

Interferencia de capas finas



Center for Nanotechnology Education



Este material está basado en trabajo apoyado por la Fundación Nacional de Ciencia bajo la Concesión Número 0802323 y 1204918. **Cualquier opinión, hallazgos, conclusiones o recomendaciones expresadas en este material son las del autor(es) y no necesariamente representan las opiniones de la Fundación Nacional de Ciencias.**



Este trabajo está licenciado por [“Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported License”](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/).

Basado en un trabajo en www.nano-link.org.

Interferencia de luz de capas finas

Abstracto

En este módulo, los estudiantes aprenderán sobre las propiedades ópticas de las capas finas. Realizarán un experimento en el que aplicarán una capa fina sobre un pedazo de papel de cartulina o de construcción. De esta forma podrán observar las propiedades ópticas de la misma.

Resultados

A lo largo de este módulo, los estudiantes aprenderán sobre:

- Ley de Snell
- Reflexión
- Refracción
- Aplicaciones de la interferencia de capas finas

Prerrequisitos

Los estudiantes deben tener cierta exposición a los siguientes conceptos de ciencias físicas que suelen trabajarse en octavo grado:

- La naturaleza ondulatoria de la luz
- Introducción a la reflexión y la refracción

Correlación

Conceptos Científicos

- Naturaleza ondulatoria de la luz
- Reflexión y refracción
- Ley de Snell
- Relación entre el largo de onda y el color
- Interferencia constructiva y destructiva

Conceptos de Nanociencia

- Propiedades ópticas de las capas finas en la nanoescala

Información de trasfondo

Hay varios conceptos interrelacionados que contribuyen al fenómeno de la interferencia de capa fina. Estos conceptos se están aplicando en la micro y nanoescala para crear pantallas de computadora más seguras, sensores biológicos, cubiertas anti reflectivas (AR), dispositivos de medición y hermosas cintas de regalo.

Cuando la luz incide sobre un material transparente como el vidrio o el agua, una parte de la luz entrante se refleja. La porción restante pasa a través del material. Como la velocidad de la luz en el material es levemente diferente en la del material o medio exterior, como el aire, la luz cambia levemente de dirección en la interfaz entre los dos materiales. Este doblez o flexión del rayo de luz se llama **refracción**. La refracción causa el efecto que se observa al colocar un objeto dentro de un vaso transparente con agua, como el lápiz en la Figura 1.



Figura 1. Refracción de la luz, que provoca que el lápiz se observe doblado, en la interfaz entre el aire y el agua.

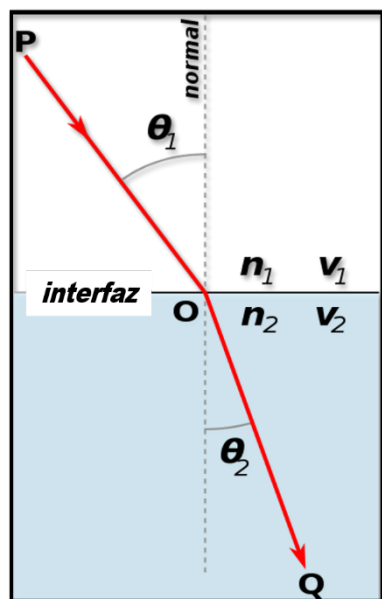


Figura 2. La luz siendo refractada en la interfaz.

La cantidad de refracción, o flexión de la luz, por un material depende de su **índice de refracción**. El índice de refracción se designa "***n***" y se define como la razón de la velocidad de la luz en un vacío (escrito como ***c***) a velocidad de la luz en el material, (escrito como ***v***): **$n = c / v$**

El ángulo de refracción puede predecirse utilizando la Ley de Snell, la cual relaciona el ángulo de la luz incidente, el ángulo de la luz refractada y los índices de refracción de los materiales a cada lado de la interfaz. En el diagrama de la Figura 2, un rayo de luz proviene de un medio con índice de refracción **n_1** . El rayo forma un ángulo de **θ_1** con una línea perpendicular a la superficie, identificada como la "normal". Cuando la luz pasa al segundo medio con índice de refracción **n_2** , el ángulo con respecto a la normal cambia a **θ_2** debido a la refracción.

La Ley de Snell relaciona todas estas cantidades: **$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$** . Donde **$n_1$** y **$n_2$** representan los índices de refracción de los dos medios, **θ_1** y **θ_2** representan los ángulos de la luz con respecto a la normal, que es perpendicular a la interfaz entre los medios. La Ley de Snell utiliza los senos de los ángulos, en lugar de los ángulos mismos, para hacer la igualdad.

