

“Color y polarización”

Experimentos de óptica para la Escuela Media

Una propuesta para llevar la ciencia a la Escuela

Guía para docentes

Por Laura Estrada y Andrea Bragas

Propuesta pedagógica:

Este trabajo intenta acercar a los docentes de la Escuela Media una forma de introducir los conceptos de color y polarización mediante experimentos sencillos que pueden hacerse en el aula. La idea es el puntapié inicial de una metodología pero se puede extender fácilmente a otros conceptos de la óptica. Básicamente se trata de utilizar un retroproyector y elementos que son muy familiares a los alumnos, baratos, fáciles de conseguir y reemplazar en caso de pérdidas. A este escrito se adjunta un kit completo para realizar todas las experiencias aquí propuestas. Este tipo de propuesta sirve a manera de prácticas demostrativas, pero en caso de querer extenderse a una práctica que involucre el trabajo individual (o en pequeños grupos) de los alumnos, puede reemplazarse el retroproyector por linternas (blancas de leds preferentemente¹) en la mayoría de los casos. De todas maneras, aún en el caso en que el docente sea el único que maneje el material, la idea es tender a una participación activa de los alumnos que enriquezca la discusión y clarifique los conceptos.

El trabajo se divide de la siguiente manera:

| | |
|--|--------|
| Descripción de los elementos del kit con fotos | pág 3 |
| Experimentos: | |
| Primera Parte: Color | pág 6 |
| Segunda Parte: Polarización | pág 11 |
| Tercera Parte: Color y polarización | pág 16 |

1. Este tipo de linternas pueden conseguirse en las casas de insumos para camping, aunque su uso es tan extendido hoy en día que pueden comprarse también en supermercados y negocios de importados.

Fotos de algunos de los elementos del kit

- Prisma de acrílico vacío
- Soporte torre
- Acrílico fluorescente
- Arreglo con 3 espejos
- Filmina con 3 colores (rojo, verde y azul)
- Círculos de filmina (magenta, cyan, amarillo)
- Máscara de cartulina con 2 agujeros pequeños
- 2 Vasos transparentes
- 2 polarizadores
- acrílico tonalizado
- acrílico transparente
- base plana
- rampa de alambre
- reloj de pantalla de cristal líquido
- Portaobjetos con mica
- Portaobjetos con cinta scotch

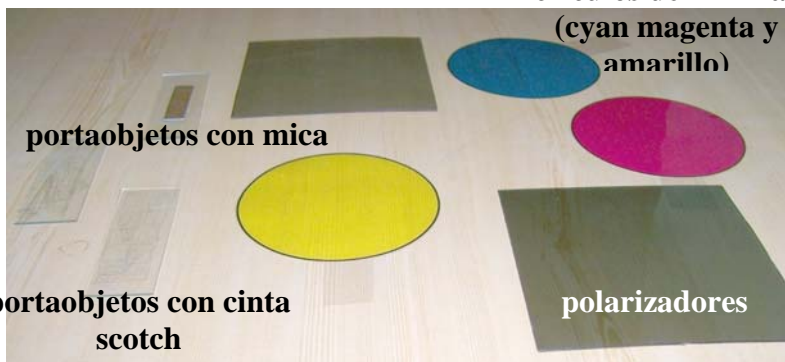
piezas para armar soporte torre



soporte torre

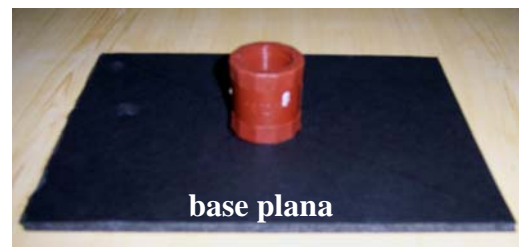
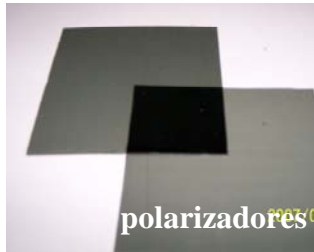


círculos de filminas
(cyan magenta y amarillo)



arreglo de 3 espejos





Esquema general

A continuación se presenta la propuesta general de experimentos que van introduciendo a los alumnos progresivamente en los conceptos de color y polarización de la luz. Este esquema es tentativo, queda a criterio del docente alterar el orden si lo considera necesario. En las secciones siguientes se hace una descripción detallada de cada uno de los experimentos, puntualizando tanto los aspectos prácticos como la discusión de los conceptos en cada caso.

Primera parte: ¿Qué es el color?

