

Óptica Ondulatoria

Interferencia

- Fichas de trabajo de los estudiantes
- Notas para los profesores

Por W. Brauers

**Traducción de la 1º Edición en Alemán
Febrero de 1991**



Contenidos

0.0	Prefacio . . . . .	.5
0.1	Planes . . . . .	.7
0.2	Fuentes de voltaje . . . . .	.9
0.3	Equipamiento . . . . .	.10
1.	Experimento del espejo doble de Fresnel . . . . .	.15
1.1	Instalación con equipamiento STM . . . . .	.19
2.2	Instalación con equipamiento de demostración . . . . .	.23
2.	Experimento del biprisma de Fresnel . . . . .	.25
2.1	Instalación con equipamiento STM . . . . .	.31
2.2	Instalación con equipamiento de demostración . . . . .	.35
3.	Experimentos de la doble ranura de Young . . . . .	.37
3.1	Instalación con equipamiento STM . . . . .	.41
3.2	Instalación del equipamiento de demostración . . . . .	.43
4.	Anillos de Newton . . . . .	.45
4.1	Interferencias en la luz que atraviesa el sistema STM . . . . .	.49
4.2	Instalaciones con equipamiento de demostración . . . . .	.53
	a) Interferencias en la luz incidente . . . . .	.53
	b) Interferencias en la luz reflejada . . . . .	.54
	Montaje de los equipos . . . . .	.56
	Sumario de los módulos de física . . . . .	.57



Prefacio

El tema de la “Óptica ondulatoria, Interferencia” contiene importantes experimentos de interferencia los cuales han contribuido a la comprensión de la naturaleza de la luz durante los siglos XVIII y XIX. En aquellos días, había conflicto entre la teoría corpuscular de Newton y la teoría ondulatoria de Huygen. Una característica de estos experimentos es el principio básico común que con procesos de rayos ópticos (división de rayo, reflexión, refracción y desvanecimiento gradual), se producen dos haces de luz que interfieren entre sí de la luz emitida desde una fuente simple.

Con este método de superposición luminosa, hablamos entonces de interferencia de dos rayos.

Los estudiantes pueden realizar todos los experimentos que tratan este tema en este libro independientemente uno del otro. Sin embargo, son apropiados también para demostración. Ambas versiones se consideran cuando se reproducen los sistemas de los experimentos.

Los juegos de STM de aparatos para óptica (principalmente OP1 y OP7) y los aparatos individuales de temas específicos (espejo de Fresnel, biprisma de Fresnel, placa y lente para los anillos de Newton) proporcionan el material necesario para los experimentos.

▸ Instalación del aparato

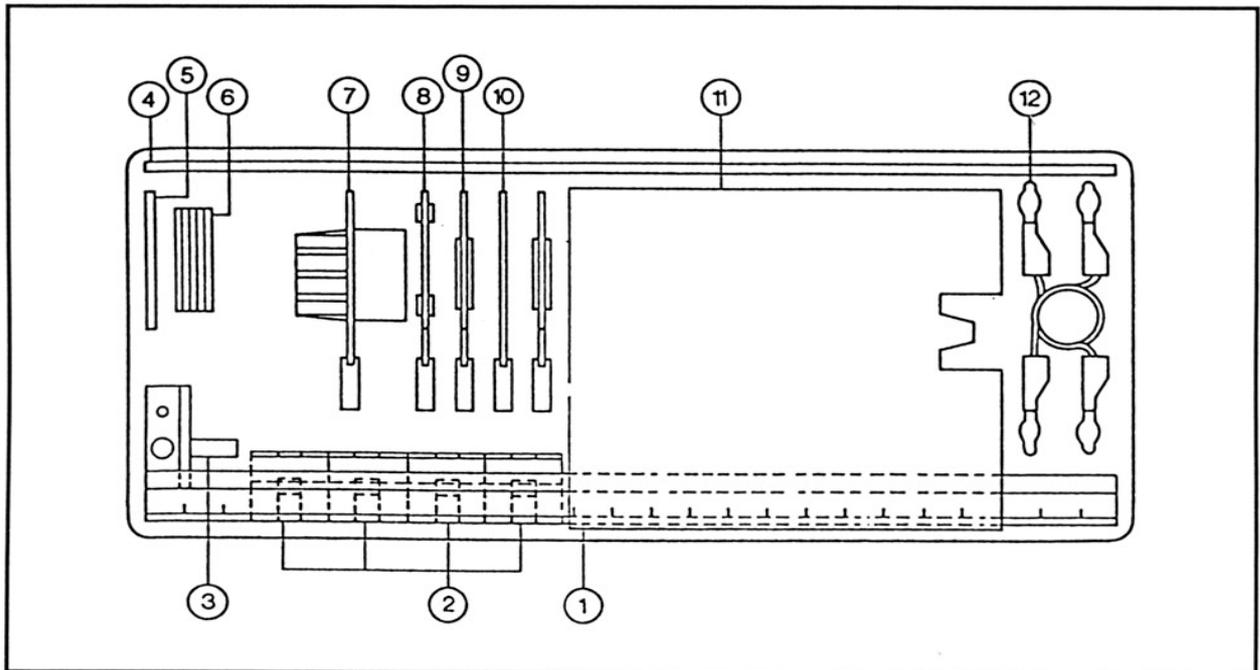
Las descripciones de los experimentos de STM en este manual consisten en fichas de trabajo de los estudiantes acompañados por la información para el profesor.