Interferencia de onda

En muchos aspectos, la luz se comporta como una onda oscilante, similar a una onda que viaja en una cuerda o las ondulaciones en la superficie de una charca. Todas las ondas obedecen el principio de **superposición**. Esto significa que cuando dos ondas interactúan, ambas pueden sumarse o restarse, dependiendo de cómo se superpongan. Si la cresta de una onda se superpone con la cresta del mismo tamaño de la segunda onda, el resultado será una cresta dos veces más alta. Esto es una **interferencia constructiva**, como se muestra en la Figura 3. Si la cresta de una onda se superpone con el valle (punto bajo) de la segunda onda, las dos ondas se cancelan entre sí. Esto es una **interferencia destructiva**. La posición de la cresta o el valle se conoce como la **fase** de la onda; la interferencia destructiva ocurre cuando las dos ondas están en “desfase”.

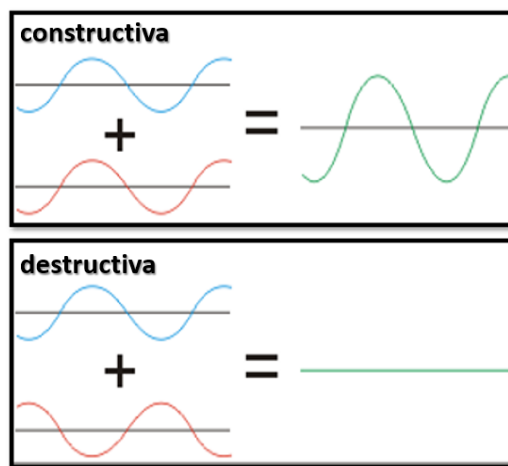


Figura 3. La interferencia constructiva ocurre cuando las ondas se superponen en fase. La interferencia destructiva ocurre cuando las ondas se superponen en desfase.

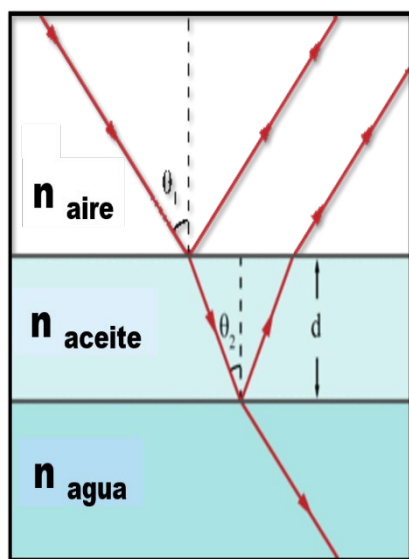


Figura 4. Una capa fina de aceite (índice de refracción n_{aceite}) sobre agua (índice de refracción n_{agua}).

Consideremos lo que ocurre cuando la luz incide en una capa fina de un material transparente que descansa sobre otro material transparente. Un ejemplo de esto es una capa fina de aceite sobre agua. Los rayos de luz viajan en líneas como las observadas en la Figura 4.

En el diagrama de la Figura 4, un rayo de luz que incide en una capa fina de aceite sobre agua, parte de la luz se refleja, otra parte atraviesa la película delgada y se refleja desde el borde inferior, y el resto continúa hacia el agua que está debajo. La luz reflejada desde la interfaz inferior se combinará con la luz reflejada desde la parte superior de la capa fina. Como la luz que se refleja en el borde inferior debe viajar una distancia mayor que la del borde superior, es posible que los dos rayos de luz ya no estén en fase. Adicional, en algunos casos existe un cambio de fase en la superficie reflectiva, estos detalles no se trabajarán en esta actividad. El resultado es que las ondas se combinarán e interferirán y esta interferencia puede ser constructiva, destructiva o alguna combinación, dependiendo de las fases de las dos ondas.