1. Descomposición de luz blanca por un prisma vacío y con agua. ¿A qué velocidad viaja la luz? Descomposición de luz blanca por un CD o DVD.
2. De qué color es un objeto. Análisis de unacrílico fluorescente. Transmisión, reflexión, dispersión, fluorescencia.
3. Color por adición y color por sustracción. ¿Cuáles son los colores primarios?
4. ¿De qué color es el cielo?. Luz de día y atardecer. Transmisión y dispersión de la luz blanca en una emulsión.

Segunda parte: ¿Qué es la polarización de luz?

5. Juego con polarizadores y filtros. O cómo saber si un par de anteojos es polarizado.
6. Polarización por reflexión. El fondo del lago.
7. Polarización en una pantalla de cristal líquido.

Tercera parte: Color y polarización

8. Birrefringencia en mica y cinta scotch
9. Birrefringencia inducida por tensión.
10. Poder rotatorio del azúcar.
11. ¿La luz del cielo está polarizada? O cómo saber si un par de anteojos es polarizado (bis)

Primera parte: ¿Qué es el color?

Introducción:

Antes de comenzar con los experimentos es bueno establecer una charla con los alumnos para introducirlos en el tema y ver cuáles son sus preconcepciones u observaciones empíricas sobre la óptica y en particular los temas aquí tratados.

Preguntarles qué es la luz puede ser un buen comienzo. Aquí habrá distintas definiciones y puede ser de utilidad anotar algunas de estas (y otras) observaciones en un pizarrón. Seguramente habrá quién afirme que la luz es una onda. ¿Qué es una onda? ¿Qué se mueve en una onda? Hacia mitad del siglo XIX, un físico llamado Maxwell propuso una serie de ecuaciones que describen el comportamiento de las ondas electromagnéticas (aquellas en las que lo que se mueve son entidades más o menos abstractas como son el campo eléctrico y el magnético), y la luz tiene un comportamiento que responde muy bien a estas ecuaciones (en la gran mayoría de los casos). Toda onda electromagnética tiene asociada un período y una longitud de onda. ¿Cómo detectamos esas ondas? Hay variados instrumentos, pero ninguno puede detectar todo el rango de longitudes de onda, o lo que los físicos llaman el *espectro electromagnético*. Nuestro detector fisiológico, formado por los ojos y el cerebro puede “ver” solamente un pequeño rango de ese espectro, al que se le llama luz visible o simplemente luz. (¿Conocen algún otro tipo de onda electromagnética? ¿Con qué se detecta?) Esta (muy) pequeña parte del espectro, es sin embargo muy importante ya que tiene que ver con nuestra percepción del mundo a través de los ojos, y merece un nombre especial en la física: la óptica.

Ahora cabe preguntarles qué es el color. Habrá distintas definiciones, este es un concepto bastante ambiguo. Para un físico el color está asociado a la longitud de onda de la luz. Decimos que la luz es monocromática (un color) cuando tiene un valor perfectamente definido de su longitud de onda. Para ponernos en números, una longitud de onda de 530 nanómetros (cuanto es un nanómetro?) se percibe como verde, una de 580 nanómetros como amarilla y una de 650 nanómetros como roja. Pero vamos a ver que no siempre se puede asociar la percepción de un determinado color a una sola longitud de onda. Por ejemplo, si tenemos dos fuentes monocromáticas, una que percibimos como verde y otra que percibimos como roja, y las hacemos iluminar un mismo punto en una pantalla, se percibe como amarilla!. ¿No lo creen? Ya lo veremos y explicaremos el por qué en los experimentos que siguen.

¿El blanco es un color? Veamos.

Experimento 1: Descomposición de la luz blanca

Materiales:

- Máscara de cartulina con ranura
- Prisma de acrílico vacío
- Agua
- Soporte torre
- CD o DVD

En este experimento se pretende que vean el espectro de la luz, descomponiendo la luz blanca del retroproyector con un prisma (y más tarde con un CD o DVD). La luz del retro es muy potente y esto es lo que lo hace atractivo para estos experimentos demostrativos, pero asimismo, es importante restringir el paso de la luz ya que de otra manera podemos enmascarar el experimento impidiendo que se vea con comodidad. Para lograr esto es fundamental que pongan sobre el retro la máscara y que proyecten sobre una pantalla blanca.

