecto a la banda de transmisión sin colorante láser. Para 1V se invierte la banda de transmisión nuevamente. Casi recuperando la banda de transmisión original sin colorante láser. Para 1.150V notamos una inversión parcial de la banda de transmisión con un ancho de banda grande de 500-750nm. Al incrementar el voltaje a 1.3V observamos un corrimiento a la región del espectro electromagnético del violeta con un ancho de banda apreciable de 400-750nm. Y para 1.7V no se observan muy bien los límites de la banda de transmisión ni para 2V.

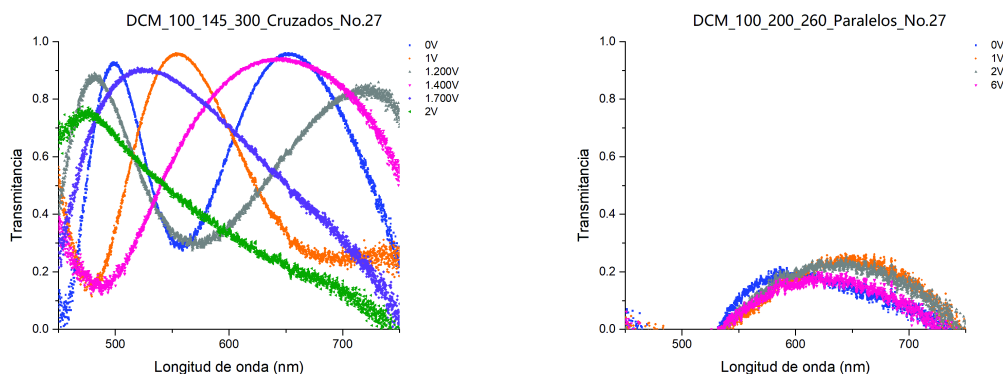


Figura 8.17: DCM 100 ángulo de giro No.27

Para polarizadores cruzados cuando aumentamos la concentración de colesterol, observamos una inversión de la banda de transmisión, respecto a la figura 8.1 de la banda de transmisión sin colorante láser y de la base. También observamos que cuando aumentamos la cantidad de colesterol, se reducen los efectos de absorción mostrados en la gráfica de la banda de transmisión de la base.

Cuando aumentamos el voltaje a 1V recuperamos casi la banda de transmisión que se observa en la figura 8.1 sin colorante láser. Al aumentar el voltaje se realiza nuevamente una inversión de la banda, parecida a la de 0V con un ancho de banda bastante grande casi de 450-750nm. Para 1.4V notamos que se quiere formar una banda de transmisión parecida a banda de transmisión sin colorante láser con un gran ancho de banda, pero no está bien definido el límite superior. Para 1.7V se observa un corrimiento del voltaje anterior (1.4V) hacia el espectro electromagnético del color violeta y con un gran ancho de banda de 400-750nm. Para 2V no se observan bien definidos los límites de la banda de transmisión. Para el caso de polarizadores paralelos encontramos una inversión de la banda cuando se le añade el colorante láser con un gran ancho de banda, casi de 450-750 con muy apreciables efectos de absorción y al agregar la concentración de colesterol, la banda se reduce en el ancho de banda y va de 550-750nm. Finalmente al aumentar el voltaje a 1V,2V,6V se observan muy pequeños cambios en los efectos de absorción respecto a 0V. Casi en el mismo ancho de banda.

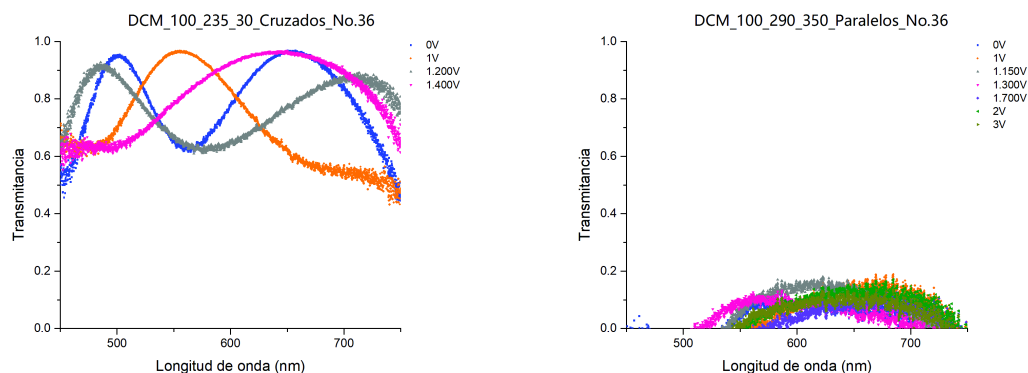


Figura 8.18: DCM 100 ángulo de giro No.36

En polarizadores cruzados con concentración de 100 g/dL, respecto a la base a 0V observamos que se mantiene prácticamente igual la banda de transmisión. Comparando las gráficas de la base y concentración de 100, a 0V con la gráfica sin colorante láser, notamos un corrimiento de la banda hacia la región del violeta. A 1V tenemos inversión de la banda respecto a la gráfica de 0V casi recuperando la banda de transmisión sin colorante láser pero con grandes efectos de absorción. Para 1.2V se vuelve a invertir la banda de transmisión, casi recuperando la banda a 0V pero con grandes efectos de absorción. Y para 1.4V se vuelve a invertir la banda, con un corrimiento al espectro electromagnético del color rojo con un gran ancho de banda de 500-750nm y grandes efectos de absorción. Para polarizadores paralelos encontramos una inversión de la banda de transmisión con un gran ancho de banda de 450-750nm con grandes efectos de absorción en la gráfica de la banda de transmisión de la base, respecto a la banda sin colorante láser. Al aumentar la concentración de colesterol, notamos un corrimiento de la banda de transmisión hacia la región del espectro electromagnético del color rojo. Y al aumentar el voltaje hasta 1.150V notamos el mismo efecto, con 1.3V notamos un ligero corrimiento al color violeta y para los siguientes voltajes vuelve el corrimiento al espectro electromagnético del color rojo.

8.2. Análisis de muestras con colorante láser Rodamina 6G

En esta segunda parte de análisis de resultados, se mostrarán los resultados obtenidos para las muestras con colorante láser Rodamina 6G. Las gráficas muestran el comportamiento de las muestras bajo polarizadores cruzados y polarizadores paralelos a diferentes voltajes en los que se obtuvo respuesta. Se gráfica la transmitancia para cada caso. Estas gráficas serán comparadas a partir de resultados obtenidos para muestras en ausencia de colorantes láseres. Se verá la reacción que tiene con distintos colorantes aplicados y diferente concentración de colesterol.

8.2.1 Rodamina 6G Base

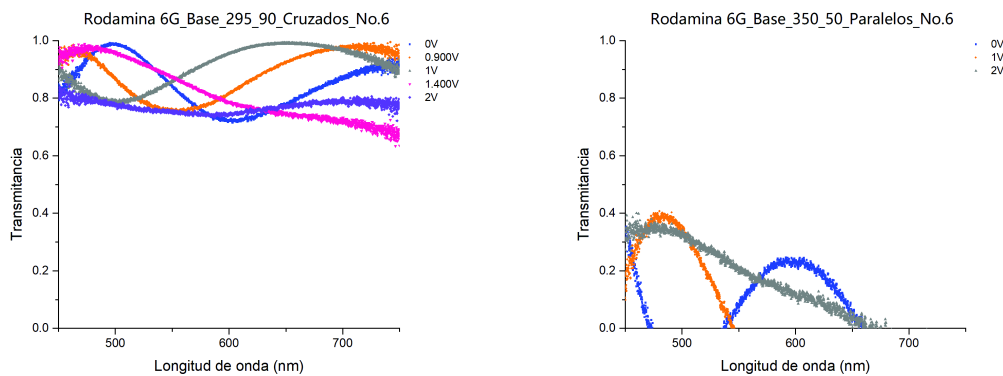


Figura 8.19: Rodamina Base ángulo de giro No.6

Para polarizadores cruzados cuando agregamos colorante láser Rodamina 6G, observamos que la banda de transmisión se recorre a la región del espectro electromagnético del violeta, respecto a la banda de transmisión sin colorante láser. Al aumentar el voltaje a 0.9V hay una inversión parcial de la banda, respecto a la gráfica a 0V. Hay grandes efectos de absorción en ambas. Para 1V, notamos nuevamente inversión de la banda de transmisión con corrimiento hacia el violeta. Para 1.4V y 2V no se encuentran bien definidos los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos, encontramos una inversión de la banda de transmisión respecto a la figura 8.1 de banda sin colorante láser. Al aumentar el voltaje a 1V se vuelve a invertir la banda de transmisión y recorrer hacia la región del violeta. Para 2V ya no encontramos bien definidos los límites de la banda de transmisión.

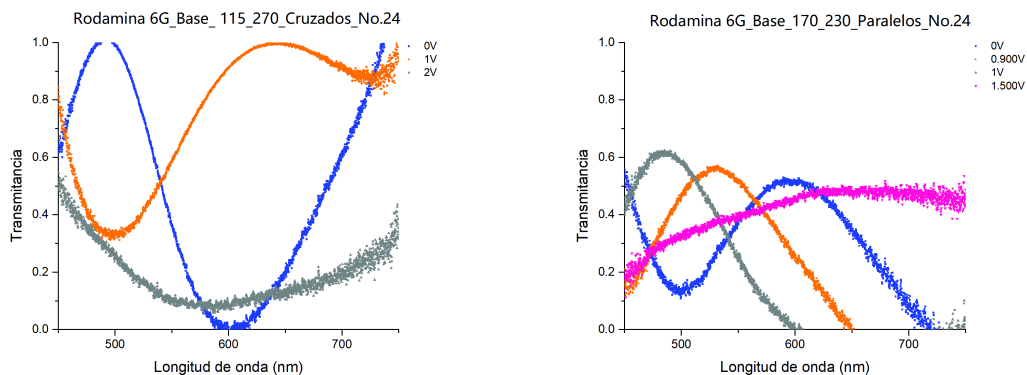


Figura 8.20: Rodamina Base ángulo de giro No.24

Comparando los resultados de los polarizadores paralelos de la muestra base con colorante láser con la gráfica de la muestra sin colorante láser, tenemos que no hubo inversión de la banda de transmisión. Sólo observamos un corrimiento de la banda a regiones del espectro electromagnético del violeta. Al incrementar el voltaje a 1V notamos que hay inversión de la banda y efecto de absorción. Al seguir subiendo el voltaje a 2V no encontramos bien definidos los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos notamos absorción y comparando para 0V la muestra base con colorante láser con la muestra sin colorante tenemos inversión de la banda de transmisión y un poco de desplazamiento hacia el espectro del color rojo. Al aumentar el voltaje a 0.9V tenemos un desplazamiento de la banda de transmisión hacia el espectro del violeta. Para 1V obtenemos inversión de la banda. Al seguir aumentando el voltaje a 1.5V y no obtenemos límite definido de la banda de transmisión.

8.2.2 Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL

Considerando aumentar la quiralidad del cristal líquido utilizado, añadiendo sustancias liposas como lo es en este caso el colesterol, observamos cual fue la reacción. Cuando agregamos 50 g/dL de colesterol en las muestras con Rodamina 6G, observamos lo siguiente:

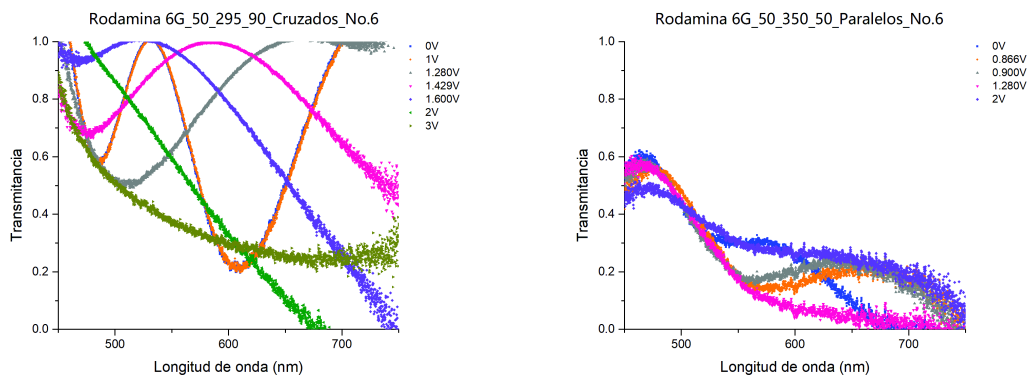


Figura 8.21: Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.6

Para polarizadores cruzados cuando agregamos colorante láser Rodamina 6G, observamos que la banda de transmisión de la base, se recorre a la región del espectro electromagnético del violeta, respecto a la banda de transmisión sin colorante láser. Cuando agregamos concentración de colesterol de 50 g/dL a la muestra, notamos primeramente que hay menos absorción a 0V y notamos que la banda de transmisión restaura el corrimiento que había tenido y vuelve casi a su posición original de la muestra sin colorante láser. Al aumentar el voltaje a 1V tenemos el mismo comportamiento para 0V, a 1.28V tenemos una inversión parcial de la banda de transmisión y absorción. Para 1.429V se vuelve a invertir la banda con un corrimiento a la región del rojo. Para los siguientes voltajes no se encuentra bien definidos los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos, encontramos una inversión de la banda de transmisión respecto a la figura 8.1 de banda sin colorante láser, de la Rodamina base. Al agregar concentración de colesterol de 50 g/dL a la muestra, comparándola con la base, notamos que hay mucha absorción y no se aprecia con mucha claridad los límites de las bandas de transmisión. Sólo notamos absorción en la banda de 0V, e inversión parcial de la banda para 0.866V y 0.9V.

