

Películas de jabón como instrumento de enseñanza sobre la mínima acción

ISSN 2215-8227

Filmes de sabão como uma ferramenta de ensino sobre ação mínima

2023, Volumen 14, No. Extra

Soap Films As a Teaching Tool on Minimal Action

Brayan Esteban Walteros Mendivelso

Universidad Distrital Francisco José de Caldas

bewalterosm@udistrital.edu.co

Resumen

Este trabajo pretende proponer una herramienta para el aula de clase sobre la ciencia detrás de las películas hechas por soluciones de jabón. En concreto busca tomar estratégicamente conceptos físicos e ilustrar algunas propiedades por medio de experimentos caseros y virtuales para resaltar la noción de las superficies mínimas y el principio de Fermat. Mediante la visualización de diferentes configuraciones para varios líquidos de distintas densidades y de un referente sobre la formación de las películas jabonosas, se encontró que estas tienden a interceptarse de forma óptima para una mínima superficie. Además, se logró esbozar de forma general porque las pompas de jabón adquieren el aspecto que tienen en sus superficies haciendo uso del estudio óptimo de la trayectoria de la luz.

Palabras Claves

Películas de jabón, superficie mínima, tensión superficial, interferencia.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo propor uma ferramenta para a sala de aula sobre a ciência por trás dos filmes feitos por soluções de sabão. Especificamente, procura tomar conceitos físicos estrategicamente e ilustrar algumas propriedades através de experimentos domésticos e virtuais para destacar a noção de superfícies mínimas e o princípio de Fermat. Ao visualizar diferentes configurações para vários líquidos de diferentes densidades e uma referência sobre a formação de filmes de sabão, descobriu-se que estes tendem a se cruzar de forma ideal para uma área mínima de superfície. Além disso, foi possível delinear de forma geral por que as bolhas de sabão adquirem a aparência que têm em suas superfícies, fazendo uso do estudo ideal do caminho da luz.

Palavras Chaves

Filmes de sabão, área mínima de superfície, tensão superficial, interferência.

Abstract

This paper aims to propose a tool for the classroom about the science behind the films made by soap solutions. Specifically, it seeks to strategically take physical concepts and illustrate some properties through home and virtual experiments to highlight the notion of minimal surfaces and Fermat's principle. By visualizing different configurations for various liquids of different densities and a benchmark on the formation of soapy films, it was found that these tend to intersect optimally for a minimum surface area. In addition, it was possible to outline in a general way why soap bubbles acquire the appearance they have on their surfaces by making use of the optimal study of the light path.

Keywords

Soap films, minimum surface area, surface tension, interference.

Introducción

Parte del trabajo de la educación científica debe ofrecer el cuerpo docente es utilizar las herramientas necesarias para traer a colación ejemplos cotidianos que se vinculen directamente con la experiencia del estudiante, esto no solo despierta el interés, sino que encausa un aprendizaje significativo y propicia un carácter activo por parte del estudiante. Aunque parezca sencillo este proceso, lo cierto es que fenómenos simples son notados repetidas veces por muchos, pero no basta con solo la observación, “La suerte solo favorece a la mente preparada” fue una consigna del científico Louis Pasteur refiriéndose al descubrimiento que Hans Christian Ørsted hizo tras haber visto que una aguja imantada cambiaba de orientación al tener una conducción de corriente cerca.

Este trabajo pretende dirigir la atención a la ciencia de las películas de jabón y con ello servir como herramienta didáctica de profesores de ciencias para señalar por un lado la importancia del concepto de mínima superficie en cuanto la forma y el principio de Fermat en cuanto el aspecto que tiene la película. El proyecto no busca describir la forma y aspecto de la película jabonosa definiendo los conceptos o principios físicos que la explican, lo que busca más bien es recoger esos conceptos para que de manera estratégica se utilicen resaltando la relevancia del estudio de la mínima acción que repercute en una superficie mínima y el camino óptimo de la luz en la apariencia de “un atractivo intemporal tanto para jóvenes como para los mayores” (Isenberg, 1978), las pompas de jabón.