Algunos de los alumnos conocerán el experimento de Newton y dirán que la luz blanca está compuesta de muchos colores, que se pueden descomponer con un prisma. Es el momento de poner el prisma de acrílico sobre el soporte torre, y ver qué sucede. Nada, o prácticamente nada (el prisma está relleno con aire). Es decir que la luz sobre la pantalla sigue siendo tan blanca como antes de pasar por el prisma. Acá se puede hacer la pregunta de cuál es la velocidad de la luz. O sea a qué velocidad se propaga esa onda. ¿Dependerá del color? (a esta altura ya deberían estar sospechándolo). Qué pasa si rellenos el prisma con un medio material, por ejemplo agua. Inmediatamente verán los colores bien separados (esto suele causar un ohh!, se puede vaciar y volver a rellenar con agua para que lo vean bien). Esta separación en colores es producto de las diferentes velocidades de propagación de los distintos colores en un medio (el aire es muy parecido al vacío y, en ese caso, todos viajan a la misma velocidad en él). La geometría del prisma hace que esa diferente velocidad se traduzca en distintos ángulos de propagación fuera del prisma. Si bien son experimentos fenomenológicos, se puede mencionar que los físicos modelan muy bien este comportamiento (e incluso si está en el programa, prometerles que verán la deducción formal en clase y/o hablarles del índice de refracción).

Aprovechando las propiedades ondulatorias de la luz y el hecho de que los “colores” tienen diferentes longitudes de onda, se pueden construir otro tipo de *espectrómetros*, o sea aparatos que separen el espectro de luz no monocromática. Un ejemplo son las llamadas redes de difracción, que consisten básicamente en una colección de líneas marcadas en un material, en arreglo periódico y muy juntas entre sí (del orden del micrón). Acá tenemos una, un CD o un DVD. Pueden poner el CD delante de la luz del retro en el lugar en el que estaba el prisma (es conveniente practicar esta parte antes de mostrársela a los alumnos, ya que

deberán sostener el CD con la mano en un ángulo que permita una correcta visualización). Notar que el CD separa los colores “al revés” que el prisma, más

Experimento 2: Color de un objeto

Materiales:

- Acrílico fluorescente

Este experimento se usará como exploratorio para el siguiente, en donde se abordará con detalle el tema del color por adición y sustracción. ¿De qué color es este objeto? El acrílico que se muestra es parecido al de algunas reglas fluorescentes que se venden en las librerías (pueden conseguirse una para mostrar que no es un material extraño sino de la vida cotidiana). Tiene la particularidad de absorber el verde, transmitir el rojo y fluorescer en naranja. Si lo sostenemos en la mano la respuesta a la pregunta será que el acrílico es naranja, ya que la fluorescencia se verá más intensa que la dispersión (el canto del acrílico se ve naranja intenso y es porque la fluorescencia generada dentro del acrílico se propaga por reflexión total interna y sale por el canto, como en una fibra óptica). Ahora, si lo apoyamos en el retroproyector y miramos la luz transmitida, o sea la imagen en la pantalla, veremos que es rosado (magenta)!. Aunque mirando directamente al retro aún se lo verá naranja. Si con cuidado se lo apoya sobre una superficie oscura tal vez veamos (esto con más dificultad) la dispersión, que es de color verde. Este ejemplo es para poner de manifiesto que no es fácil responder a esa pregunta aparentemente sencilla. Para contestarla uno debería repreguntar bajo qué condiciones de iluminación y detección se quiere saber el color. Los materiales están hechos de átomos y moléculas que juntas dan una respuesta óptica y espectral frente a un estímulo luminoso. Los materiales van a transmitir, reflejar, absorber, fluorescer (algunos), dispersar, y todo esto lo van a hacer selectivamente en longitud de onda, dependiendo de qué átomos y moléculas está hecho. A la famosa frase “depende del cristal con que se mire”, habría que agregarle “y del cristal con que se lo ilumine”!

Experimento 3: Color por adición y por sustracción

Materiales:

- Arreglo de 3 espejos
- Soporte torre
- Filmina con 3 colores (rojo, verde y azul)
- Círculos de filmina (magenta, cyan, amarillo)

En este experimento trataremos de ilustrar la formación de colores por adición y por sustracción, apuntando a que los colores son alguna expresión de las propiedades físicas de los materiales que estamos mirando, procesadas por