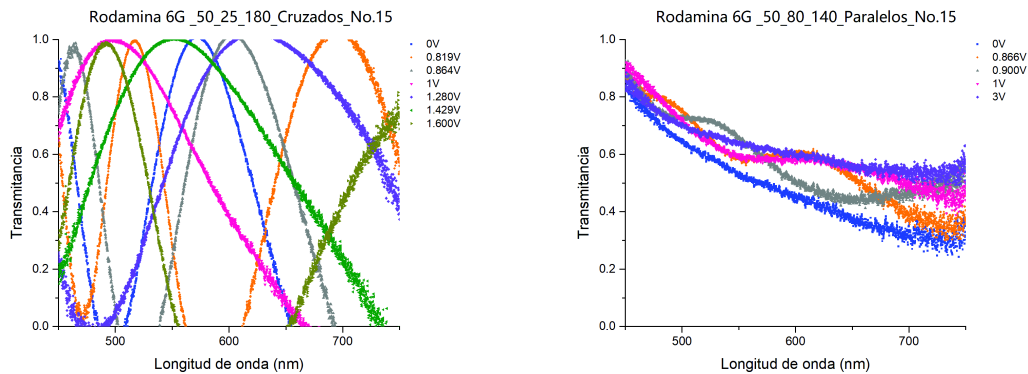


Figura 8.22: Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.15

Notamos que para polarizadores cruzados hubo mucha respuesta a diferentes voltajes aplicados, comparando esta gráfica con la muestra sin colorante láser notamos que para 0V la banda de transmisión no se invirtió pero hubo corrimiento hacia la región del espectro del violeta considerable. Al aumentar el voltaje tenemos una inversión parcial de la banda, respecto a la banda a 0V. Incrementando de nuevo el voltaje a 0.864V notamos un corrimiento de la banda hacia la región del violeta. Para 1V es aún más notable el corrimiento de la banda. Para 1.280V notamos una inversión de la banda casi total, respecto al voltaje anterior. Para los voltajes 1.429V y 1.6V sólo se observa corrimiento de las bandas de transmisión hacia la región del violeta. Para polarizadores paralelos a 0V no tenemos límites de la banda definidos. Para 0.866V se comienza a formar una banda de transmisión y para 0.9V se invierte la banda respecto a la anterior. A otros voltajes no se aprecian los límites de la banda bien definidos.

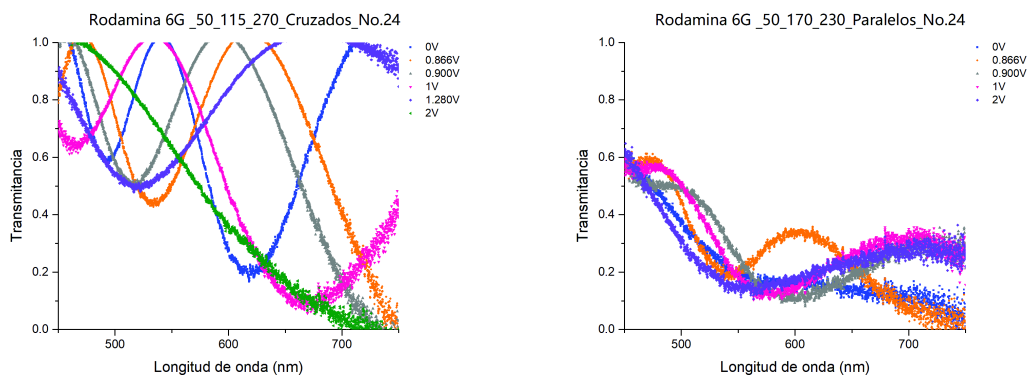


Figura 8.23: Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.24

Comparando los resultados de los polarizadores cruzados de la muestra base con colorante láser con la gráfica de la muestra sin colorante láser, tenemos que no hubo inversión de la banda de transmisión. Sólo observamos un corrimiento de la banda a regiones del espectro electromagnético del violeta. Al analizar la gráfica para la muestra con colorante láser y concentración de colesterol a 50 g/dL, tenemos que sigue sin haber inversión de la banda de transmisión, sólo notamos que la banda vuelve a su posición original después de haberse recorrido hacia el espectro del violeta levemente. Al incrementar el voltaje a 0.866V notamos inversión casi total de la banda de transmisión, a 0.9V observamos sólo un desplazamiento hacia regiones del violeta, y sigue sucediendo de forma más notoria para 1V. Para 1.28V tenemos una inversión de la banda casi total. Para 2V no se definen bien los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos encontramos una inversión de la banda de transmisión con un gran ancho de banda de 450-750nm con grandes efectos de absorción en la gráfica de la banda de transmisión de la base, respecto a la banda sin colorante láser. Para la muestra con colorante láser y concentración de colesterol a 50 g/dL, para 0V no tenemos bien definidos los límites de la banda de transmisión, hasta 0.866V comienza a definirse la banda, muy desplazada hacia la región del rojo. A 0.9V notamos una inversión parcial de la banda y para 1V y 2V un corrimiento al violeta con los límites de la banda no muy bien definidos.

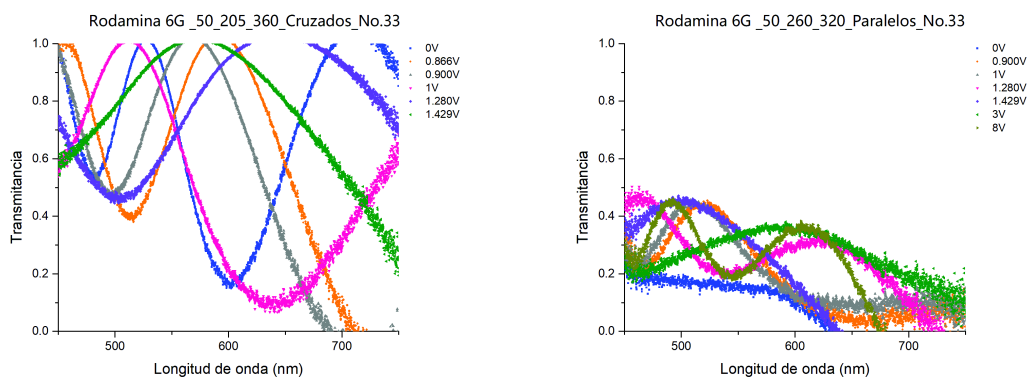


Figura 8.24: Rodamina 6G concentración 50 ángulo de giro No.33

Notamos gran respuesta para ambas gráficas, comparando la gráfica de polarizadores cruzados con colorante láser y concentración de colesterol a 50 g/dL con la gráfica de polarizadores

cruzados para la muestra sin colorante láser, observamos que a 0V no hay inversión de la banda de transmisión, sólo un ligero corrimiento de la banda hacia regiones del espectro del violeta. Aumentando el voltaje a 0.866V tenemos una inversión parcial de la banda con considerable absorción. Para 0.9V tenemos un ligero corrimiento de la banda hacia el violeta, y para 1V es aún más evidente este corrimiento. En 1.28V tenemos inversión de la banda casi total, y para 1.429V volvemos a tener inversión parcial de la banda. Para polarizadores paralelos obtuvimos mucha respuesta. En 0V no se aprecian los límites de la banda de transmisión, para 0.9V comienza a formarse la banda invertida y corrida hacia regiones del espectro del violeta, para 1V se corre ligeramente más y para 1.28V tenemos inversión parcial de la banda. En 1.429V volvemos a tener inversión parcial de la banda de transmisión. Para 3V no se tienen bien definidos los límites de la banda de transmisión pero siguiendo aumentando el voltaje hasta 8V notamos algo peculiar, se forma una banda de transmisión parecida a la banda que se forma en la muestra sin colorante láser y sin colesterol.

8.2.3 Rodamina 6G concentración de colesterol 100 g/dL

Buscando aumentar la quiralidad del cristal líquido utilizado, añadimos como anteriormente se mencionó, sustancias liposas como lo es el colesterol y observamos cual fue la reacción. Cuando agregamos 100 g/dL de colesterol, observamos lo siguiente:

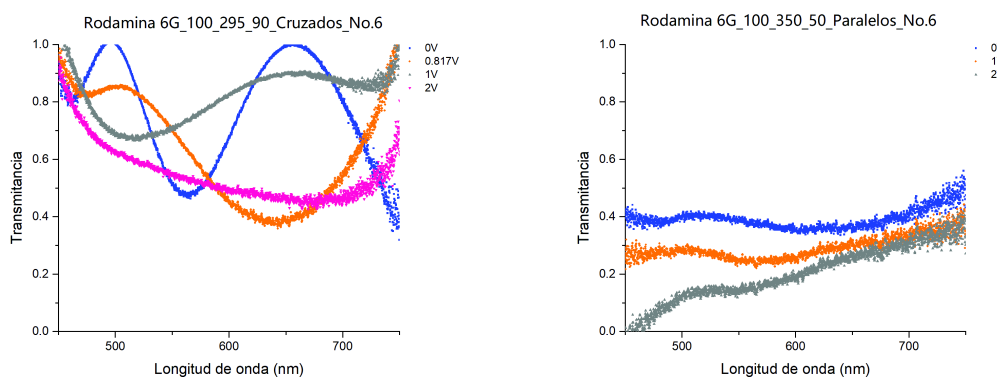


Figura 8.25: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.6

Para polarizadores cruzados, cuando aplicamos colorante láser Rodamina 6G a las muestras, observamos que la banda de transmisión se recorre a la región del espectro electromagnético del violeta, respecto a la banda de transmisión sin colorante láser. Al agregar concentración de colesterol a 100 g/dL, son más apreciables los efectos de quiralidad. Al aplicar voltaje de 0.817V notamos absorción considerable y un corrimiento al espectro electromagnético del rojo. Para 1V se observa una inversión respecto al voltaje anterior, y para 2V no encontramos bien definidos ya los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos, para la Rodamina 6G base encontramos una inversión de la banda de transmisión respecto a la gráfica de banda sin colorante láser. Para la rodamina con concentración de colesterol 100 g/dL, no se aprecian bien los límites de la banda definidos.

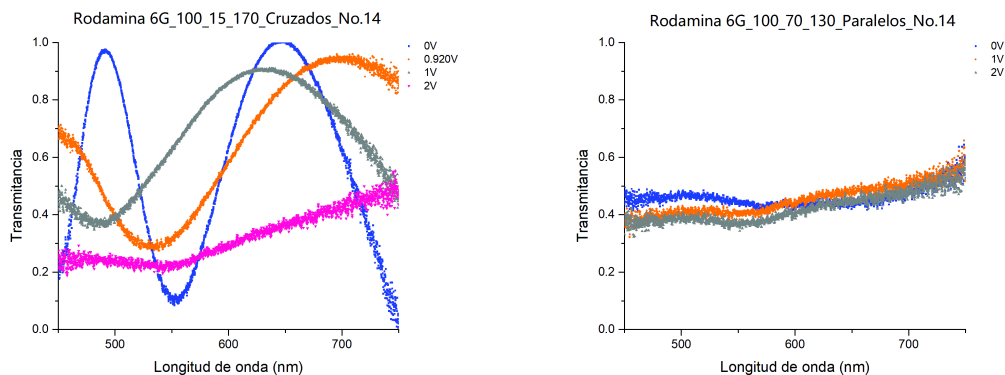


Figura 8.26: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.14

Analizando los resultados para polarizadores cruzados, vemos que para este caso de Rodamina 6G con colesterol 100 g/dL tenemos una inversión de la banda de transmisión. Comparado con la muestra sin colorante láser aplicado. Aumentando el voltaje a 0.92V la banda de transmisión se recorre a la región del espectro electromagnético del violeta. A 1V seguimos observando el corrimiento de la banda y para 2V no se tienen bien definidos los límites de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos no encontramos bien definidos los límites de la banda de transmisión.