Joseph Plateau experimentando con armazones de alambre descubrió unas inusuales superficies que formaban las películas de jabón (Isenberg, 1978), a partir de sus conclusiones formuló las siguientes leyes:

- 1) La superficie de la película jabonosa tiene la característica de ser suave, es decir son continuas, no tienen bultos.
- 2) La curvatura media de una pequeña porción de la película de jabón se mantiene invariable.
- 3) Cuando se intersecan tres películas de jabón los ángulos formados por ese punto tienen 120° , a estas bordes se les llama fronteras de Plateau (véase imagen izquierda Gráfico N° 1).
- 4) Sí cuatro fronteras de Plateau (todas formadas por la intersección de tres superficies) se intersecan en un punto forman un ángulo de $\cos^{-1}(-1/3) \approx 109.47^\circ$ (vease imagen izquierda Gráfico N° 3).

Las leyes de Plateau determinan las configuraciones de las pompas de jabón en algunos de los montajes que se pretenden desarrollar en el trabajo. Lo clave es que estos principios están referidos a la superficie mínima que puede tomar las películas de jabón. Como no solamente se pretende hablar de las formas de las películas jabonosas, sino también describir de manera general la causa de su apariencia se debe traer a la discusión el principio de Fermat. Este permite deducir lo que se conoce como Ley de

Snell, que simplemente determina la dirección que toma el rayo de luz al cambiar de medio (Refracción).

Por último, para tener una idea de porque se ven partes más brillantes que otras en una pompa de jabón se tiene que tener en cuenta que desde el enfoque ondulatorio de la luz, esta puede interferir de manera constructiva y destructiva en otros. Cuando la luz incide sobre un medio de índice de refracción distinto una parte se refracta y la otra se refleja, a esta última le pueden pasar dos cosas: 1) si el índice de refracción del medio sobre el que incide es mayor, parte de la onda se refleja cambiando su fase en 180° , 2) si el índice de refracción del medio en el que incide es menor, la onda se refleja sin cambiar su fase.

Metodología

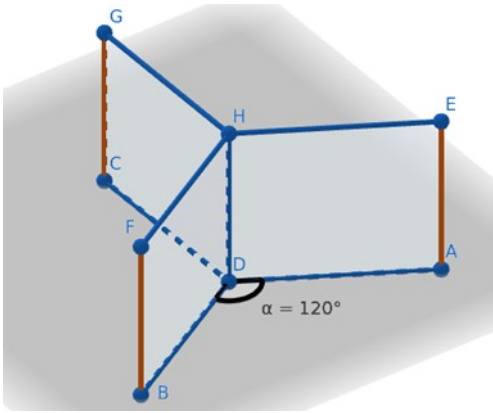
El enfoque del trabajo se desarrolló desde una óptica cualitativa integrando sin embargo el estudio de magnitudes físicas de forma analítica. La indagación sobre la superficie mínima de la película se hizo principalmente mediante la visualización de diferentes configuraciones de las películas jabonosas con diferentes líquidos, una descripción muy a grosso modo de la formación de la película para así encauzar la importancia del estudio de la mínima superficie. Y finalmente en el análisis de la trayectoria de la luz con el principio de Fermat se pretende argumentar la apariencia de las películas jabonosas.

Las herramientas que se utilizaron para cumplir dichos objetivos sobre la forma de la película fueron experimentos caseros entendiendo su tipología como aquellos que permiten ser fabricados sencillamente, con materiales accesibles, que no representan problemas si se dañan y que se pueda variar fácilmente sus parámetros. Para la descripción del camino de la luz se recurre a los experimentos virtuales en los que sin importar si se puede replicar en el laboratorio real, estos garantizan que el estudiante interactúe con la máquina modificando parámetros y extrapolando valores que muy difícilmente se consiguen en la vida real (Castiblanco, 2019).

Resultados y análisis

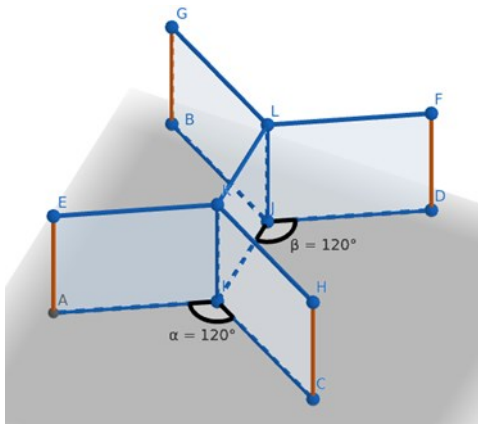
Mediante experimentos caseros se logró obtener películas de jabón para cuatro montajes. Se pegaron chupas plásticas a una superficie de vidrio como vértices de un triángulo y un cuadrado. De esta forma se hallaron las configuraciones para tres y cuatro puntos (véase imagen derecha Gráficos N° 1 y N° 2). Del mismo modo se realizaron dos montajes más, esta vez utilizando alambre se hizo un tetraedro y un cubo, las configuraciones obtenidas se muestran en los Gráficos N° 3 Y N° 4.

