

Interferometría en Películas Delgadas

Javier Alejandro Salcedo Castañeda
Laboratorio III - Departamento de Física – Facultad de Ciencias
Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela
Junio, 2025

RESUMEN:

En esta práctica se estudiaron distintos fenómenos de interferometría en películas delgadas mediante varios montajes experimentales. Se observaron patrones de interferencia generados por diferencias de espesor en películas de aire, películas de jabón y anillos de Newton producidos por la interacción entre una lente y una superficie plana. Mediante la observación y análisis de estas franjas de interferencia, fue posible estimar parámetros físicos como el espesor de objetos interpuestos (como papel y cabello), así como el radio de curvatura de lentes, utilizando tanto métodos ópticos como mecánicos. La combinación de luz monocromática y blanca permitió identificar claramente las condiciones de interferencia constructiva y destructiva.

I. OBJETIVOS

- Analizar los patrones de interferencia en diferentes películas delgadas
- Estudiar el radio de curvatura de lentes

II. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

II-A. Interferencia en Películas Delgadas

La interferencia en películas delgadas es un fenómeno óptico que ocurre cuando dos o más ondas de luz reflejadas desde las superficies opuestas de una película transparente se superponen, generando patrones de franjas claras y oscuras. Esto sucede debido a la diferencia de caminos ópticos que recorren los rayos reflejados, lo que puede dar lugar a interferencia constructiva o destructiva, dependiendo de la relación entre la longitud de onda y el espesor de la película.

Supongamos una película de espesor t e índice de refracción n , rodeada de aire, y una incidencia de luz casi normal. Parte de la luz se refleja en la superficie superior de la película (rayo 1), y parte se transmite y se refleja en la superficie inferior (rayo 2). Al recombinarse, estos rayos pueden interferir (Fig. 1).

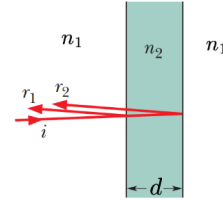


Fig. 1. Reflexiones de una película delgada. [1]

Cuando el rayo reflejado en la superficie superior sufre un cambio de fase de π (180°), como ocurre al reflejarse en un medio de mayor índice de refracción, y el rayo inferior no sufre tal cambio, la condición para interferencia **constructiva** se da cuando:

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n}, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Y la interferencia **destructiva** ocurre cuando:

$$2d = m \frac{\lambda}{n}, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

Aquí, λ es la longitud de onda de la luz en el aire. Estas fórmulas asumen que la luz incide perpendicularmente y que la película está rodeada por el mismo medio en ambas caras.

II-B. Películas de Espesor Variable

Cuando el espesor de la película cambia gradualmente, se producen franjas de interferencia que reflejan la variación espacial del espesor. Un ejemplo típico es una cuña de aire formada al colocar una delgada tira de papel entre dos placas de vidrio (Fig. 2). Al iluminar este sistema con luz monocromática, se observan franjas rectas y paralelas, cada una correspondiente a una condición específica de interferencia.

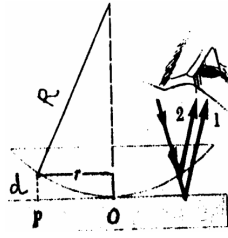


Fig. 3. Esquema de la interferencia de los anillos de Newton. [2]

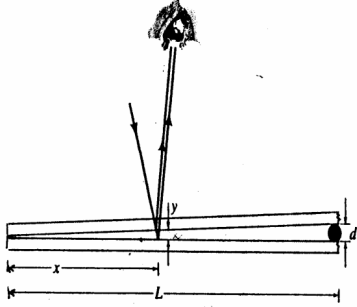


Fig. 2. Esquema interferencia en una película de aire. [2]

La separación entre franjas permite calcular el espesor o el ángulo de la cuña, y también se puede usar para estimar el índice de refracción del medio entre las placas.

II-C. Pompas de Jabón

Las pompas de jabón muestran interferencia debido a su espesor variable. En estos casos, la gravedad genera un gradiente en el espesor de la película, lo cual produce franjas de diferentes colores cuando se usa luz blanca. Cuando se usa luz monocromática, se observan franjas claras y oscuras concéntricas o irregulares, dependiendo de la geometría.