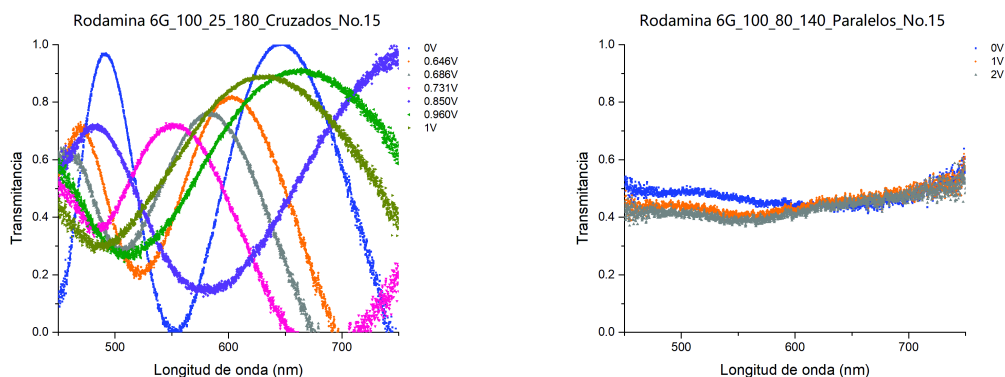


Figura 8.27: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.15

Analizando el comportamiento bajo polarizadores cruzados de esta muestra, vemos que para 0V notamos inversión, y reducción del ancho de banda. Comparado con la muestra sin colorante láser. Aumentando el voltaje a 0.646V notamos un desplazamiento de la banda de transmisión hacia la región del violeta. A 0.686V sigue el desplazamiento hacia el violeta, con efectos de absorción más notables. Para 0.731V sigue el corrimiento de la banda de transmisión. Hasta 0.850V notamos una inversión de la banda de transmisión casi total. Para 0.960V se invierte nuevamente la banda y a 1V comienza a recorrerse a regiones del violeta de nuevo. Para polarizadores paralelos no se encontraron bien definidos los límites de la banda de transmisión obtenida.

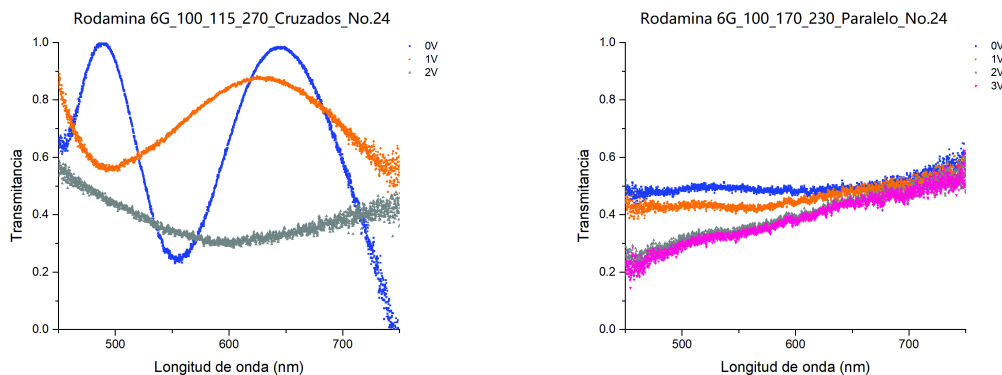


Figura 8.28: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.24

Comparando los resultados de los polarizadores paralelos de la muestra base con colorante láser con la gráfica de la muestra sin colorante láser, tenemos que no hubo inversión de la banda de transmisión. Sólo observamos un corrimiento de la banda a regiones del espectro electromagnético del violeta. Para la muestra con concentración de colesterol seguimos notando el mismo comportamiento sólo que con efectos más notables de absorción. Para polarizadores paralelos en la base habíamos notado absorción, y comparando para 0V la muestra base con colorante láser con la muestra sin colorante, tenemos inversión de la banda de transmisión y un poco de desplazamiento hacia el espectro del color rojo. Pero al agregar concentración de colesterol a la muestra, no se definieron bien los límites de la banda de transmisión para este ángulo de visión.

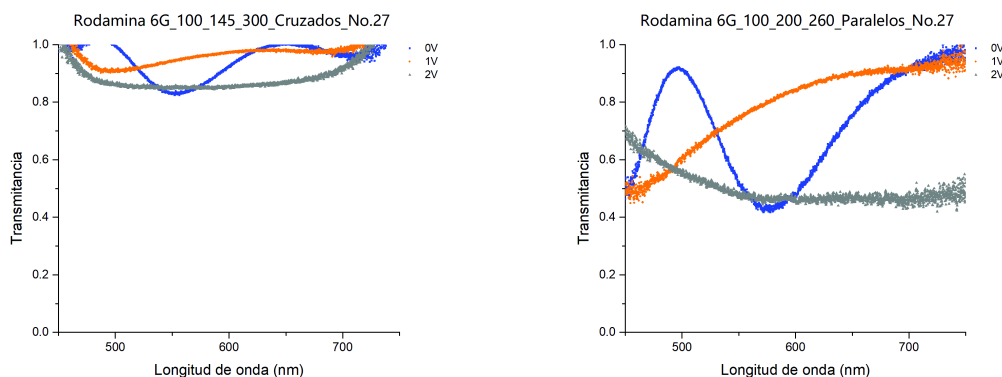


Figura 8.29: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.27

En esta gráfica, para polarizadores cruzados, notamos una inversión de la banda para 0V, comparado con la gráfica de la muestra sin colorante láser. Al aumentar el voltaje a 1V y 2V no notamos bien definidos ya los límites de la banda de transmisión. Y para polarizadores paralelos obtenemos respuesta a 0V, no hay inversión de la banda comparada con la muestra sin colorante láser pero sí notamos un ligero desplazamiento hacia la región del rojo en esta banda de transmisión. Para los voltajes 1 y 2 no se obtuvo un límite bien definido de las bandas.

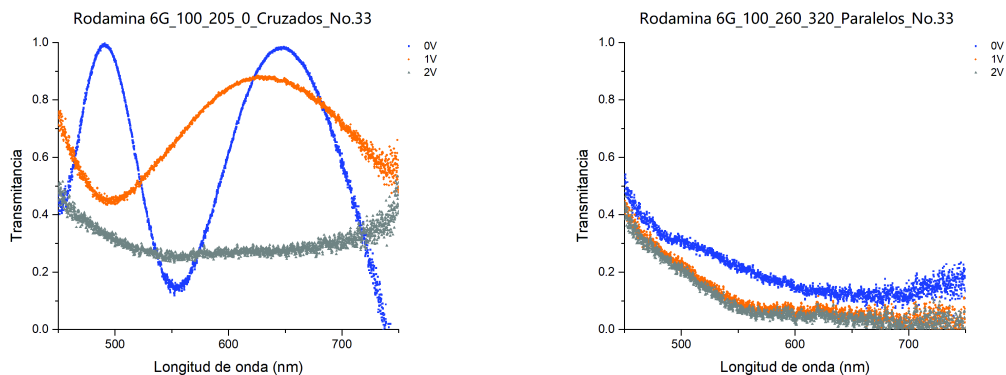


Figura 8.30: Rodamina 6G concentración 100 ángulo de giro No.33

Para polarizadores cruzados comparando con la muestra sin colorante láser y sin concentración de colesterol, tenemos una inversión de la banda de transmisión para 0V, aumentando el voltaje tenemos una inversión parcial de la banda, con absorción. Para 2V ya no tenemos bien definidos los límites que se forman de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos ocurre lo mismo.

8.3. Análisis de resultados

En esta sección haremos un análisis específico a las muestras que dieron resultados en los mismos ángulos de giro puestos. Esto con el propósito de poder comparar las diferentes muestras y situaciones y ver su comportamiento en un mismo ángulo de giro y comparar su respuesta en voltajes iguales. Se obtuvo comparación de las tres muestras con colorante láser DCM. La muestra base, la muestra con concentración de colesterol a 50 g/dL y la muestra con concentración de colesterol a 100 g/dL, para dos ángulos de giro distintos. Dos ángulos de giro de igual forma para las tres muestras con colorante láser Rodamina 6G. Se obtuvo también resultados de comparación a un mismo ángulo de giro para la muestra con colorante láser DCM base y muestra de concentración de colesterol a 50 g/dL. Finalmente se obtuvo comparación también para cuatro distintos ángulos de giro para muestras con colorante láser DCM y concentración de colesterol a 50 y 100 g/dL y dos distintos ángulos de giro para muestras con colorante láser Rodamina 6G y concentración de colesterol 50 y 100 g/dL.

8.3.1 DCM ángulo de giro No.27

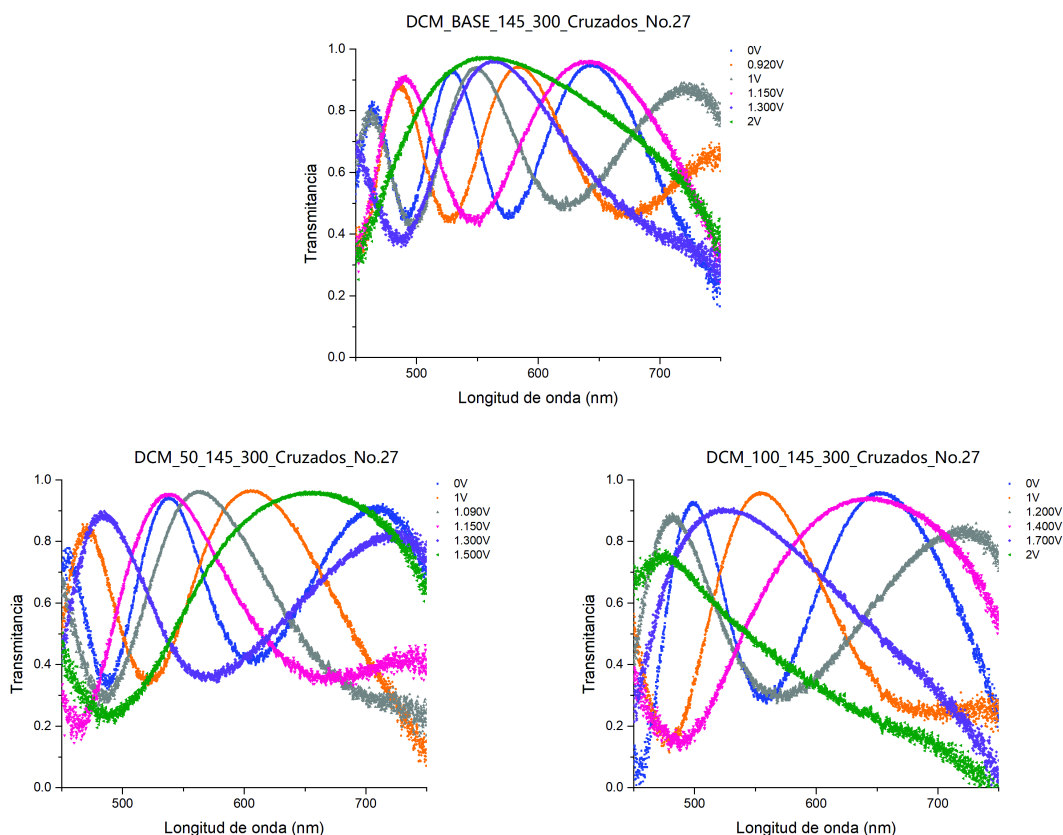


Figura 8.31: Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.27

Para el ángulo de giro No.27 con los polarizadores respectivamente a 145° y 300° logramos tener respuesta para las tres diferentes muestras, la base, y las concentraciones 50 y 100 g/dL. A simple vista podemos observar que cada muestra reaccionó a diferentes voltajes pero compararemos resultados para los voltajes iguales. Como observamos en la primera muestra, la muestra base con polarizadores cruzados, en ausencia de campo eléctrico vemos una reducción del ancho de la banda de transmisión y ligero corrimiento al violeta comparada con la muestra sin colorante láser. Cuando introducimos colesterol a concentración 50 g/dL, notamos que se recupera un poco el ancho de banda de la muestra sin colorante láser. Y para concentración de colesterol a 100 g/dL, tenemos una inversión de la banda de transmisión y se vuelve más quiral, compensando los efectos de absorción. El siguiente voltaje que podemos comparar es el de 1V. Para la muestra base tenemos un corrimiento ligero al espectro electromagnético del rojo, y un aumento ligero también del ancho de banda a comparación de la muestra sin campo eléctrico, sin notar inversión de la banda. Cuando añadimos colesterol, para la muestra de concentración 50 g/dL notamos una inversión parcial de la banda de transmisión respecto a la banda obtenida en la muestra sin campo eléctrico aplicado. Y para la muestra de 100 g/dL observamos mucho menos absorción a comparación con las