nuestro detector fisiológico ojo-cerebro. Los alumnos están generalmente familiarizados con lo que los profesores de plástica llaman los “colores primarios”, aquellos 3 colores a partir de los cuales se “forman” todos los otros, como nos enseñaron desde el jardín de infantes. Entonces la primera pregunta aquí es cuáles son aquellos “colores primarios”. La respuesta no se hará esperar, amarillo, azul y rojo. Aquí podemos poner los círculos de filmina sobre el retro amarillo, azul (cyan) y rojo (magenta) y mirar su imagen en la pantalla (amarillo, cyan y magenta son los colores que usan las impresoras color, y que utilizaremos en lugar de amarillo, azul y rojo). Poniendo una filmina sobre otra podremos formar todos los otros colores (los alumnos los reconocen bien), amarillo sobre cyan, verde, cyan sobre magenta, violeta, etc. Y el blanco?, mostramos en el experimento con el prisma que la luz blanca se descompone en todos los colores, por lo tanto si ponemos todos los colores juntos nos dará blanco? Qué pasó acá? todos los colores juntos, una filmina sobre otra, forman un color oscuro, casi negro (o amarronado). Lo que sucede es que de esta manera, poniendo una filmina sobre otra y mirando la luz transmitida por el retro (de la misma manera que cuando miramos dispersión en una mezcla de pigmentos, o cuando la impresora color mezcla magenta, cyan y amarillo) estamos formando colores por *sustracción*. Volveremos sobre este punto. Si juntamos todos los colores que dispersó un prisma sobre un mismo punto en una pantalla (con otro prisma por ejemplo) hacemos *adición* de colores, y los resultados son diferentes que en el caso de las témperas. Llegó el momento entonces de mostrar la adición de colores. Para esto se coloca la filmina de tres colores (RGB, rojo, verde y azul, como el logo de Telefé, ¿por que habrán elegido este logo?) y se hace incidir la luz sobre el arreglo de 3 espejos, cuya luz reflejada se dirige a la pantalla. De esta forma se pueden mezclar (por adición) los tres colores en la pantalla, moviendo los tornillos hasta lograr la intersección de los colores de a dos y de a tres. La luz que llega a nuestra retina se mezcla de la misma manera que en esta pantalla, por adición. La retina tiene tres tipos de detectores sensibles a color, uno que es más sensible al rojo, otro al verde y otro al azul. Pero con estos tres receptores el cerebro es capaz de interpretar miles de tonalidades de color. Estos tres se llaman colores aditivos primarios de luz. Acá vemos por ejemplo que la mezcla de verde y rojo nos da amarillo!, nada que ver con las témperas!. Además podemos obtener el magenta, cyan y todas las combinaciones que queramos. Si mezclamos todos juntos nos da la sensación de blanco que es cuando los tres receptores están siendo excitados más o menos con igual intensidad.

Ahora volvamos al otro caso, los 3 círculos que dijimos que funcionan como las témperas (por sustracción). Cuando iluminamos estos círculos, ellos absorben (o sustraen, de ahí la denominación por “sustracción”) parte de la luz y el resto la reflejan o transmiten. El círculo magenta (rojizo) absorbe el verde, el cyan (azulado) absorbe el rojo y el amarillo absorbe el azul. Entonces otra vez mostramos los círculos separados en el retro y les preguntamos cómo formar los colores. ¿Qué pasa si mezclamos cyan y amarillo? el cyan sustrae el rojo, el amarillo sustrae el azul, entonces tenemos verde, que es lo único que le queda al

ojo para detectar! Si ahora queremos sustraer el verde también, ¿con que lo mezclamos?, con magenta, y vemos negro, o lo que es lo mismo, ausencia de color. Ninguno de nuestros receptores en la retina (receptores: rojo, verde o azul) detectan luz.

Experimento 4: Luz de día y atardecer

Materiales:

- Máscara de cartulina con 2 agujeros pequeños
- Agua
- Leche (gotero de 1 ml y cucharita)
- 2 Vasos transparentes

Una pregunta que siempre hacen los alumnos es por qué el cielo es celeste, y podríamos agregar por qué es rojizo al atardecer. Este experimento es para ilustrar lo que sucede con la dispersión de la luz del sol en la atmósfera terrestre y que nos da la sensación de cielo azul o cielo rojo. Para ello vamos a colocar dos vasos llenos de agua sobre cada uno de los agujeros de la máscara. Uno de ellos es el “control” y el otro será el “experimento”. La luz blanca del retro atraviesa los vasos con agua y se proyecta sobre la pantalla como dos círculos blancos. Al recipiente “experimento” se le echa aproximadamente 0.5 ml de leche y se revuelve. El círculo en la pantalla tomará ahora un color rojizo, mientras que el recipiente mirado de costado tendrá un aspecto azulado. ¿Qué es lo que está pasando y cómo se relaciona con el cielo de día y el cielo al amanecer?. Existen en la atmósfera moléculas de distintos gases y pequeñas partículas de polvo, que en este experimento las simulamos con las proteínas de la leche, que dispersan la luz en todas las direcciones. La dispersión es en la misma longitud de onda (color) que la absorción. Resulta ser que para partículas pequeñas (mucho más chicas que la longitud de onda) la absorción (y por ende la dispersión) es mayor cuanto más azul es la luz. O sea que si incidimos con la luz del retro (que simula la luz del sol) compuesta por todos los colores del espectro visible, la emulsión absorbe y dispersa en mayor medida los azules y en menor medida los rojos. Es por esto que vemos la mancha roja en la pantalla. Por otro lado si miramos la emulsión directamente veremos un tinte azulado que corresponde a la dispersión de la luz del retro. Esto es equivalente a lo que pasa cuando miramos el sol en el horizonte (amanecer y atardecer), en los que la luz del sol atraviesa una distancia mucho mayor que durante el día y sólo vemos lo que transmite, el rojo. Cuando es de día vemos claramente la dispersión que es azul.