El centro de una burbuja puede verse oscuro porque en ese punto el espesor tiende a cero y se produce interferencia destructiva debido al cambio de fase en una de las reflexiones.

II-D. Anillos de Newton

Cuando una lente convexa se coloca sobre una placa de vidrio plana, se forma una película delgada de aire cuyo espesor aumenta radialmente desde el centro. Al iluminar el sistema con luz monocromática, se observan anillos concéntricos de interferencia.

El espesor d de la película en un punto a distancia radial r del centro está dado, para $r \ll R$, por:

$$d \approx \frac{r^2}{2R} \quad (3)$$

Donde R es el radio de curvatura de la lente. La condición para anillos oscuros (interferencia destructiva) es:

$$r_m^2 = m\lambda R, \quad m = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

Y para anillos claros (interferencia constructiva):

$$r_m^2 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda R \quad (5)$$

El centro del patrón suele ser oscuro, ya que ahí el espesor de la película es prácticamente cero y la interferencia es destructiva por el cambio de fase.

II-E. Medición de Curvaturas con Interferometría

Los anillos de Newton permiten determinar el radio de curvatura de una lente midiendo el radio de los anillos oscuros. Al graficar r_m^2 frente al número m , se obtiene una recta cuya pendiente está relacionada con λR , permitiendo calcular R si se conoce λ .

Además, esta técnica puede compararse con la medición directa mediante un esferómetro, el cual determina el radio de curvatura a partir de medidas mecánicas precisas del desplazamiento vertical h entre la superficie curva y una referencia plana:

$$r = \frac{a^2 + h^2}{2h} \quad (6)$$

donde a es la distancia entre patas del trípode y el tornillo central.

III. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

■ Montaje experimental

■ Experimentos con películas delgadas de espesor variable

- Observación de franjas de interferencia en películas de aire formada por la separación de dos objetos.
- Experimentos con pompas de jabón para analizar patrones de interferencia.

■ Determinación del radio de curvatura de lentes

- Generación de anillos de Newton mediante interferencia en una película delgada de aire entre lente y placa de vidrio.
- Medición del radio de los anillos de Newton para calcular el radio de curvatura de la lente.

III-A. Montaje experimental

Para este experimento se tiene el montaje experimental de la figura 4 que consta de una fuente para este caso de sodio, un microscopio a través del cual se va a observar los fenómenos, una base donde se ubicarán diferentes objetos y un micrómetro que servirá para medir distancias pequeñas.

III-B. Experimentos con películas delgadas de espesor variable

- Observación de franjas de interferencia en películas de aire:

Se colocan dos placas portaobjetos limpias en contacto, separadas en un extremo por una cinta delgada de papel, formando una cuña de aire. El sistema se ilumina con luz

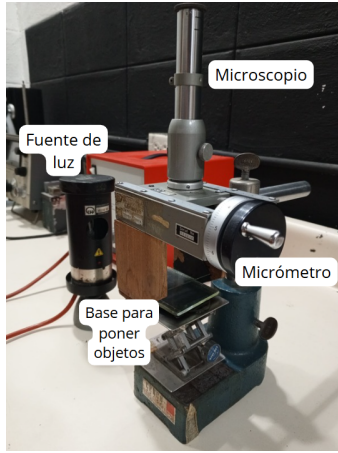


Fig. 4. Montaje experimental.

de sodio ($\lambda = 589 \text{ nm}$) dirigida perpendicularmente mediante un vidrio a 45° , y se observa con un microscopio con micrómetro.

Las franjas rectas observadas se deben a la interferencia entre rayos reflejados en las dos superficies. La separación entre franjas está relacionada con el espesor y el ángulo de la cuña. Usando:

$$\Delta x = \frac{L\lambda}{2d} \quad (7)$$

se calcula el espesor d de la cinta de papel o de objetos interpuestos como un cabello. Los resultados se comparan con medidas directas mediante tornillo micrométrico.

- Experimentos con pompas de jabón para analizar patrones de interferencia.

Se forma una película de jabón sobre un aro metálico y se ilumina con luz monocromática de sodio. Se observan franjas que varían con el espesor, el cual disminuye por gravedad. La franja central es oscura debido a interferencia destructiva por cambio de fase.