muestras anteriores, y una inversión de la banda de transmisión pero esta vez total. Con respecto a la banda de transmisión obtenida en la muestra sin campo eléctrico aplicado. Recuperando casi por completo la banda de la muestra sin colorante láser y sin campo eléctrico aplicado. Notamos una banda bien definida de aproximadamente 475-650nm. Los siguientes voltajes no coinciden y no podemos comparar las tres muestras. Para polarizadores paralelos no se tienen bien definidos los límites de la banda de transmisión, por eso no se incluyeron en este análisis de resultados. En este ángulo de giro, las muestras base, y concentraciones 50 y 100 g/dL, mostraron buena respuesta para polarizadores cruzados, pero para polarizadores paralelos no.

En estas muestras se observa que en la muestra base de 0V-1V no hay inversión de la banda, pero en las muestras con concentración de colesterol a 50 y 100 g/dL, tenemos inversión de la banda en 1V. Notando una inversión casi total en la muestra de 100 g/dL, y mucho menos absorción que en las otras muestras. En la muestra base a los siguientes voltajes obtenemos dos inversiones de la banda considerando que la banda vuelve a su estado original y después se invierte, como una inversión. La muestra con concentración de 50 tenemos dos inversiones en los resultados obtenidos. En la muestra con concentración de 100 g/dL, obtenemos de igual forma dos inversiones de la banda. En este caso las tres muestras tuvieron el mismo número de inversiones de la banda, a excepción de que en la muestra con concentración de 100 g/dL, tenemos bandas mucho mejor definidas, con menos absorción y anchos de banda muy buenos.

8.3.2 DCM ángulo de giro No.36

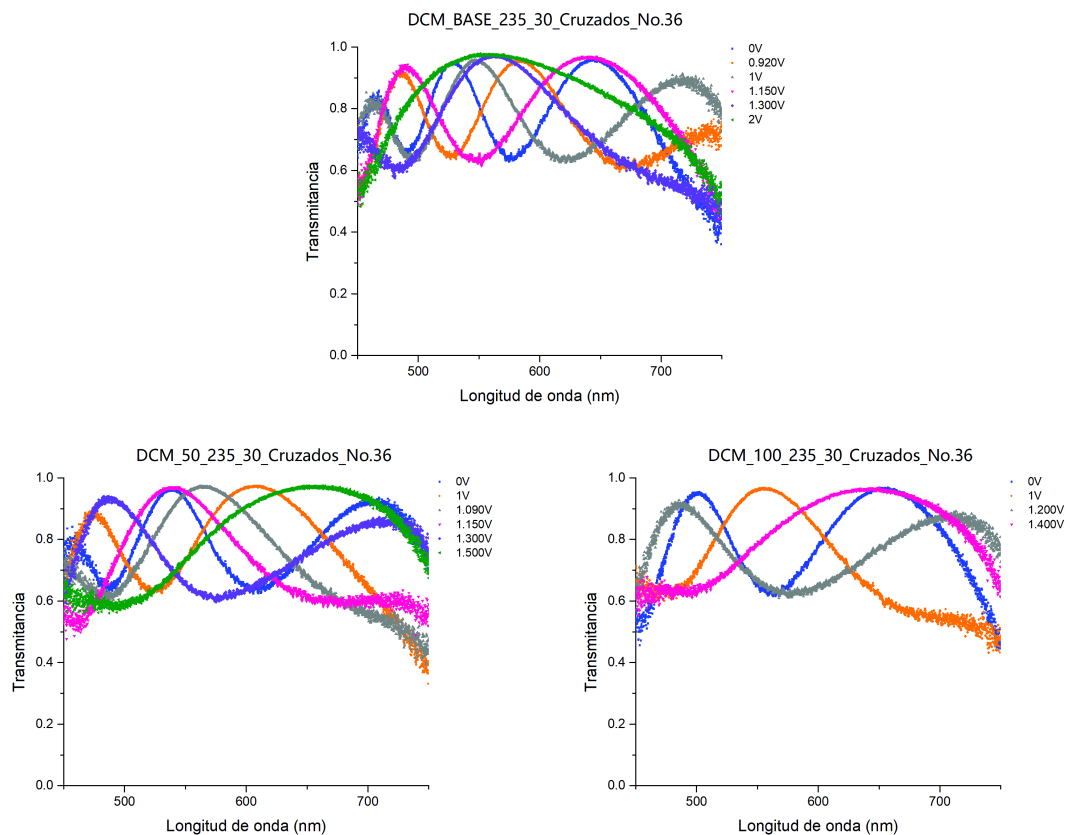


Figura 8.32: Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.36

Para el ángulo de giro No.36 logramos tener respuesta para las tres diferentes muestras, la base, y las concentraciones 50 y 100 g/dL. Podemos observar que cada muestra reaccionó a diferentes voltajes pero compararemos resultados para los voltajes iguales. Como se observa en la primera muestra, la muestra base con polarizadores cruzados, en ausencia de campo eléctrico vemos una reducción del ancho de la banda de transmisión y ligero corrimiento al violeta comparada con la muestra sin colorante láser. También hay bastante absorción. Cuando introducimos colesterol a concentración 50 g/dL, notamos que se recupera un poco el ancho de banda de la muestra sin colorante láser. Para concentración de colesterol a 100 g/dL, se invierte la banda de transmisión. El siguiente voltaje que podemos comparar es el de 1V. Para la muestra base tenemos únicamente un corrimiento ligero al espectro electromagnético del rojo, y un aumento ligero también del ancho de banda a comparación de la muestra sin campo eléctrico aplicado. Cuando añadimos colesterol, para la muestra de 50 g/dL, tenemos una inversión parcial de la banda de transmisión. Con un corrimiento ligero hacia la región del espectro del violeta. Con un ancho de banda mucho más grande. Y para la muestra de 100 g/dL observamos inversión de la banda nuevamente y se recupera casi por completo la banda de la muestra sin colorante láser y sin campo eléctrico aplicado. Notamos una banda bien definida de aproximadamente 475-650nm. Los siguientes voltajes no coinciden y no podemos comparar las tres muestras. Y para polarizadores paralelos no se tienen bien definidos los límites de la banda de transmisión. En este ángulo de giro, las muestras base, y concentraciones 50 y 100 g/dL, mostraron buena respuesta para polarizadores cruzados, pero para polarizadores paralelos no. Es por eso que no se incluyen en esta sección de análisis de resultados.

Comparando las inversiones de banda obtenidas en estas tres muestras, tenemos que en la muestra base no tenemos inversión de la banda en 0V y 1V, para los siguientes voltajes aplicados sí se encuentran dos inversiones en esta muestra base. Para la muestra de concentración de colesterol 50 g/dL tenemos inversión de la banda en 1V, para el siguiente voltaje hay inversión parcial de la banda y no vuelve a haber inversión hasta 1.3V. En la muestra de concentración 100 g/dL tenemos inversión de la banda en 1V y una siguiente inversión parcial en 1.2V. La muestra que tuvo más respuesta de inversión fue la muestra con concentración de 50 g/dL.

8.3.3 Rodamina 6G ángulo de giro No.6

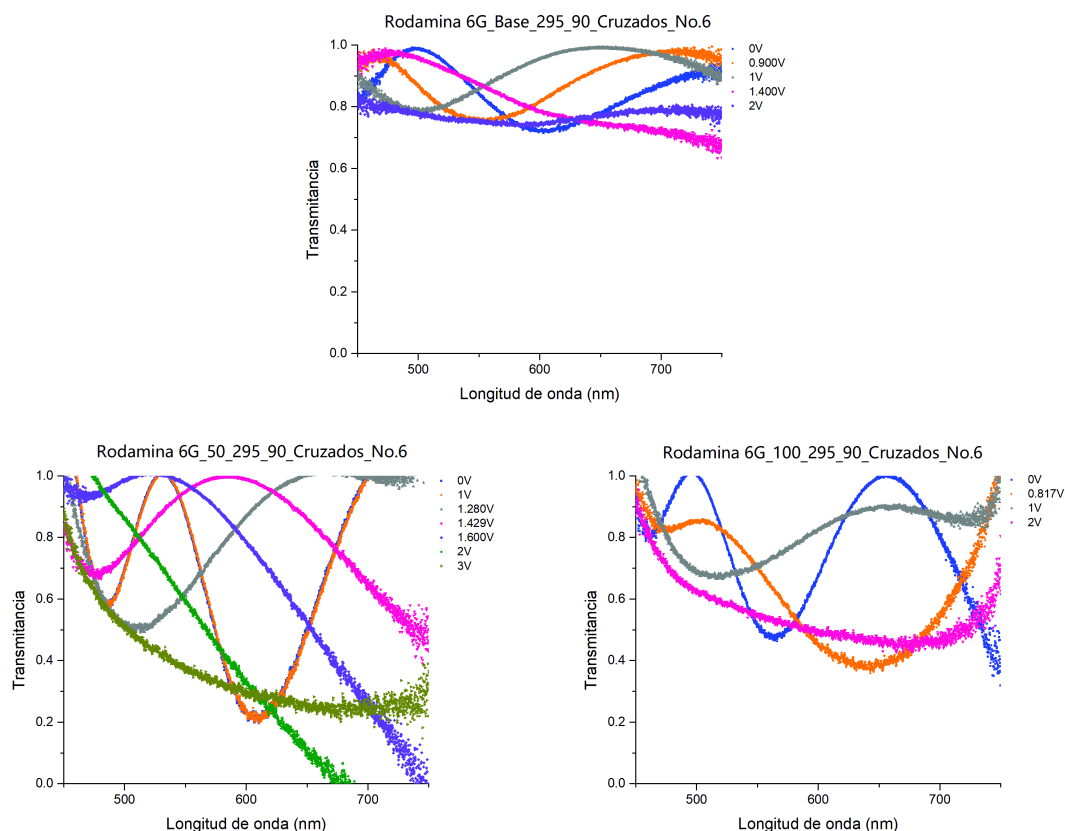


Figura 8.33: Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.6

Comparando las muestras, para polarizadores cruzados, cuando aplicamos colorante láser Rodamina 6G a las muestras, observamos que la banda de transmisión se recorre a la región del espectro electromagnético del violeta, respecto a la banda de transmisión sin colorante láser y notamos mucha absorción. Cuando agregamos concentración de colesterol de 50 g/dL a la muestra, notamos primeramente que hay menos absorción a 0V y la banda de transmisión restaura el corrimiento que había tenido volviendo casi a su posición original de la muestra sin colorante láser. Con ancho de banda de aproximadamente 100nm. Y al agregar concentración de colesterol a 100 g/dL, son más apreciables los efectos de quiralidad ya que notamos bandas mucho más definidas, pero esta vez tenemos inversión de la banda de transmisión a 0V con respecto a la banda obtenida en la muestra sin colorante láser. Las muestras en polarizadores cruzados para 1V, mostraron resultados muy diferentes, para la muestra base vemos que no hay inversión de la banda de transmisión pero sí se recorre la banda hacia el espectro del violeta. La muestra con concentración de colesterol 50 g/dL a 1V nos da los mismo resultados obtenidos para 0V, sin cambio alguno. Para la muestra de concentración 100 tenemos una aparente inversión parcial de la banda de transmisión obtenida a 0V.