Segunda Parte: Polarización de la luz

Introducción

Luego de haber discutido que la luz es una onda, en esta sección hablaremos de una característica importante que es el estado de polarización de la onda. La luz es una onda transversal, es decir que el campo eléctrico y magnético (perpendiculares entre si) oscilan en el plano perpendicular a la dirección de propagación de la onda. El estado de polarización de la luz está determinado por la manera en que el campo eléctrico (o magnético) vibra en función del tiempo. Un caso particular y muy importante es el de polarización lineal, estado para el cual el campo eléctrico vibra siempre en una dirección determinada, contenida dentro del plano perpendicular a la propagación. Es con este tipo de polarización que vamos a jugar mayormente en esta sección. El otro caso extremo es de luz no polarizada, o mejor dicho polarizada aleatoriamente, como la luz natural del sol o la luz de la lámpara del retro, en la que el estado de polarización cambia constantemente sin una regla determinada. Vamos a tratar de introducir estos conceptos con los elementos que ellos conocen de la vida cotidiana y posteriormente se le puede dar un tratamiento mas formal y eventualmente volver a hacer todos los experimentos una vez que ellos conozcan el formalismo de la polarización.

Experimento 5: Juego con polarizadores y filtros. O cómo saber si un par de anteojos es polarizado.

Materiales:

- 2 polarizadores
- acrílico tonalizado

Entonces ahora hablaremos de otra característica importante de la luz y es su estado de polarización. Imagínense que la onda, que es la luz, se viene propagando en esta dirección. Resulta que la luz es una onda transversal y eso significa que el campo eléctrico siempre vibra en el plano perpendicular a esta dirección de propagación, nunca se sale de allí. La luz natural tiene la particularidad de vibrar en todas las direcciones contenidas en ese plano simultáneamente, no tiene un comportamiento regular sino aleatorio (en realidad cambia de estado de polarización muy rápidamente, tanto, que cualquier medición que podamos hacer en los tiempos aquí involucrados en estos experimentos no puede distinguirlos). Ahora, si nosotros trazamos en este plano dos direcciones perpendiculares imaginarias (digamos x e y), y construimos un objeto que deje pasar solo la componente de la luz natural que vibra en una de esas direcciones, digamos x , tendremos a la salida lo que se llama luz linealmente polarizada (en x). A ese objeto se lo llama polarizador. Alguien sabe lo que es, o escuchó alguna vez hablar de polarizadores? Aquí es donde los alumnos aportarán su experiencia

cotidiana, seguramente nombrarán al menos los anteojos polarizados y los vidrios polarizados de los autos (en realidad la que está polarizada es la luz que los atraviesa, estos son polarizadores). Pero alguien sabe las características que deben tener los vidrios polarizados?, mmm... Veremos. Aquí les enseñaremos como distinguir si nos están vendiendo algo que realmente es polarizado o una burda imitación (la primera cosa que nos va a dar una pista es el precio, un antejo polarizado puede costar 30 veces o más que uno que no lo es!. Algo que nos llamó la atención cuando estábamos preparando este práctico es que en los negocios de “vidrios polarizados” nadie sabe muy bien qué es lo que están vendiendo!). Bien, dijimos que después del polarizador, la luz del retro, que es similar a la luz natural, debería estar oscilando en una sola dirección, digamos x . Consideren estos dos materiales (ponemos al acrílico tonalizado y el polarizador sobre el retro). Ambos tienen aparentemente el mismo aspecto, filtran un poco la luz. En realidad este es el primer efecto que se desea en un auto con vidrios polarizados, y es reducir la luz dentro del auto, y por ende el calor. Pero no es el único efecto deseado (ya lo veremos en el siguiente experimento). ¿Cómo harían ustedes para demostrar que están polarizando la luz en una dirección?. Que pasaría si ahora conseguimos un polarizador que deje pasar la luz que oscila en el eje y y lo colocamos sobre el polarizador que deja pasar la que oscila en el eje x ? No pasaría nada de luz. En efecto, colocamos el segundo polarizador sobre ambos objetos y rotándolo conseguiremos, en algún ángulo, que uno de ellos se verá negro (no pasa la luz) y el otro se verá siempre igual. O sea que la manera de darnos cuentas si un objeto es un polarizador es rotándolo frente a una fuente de luz polarizada y viendo que cambia la intensidad de luz hasta hacerse cero. En el caso de los anteojos o de los vidrios de un auto podemos rotar la cabeza y ver como cambia la intensidad. Pero para hacer esta prueba, o necesitamos un polarizador para polarizar la luz natural o una fuente de luz polarizada. En los experimentos siguientes veremos que no es tan difícil encontrar fuentes de luz polarizada a nuestro alrededor.