Gráfico N° 1. Configuración con tres puntos.



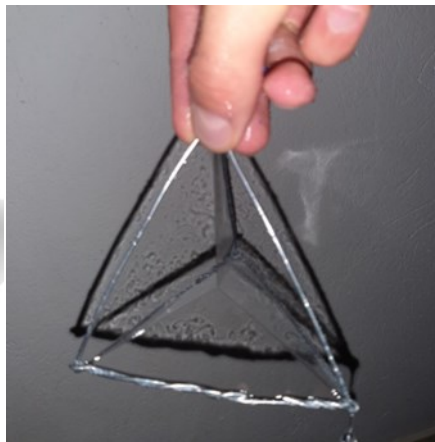
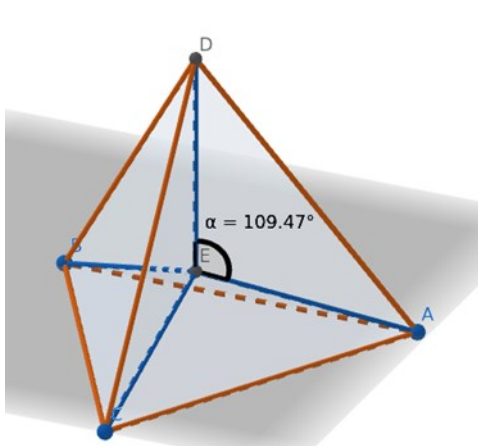
Izquierda: Representación en Geogebra. Derecha: Experimento casero.

Gráfico N° 2. Configuración con cuatro puntos.



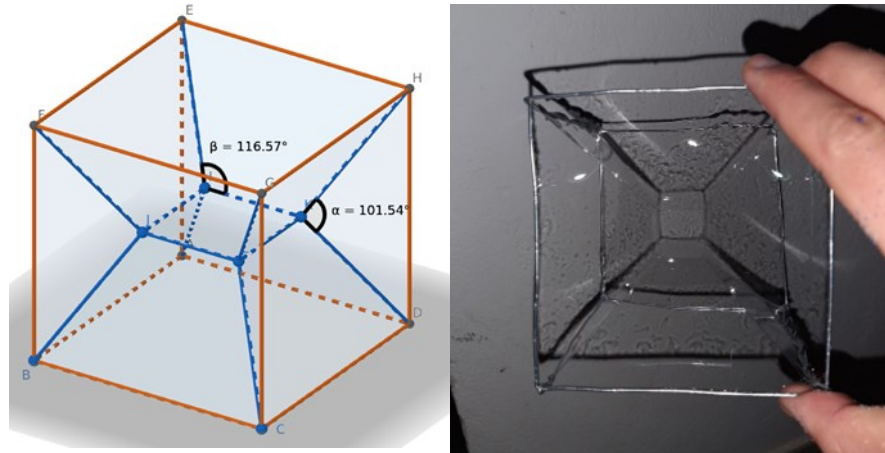
Izquierda: Representación en Geogebra. Derecha: Experimento casero.

Gráfico N° 3. Configuración con tetraedro.



Izquierda: Representación en Geogebra. Derecha: Experimento casero.

Gráfico N° 4. Configuración con cubo.

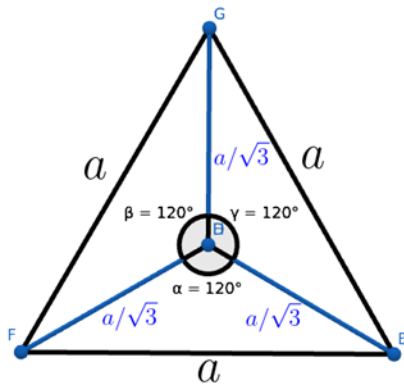


Izquierda: Representación en Geogebra. Derecha: Experimento casero.

Lo anterior se hizo para tres tipos de líquidos con diferente densidad a temperatura ambiente: glicerina, alcohol y aceite. Lo primero que hay que mencionar es que el comportamiento de las películas para cada líquido no fue equivalente: las configuraciones formadas con glicerina tendían a durar un tiempo considerablemente mayor a las soluciones con alcohol y aceite, los ángulos formados por la solución de glicerina obedecían a permanecer estables en 120° mientras que en las otras soluciones estos ángulos de intersección no eran necesariamente 120° . Juan Bragado Rodríguez hace una experiencia más detallada de las configuraciones con figuras no necesariamente regulares, además se encuentran fotografías de películas someténdolas a soplos con pajitas en los puntos de intersección. El enlace se encuentra disponible en https://www.imaginary.org/sites/default/files/superficies_minimas.pdf.