Comparando estos tres resultados de las diferentes muestras, vemos que no tenemos mucha respuesta y la poca respuesta que tenemos no nos muestra información de que haya notables inversiones de banda. En la muestra base notamos inversión parcial de la banda para 0.9V y de nuevo inversión parcial para 1V. En la muestra de 50 g/dL tenemos inversión parcial de la banda para 2 diferentes voltajes igualmente, y para la muestra de 100 g/dL tenemos una inversión de la banda en los voltajes aplicados. Para las muestras en las que más tuvimos respuesta de inversión fueron para la muestra base y la muestra con concentración de colesterol a 50 g/dL. Podríamos decir que la muestra con concentración de colesterol 50 g/dL tuvo mejor respuesta ya que muestra bandas de transmitancia mucho mejor definidas, y con ancho de banda mayor, sólo obteniendo las inversiones de banda parciales y respuesta en un rango pequeño de voltajes.

8.3.4 Rodamina ángulo de giro No.24

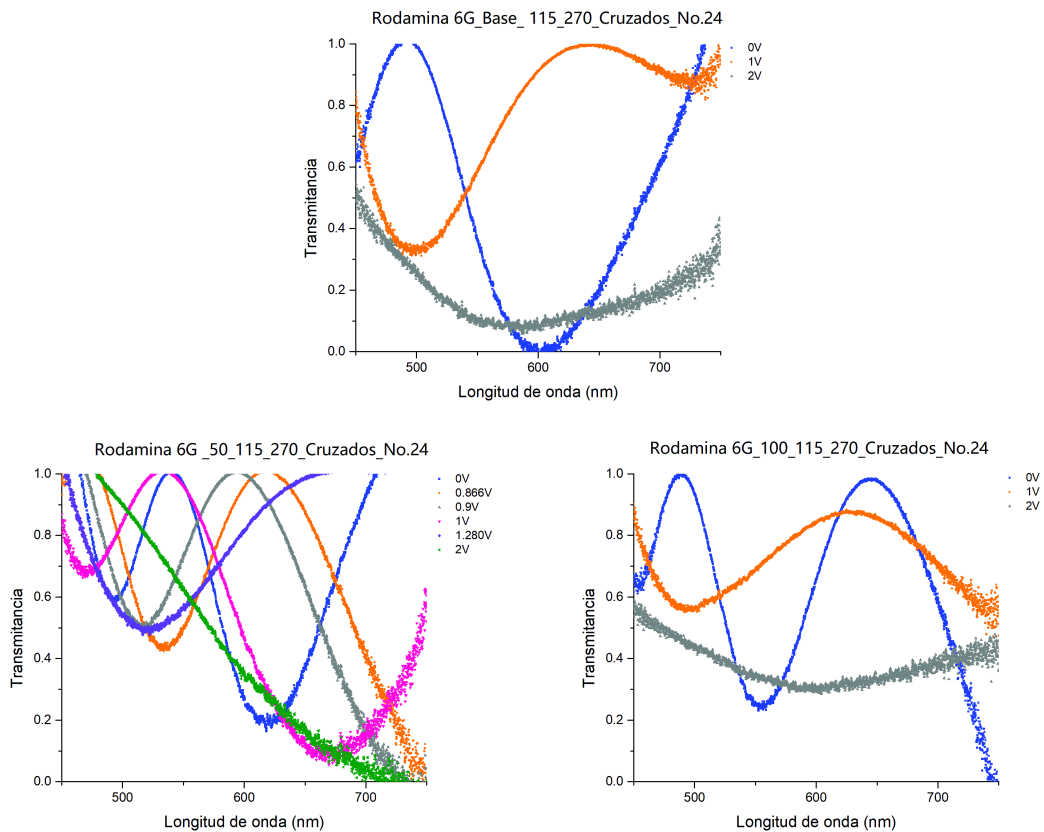


Figura 8.34: Comparación muestras base, concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.24

Comparando los resultados de los polarizadores cruzados de la muestra base con colorante láser con la gráfica de la muestra sin colorante láser, tenemos que no hubo inversión de la banda de transmisión. En la muestra base sólo observamos un corrimiento de la banda a regiones del

espectro electromagnético del violeta. Al analizar la gráfica para la muestra con colorante láser y la de concentración de colesterol a 50 g/dL, tenemos que sigue sin haber inversión de la banda de transmisión, sólo notamos que la banda vuelve a su posición original después de haberse recorrido hacia el espectro del violeta levemente, y notamos efectos de absorción en la muestra. Para la muestra con concentración de colesterol 100 g/dL notamos en la región de 475-625nm una inversión de la banda de transmisión para 0V, con respecto a la banda de la muestra sin colorante láser. Para 1V comparando la base con la muestra sin colorante laser, notamos que hay inversión de la banda y efecto de absorción. Para la muestra de 50 g/dL a 1V no tenemos inversión de la banda, notamos que se mantiene prácticamente igual que a 0V, con la diferencia de que tiene un ancho de banda ligeramente más grande. Para la muestra de 100 g/dL, a 1V tenemos un caso similar a la muestra base, con una inversión parcial respecto a la banda de 0V de la muestra y con efectos de absorción. Los resultados para polarizadores paralelos no pueden compararse fácilmente ya que no se tienen bien definidos todos los límites de la banda de transmisión para cada muestra. Es por eso que no se añadieron a este análisis de resultados.

Comparando las tres muestras a este mismo ángulo de giro, notamos que la muestra que obtuvo más respuesta en polarizadores cruzados es la muestra con concentración de colesterol de 50 g/dL. En esta muestra tenemos inversión de la banda a 0.866V, inversión a 1V y otra inversión a 1.280V. En las otras dos muestras se obtuvo muy poca respuesta, y ambas con una sola inversión de la banda de transmisión. Para polarizadores paralelos en general tenemos poca respuesta y las bandas formadas para voltajes mayores a 0V en la muestra base y muestra con concentración 50 g/dL, no tienen bien definidos los límites de banda. Sólo notamos que para 0V ambas muestras mostraron una gráfica hacia arriba, por lo que podemos decir que la banda se invirtió a comparación de la muestra sin colorante láser.

8.3.5 DCM Base con muestra de concentración 50 g/dL ángulo de giro No.28

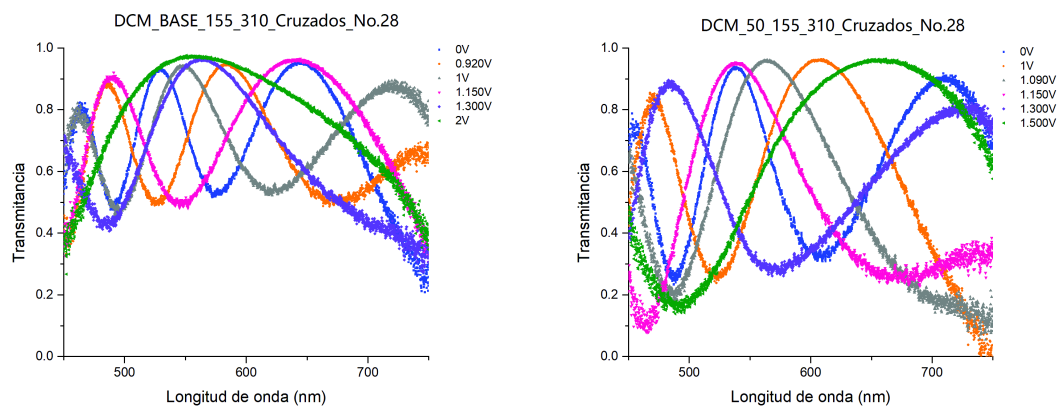
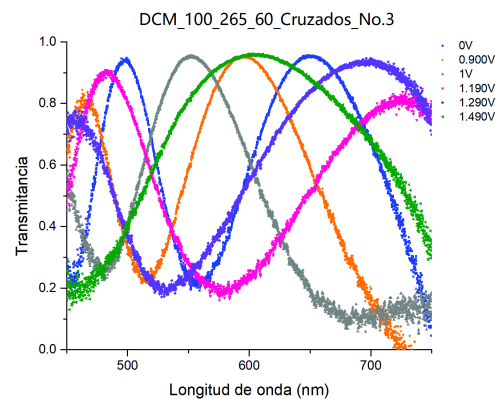
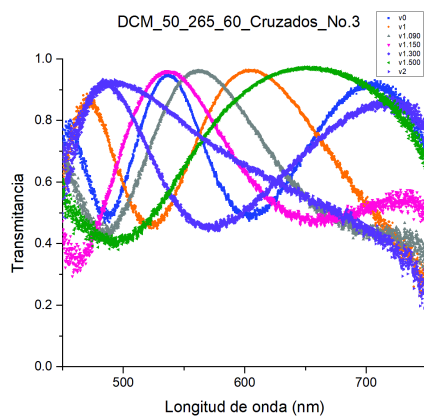


Figura 8.35: Comparación muestras base y concentración de colesterol 50 g/dL con DCM en ángulo de giro No.28

Para este ángulo de giro, se obtuvo respuesta en las muestras base y concentración 50 g/dL. Compararemos las diferencias para cada caso. Observamos que comparando la base con la muestra sin colorante láser, a 0V tenemos un corrimiento ligero hacia la región del espectro del violeta, y un ancho de banda más pequeño. Al aplicar el colesterol a la muestra con concentración de 50 g/dL, tenemos que en ausencia de campo eléctrico, volvemos a recuperar casi por completo la banda de transmisión de la muestra sin colorante láser. Para ambos casos no tenemos inversión de la banda. Al aplicar 1V a las muestras podemos observar en la base que, tenemos inversión total de la banda de transmisión, y al agregar colesterol a concentración de 50 g/dL, observamos que de igual forma se invierte la banda de transmisión casi en su totalidad. Comparando a voltaje 1.150 tenemos inversión de la banda de transmisión. En la muestra de concentración 50 g/dL, nuevamente tenemos una inversión de la banda, volviendo casi en su totalidad a la banda de transmisión en ausencia de colorante láser. Sólo ligeramente más ancha la banda con concentración de colesterol a 50 g/dL. Para 1.300V tenemos inversión parcial de la banda en la muestra base, esta inversión, volviendo casi a la banda de la muestra sin colorante láser, sólo considerablemente con más ancho de banda. En el caso de la muestra con concentración de colesterol 50 g/dL tenemos una inversión parcial de igual forma, pero con los límites de la banda de transmisión no muy bien definidos. Para polarizadores paralelos no es posible hacer una comparación de los resultados de las muestras, ya que no se encuentran bien definidos los límites de la banda de transmisión para la comparación de ambas muestras.

Ambas muestras mostraron muy buena respuesta a los diferentes voltajes aplicados. La muestra con concentración de colesterol 50 g/dL tuvo mucho menos absorción que la base, podemos decir que se debe ya que agregamos el colesterol y este hizo a la muestra más quiral. También tenemos que en la muestra con concentración 50 g/dL los anchos de banda de las bandas obtenidas eran más grandes.

8.3.6 DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.3



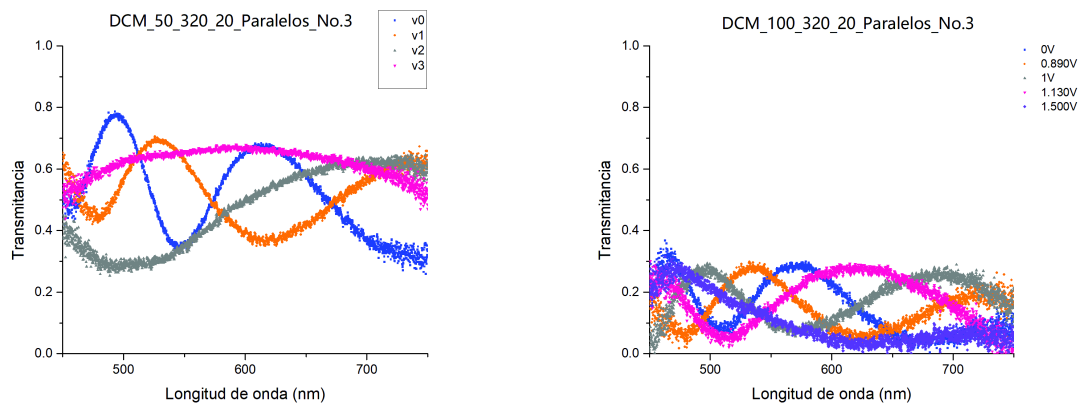


Figura 8.36: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.3

Para este ángulo de giro, se obtuvo respuesta en las muestras a concentración 50 g/dL y 100 g/dL. Compararemos las diferencias para cada caso. Observamos que para 0V en la muestra con concentración 50 g/dL, tenemos una banda de transmisión hacia arriba y bien definida en la región de 475-625nm. Al agregar colesterol a 100 g/dL notamos una inversión de la banda, a comparación de la muestra de 50 g/dL. A 1V para la muestra de 50 g/dL seguimos teniendo una inversión parcial de la banda de transmisión. Para la muestra de concentración 100 g/dL, a 1V tenemos inversión parcial de la banda de igual forma, respecto a la banda de 0V de esta misma. Los demás voltajes no se pueden comparar ya que no coinciden. Para polarizadores paralelos la muestra de 50 g/dL a 0V muestra una banda de transmisión hacia abajo en la región de 500-650nm. Para la muestra de 100 a 0V tenemos una banda hacia arriba en la región mencionada. Analizando ahora para 1V tenemos que para la muestra de 50 g/dL, hay una inversión parcial de la banda, y de igual forma para la muestra de 100 g/dL.