Experimento 6: Polarización por reflexión. El fondo del lago.

Materiales:

- 1 polarizador
- acrílico transparente
- soporte torre
- base plana
- rampa de alambre
- Máscara de cartulina con 1 agujero

Volvamos a los anteojos polarizados. Estos anteojos son muy confortables para manejar, o para ir a la nieve, y alguna vez habrán escuchado que disminuyen el reflejo tanto en el pavimento como en la nieve. Cómo es eso?. Vamos a simular una situación real con un experimento aquí. Supongamos que estamos en un

bote, sobre un lago y el sol refleja en la superficie del lago. Si pueden imaginarse una situación como esta (similar a la del pavimento o la nieve) recordarán que la reflexión del sol en el lago puede ser muy brillante y en ciertas situaciones puede llegar a cegarnos. Pues bien, si tuviéramos puestos un par de anteojos polarizados veríamos sin problemas el fondo del lago sin percibir el molesto reflejo brillante. Esto por qué pasa? Este acrílico transparente simula la superficie del lago, lo colocamos sobre este soporte de alambre para darle un ángulo, simulando el ángulo con que incide la luz del sol (todo montado sobre el soporte torre con la base plana). Ponemos la mascara sobre el retro y hacemos incidir la luz en el lago. Veremos dos círculos de luz en la pantalla, uno debido a la reflexión en el lago (arriba) y el otro a la transmisión (abajo). Ahora rotamos el polarizador frente a uno y otro círculo y veremos que la reflexión esta polarizada!, en cambio la transmisión lo esta sólo parcialmente y casi no se notan diferencias de amplitud cuando se rota el polarizador. Este fenómeno lo describen bien las leyes de la óptica, y sucede cuando el ángulo de incidencia de la luz sobre una superficie es mayor que un cierto ángulo conocido como ángulo de Brewster. La polarización de la luz reflejada es bien conocida y es siempre paralela a la superficie reflectora. Es decir que el fabricante de anteojos lo único que tiene que hacer es elegir el eje del polarizador de los anteojos perpendicular a las superficies horizontales y habrá logrado anular todo reflejo.

Experimento 7: Polarización en una pantalla de cristal líquido.

Materiales:

- 1 polarizador
- reloj de pantalla de cristal líquido

Veremos otro ejemplo práctico de polarización, las pantallas de cristal líquido (o LCD, por sus iniciales en inglés *Liquid Cristal Display*). Estas pantallitas las conocemos bien ya que están incluidas en muchos equipos que utilizamos en la vida cotidiana, como ser en los televisores y los relojes digitales. Veamos que sucede en cada píxel de este reloj digital (cada segmentito que conforma al reloj), que además es muy barato y sencillo de conseguir (por ejemplo en cualquier casa de “todo por 2 pesos”)

Un píxel está conformado por moléculas de cristal líquido, dos vidrios que poseen un depósito de un material conductor semitransparente que forman los electrodos mediante los cuales se puede aplicar tensión, y dos láminas polarizadoras como se muestra en la Figura 1.

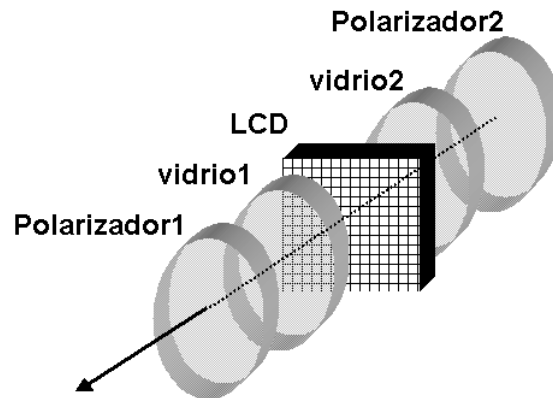


Figura 1: Componentes de una pantalla de cristal líquido típica.

Las moléculas de cristal líquido tienen forma elipsoidal, son birrefringentes y están ordenadas en forma de espiral, de manera que la primera molécula está orientada paralela al primer eje del polarizador y la última molécula paralela al segundo eje del polarizador como puede verse en la Figura 2a.