Nótese en esta instancia que debido a diferentes líquidos de densidades distintas se obtienen películas con estabilidades desiguales. Sus tensiones superficiales determinan el comportamiento de las superficies que conforman cada configuración. Lo clave en este experimento es ilustrar de forma visual que contrario a lo que se podría pensar, la manera más fácil de conectar tres puntos energéticamente no es un triángulo, o para cuatro puntos un cuadrilátero, sino que las películas se tienden a interceptar en puntos específicos donde al final, la energía utilizada para formar la película sea mínima.

Gráfico N° 5. Comparación de áreas



Elaboración propia.

De acuerdo al Gráfico N° 5 no sobraría mostrar a los estudiantes de forma analítica que el área aproximada de las películas con una altura si estas formaran un triángulo por ejemplo equilátero de lados sería:

$$3 \square \quad \square_1 \approx (1)$$

mientras que el área aproximada teniendo en cuenta las fronteras de Plateau y sus respectivas leyes es

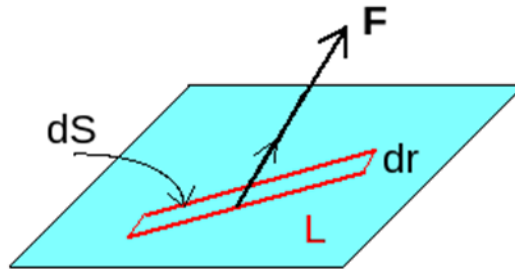
$$\square_2 \approx 3 \left(\frac{\square}{\sqrt{3}} \right) \Rightarrow \square_2 < \square_1 \quad (2)$$

Se hace la salvedad de que el área de cada una de las películas es aproximadamente a la de un rectángulo, pero realmente la parte superior de esta tiene forma de catenaria.

Ahora, sobre la composición de una película de jabón se sabe que consiste en una capa de agua atrapada entre dos capas de moléculas de jabón, estas últimas son moléculas anfífilas (comúnmente representadas con una cabeza hidrofílica y cola hidrofóbica). Esta configuración se da debido a que el jabón con una tensión superficial menor a la del líquido fluye expandiéndose a través de este retirando las moléculas de agua en la superficie (Efecto Marangoni), esta velocidad de flujo es la razón entre la

diferencia de tensiones superficiales de las dos soluciones y de la viscosidad del líquido. El resultado es una capa fina de moléculas de jabón que al ocupar la superficie busca minimizar el valor de energía concentrado en un área, resultado de que su tensión superficial es constante la superficie también tenderá a buscar el área mínima.

Gráfico N° 6. Tensión superficial.



Elaboración propia.

Comúnmente se encuentra que la tensión superficial (producto de las fuerzas de cohesión entre moléculas) es una medida de fuerza por unidad de longitud que soporta una película de fluido (), esta descripción ofrece una buena representación para la medición del valor de su magnitud. El interés en este caso es notar que la tensión superficial es una medida de la energía almacenada por unidad de área (véase Gráfico N° 6)

$$\gamma \int_{\square} \square dS_{MIN} = \frac{F}{L} = \frac{F dr}{L dr} = \frac{dU}{dS} \Rightarrow U_{MIN} = \quad (3)$$

Las moléculas de las películas de jabón buscan optimizar energéticamente su acción de cambiar el estado en que están, el resultado es buscar que se minimice el total de su superficie. El problema de las superficies minimales ha sido muy importante para la matemática, dentro de sus soluciones se encuentran el catenoide. Este es precisamente el caso de las películas formadas por dos anillos separados a una distancia comparable a sus radios, como parte de la ilustración en el estudiante el docente puede utilizar el siguiente medio interactivo <https://www.geogebra.org/m/KHVrrgKc>. Otras soluciones son el helicoides, las superficies mínimas de Schwarz, de Riemann, de Enneper, de Bour, entre otras.