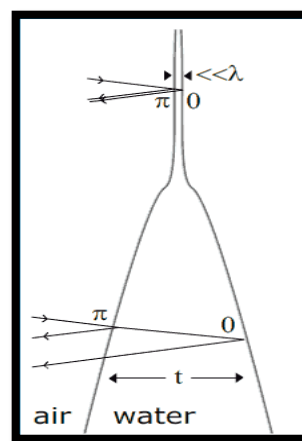
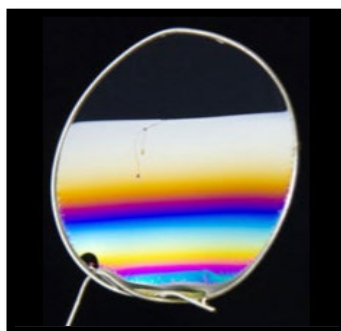
Recordemos que la luz blanca se compone de un espectro de diferentes largos de onda de luz, que forman los colores que podemos ver. Cada longitud de onda individual interactuará con la capa fina por sí sola. Para algunos largos de onda, la distancia adicional recorrida a través de la capa fina hará que la luz reflejada desde la capa superior esté completamente en “desfase” con la luz reflejada desde la capa inferior. Esto produce una interferencia destructiva: el color correspondiente a ese largo de onda se eliminará del espectro y, como resultado, un observador ya no verá la luz blanca (múltiples largos de onda), sino un nuevo color basado en los largos de onda restantes. De manera similar, para otros largos de onda, la distancia adicional recorrida a través de la capa fina hará que la luz reflejada desde la capa superior esté perfectamente en fase con la luz reflejada desde la capa inferior. Esto da como resultado una interferencia constructiva, y el color correspondiente a ese largo de onda se observará el doble de intenso. Esto altera aún más el color que veremos reflejado en la capa fina.

Los colores que observamos dependen del espesor de la capa. Si el grosor de la capa fina es tal que la distancia que recorre una onda a través de la capa coincide exactamente con el largo de onda de la onda incidente, cuando la onda que sale de la capa fina después de la reflexión, estará en fase con la reflexión que sale del límite superior. Dicha interferencia constructiva actúa para amplificar la intensidad de una onda, haciéndola parecer más brillante a un detector fotográfico como el ojo humano. Los otros largos de onda que forman parte de la luz incidente estarán en “desfase” hasta cierto punto con las ondas que se reflejan fuera del límite superior e interferirán destructivamente. Esto da como resultado la reducción de la intensidad o la cancelación total del largo de onda. Por lo tanto, a medida que el espesor de la capa fina varía, también lo hará el color de la luz reflejada. En la Figura 5 se observa una demostración de esta dependencia del grosor utilizando una capa de burbujas de jabón.

Figura 5. Estas imágenes muestran cómo la fase de la luz reflejada es importante en las capas finas. En la imagen de la izquierda, se produce una capa de jabón en un bucle de alambre. La gravedad hace que la mayor parte del agua se mueva hacia la parte inferior del bucle, dejando una región muy delgada a lo largo de la parte superior (la parte negra en el bucle). La imagen de la derecha es una vista en sección transversal de la película de jabón que se ve a la izquierda. La parte superior de la capa de jabón es tan fina que todos los rayos de luz reflejados se superpondrán aproximadamente y quedarán completamente en “desfase”. Los rayos superpuestos se anularán entre sí en todas las longitudes de onda visibles, y aparecerán como una región negra, irreflexiva. Cerca de la parte inferior de la capa de jabón, los rayos de luz interferirán entre sí de manera diferente dependiendo del largo de onda y el grosor, creando un arco iris de colores repetitivo.

“Physclips”