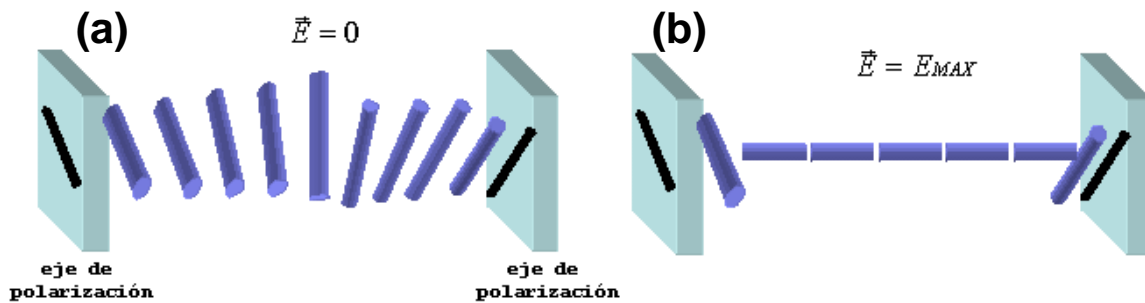


Figura 2: Disposición de las moléculas en una LCD en distintas condiciones de campo eléctrico aplicado a los electrodos.

Estas moléculas además tienen una particularidad muy interesante y muy práctica a la hora de construir dispositivos: se orientan según el campo eléctrico aplicado a los electrodos.

Sin aplicar campo eléctrico, la luz que incide sobre la pantalla de LCD, polarizada paralela al polarizador de entrada, rota su polarización en el sentido de la espiral formada por las moléculas y siguiendo a las mismas encuentra al segundo polarizador con eje paralelo de manera que la intensidad de la luz que se obtiene es máxima (el píxel se ve blanco). Figura 2a

Por el contrario, con campo eléctrico máximo, las moléculas quedan todas orientadas en forma paralela al campo eléctrico aplicado (la espiral desaparece), entonces la luz que entra con polarización paralela al primer polarizador, no rota su polarización y encuentra a la salida el polarizador con su eje perpendicular de modo que la intensidad es nula. (el píxel se ve negro). Figura 2b.

El reloj esta conformado por 30 pixels (4 números con 7 pixels cada uno, mas los dos puntos), y en cada píxel se puede aplicar tensión independientemente para formar las distintas combinaciones.

Al relojito de este kit le sacamos uno de los polarizadores para que veamos bien el efecto (y de paso nos hicimos de un polarizador extra).

Si ponemos el relojito tal cual está sobre el retro no veremos los números sobre la pantalla. Si ahora colocamos un polarizador sobre el, veremos aparecer esos números. Que sucede si ahora rotamos el polarizador?. Podemos lograr que lo que era negro ahora se haga blanco!

Experimento 8: ¿La luz del cielo está polarizada? O cómo saber si un par de anteojos es polarizado (bis)

Materiales:

- Materiales del experimento 4
- 2 polarizadores

Otra fuente de luz polarizada es la propia luz del cielo. En realidad esta parcialmente polarizada y sólo si miramos perpendicularmente a la dirección de la fuente luminosa veremos el efecto. Entonces volvamos a nuestro experimento 4, el de la dispersión en la leche. Y miremos perpendicularmente a la luz del retro con un polarizador delante. Rotando el polarizador veremos que podemos extinguir la luz. Si es un día soleado y hay una ventana cerca se puede mirar a través de ella el cielo y comprobar lo que estamos simulando con este experimento.

Tercera parte: Color y polarización

Introducción

En esta parte de la práctica veremos los efectos de birrefringencia y actividad óptica en materiales sencillos como la mica, la cinta scotch, plásticos y solución azucarada. Como incidiremos con la luz blanca del retro, veremos además el efecto de los distintos colores interactuando con estos materiales.

Experimento 9: Birrefringencia en mica y cinta scotch

Materiales:

