



1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

Título: Estática y dinámica de las películas de jabón: Superficies minimales y medida de espesores mediante imagen espectral

Descripción general (resumen y metodología):

El objetivo del presente trabajo es el estudio de las películas de jabón desde dos puntos de vista diferentes pero complementarios. Por una parte el punto de vista matemático, que se preocupa de encontrar la forma que adoptan las películas de jabón. Por otra parte, el físico, que trata de explicar el comportamiento de las películas desde varios puntos de vista (en relación por ejemplo a los fenómenos de tensión superficial, o la evolución del perfil de espesor con el tiempo). Una manera tosca de catalogar estos puntos de vista es denominar a la aproximación matemática como "estática" y a la física como "dinámica".

Cuando adoptemos el punto de vista estático ignoraremos el espesor de la película ya que nos interesará únicamente la forma de la superficie. En esta sección explicaremos porqué para una película de jabón (que no encierra volumen) la curvatura media debe ser idénticamente nula, es decir debe ser una superficie minimal, y porqué esto equivale a que el área de la película sea mínima.

Por el contrario, desde el punto de vista dinámico el espesor de la película será una cuestión fundamental a estudiar. La medida de espesores en capas delgadas es un campo con numerosas aplicaciones (estudio de depósitos realizados sobre un sustrato determinado, calidad de recubrimientos ópticos con materiales multicapa, por citar sólo algunas). Tradicionalmente las medidas de espesor en capas finas estáticas se realizan mediante técnicas de elipsometría o interferometría estática [Hulbers et al 1997]. Sin embargo, estas técnicas requieren de equipos sofisticados y no son aplicables a películas finas con una evolución temporal del espesor, como las películas de jabón.

Para este caso, se han desarrollado recientemente técnicas de medida basadas en espectrofotometría [Sarma et al. 2001] o comparación de información espectral de la película capturada con un sistema multi o hiperespectral con el espectro teórico calculado para un ángulo de iluminación fijo utilizando la teoría de formación de patrones interferenciales, y la simulación de la respuesta del sistema de captura espectral [Chandran Suja et al. 2020]. Es necesario conocer los índices de refracción del medio y el ángulo de iluminación.

Se plantea en el TFG la adaptación de las técnicas de medida de espesores para películas de jabón, utilizando un dispositivo de captura hiperespectral y condiciones de iluminación con haces no colimados, lo que introducirá una cierta influencia de la presencia de diferentes ángulos de iluminación. En concreto, se estudiará la influencia de diferentes ángulos de iluminación presentes en la película y se introducirá esta información en la estimación de espesor. La hipótesis de partida es que será posible obtener una estimación más precisa del espesor que vaya acompañada de un conocimiento aproximado sobre el ángulo de iluminación utilizado. Como posible final con proyección futura del trabajo, se contempla la posibilidad de utilizar otros rangos del espectro (UV e infrarrojo cercanos) para poder extender la metodología a capas más finas o más gruesas de las permitidas por el rango espectral visible.

Seguiremos la siguiente metodología:

1. El alumno comenzará con el estudio de los conceptos y resultados teóricos a través de la bibliografía recomendada.

2. La parte teórica matemática se complementará con la representación gráfica de superficies minimales usando el software Mathematica.
3. La parte teórica física se complementará con los experimentos de laboratorio. Para las comprobaciones iniciales, se utilizarán patrones de capas finas estáticas de espesor conocido, y una vez validado el método, se aplicará a la medida de capas finas en películas de jabón, estudiando las bandas concretas que producen resultados más fiables. El sistema de captura de imagen hiperespectral es una cámara line-scan de Resonon Inc. que captura imágenes en el rango visible.
4. La memoria resultante se redactará con un editor de LaTeX.

Tipología: Estudio de casos, teóricos o prácticos, relacionados con la temática del Grado.