Ambas muestras tuvieron muy buena respuesta a diferentes voltajes. En la muestra con concentración de colesterol 50 g/dL tenemos dos inversiones de la banda de transmisión. En la muestra con concentración 100 g/dL, tenemos mucho menos absorción y buena respuesta de igual forma, con dos inversiones de la banda. Esta muestra con anchos de banda más grande y menos efectos de absorción. En polarizadores paralelos tenemos respuesta, para la muestra de concentración de 50 g/dL tenemos una inversión parcial de la banda de transmisión. Y para la muestra con concentración de 100 g/dL tenemos de igual forma una inversión parcial de la banda a 1.150V. En este caso notamos más absorción en la muestra de concentración de colesterol 100 g/dL.

8.3.7 DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.12

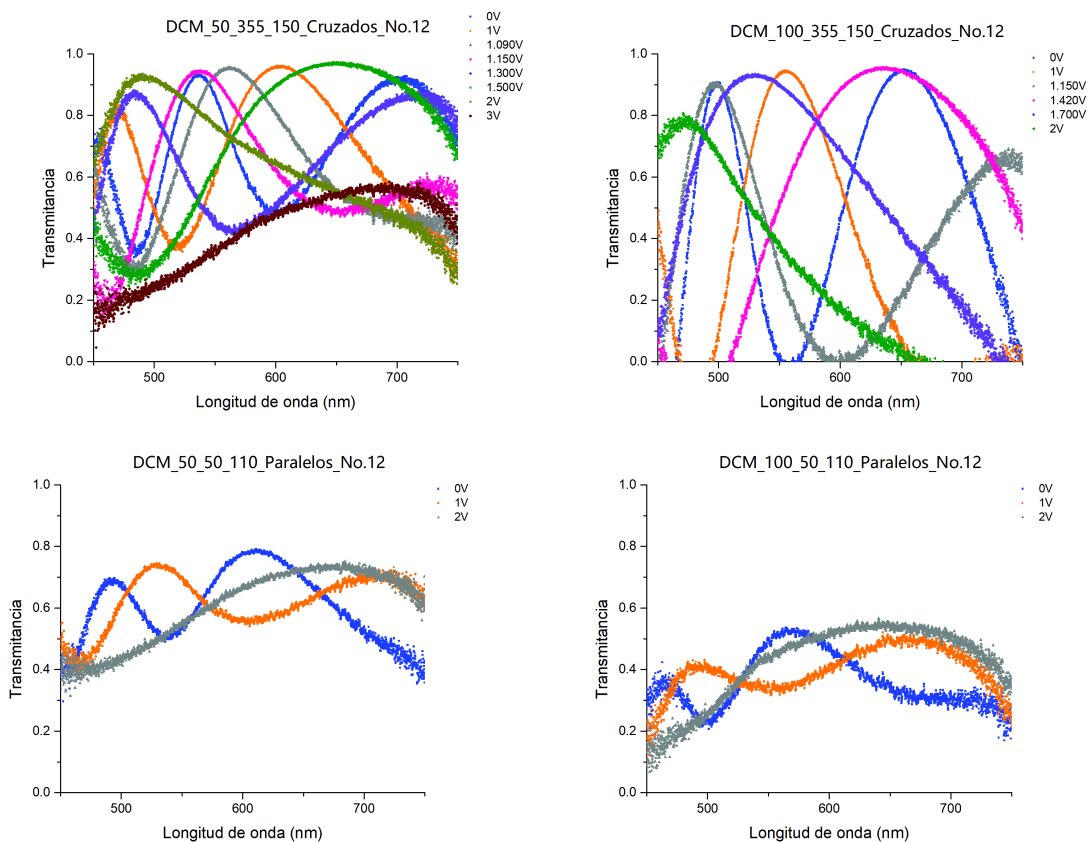


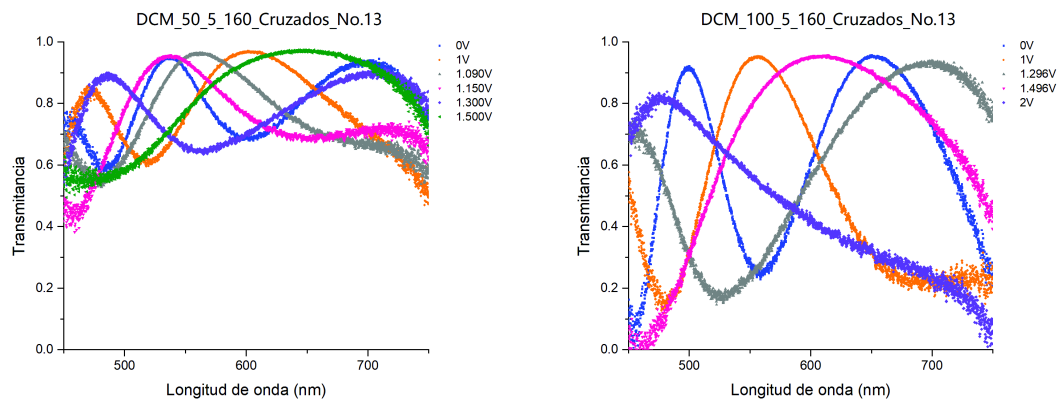
Figura 8.37: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.12

Al introducir el colorante láser DCM a concentración 50 g/dL en la muestra, notamos que hay una disminución en el ancho de la banda de transmisión aproximadamente de 25nm que se observa en la gráfica de color azul rey. Cuando se incrementó la cantidad de colesterol en la muestra (concentración 100), encontramos una inversión de la banda de transmisión. Pasó de ser un máximo de transmisión a un mínimo (color azul). Esto comparado con la muestra sin colorante láser. Al aumentar el voltaje a 1V observamos una inversión parcial de la banda de transmisión como se observa en la gráfica de color naranja en la muestra de concentración de 50 g/dL. Al incrementar el voltaje para la muestra de 100 g/dL, se realizó una inversión de la banda de transmisión completa (naranja). De un mínimo en transmitancia pasó a un máximo, con un ancho de banda apreciable. Observando ahora los resultados para 1.150V tenemos que para la muestra de 50 g/dL, notamos inversión parcial de la banda, recuperando casi la banda de la muestra sin colorante láser, pero con un ancho de banda más grande. Para la muestra de 100 g/dL, notamos a voltaje 1.150 una inversión parcial de la banda y un ancho de banda

muy grande con respecto a 1V de esta muestra. Incrementando a 2V en ambas muestras ya no se encuentran bien definidos los límites de las bandas de transmisión. Comparando ahora los resultados de polarizadores paralelos tenemos para la muestra de 50 g/dL, a 0V una banda hacia abajo con corrimiento al violeta a comparación de la muestra sin colorante láser. Para la muestra de 100 g/dL, a voltaje 0 tenemos una inversión casi total de la banda de transmisión comparado con muestra sin colorante láser que muestra una banda hacia abajo en la región del espectro de 500-650nm. Tenemos una inversión total pero con efectos de absorción notables. Para 1V en la muestra de 50 g/dL, tenemos una inversión de la banda con respecto a la banda obtenida para 0V. Comparada con la banda de la muestra sin colorante láser, tenemos una banda invertida y recorrida al espectro del violeta. Para la muestra de 100 g/dL, a 1V tenemos una inversión de la banda obtenida para 0V, con mucha absorción.

En ambas muestras se obtuvo muy buena respuesta, lo que podemos resaltar es que para la muestra con concentración de colesterol 100 g/dL, desaparecen los efectos de absorción observados en la muestra con concentración 50 g/dL. en la muestra de 50 g/dL tenemos dos inversiones parciales de la banda de transmisión. En la muestra con concentración 100 g/dL tenemos dos de igual forma, pero una de ellas inversión total y en esta muestras los anchos de banda más grandes. En polarizadores paralelos en ambas muestras se tiene una inversión parcial de la banda, la muestra con concentración de colesterol 100 g/dL, muestra en este caso más efectos de absorción.

8.3.8 DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.13



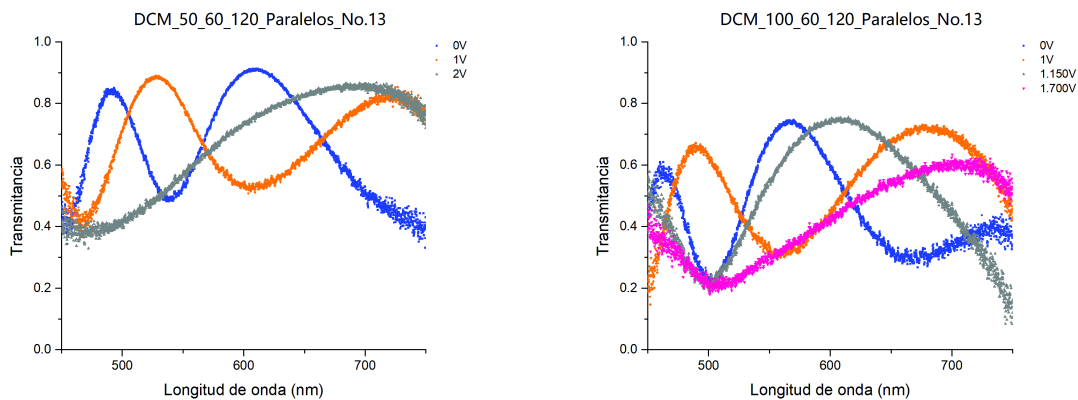


Figura 8.38: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.13

Para este ángulo de giro, se obtuvo respuesta en las muestras a concentración 50 y 100 g/dL. Compararemos las diferencias para cada caso. Observamos que para 0V en la muestra con concentración 50 y polarizadores cruzados, tenemos una banda de transmisión hacia arriba bien definida en la región de 475-625nm. Podemos decir que no hay inversión, comparando con la banda que se forma en ausencia de colorante láser. Para la muestra de 100, lo primero que notamos es que hay mucho menos absorción que en la muestra a concentración 50 g/dL. También podemos decir que hay una inversión de la banda, teniendo ahora una banda hacia abajo. Subiendo el voltaje a 1, para la muestra de 50 g/dL tenemos una inversión parcial de la banda con respecto a 0V, y para la muestra de 100 g/dL tenemos igualmente una inversión de la banda casi total. Recuperando prácticamente la banda de transmisión que se tenía en la muestra sin colorante láser. Con un ancho de banda ligeramente más grande. Los siguientes datos de las muestras no se pueden comparar entre sí, ya que no coinciden totalmente. Ahora comparando las gráficas para polarizadores paralelos, tenemos que a 0V, la muestra de 50 muestra un mínimo y un máximo en la región de 500-650nm. Mientras que para la muestra de 100 g/dL, notamos claramente la banda de transmisión en esta región, hacia arriba, lo que nos dice que hay una inversión total de la banda, comparándola con la banda que se forma en la muestra sin colorante láser que se encuentra en esta misma región del espectro, sólo que la banda de la muestra de 100 g/dL con absorción presente. Para 1V tenemos una inversión de la banda de la muestra de 50 g/dL, con respecto a la banda que formó para 0V. Y la muestra de 100 g/dL nos da también una inversión de la banda, con absorción más notable todavía.