- 2 polarizadores
- Portaobjetos con mica
- Portaobjetos con cinta scotch

Ahora que sabemos mucho acerca la polarización de la luz, podemos ver qué efectos tiene este tipo de luz sobre distintos materiales. A esta altura podemos animarnos a poner casi cualquier cosa entre dos polarizadores y ver el efecto!. Es más o menos lo que vamos a hacer. Veamos primero este portaobjetos sobre el que pegamos un trozo de mica. Si alguna vez fueron a un arroyito cordobés habrán observado que hay una gran cantidad de piedras ricas en mica, como la que pegamos en este portaobjetos. La mica es un mineral que puede ser fácilmente decapado ya que esta formado de laminitas muy delgadas débilmente unidas una sobre otra. Este mineral tiene la propiedad de ser birrefringente, que significa que es ópticamente anisótropo, es decir que no todas las direcciones de propagación de la luz dentro de ese cristal son equivalentes. En particular existe un eje óptico dentro de ese cristal de tal manera que las ondas que se propagan con polarización paralela y perpendicular a él, lo hacen a distintas velocidades. Y como si esto fuera poco, cada color tiene valores de velocidad de propagación distinta, tal como sucedía en el prisma. En la mica el eje óptico es paralelo a las delgadas laminitas. Es decir que si entramos al material con luz linealmente polarizada en alguna dirección que no sea la del eje óptico (allí no habría efecto), a la salida tendríamos luz en otro estado de polarización. En efecto, la luz linealmente polarizada la podemos pensar como compuesta de dos componentes, una en la dirección del eje óptico y la otra perpendicular a él. Una de esas componentes viajará a una velocidad y la otra a otra de manera que una onda se retrasará respecto de la otra. A la salida del cristal, ambas ondas se recombinarán en un estado de polarización distinto. En particular, si el cristal tiene un espesor tal que una se retrasa respecto de la otra en exactamente media longitud de onda, tendremos a la salida una polarización lineal pero en otra dirección. Esto pasara para al menos alguno de los colores de la luz blanca, y los demás tendrán otros estados de polarización (circular, elíptica). Bueno, pero veamos que pasa. Acá

podemos fijar la polarización de entrada y rotar el polarizador de salida o viceversa y ver si hay alguna diferencia. Vemos que al rotar el polarizador de salida vamos pasando por los distintos colores de la luz blanca, esto es debido a la birrefringencia de la que hablamos.

El papel celofán o la cinta scotch también muestran el efecto de la birrefringencia debido a la manera en que son fabricados. Pongamos entonces el portaobjetos con cinta scotch entre dos polarizadores y veamos el efecto. De nuevo veremos como rotando el polarizador vemos los distintos colores de la luz blanca. Podemos hacer dibujos muy coloridos poniendo distintos grosores de cinta y/o pegándola en distintas direcciones.

Experimento 10: Birrefringencia inducida por tensión.

Materiales:

- 2 polarizadores
- Tenedor de plástico
- Objetos de plástico: reglas, escuadras, tapitas de plástico, bolsas, etc

Bueno, ahora si, sigamos poniendo objetos entre los polarizadores, por ejemplo este tenedor de plástico (puede ser también una regla o una escuadra que tengan los alumnos). Fíjense lo que vemos, de nuevo diseños muy coloridos. Y especialmente más profusos cerca de agujeros, bordes o cuando produzco una presión sobre el plástico (por ejemplo haciendo presión sobre los dientes del tenedor con el retro). Este es el mismo efecto de birrefringencia que estuvimos viendo pero ahora esta inducido por tensiones sobre el material. Esto que estamos haciendo es una manera muy utilizada de hacer control de calidad sobre materiales como plástico y vidrio para ver el tipo de tensiones que se han hecho sobre ellos durante la fabricación. Cuando un vidrio por ejemplo esta mal templado pueden verse dibujos de colores en su superficie. Probemos todo lo que esta a nuestro alcance y veremos las tensiones de fabricación.

Experimento 11: Poder rotatorio del azúcar.

Materiales:

- 2 polarizadores
- solución de azúcar en agua (concentración: aproximadamente 200g de azúcar cada 0.5 litros de agua)
- Prisma de acrílico vacío
- Máscara de cartulina con 1 agujero

Por último veremos otro tipo de materiales, aquellos que presentan lo que se conoce como actividad óptica. Algunos cristales poseen esta propiedad, pero en donde se nota (y utiliza) mas comúnmente es en ciertas soluciones como las

soluciones azucaradas, en los que el efecto se conoce como poder rotatorio. Si se incide con luz linealmente polarizada en estas soluciones se comprueba que a la salida de la solución la polarización rotó una cantidad que es proporcional a la cantidad de solución y su concentración. La rotación puede ser hacia la derecha, dextrógira o hacia la izquierda, levógira. El poder rotatorio tiene importantes aplicaciones en la industria del azúcar, ya que la sucrosa es mucho más ópticamente activa que muchas impurezas comunes, así que el poder rotatorio puede ser usado para medir la pureza del azúcar. Entonces pongamos el prisma de acrílico vacío conteniendo la solución azucarada entre dos polarizadores. Ahora rotemos uno de ellos y veremos como cambian los colores a la salida del mismo. Al igual que con los otros efectos que estuvimos viendo, el poder rotatorio es también dependiente del color.