Objetivos planteados:

1. Definición de superficie minimal y propiedades elementales.
2. Justificar la minimalidad de las películas de jabón a través de la ecuación de Laplace-Young.
3. Relacionar los conceptos de superficie minimal, parametrización isoterma y función armónica.
4. Comprender y estudiar el problema de Plateau, abordando de manera analítica casos concretos.
5. Caracterizar las superficies minimales como aquellas que tienen menor área entre todas las superficies con el mismo borde.
6. Analizar casos en los que el problema variacional no tenga solución única, analizando los motivos que llevarían a una u otra configuración en una película de jabón real.
7. Estudiar algunos ejemplos de superficies minimales y representarlos mediante el software Mathematica.
8. Comprender y modelizar la formación de patrones interferenciales en películas de jabón planas y casi planas, considerando la dependencia del ángulo de iluminación empleado.
9. Poner a punto un montaje experimental para capturar la información espectral en películas de jabón y lograr analizar cuantitativa y cualitativamente su evolución temporal.
10. Adaptar el método propuesto en [Chandran Suja et al. 2020] a diferentes ángulos de iluminación y predecir el espesor de muestras patrón de películas estáticas, comparando con los datos conocidos de espesor para estas muestras.
11. Determinar si hay bandas con resultados más fiables que otras (bandas preferentes).
12. Aplicar el método modificado a la medida de espesor de películas de jabón planas o cuasi-planas, estudiando la evolución temporal del espesor en dichos medios.
13. Estudiar la posibilidad de extender el rango espectral a regiones de UV e infrarrojo cercanos.

Bibliografía básica:

- J. Lucas M. Barbosa y A. Gervasio Colares, "Minimal Surfaces in R^3 ", Lectures Notes 1195, Springer-Verlag, 1986.
- F. Brasz, "Soap Films: Statics and Dynamics" (Princeton, 2010), <http://www.princeton.edu/~stonelab/Teaching/FredBraszFinalPaper.pdf>
- M. P. do Carmo, "Geometría diferencial de curvas y superficies", Alianza Editorial, Madrid, 1990.
- V. Chandran Suja, J. Sentmanat, G. Hofmann, C. Scales y G. G. Fuller, "Hyperspectral imaging for dynamic thin film interferometry". Scientific reports, 10(1), 11378, 2020.
- L. A. Cordero, M. Fernández y A. Gray, "Geometría diferencial de curvas y superficies con Mathematica", Addison-Wesley Iberoamericana, Wilmington, 1995.
- U. Dierkes, S. Hildebrandt y A. J. Tromba, "Global analysis of minimal surfaces", A series of comprehensive studies in mathematics, vol. 341, Springer-Verlag, Berlín, 2010.
- P. D. Huibers y D. O. Shah, "Multispectral determination of soap film thickness". Langmuir, 13(22), 5995-5998, 1997.

C. Isenberg, "The science of soap films and soap bubbles", Dover, New York, 1992.

F. Martín y J. Pérez, "Superficies minimales y de curvatura media constante en R^3 ", apuntes curso de doctorado.

S. Montiel y A. Ros, "Curves and surfaces", Graduate texts in mathematics, vol. 69, AMS- RSME, 2005.

R. Osserman, "A Survey of Minimal Surfaces", Dover, 1986.

T. K. Sarma y A. Chatopadhyay, "Simultaneous measurement of flowing fluid layer and film thickness of a soap bubble using a UV– visible spectrophotometer". Langmuir, 17(21), 6399-6403 (2001).

Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:

Plazas: 1

2. DATOS DEL TUTOR/A:

Nombre y apellidos: LEONOR FERRER MARTÍNEZ

Ámbito de conocimiento/Departamento: GEOMETRÍA Y TOPOLOGÍA

Correo electrónico: lferrer@ugr.es

3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):

Nombre y apellidos: EVA MARÍA VALERO BENITO

Ámbito de conocimiento/Departamento: ÓPTICA

Correo electrónico: valerob@ugr.es

4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):

Nombre y apellidos:

Correo electrónico:

Nombre de la empresa o institución:

Dirección postal:

Puesto del tutor en la empresa o institución:

5. DATOS DEL ESTUDIANTE:

Nombre y apellidos: GUILLERMO CARO RODRIGUEZ

Correo electrónico: guillermocar@correo.ugr.es