Con luz blanca, las franjas se tornan iridiscentes. Para interferencia constructiva en monocromática se usa:

$$2d = \left(m + \frac{1}{2}\right) \frac{\lambda}{n} \quad (8)$$

Estimando un espesor mínimo típico con $\lambda = 600 \text{ nm}$, $m = 1$ y $n = 1,33$, se obtiene:

$$d = \frac{\lambda}{4n} = 1,128 \times 10^{-7} \quad (9)$$

III-C. Determinación del radio de curvatura de lentes

- Generación de anillos de Newton mediante interferencia en una película delgada de aire entre lente y placa de vidrio.

Se coloca una lente plano-convexa sobre una placa de vidrio plana, formando una película de aire de espesor

variable. Bajo iluminación con luz de sodio y observación perpendicular, se generan anillos concéntricos por interferencia entre rayos reflejados.

- Medición del radio de los anillos de Newton para calcular el radio de curvatura de la lente.

Se mide el diámetro de los anillos brillantes con un microscopio y se gráfica r_m^2 frente a m . La relación:

$$r_m^2 = \left(m + \frac{1}{2}\right) \lambda R \quad (10)$$

permite determinar el radio de curvatura R , a partir de la pendiente y la longitud de onda conocida.

IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

IV-A. Experimentos con películas delgadas de espesor variable

En esta parte se montaron los porta objetos con dos objetos diferentes separándoles de un lado, el primero fueron dos hojas de papel juntas con $L = 4,515 \text{ cm}$ y donde las medidas se reflejan en la tabla I, el segundo objeto fue un cabello con $L = 4,365 \text{ cm}$ y donde las medidas se reflejan en la tabla II.

Donde en promedio para el papel se obtuvieron los siguientes datos:

- Resulto experimentalmente $\alpha = 0,00657 \text{ rad}$, ($0,377^\circ$)
- Resulto experimentalmente $d = (0,270 \pm 0,010) \text{ mm}$
- Con valor tabulado: 0.280 mm
Se tiene una discrepancia: 3.40%
- Con valor medido con micrómetro:
 $d = (0,21 \pm 0,01) \text{ mm}$
Se tiene una discrepancia: 28.80%

Donde en promedio para el cabello se obtuvieron los siguientes datos:

- Resulto experimentalmente $\alpha = 0,00219 \text{ rad}$, ($0,125^\circ$)
- Resulto experimentalmente $d = (0,093 \pm 0,010) \text{ mm}$
- Con valor tabulado: 0.09 mm
Se tiene una discrepancia: 3.69%
- Con valor medido con micrómetro:
 $d = (0,07 \pm 0,01) \text{ mm}$
Se tiene una discrepancia: 33.31%

IV-B. Experimentos con pompas de jabón para analizar patrones de interferencia.

Esta parte de la experiencia fue más observacional que otra cosa. En este caso, para en un aro de alambre se formó una película de jabón en este, se observaron dos casos interesantes:

TABLA I
DATOS DE LA SEPARACIÓN CON DOS HOJAS DE PAPEL JUNTAS.

m	x (mm)	d (mm)
0	20.29	0.24
1	20.27	0.24
2	20.22	0.24
3	20.17	0.24
4	20.13	0.30
5	20.08	0.24
6	20.04	0.30
7	20.00	0.30
8	19.96	0.30
9	19.90	0.20
10	19.86	0.30
11	19.82	0.30
12	19.77	0.24
13	19.73	0.30
14	19.68	0.24
15	19.64	0.30
16	19.59	0.24
17	19.55	0.30
18	19.50	0.24
19	19.46	0.30
20	19.42	0.30
21	19.37	0.24
22	19.32	0.24
23	19.28	0.30
24	19.24	0.30
25	19.19	0.24
26	19.14	0.24
27	19.09	0.24
28	19.05	0.30
29	19.01	0.30
30	18.97	0.30
Incertidumbre	$\Delta x = 0,01$	$\Delta d = 0,01$

TABLA II
DATOS DE LA SEPARACIÓN CON CABELLO.