La relevancia del estudio de las superficies minimales va desde la inspiración de artistas hasta ser una propiedad fundamental para la bioingeniería que estudia el autoensamblado de sistemas complejos. La ciencia subyacente a los fenómenos de

superficie no solamente propicia un encauce para explicar las pompas de jabón, precisamente el hecho de que las moléculas de esta película tengan propiedades similares a estructuras biológicas puede brindar una mejor comprensión en aspectos más amplios, funciones y propiedades de las membranas biológicas y vegetales que se comportan como moléculas de jabón (lipídicas) podrían ser descritas (Isenberg, 1978).

El sistema mecánico de moléculas obedece a minimizar su acción de cambiar su superficie, la interacción de la luz dentro de la película sigue el camino con la trayectoria que menos tiempo le gaste de llegar de un punto A a un punto B (Principio de Fermat). Lo crucial de esta segunda parte del trabajo es notar que al hablar del camino que sigue la luz en la película jabonosa también se trata de un problema variacional. El más clásico problema busca encontrar la curva que debe seguir un cuerpo que cae por acción del campo gravitacional en el menor tiempo posible, problema de la braquistócrona.

La velocidad de la luz propagándose por un medio depende del índice de refracción n del medio:

$$v = \frac{c}{n} = \frac{c}{\frac{1}{\lambda}} \Rightarrow \lambda = \frac{1}{n} \lambda_0 \Rightarrow \lambda_{\text{medio}} = \frac{1}{n} \lambda_0 \quad (4)$$

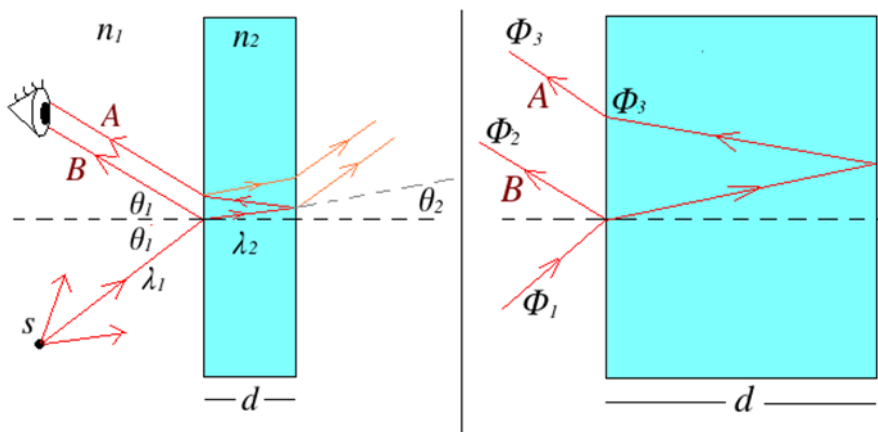
Nótese en este punto que se tiene una situación similar al problema de la superficie mínima de tal forma que su acción energética sea el menor gasto posible, en este caso el objetivo es hallar la trayectoria mínima de tal forma que el tiempo sea el menor posible. La expresión matemática indica que la suma de todas esas pequeñas trayectorias conduce a una línea recta si el índice de refracción es constante. Todo depende de la naturaleza de ese factor sujeto a las condiciones del propio medio porque si este cambia entonces la dirección del rayo de luz también lo hará. Lo que siempre se va a cumplir es que ese camino es el más óptimo que puede tomar la luz.

Se propone mostrar con una simulación interactiva que la luz no solamente se refleja sino que también se puede refractar debido al cambio del medio en el siguiente enlace https://phet.colorado.edu/sims/html/bending-light/latest/bending-light_en.html. El Gráfico N° 7 (izquierda) muestra las respectivas reflexiones y refracciones al cambiar de medio, nótese que la luz va desde la fuente y resulta en dos rayos de luz y . La interferencia entre las ondas de estas dos ondas determina la intensidad con la que se puede ver ciertas frecuencias de luz.

De acuerdo al Gráfico N° 7 (derecha) las fases de las ondas se representan por el símbolo. La onda de luz B inicialmente tenía una fase, pero al reflejarse tuvo un cambio de 180° . Se propone mostrar este hecho con la siguiente simulación: (https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_odraz_na_konci&l=es).

Adicionalmente el camino de la luz dentro de la película es diferente al reflejado, esto repercutirá en que la superposición de estas dos ondas pueden interferir constructiva o destructivamente. Se propone utilizar nuevamente una simulación en [vasca.cz](https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_skladani_kmitani_1&l=es) (https://www.vascak.cz/data/android/physicsatschool/template.php?s=kv_skladani_kmitani_1&l=es) para visualizar qué le ocurre a la onda resultante variando la diferencia de fase (denotada como en el simulador).