Comparando estas dos muestras podemos decir que en la muestra con concentración de colesterol 50 g/dL se tuvo mucha más respuesta a diferentes voltajes. En esta muestra se obtuvieron dos inversiones de la banda. Pero las graficas presentaron mucha absorción y con anchos de banda pequeños. En la muestra de concentración 100 g/dL tenemos poca respuesta pero con buenos resultados, buenos anchos de banda y desaparece la absorción. Teniendo de igual forma dos inversiones de la banda. En polarizadores paralelos para ambas muestras igual se obtuvo una inversión, esta vez en la muestra con concentración 50 g/dL se tuvo menos absorción.

8.3.9 DCM concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.14

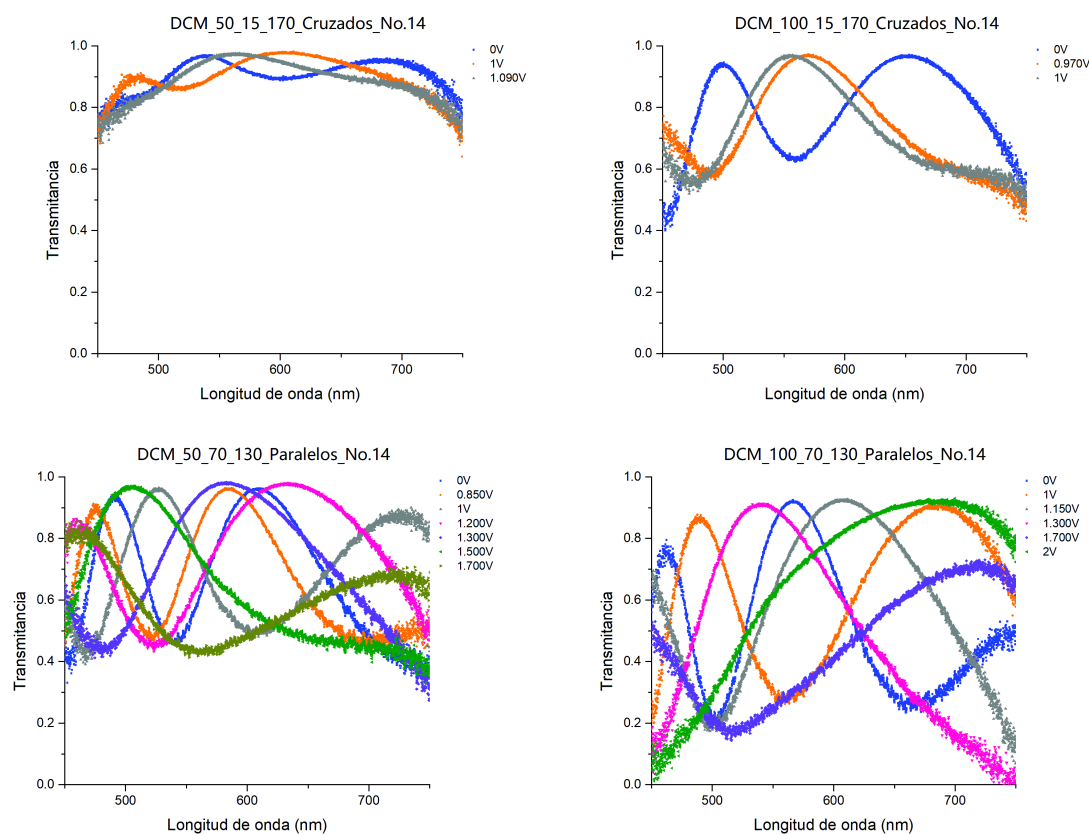


Figura 8.39: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con DCM en ángulo de giro No.14

En estas muestras en especial, para este ángulo de giro, notamos que hubo mucho más respuesta para polarizadores paralelos que para los cruzados. Analizando los polarizadores cruzados primero, tenemos que para la muestra a concentración 50 g/dL en la región de 475-625nm a 0V encontramos una banda de transmisión hacia arriba, ligeramente desplazada al espectro del violeta y con un ancho de banda grande. Notamos también mucha absorción para esta muestra. Para la muestra de 100 g/dL a ese mismo voltaje y la misma región del espectro, tenemos una banda de transmisión hacia abajo. Lo que, comparándolo con la banda de transmisión de la muestra sin colorante láser, nos dice que añadiendo el colesterol a 100 g/dL y colorante láser DCM, tenemos una inversión de la banda de transmisión. Comparando para 1V, en la muestra de 50 g/dL tenemos que hay inversión de la banda con respecto a la banda formada a 0V. Y para la muestra de 100 g/dL, tenemos de igual forma una inversión de la banda de transmisión con respecto a la banda que se formó para 0V. Comparando y analizando ahora las muestras para polarizadores paralelos, en la región del espectro de 500-650nm tenemos para la muestra de 50 g/dL, a 0V

una banda de transmisión con un mínimo y un máximo. Para la muestra de concentración a 100 g/dL, en esta región del espectro tenemos una banda de transmisión muy clara que comparándola con la banda de transmisión de la muestra sin colorante láser, podemos decir que la banda de la muestra de 100 g/dL está totalmente invertida. Al agregar campo eléctrico a 1V tenemos para la muestra de 50 una inversión parcial con respecto a la banda a 0V. En la muestra de 100 g/dL, tenemos de igual forma una inversión de la banda casi total, con respecto a la banda formada para 0V. Con 1.3V para la muestra de 50 g/dL tenemos nuevamente inversión parcial de la banda, recuperando casi a la banda de la muestra sin colorante láser, sólo que la banda para la muestra de 50 g/dL con un ancho de banda mucho más grande. Para la muestra de concentración 100 a 1.3V tenemos de igual forma, inversión parcial de la banda, casi recuperando de igual forma, la banda de la muestra sin colorante láser. Con menos absorción, comparada con al muestra de concentración 50 g/dL.

En estas muestras notamos que hubo inversión de las bandas de transmisión para polarizadores cruzados, pero tuvo mucho mejor respuesta para polarizadores paralelos. Para la muestra de concentración 50 g/dL, tenemos gran respuesta, pero con absorción presente. Aun así, se obtienen dos inversiones parciales de la banda de transmisión. Para la muestra con concentración de 100 g/dL, tenemos gran respuesta y menos absorción presente. Bandas con ancho de banda mayor y mejor definidas. Tenemos dos inversiones de la banda de transmisión de igual forma, una de ellas con un ancho de banda no muy bueno, pero la otra con inversión casi total.

8.3.10 Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.15

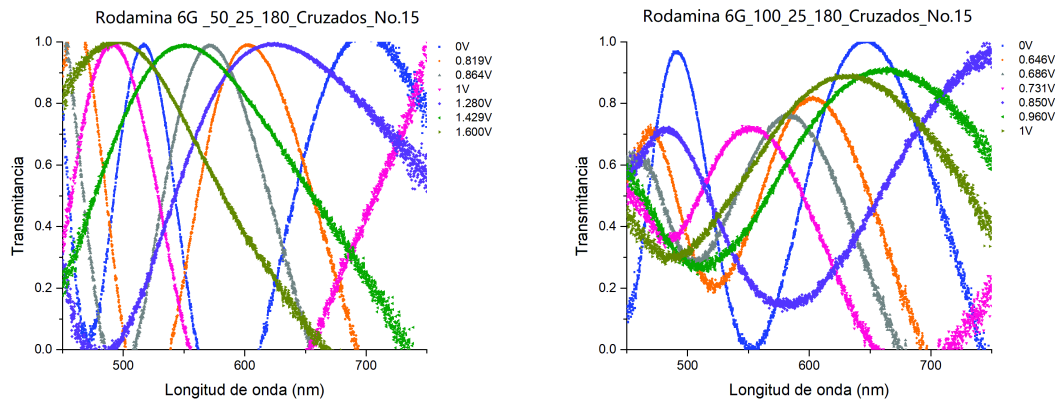


Figura 8.40: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.15

Notamos que para polarizadores cruzados a concentración de colesterol 50, hubo mucha respuesta a diferentes voltajes aplicados, comparando esta gráfica con la muestra sin colorante láser notamos que para 0V la banda de transmisión no se invirtió pero hubo corrimiento hacia la región del espectro del violeta considerable, con una reducción del ancho de banda muy notable, aproximadamente de 75nm. Para la muestra de polarizadores cruzados a concentración 100 g/dL

de colesterol, tenemos una inversión de la banda a voltaje 0 y reducción del ancho de banda, pero muy mínimo, comparado con la muestra sin colorante láser. Casi se recuperó el ancho de banda, pero hubo inversión de la banda. Al aumentar el voltaje a las muestras, notamos mucha respuesta en intervalos no muy grandes de diferentes voltajes. Pero tenemos comparación de resultados para la respuesta de 1V. A 1V la muestra de concentración 50 g/dL, muestra un comportamiento similar al no ser sometida a campo eléctrico. Notamos un ancho de banda un poco más grande, corrimiento mayor de la banda, hacia la región del violeta. En el caso de la muestra con concentración de 100 g/dL, para 1V notamos absorción de la banda, y en la región de 475-625nm sólo se alcanza a observar un mínimo y un máximo en la banda de transmisión pero no se aprecia la banda bien definida. Sólo notamos que de 500-750nm tenemos una banda hacia arriba.

En ambas muestras se obtuvo gran respuesta, para la muestra de concentración 50 g/dL, tenemos dos inversiones parciales de las bandas de transmisión, con anchos de banda muy grandes. Para la muestra con concentración 100 g/dL tenemos de igual forma dos inversiones parciales de la banda de transmisión. Con efectos de absorción en las bandas al aplicar campo eléctrico.

8.3.11 Rodamina 6G concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL ángulo de giro No.33

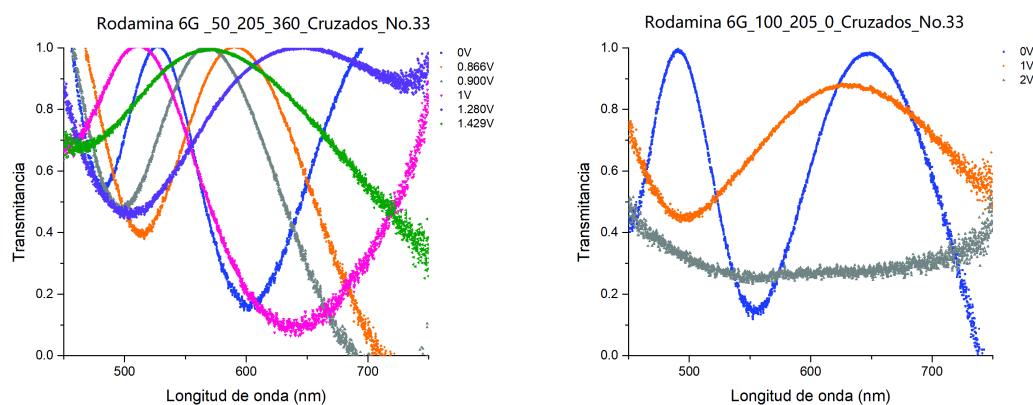


Figura 8.41: Comparación muestras concentración de colesterol 50 g/dL y 100 g/dL con Rodamina 6G en ángulo de giro No.33

Comparando la gráfica de polarizadores cruzados con colorante láser y concentración de colesterol a 50 g/dL con la gráfica de polarizadores cruzados para la muestra sin colorante láser observamos que a 0V no hay inversión de la banda de transmisión, sólo un corrimiento de la banda hacia regiones del espectro del violeta y absorción de la banda. Para la muestra de concentración 100 g/dL, a 0V tenemos una inversión de la banda de transmisión, comparado con la muestra sin colorante láser. Introducimos 1V a las muestras, y para la muestra con concentración de 50 g/dL, notamos que el comportamiento de la banda es muy similar a cuando no aplicamos campo eléctrico. La banda sigue hacia arriba, con un aumento considerable del ancho de banda, y un corrimiento más grande hacia regiones del violeta. Para la muestra de concentración 100, tenemos

que a 1V, la respuesta de la banda muestra mucha absorción comparando la banda a la banda sin voltaje aplicado se tiene una inversión parcial de la banda. Los siguientes voltajes aplicados a las muestras con polarizadores cruzados no se pueden comparar.