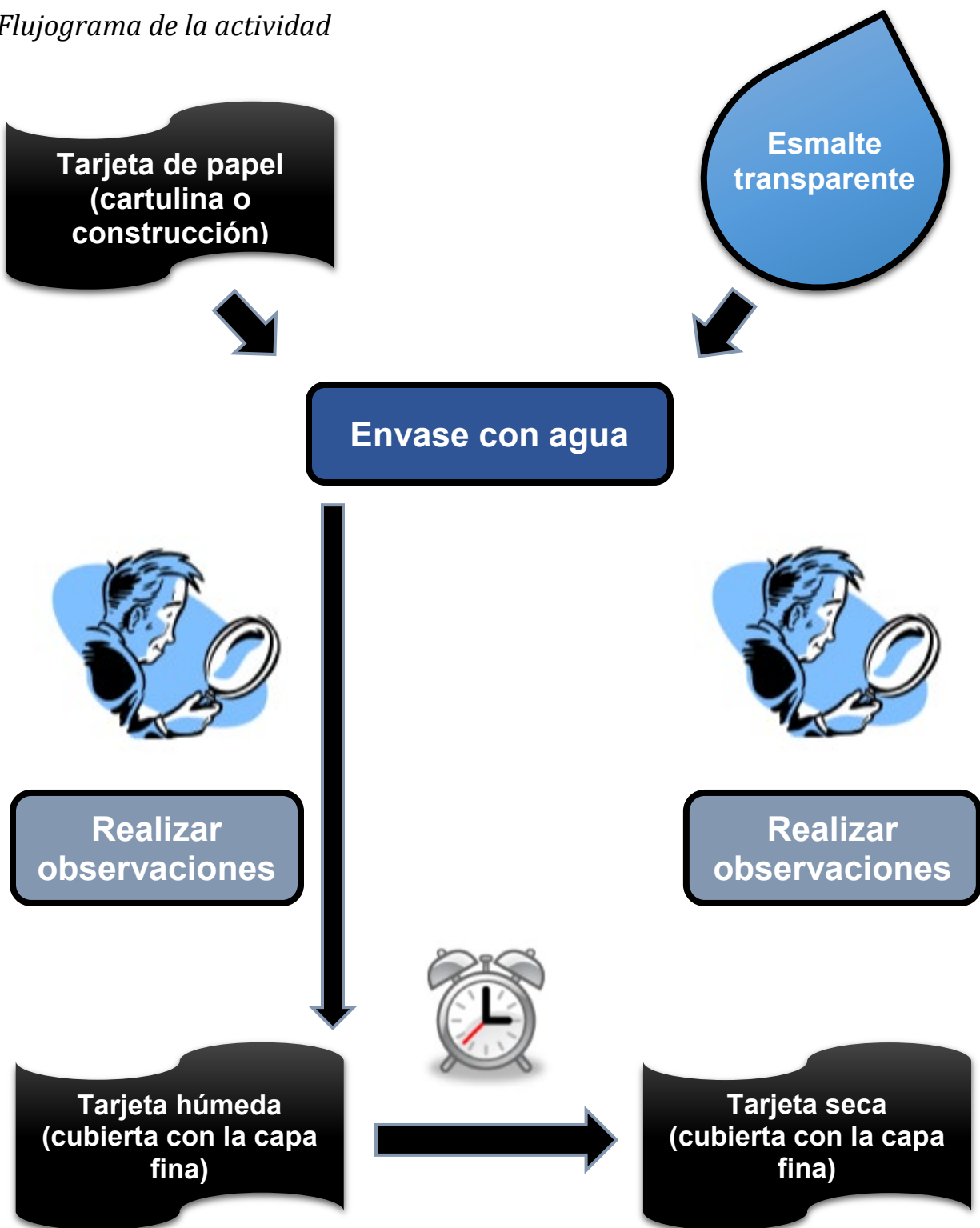
www.animations.physics.unsw.edu.au



En esta actividad, utilizamos una capa hidrofóbica, esmalte (barniz) de uñas transparente, que se expande ligeramente cuando se agrega una gota al agua. El esmalte de uñas está formulado para secarse rápidamente, por lo que forma una capa duradera que se puede capturar en una tarjeta de papel y sacar del envase (baño) de agua para ser observada con mayor detalle.

Actividad de aprendizaje: Interferencia de capas finas

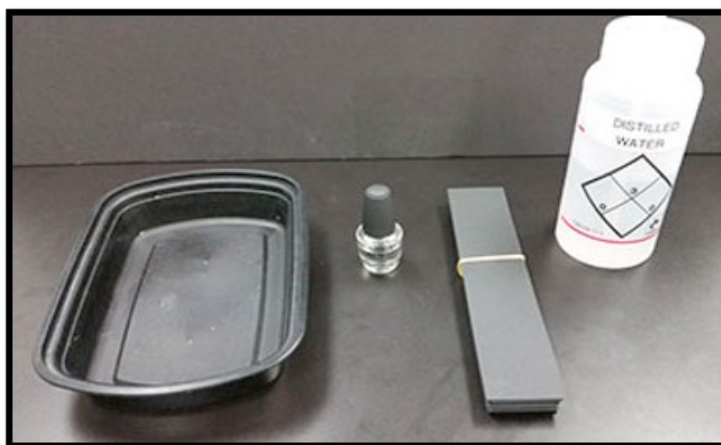
Flujograma de la actividad



Actividad de aprendizaje: Interferencia de capas finas

Materiales

- Envase para el agua (con poca profundidad aproximadamente 8" por 4" por 1")
- Cartulina de papel, cortada en tiras (aproximadamente 10" por 1"-2", preferiblemente negra)
- Esmalte de uñas transparente
- Agua
- Papel secante o absorbente