Gráfico N° 7. Camino óptimo de la luz



Elaboración propia. Izquierda: Representación camino de la luz. Derecha: Representación cambio de fase.

Es por esta razón que el aspecto de la pompa de jabón puede verse afectado por la forma en que superponen las ondas que resultan del rayo A y B . Hay zonas de la pompa que pueden verse más brillantes que otras (véase Gráfico N° 8). Un hecho que hay que tener en cuenta es que por acción de la gravedad la superficie no es del todo uniforme, es decir en algunas partes es más delgada que en otras. Y como la fase del rayo A depende del espesor de la película, entonces aparecen partes oscuras y brillantes en la película de jabón (Resnick, 1995).

Gráfico N° 8. Aspecto de una pompa de jabón.



<http://www.proyectosandia.com/2010/07/por-que-las-burbujas-de-jabon-muestran.html>

Conclusiones

Es claro que la forma y estabilidad de la película jabonosa depende de la tensión superficial la manera efectiva del tratamiento del concepto es viéndola como la energía necesaria que tiene una unidad de área para cambiar su superficie. A partir de las configuraciones de las películas de jabón encontrados no solamente en los experimentos caseros, sino en el trabajo de Juan Rodríguez, se puede dar cuenta de que casi contrario a lo que se podría esperar las películas no rodean los puntos para tres o cuatro, más bien buscan intersecarse en puntos específicos de manera que sus superficies sean mínimas, (véase Gráfico N° 1, 2, 3 y 4). Importante es señalar que de acuerdo a lo que se pudo observar con los experimentos realizados con glicerina, aceite y alcohol se lograron ver los ángulos que dictan las leyes de Plateau para el líquido más denso, las películas de jabón formadas con glicerina eran mucho más estables que las del aceite y el alcohol, ¿se podría concluir de este trabajo que esa estabilidad depende de la densidad? No necesariamente, pero podría decirse que al tratarse de moléculas más juntas (sustancias densas) mayor serían sus fuerzas de cohesión, por tanto mayor su tensión superficial y por tanto tendrían una mayor energía por cada elemento de área en sus películas para estabilizarse.

Mediante el principio de Fermat se logra describir la parte geométrica de la trayectoria de la luz en la película y en general en cualquier medio. Encontrar la superficie mínima queriendo buscar la forma de la película y encontrar la trayectoria óptima para que la luz tome el menor tiempo posible en cruzar la película abarcan dos problemas variacionales que tratados desde una forma estratégica pueden dar cuenta de las principales configuraciones y apariencia de las películas jabonosas.

Por último, mediante la indagación sobre la formación de las películas jabonosas se encontró que el estudio de las superficies minimales, pueden brindar herramientas importantes para el estudio de áreas aplicadas a la biología debido a que existen ciertos materiales y tejidos con moléculas similares a las de las películas jabonosas. Comprender sus propiedades significa por ejemplo avanzar en la comprensión y funcionamiento del autoensamblaje, un concepto que incluye la reparación de tejidos, el origen de la vida y sistemas inorgánicos.

Bibliografía

- Castiblanco, O. (2019). Formando profesores de física en torno a caracterizaciones de la experimentación. Tesis de libre docencia. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia. pp. 1-25.
- García, A. (2016) Película jabonosa entre dos aros. Curso interactivo de física en internet. <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/fluidos/pelicula/pelicula.html>
- Isenberg, C. (1978). The science of soap films and soap bubbles. Dover books explaining science pp. 1-30.

- Pompas de Jabón. (2006). <https://verso.mat.uam.es/~eugenio.hernandez/Estalmat-Materiales/VicenteMunoz/pompas.pdf>
- Resnick, R., Halliday, D., & Kane, K. (1994). Física Vol. 2 Versión Ampliada. Compañía Editorial Continental,. pp. 404-407.
- Resnick, R., Halliday, D., & Kane, K. (1994). Física Vol. 1 Versión Ampliada. Compañía Editorial Continental,. pp. 431-433.
- Rodriguez, J. () Películas de jabón y superficies mínimas https://www.imaginary.org/sites/default/files/superficies_minimas.pdf
- Superficie minimal. (2022, 29 de septiembre). Wikipedia, La enciclopedia libre. Fecha de consulta: 19:18, marzo 11, 2023 desde https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Superficie_minimal&oldid=146263043.
- Wikipedia contributors. (2023, February 20). Marangoni effect. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Retrieved 01:29, March 10, 2023, from https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Marangoni_effect&oldid=1141350536