La muestra que más obtuvo respuesta fue la muestra a concentración 50. en esta muestra, para polarizadores cruzados tenemos dos inversiones parciales de la banda de transmisión. Las inversiones dándose en un intervalo pequeño de voltajes. En polarizadores paralelos, esta muestra tiene respuesta de igual forma, pero con efectos de absorción más notables. Con dos inversiones parciales de la banda de transmisión. En la muestra de concentración 100 g/dL tenemos solamente una inversión parcial de la banda, y en polarizadores paralelos no se encuentran bien definidos los límites de la banda de transmisión.

Capítulo 9

Conclusiones

En esta tesis se recopiló información sobre los cristales líquidos y sus propiedades ópticas. De igual forma en la parte experimental del trabajo, se puso en práctica la teoría y se reunieron datos útiles para el mejor entendimiento del comportamiento de los cristales líquidos y colorantes láseres bajo la aplicación de voltaje a las muestras, y agregado de diferentes concentraciones de colesterol. Se implementó un arreglo óptico con el cual se analizaron datos de transmitancia de las muestras. Se analizó transmitancia para las muestras elaboradas las cuales fueron la muestra base, y muestras con concentraciones de colesterol de 50 g/dL y 100 g/dL. Con los diferentes colorantes láseres utilizados: DCM y Rodamina 6G. Esto con el fin de analizar las bandas de transmisión de cada muestra, compararlas entre sí, y ver si estas contaban con la propiedad de reversibilidad que es la cual hace posible la aplicación para grabados ópticos, en los cuales se almacena información y gracias a la reflectividad de la banda, al sintonizar cierto voltaje, podemos obtener otro tipo de información guardada.

En todas las muestras en las que hubo inversión podemos concluir que pueden ser utilizadas como grabadores ópticos. En esos intervalos de longitud de onda donde realizan la inversión, se puede guardar o grabar información digital que puede recuperarse o borrarse cuando se le aplica un campo eléctrico específico, se le agrega concentración de colesterol o colorante láser. En casi todas las muestras se realizan múltiples inversiones lo cual las hace muy eficientes en un rango de la longitud de onda específico. Ya que algunas veces se realiza solamente inversión parcial de la banda.

En el caso de polarizadores paralelos, en las muestras con colorante láser DCM podemos notar que en la mayoría de las gráficas hay mucha absorción, se ve muy disminuida la intensidad en las gráficas. Pero agregando concentración de colesterol, las muestras se hicieron más quirales y teníamos menos efectos de absorción y gráficas más definidas. En las muestras de Rodamina de igual forma, al agregar colesterol, se compensan los efectos de absorción y la muestra se hace más quiral.

Al agregar concentración de colesterol de 50 g/dL y 100 g/dL la muestra se hace más quiral y lo notamos observando que en las gráficas de resultados tenemos menos absorción y las bandas de transmisión se encuentran bien definidas. Estas muestras pueden ser utilizadas como biosensores de igual forma. Sabemos que un paciente en riesgo de paro cardíaco por los niveles de colesterol alto, se encuentra arriba de 200mg/l de concentración. Nosotros hemos sentido ópticamente concentraciones de colesterol de 50 g/dL y de 100 g/dL, por lo que tenemos parámetros para

medir el colesterol en pacientes sanos. En un futuro se tendría que tomar la muestra de sangre del paciente, separar por medio del método de centrifugación el colesterol, añadirlo en la muestra de cristal líquido y analizar los espectros de transmisión obtenidos por el método óptico propuesto en el procedimiento. Nosotros utilizamos colesterol procesado adquirido de sigma aldrich.

Estas muestras de colesterol, también las podemos utilizar como grabador óptico ya que hay inversión de las bandas en ellas también. Si no hay inversión de la banda podemos concluir, que las moléculas del colorante láser, se alinean paralelas al eje helicoidal del cristal líquido colestérico. Y cuando hay inversión de la banda al agregar el colesterol, concluimos que las moléculas del colorante láser, se alinean perpendiculares al eje helicoidal del cristal líquido colestérico.

Al analizar los resultados, y comparar las muestras en un mismo ángulo de visión, refiriendonos al ángulo de visión como el ángulo en el que posicionamos a los polarizadores en el arreglo óptico, podemos notar que muestran mucho mejor respuesta las muestras con concentración de colesterol agregado. Cuando en la primera sección comparamos tres muestras en un mismo ángulo de visión, se obtuvo mucho mejor respuesta para la muestra con concentración de colesterol de 50 g/dL. Al comparar las muestras de concentración 50 g/dL y 100 g/dL para el mismo ángulo de visión, cuando se utilizó el colorante láser DCM se obtuvo mejor respuesta para las muestras con concentración de colesterol de 100 g/dL. Y al comparar las muestras con concentración 50 g/dL y 100 g/dL con colorante láser Rodamina 6G, se obtuvo mejor respuesta en las muestras con concentración de 50 g/dL. También se observó que en varias gráficas obtenidas al analizar para las muestras de concentración 100 g/dL, obtuvimos inversión de la banda de transmisión a 0V, comparándola con el resultado de la muestra sin colorante láser ni colesterol aplicado.

Apéndice A

Ángulo de giro de los polarizadores

El ángulo de giro se refiere al ángulo en el que se posicionan los polarizadores, nombrando como polarizador 1 al polarizador situado del lado izquierdo en el arreglo óptico y polarizador 2 al polarizador posicionado del lado derecho del arreglo.

Se anexan las tablas respectivas para polarizadores cruzados y polarizadores paralelos, con los respectivos ángulos de giro en los que se realizaron las mediciones a distinta variación de campo eléctrico aplicado a las muestras.

Polarizadores cruzados		
No. ángulo de giro	Ángulo polarizador 1	Ángulo polarizador 2
No.1	245°	40°
No.2	255°	50°
No.3	265°	60°
No.4	275°	70°
No.5	285°	80°
No.6	295°	90°
No.7	305°	100°
No.8	315°	110°
No.9	325°	120°
No.10	335°	130°
No.11	345°	140°
No.12	355°	150°
No.13	5°	160°
No.14	15°	170°
No.15	25°	180°
No.16	35°	190°
No.17	45°	200°
No.18	55°	210°
No.19	65°	220°
No.20	75°	230°
No.21	85°	240°
No.22	95°	250°
No.23	105°	260°
No.24	115°	270°
No.25	125°	280°
No.26	135°	290°
No.27	145°	300°
No.28	155°	310°
No.29	165°	320°
No.30	175°	330°
No.31	185°	340°
No.32	195°	350°
No.33	205°	360°
No.34	215°	10°
No.35	225°	20°
No.36	235°	30°

Tabla A.1: Ángulos de giro para polarizadores cruzados

Polarizadores paralelos		
No. ángulo de giro	Ángulo polarizador 1	Ángulo polarizador 2
No.1	300°	0°
No.2	310°	10°
No.3	320°	20°
No.4	330°	30°
No.5	340°	40°
No.6	350°	50°
No.7	360°	600°
No.8	10°	70°
No.9	20°	80°
No.10	30°	90°
No.11	40°	100°
No.12	50°	110°
No.13	60°	120°
No.14	70°	130°
No.15	80°	140°
No.16	90°	150°
No.17	100°	160°
No.18	110°	170°
No.19	120°	180°
No.20	130°	190°
No.21	140°	200°
No.22	150°	210°
No.23	160°	220°
No.24	170°	230°
No.25	180°	240°
No.26	190°	250°
No.27	200°	260°
No.28	210°	270°
No.29	220°	280°
No.30	230°	290°
No.31	240°	300°
No.32	250°	310°
No.33	260°	320°
No.34	270°	330°
No.35	280°	340°
No.36	290°	350°

Tabla A.2: Ángulos de giro para polarizadores paralelos

Bibliografía

- [1] Carlos Velázquez. *Pantallas de cristales líquidos*. De Sociedad y tecnología. Cienciorama UNAM, 2016.
- [2] Mariano L Bossi. *Fotocroismo en cristales líquidos nemáticos y colestéricos*. Universidad de Buenos Aires, 2003.
- [3] Michael Widom. *Liquid Crystal*. Encyclopaedia Britannica, Inc, 2019.
- [4] R. Chávez y J. Santiago. Cristales líquidos parte 1: Cristales termotrópicos. *Revista de Química*, diciembre 1999.
- [5] Denis Andrienko. *Journal of Molecular Liquids*. 2018.
- [6] Igor Muševič. *Liquid Crystal Colloids*. Soft and Biological Matter. Springer International Publishing, 2017.
- [7] Matias. *Polímeros y Cristales Líquidos ferroeléctricos*. Textos Científicos, 2015.
- [8] Eugene Hecht. *Óptica*. Addison Welsey Iberoamericana, 3ra edition, 2000.
- [9] The Physics Classroom. *Polarization by Use of a Polaroid Filter*. 2015.
- [10] Banco de Imágenes Geológicas. *Calcita (Espato de Islandia) - 03*. febrero 2010.
- [11] Saguenay Minerals. *Hiperstena*. 2008.
- [12] F. P. Schäfer. *Dye Lasers*. Topics in Applied Physics. Springer International Publishing, 1973.
- [13] M. Villagran M. *Láseres de colorantes pulsados para fines didácticos*. Revista Mexicana de Física, 1995.
- [14] María Mercedes Pintado Sierra. *Síntesis, propiedades fotofísicas y evaluación láser de colorantes con emisión en la región roja del espectro*. Tesis de la Universidad Complutense de Madrid, 2010.
- [15] Roberto Emir Di Paolo. *Determinación de la estructura isomérica de colorantes fotoisomerizables mediante el estudio de polarización de la fluorescencia*. Tesis de doctorado, Centro de Investigaciones Ópticas; Instituto de Investigación en Informática, 1997.
- [16] *Rodamina*. Wikipedia, 2019.

- [17] Amir Golan. *Dye Lasers*.
- [18] J. He S. T. Zhang Y. Q. Zhan X. J. Wang Z. H. Xiong H. Z. Shi G. Y. Zhong, Z. Xu and X. M. Ding. *Aggregation and permeation of 4-(dicyanomethylene)-2-methyl-6-(pdimethylaminostyryl)-4H-pyran molecules in Alq*, volume 81 of 6. Applied physics letters, 2002.
- [19] Manjeev Singh Ravi Kumar Kanaparthi, Satyen Saha and Akhila M. *Photophysical Properties of 4-(Dicyanomethylene)-2-Methyl-6-(4-Dimethylaminostyryl)-4H-Pyran (DCM) and Optical Sensing Applications*. Intechopen, 2020.
- [20] Maryam Golbabaeeb Seyed Hassan Nabavia, Mohammad Hassan Khodabandehb and Ahmad Moshaiia. *Absorption of DCM Dye in Ethanol: Experimental and Time Dependent Functional Study*, volume 12. Winter-Spring, 1 edition, 2018.
- [21] C. P. PLEASE R. H. SELF and T. J. SLUCKIN. *Deformation of nematic liquid crystals in an electric field*, volume 13. Euro. Jnl of Applied Mathematics, 2002.
- [22] Luo D. Luan C, Luan H. *Application and Technique of Liquid Crystal-Based Biosensors*. Micromachines (Basel), 2020.
- [23] Yan-Yeung Luk Nicholas L. Abbott* Jeffrey M. Brake, Maren K. Daschner. Biomolecular interactions at phospholipid-decorated surfaces of liquid crystals. *Science*, 302:2094–2097, december 2003.
- [24] Timothy B. Dubrovsky† Nicholas L. Abbott Vinay K. Gupta*, Justin J. Skaife. Optical amplification of ligand-receptor binding using liquid crystals. *Science*, 279:2077–2080, march 1998.
- [25] Harry Coles and Stephen Morris. Liquid-crystal lasers. *Nature Photonics*, 4:676–685, 09 2010.
- [26] Yao Min Wang Fei Chen, Zhao Yang Zhang. Investigation of laser marking technology with the image mask of liquid crystal display. *Scientific Net*, pages 633–636, december 2010.
- [27] Luis Ernesto Elizalde Herrera Felipe Ávalos Belmonte Gladys de los Santos-Villarreal, Diana Iris Medellín-Banda. Compuestos fotocromáticos: Moléculas inteligentes y con buena memoria. *Universidad Autónoma de Coahuila*.
- [28] Masahiko Sisido Hiroaki Narisawa, Ryoichi Kishia. Photocontrol of orientation of photochromic dichroic dyes in cholesteric polymer films. *Macromol. Chem. Phys.*, 1994.