

BIRREFRINGENCIA Y FOTOELASTICIDAD

D. Sola^{1,2}

¹Fundación Agencia Aragonesa para la Investigación y el Desarrollo (ARAID), Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA), Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España

²Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA), Universidad de Zaragoza-CSIC, Zaragoza, España

dsola@unizar.es

Resumen: La birrefringencia es un fenómeno óptico en el que la luz que incide en un material se desdobra en dos rayos polarizados perpendicularmente debido a que el material posee dos índices de refracción. Este fenómeno, típicamente presente en materiales anisótropos, puede ser inducido en materiales isotrópicos y transparentes al someterlos a tensiones mecánicas, lo que se conoce como birrefringencia por estrés o fotoelasticidad. El presente artículo describe dos experimentos didácticos diseñados para estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato en los que se presentan los fundamentos de la birrefringencia y su aplicación a la fotoelasticidad.

Palabras clave: Birrefringencia, Fotoelasticidad, Polarización.

1. INTRODUCCIÓN.

La birrefringencia fue descrita por primera vez por el científico danés Rasmus Bartholin en el año 1669 al observar un cristal de espato de Islandia o calcita. Posteriormente, en 1808, el físico francés Étienne-Louis Malus explicó que este fenómeno se encontraba relacionado con el fenómeno de polarización de la luz y su naturaleza de onda electromagnética. Se trata de un fenómeno óptico que se produce cuando la luz que incide sobre un material se desdobra en dos rayos polarizados perpendicularmente. Es decir, el material tiene dos índices de refracción: uno ordinario, n_o , y otro extraordinario, n_e . Este fenómeno solo se produce en materiales anisótropos. La birrefringencia se cuantifica por la diferencia entre ambos índices $\Delta n = n_o - n_e$. Otros materiales típicos birrefringentes, además de la calcita, son el Cuarzo, el Zafiro, el Niobato de Litio, el Celofán, el Poliestireno, y el Polipropileno.

La fotoelasticidad es una técnica experimental que permite observar tensiones mecánicas y deformaciones en materiales isotrópicos y transparentes. Algunos materiales, al someterlos a tensión mecánica, se vuelven anisótropos ópticamente. Este fenómeno también se conoce como birrefringencia por estrés o birrefringencia mecánica. Esta técnica tiene múltiples aplicaciones en ingeniería y en ciencia de los materiales, en la industria automotriz y en el desarrollo de dispositivos médicos y prótesis, en las que el análisis de tensiones en componentes estructurales es crucial.

En este artículo se describen dos experimentos que permiten acercar al alumnado a los fundamentos de la birrefringencia y de la fotoelasticidad.

2. MATERIALES NECESARIOS.

A continuación, se detallan los materiales empleados para la realización de los experimentos:

- 1 banco óptico.
- 2 polarizadores lineales.
- 1 láser continuo.
- 1 lámpara + papel cebolla (fuente de luz difusa).
- 1 pantalla (folio o similar).
- 1 funda de plástico.
- 1 regla.
- 1 placa Petri o materiales similares.

Como medida de precaución, **no se debe mirar nunca directamente al láser.**

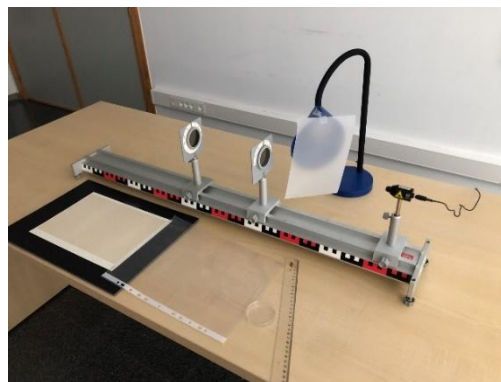


Figura 1. Material necesario para la realización de los experimentos.

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

En primer lugar, situaremos los polarizadores en el banco óptico con los ejes de transmisión paralelos y los iluminaremos con el láser, de manera que podremos observar en la pantalla la luz proveniente del láser, Figura 2(a). Seguidamente, giraremos 90 grados el eje del segundo polarizador, el más próximo a la pantalla y que se denomina habitualmente *analizador*. Observaremos que al ir girando el eje del polarizador la

luz de la pantalla se va cancelando hasta desaparecer completamente, Figura 2(b).