m	x (mm)	d (mm)
0	12.42	0.09
1	12.29	0.09
2	12.16	0.09
3	12.04	0.10
4	11.91	0.09
5	11.78	0.09
6	11.64	0.09
7	11.50	0.09
8	11.37	0.09
9	11.24	0.09
10	11.10	0.09
11	10.98	0.10
12	10.84	0.09
13	10.70	0.09
14	10.56	0.09
15	10.42	0.09
16	10.28	0.09
17	10.14	0.09
18	10.02	0.10
19	9.88	0.09
20	9.74	0.09
21	9.60	0.09
22	9.48	0.10
23	9.32	0.08
24	9.19	0.09
25	9.06	0.09
26	8.91	0.08
27	8.79	0.10
28	8.66	0.09
29	8.52	0.09
30	8.38	0.09
Incertidumbre	$\Delta x = 0,01$	$\Delta d = 0,01$

■ Película de jabon horizontal:

En este caso, se uso luz blanca y el aro con la pelicula se horientaron de forma horizontal (Fig. 5) donde se observo interferencia de multiples colores que era caotico sin ningun orden o patron observable.

■ Pelicula de jabon vertical:

En este caso, el aro con la pelicula se orientaron de forma vertical, esta se ilumino con luz blanca (Fig. 6) y luz monocromática de una lámpara de sodio (Fig. 7). Se observó un patrón de interferencia ordenado y uniforme. La tensión superficial del jabón permitió que la película cubriera completamente el aro sin romperse; sin embargo,

la fuerza de la gravedad provocó un adelgazamiento gradual de la parte superior de la película y un ensanchamiento en la parte inferior. Esta variación en el espesor generó diferentes distancias entre las interfaces, lo que resultó en el patrón de interferencia observado. Con luz blanca, se apreciaron múltiples colores dispuestos en un patrón uniforme, mientras que con la luz de sodio se distinguieron claramente zonas de interferencia constructiva (iluminadas) y destructiva (oscuras).



Fig. 5. Película de jabón horizontal bajo luz blanca.



Fig. 6. Película de jabón vertical bajo luz blanca.



Fig. 7. Película de jabón vertical bajo luz de sodio.

IV-C. Determinación del radio de curvatura de lentes

En esta se estudian los anillos de Newton generados por tres lentes diferentes (Fig. 8), los datos para cada lente se reflejan en las tablas III, IV y V. De estas tablas y con la ecuación 10

se generaron los gráficos de las figuras 9, 10 y 11 de los cuales la pendiente resulta ser el radio de curvatura de los lentes.

- Para la lente 1 se determino $R = +300,32 \text{ mm}$
- Para la lente 2 se determino $R = +534,85 \text{ mm}$
- Para la lente 3 se determino $R = +202,63 \text{ mm}$

TABLA III
DATOS DE ANILLOS DE NEWTON PARA EL LENTE 1.

Anillo	$R_{Izquierdo} (mm)$	$R_{Derecho} (mm)$
1	7.38	6.74
2	7.59	6.51
3	7.76	6.37
4	7.89	6.25
5	7.98	6.16
6	8.08	6.05
7	8.17	5.96
8	8.23	5.89
9	8.28	5.81
10	8.35	5.75
Incertidumbre	$\Delta x = 0,01$	$\Delta d = 0,01$

TABLA IV
DATOS DE ANILLOS DE NEWTON PARA EL LENTE 2.

Anillo	$R_{Izquierdo} (mm)$	$R_{Derecho} (mm)$
1	8.83	8.07
2	9.11	7.77
3	9.30	7.57
4	9.46	7.42
5	9.61	7.25
6	9.74	7.14
7	9.84	7.02
8	9.96	6.91
9	10.05	6.80
10	10.17	6.71
Incertidumbre	$\Delta x = 0,01$	$\Delta d = 0,01$

TABLA V
DATOS DE ANILLOS DE NEWTON PARA EL LENTE 3.

Anillo	$R_{Izquierdo} (mm)$	$R_{Derecho} (mm)$
1	10.56	9.96
2	10.67	9.79
3	10.81	9.66
4	10.90	9.55
5	10.99	9.49
6	11.05	9.40
7	11.13	9.33
8	11.20	9.27
9	11.25	9.21
10	11.31	9.16
Incertidumbre	$\Delta x = 0,01$	$\Delta d = 0,01$

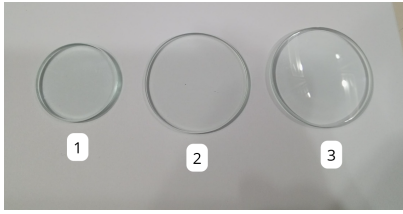


Fig. 8. Lentes a utilizar.