Procedimiento:

1. Llena el envase con agua a una profundidad de entre media ($\frac{1}{2}$) y 1 pulgada.
2. Desliza la tira de papel (cartulina o de construcción) en el agua.
3. Utiliza el cepillo aplicador del esmalte de uñas para dejar caer una gota de esmalte transparente sobre la superficie del agua tratando de que caiga en el centro de la tira de papel. El cepillo no debe tocar el agua.
4. Espera a que la gota se extienda como una mancha de aceite en la superficie del agua.
5. Remueve lentamente la tira de papel del agua, asegurándote de que se desplace a través de la capa fina y permita que la capa se adhiera al papel. Remueve con algún objeto el residuo de esmalte que quede sobre la superficie del agua.
6. Coloca la tira de papel húmeda (con la película delgada) sobre papel secante o absorbente para que se sequen.
7. Una vez que el papel esté seco, observa la capa y explica lo observado.

Preguntas

1. ¿Por qué el esmalte de uñas se dispersó en una capa fina tan rápidamente?
2. ¿Por qué es preferible que la tarjeta o el papel sea de color negro?
3. ¿Qué tan fina es la capa en la superficie del agua y cómo podemos saberlo?

Preguntas de discusión

- ¿Cómo podría ser útil conocer los colores reflejados en una capa fina?
- ¿Dónde se utilizan las capas finas?
- ¿Puedes pensar en alguna capa fina en la naturaleza?

Usos presentes y aplicaciones futuras

La interferencia de capa fina es importante para varias aplicaciones tecnológicas actuales y futuras:

- Cubiertas anti reflectivas (AR): se usan en anteojos y vidrios de automóviles para reducir el brillo. “DuPont” ha desarrollado una cubierta AR que aumenta la transmitancia a través de vidrio o plástico en accesorios de iluminación:
http://www2.dupont.com/Diffuse_Light_Reflectors/en_US/assets/downloads/NO_W801_A_R_Sell_Sheet_me05-21.pdf
- Los fabricantes de semiconductores usan una técnica conocida como reflectometría espectroscópica para medir el espesor de las cubiertas por hilado (en rotación) de obleas.
El “Toho Technology NanoSpec 6500” es un ejemplo:
<http://www.tohotechnology.com/nanospec-6500.php>

Recursos multimedia

Videos

- Un excelente video explicando la interferencia de capas finas, como también la matemática envuelta en el proceso, de www.ilectureonline.com:
<https://www.youtube.com/watch?v=7zWqU4QSJg4>
- Video animado que muestra una simulación por computadora de la interferencia de capas finas: <https://www.youtube.com/watch?v=xjMjWtnm9k>

Simulaciones

- Este sitio web contiene una ventana interactiva donde los estudiantes pueden cambiar múltiples parámetros y observar el efecto: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/soapfilm.html>

Recursos

- “Tippens, Paul E. Physics. 7th ed. Dubuque, IA: McGraw-Hill, 2007. Print. “
- “Interference: Thin film interference and reflections from Physclips”:
<http://www.animations.physics.unsw.edu.au/jw/light/thin-film-interference-andreflections.html>
- Education.com: <http://www.education.com/science-fair/article/thin-film-interference-light-waves/>
- “Edmund Optics: Anti-Reflection (AR) Coatings”:
<http://www.edmundoptics.com/technical-resources-center/optics/anti-reflectioncoatings/?ref=right-column>
- “My glasses have an anti-reflective coating. How does that work? from howstuffworks.com”: <http://science.howstuffworks.com/innovation/science-questions/question615.htm>

Créditos de las imágenes

- Figura 1: http://en.wikipedia.org/wiki/Snell's_law#mediaviewer/File:Snells_law2.svg
- Figura 2: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/phyopt/interf.html>
- Figura 3: <http://method-behind-the-music.com/mechanics/physics>
- Figura 4: http://en.wikipedia.org/wiki/Thin-film_interference
- Figura 5: <http://www.animations.physics.unsw.edu.au/>

Reconocimientos

- Actividad basada en “NISE Networks – Thin films”.
- Contribuyentes – Deb Newberry, Christopher Kumm de “Dakota County Technical College, Rosemount MN” y Dr. James Marti de “University of Minnesota, Minneapolis, MN, Rosemount MN”. Traducido al español por Rodfal A. Rodríguez y María T. Rivera de Cupey María Montessori School.