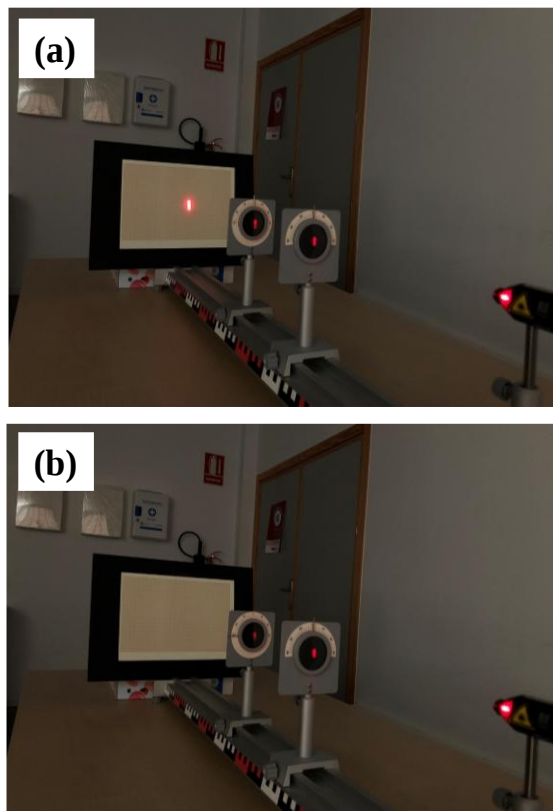


Figura 2. Configuración de polarizadores con los ejes de transmisión paralelos (a), y cruzados (b).

A continuación, en configuración de polarizadores cruzados, introduciremos entre los polarizadores la funda de plástico (Figura 3). Observaremos que, al girarla, en la mayoría de las posiciones sí se transmite parte de la luz a la pantalla, y que hay dos posiciones perpendiculares para las que la luz no se transmite. Esto es debido a que el plástico, aunque parezca uniforme, ha sufrido estiramientos durante su fabricación, lo que ordena parcialmente sus moléculas y lo convierte en un material birrefringente. Esto implica que la luz linealmente polarizada proveniente del primer polarizador, al alcanzar la funda de plástico, se divide en dos componentes que viajan a diferentes velocidades dentro del plástico y se recombinan al salir, cambiando su dirección de polarización. En la mayoría de las orientaciones, esa nueva polarización no coincide con la del segundo polarizador, por lo que parte de la luz consigue pasar y observarse en la pantalla. Sin embargo, en las dos posiciones donde no se transmite luz, los ejes ópticos del plástico (también llamados líneas neutras) quedan alineados con los ejes de los polarizadores. En esas dos orientaciones, la luz no se descompone ni cambia su polarización, por lo que el segundo polarizador la bloquea completamente. Así, el patrón de transmisión que observamos al girar la funda es una demostración directa de su birrefringencia y de la existencia de líneas neutras dentro del material.

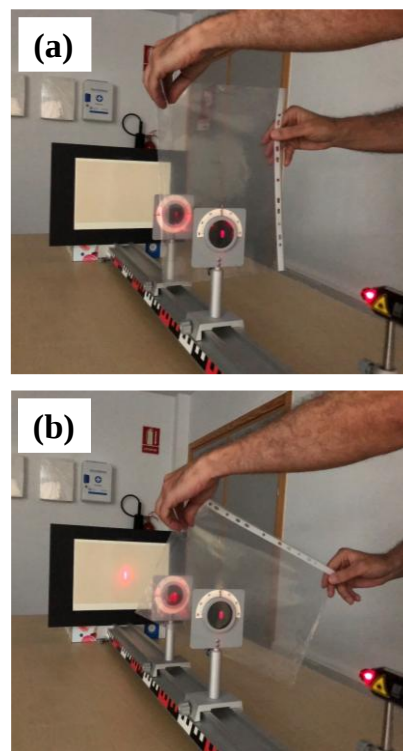


Figura 3. Experimento de birrefringencia con una funda de plástico.

El siguiente experimento consiste en fabricar un polariscopio de luz transmitida. Para ello, sustituiremos el láser por una fuente de luz difusa y procederemos inicialmente como en el primer paso del experimento anterior, observando que la luz transmitida se cancela en la pantalla en la configuración de polarizadores cruzados, Figura 4.

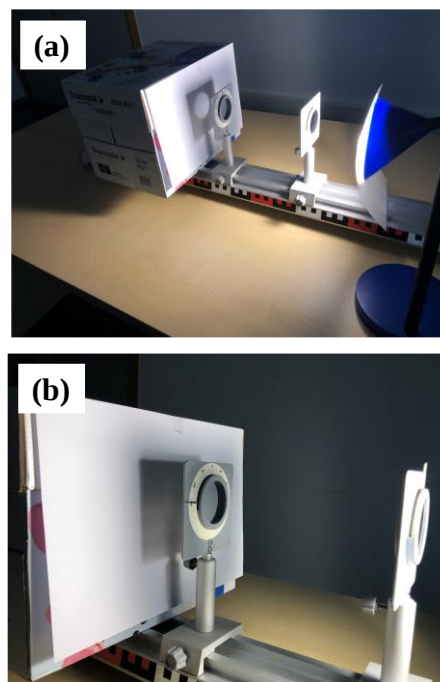


Figura 4. Configuración de polarizadores con los ejes de transmisión paralelos (a), y cruzados (b), al utilizar una fuente de luz difusa.

A continuación, retiraremos la pantalla para poder observar directamente la luz proveniente de la lámpara a través de los polarizadores. Giraremos los polarizadores y observaremos cómo la luz se cancela. En esta posición de polarizadores cruzados introduciremos entre los polarizadores la placa Petri, la regla, unas gafas o cualquier otro material que tengamos preparado. Podremos observar que se genera un patrón de franjas y colores, Figura 5.