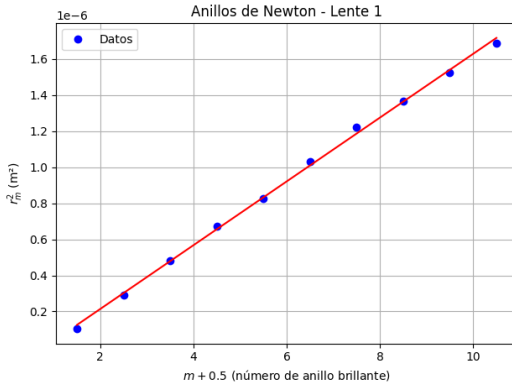


Fig. 9. Gráfico de los datos del lente 1.

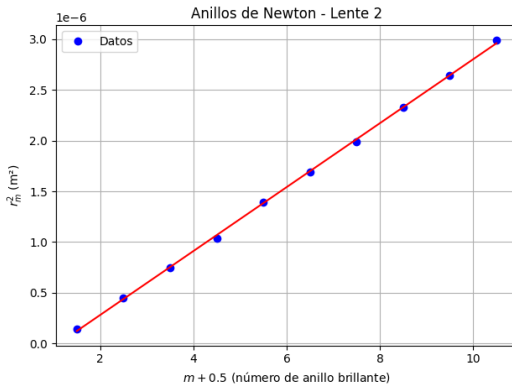


Fig. 10. Gráfico de los datos del lente 2.

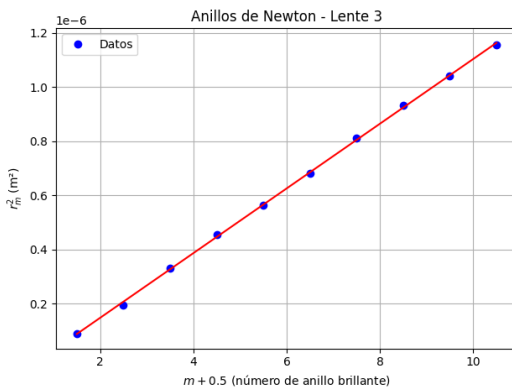


Fig. 11. Gráfico de los datos del lente 3.

CONCLUSIONES

Los experimentos realizados permitieron observar con claridad todos los efectos interferométricos esperados en las películas delgadas. Desde las franjas rectas producidas por cuñas de aire hasta los patrones concéntricos de los anillos de Newton, cada fenómeno se manifestó sin dificultades técnicas importantes. La experiencia con las películas de jabón también resultó reveladora, mostrando cómo el espesor variable puede generar patrones caóticos u ordenados dependiendo de la orientación y tipo de iluminación. Cabe destacar, sin embargo, que en los experimentos con espesor variable, al comparar los resultados obtenidos ópticamente con los medidos directamente con micrómetro, se evidenció una diferencia considerable. No obstante, los valores calculados se aproximaron razonablemente a los valores tabulados, lo que respalda la validez del enfoque interferométrico en este tipo de mediciones.

REFERENCIAS

- [1] D. Halliday, R. Resnick, and J. Walker, *Fundamentals of Physics*, 10th ed. United States of America: Wiley, 2014, vol. Extended.
- [2] J. Martín and F. Dugarte, *Guías de laboratorio (Laboratorio III)*, Departamento de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela, (Material no publicado).
- [3] F. W. Sears, M. W. Zemansky, H. D. Young, and R. A. Freedman, *Física Universitaria con Física Moderna*, 12th ed. México: Pearson Educación, 2009, vol. 2.
- [4] R. A. Serway and J. W. Jewett, *Física para ciencias e ingeniería con Física Moderna*, 7th ed. México: Cengage Learning, 2009, vol. 2.
- [5] E. Hecht, *Optics*, 4th ed. USA: Addison-Wesley, 2002.