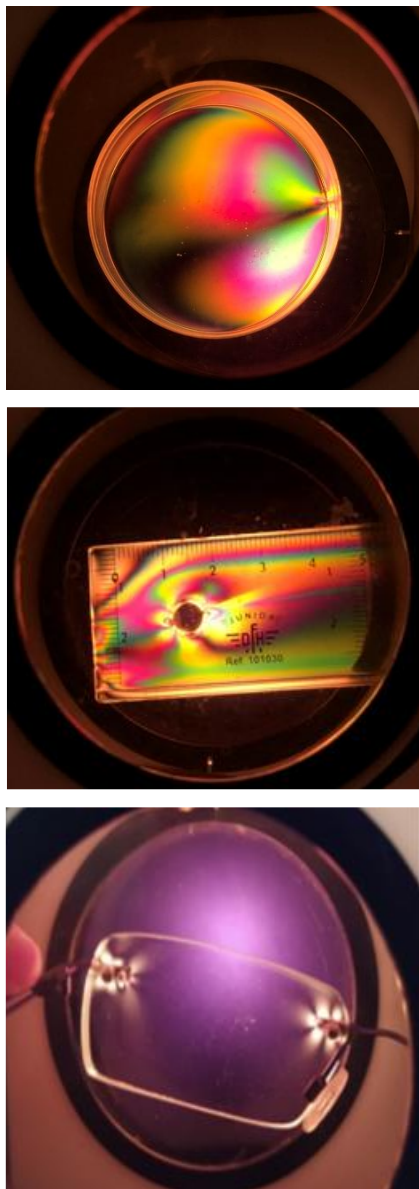


Figura 5. Ejemplo de imágenes de una placa Petri, una regla y unas gafas observadas a través de un polariscopio.

Estos colores no son propios del material, sino que se deben a un fenómeno óptico llamado birrefringencia por estrés, inducido por tensiones internas en el material. Los objetos de plástico se fabrican habitualmente por moldeo o inyección. Durante el proceso de fabricación, las moléculas que componen el polímero se estiran y quedan orientadas, lo que hace que la luz se propague a distintas velocidades según su dirección dentro del material. Al pasar la luz polarizada por el plástico, se

divide en dos componentes que recorren caminos ligeramente diferentes y se vuelven a combinar al salir, produciendo interferencias. Como la luz blanca contiene todos los colores, algunas longitudes de onda se refuerzan y otras se cancelan, dando lugar a los colores de tensión que vemos. Las zonas oscuras, llamadas líneas neutras, son regiones donde la luz no se descompone porque la dirección de polarización coincide con la del material. En conjunto, el patrón de colores revela cómo están distribuidas las tensiones internas en el plástico, y nos permite visualizar fenómenos invisibles a simple vista mediante la birrefringencia.

En el caso de las gafas, aparece un cambio de color o de brillo en las zonas alrededor de los tornillos o de la montura. Esto ocurre porque al apretar los tornillos o durante el corte y pulido de las lentes se generan tensiones mecánicas en los materiales, tanto si son de plástico como de vidrio. Estas tensiones alteran la estructura interna del material y lo vuelven birrefringente, es decir, hacen que la luz se propague a distintas velocidades según su dirección dentro de la zona afectada. Al atravesar esas regiones, la luz polarizada se divide en dos componentes que viajan a diferente velocidad y se combinan al salir, produciendo interferencias que cambian su polarización y originan los colores o variaciones de intensidad observadas. De esta forma, el polariscopio permite visualizar las tensiones internas generadas por la presión de los tornillos o por los procesos de fabricación y ajuste de las gafas, revelando detalles invisibles a simple vista.

4. CONCLUSIONES.

Estos experimentos han permitido poner de manifiesto el fenómeno físico de la birrefringencia. Este efecto aparece cuando un material transparente presenta tensiones internas o una estructura anisótropa, haciendo que la luz se propague a diferentes velocidades según su dirección y polarización. Como consecuencia, la luz polarizada se descompone en dos componentes que recorren caminos distintos y se combinan al salir, produciendo interferencias que pueden verse como cambios de intensidad, color o brillo. Así, estos experimentos permiten visualizar de forma directa cómo la luz revela propiedades invisibles de los materiales, mostrando las huellas ópticas de sus tensiones internas y procesos de fabricación.

5. AGRADECIMIENTOS.

El autor agradece la financiación de la investigación a los proyectos Gobierno de Aragón, Grupos de Investigación T02_23R, Procesado y Caracterización de Cerámicas Estructurales y Funcionales, PROCACEF, y COST Action CA21159, Understanding interaction light – biological surfaces: possibility for new electronic materials and devices.

6. REFERENCIAS.

- [1] Hecht, E., “Óptica”, Ed. Pearson, 2017.
- [2] Ditchburn, R.W., “Óptica”, Ed. Reverté, 1982.
- [3] Casas, J., “Óptica”, Zaragoza, 1994.