Las fichas de trabajo de los estudiantes pueden ser fotocopiadas para el uso propio del establecimiento. Los objetivos del experimento se describen en la sección del profesor para cada tema. Usted podrá apreciar las líneas generales del material utilizado si lee esta parte antes de comenzar.



Planes

OP1



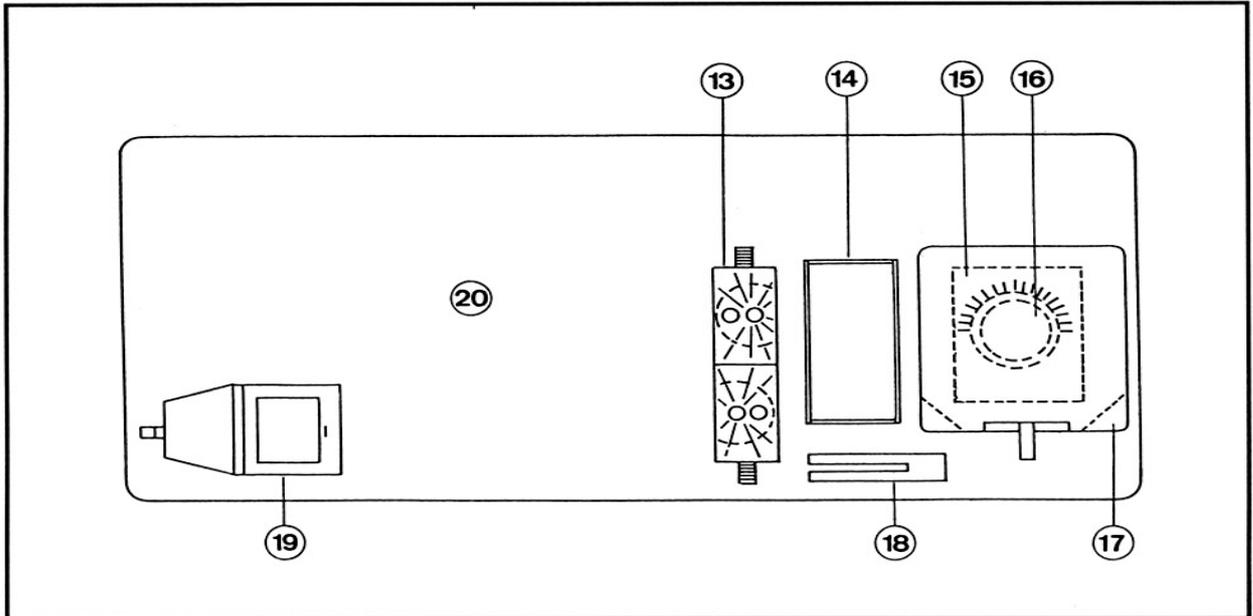
(1) Raíl metálico de precisión de 0.5 m	460 82
(2) 4 jinetillos con pinza	460 95
(3) 2 Portaplacas*	459 30
(4) Escala metálica*	460 97
(5) Espejo plano de 50 x 75 mm*	459 38
(6) Juego de 2 diafragmas con ranura*	461 62
Juego de 4 diafragmas diferentes*	461 63
(7) Lámpara tubular	459 03
(8) Soporte para diafragmas y diapositivas	459 33
(9) Lente B, $f = 100^*$	459 62
(10) Pantalla traslúcida*	459 24
(11) Mesa de óptica	(459 15)
(12) Par de cables, 50 cm	501 45

* Los items marcados * no son necesarios para los experimentos de interferencia que se describen en este libro.



Planes

OP8



(1)	Jinetillo con pinza	460 95
(2)	Ranura regulable	471 71
(3)	Lupa	459 19
(4)	Caja con espejos	459 17
(5)	Cajita para diapositivas	442 89
	Diafragma con 3 ranuras simples	469 91
	Diafragma con 3 ranuras dobles	469 84
	Diafragma con 4 ranuras dobles	469 85
en (5)	Diafragma con 5 ranuras múltiples	469 86
	Diafragma con 3 rejillas de difracción	469 87
	Diafragma con 2 rejillas bidimensionales	469 88
	Diafragma con 3 pares de discos con agujeros de diferente diámetro	469 89
	Diafragma con ranura y puentecillo	469 90
(6)	Raíl metálico de precisión de 0.5 m	460 82



Fuentes de voltaje

Se recomiendan las siguientes fuentes de voltaje para los experimentos:

1) Voltaje de CA de hasta 12 V max.

Ej.

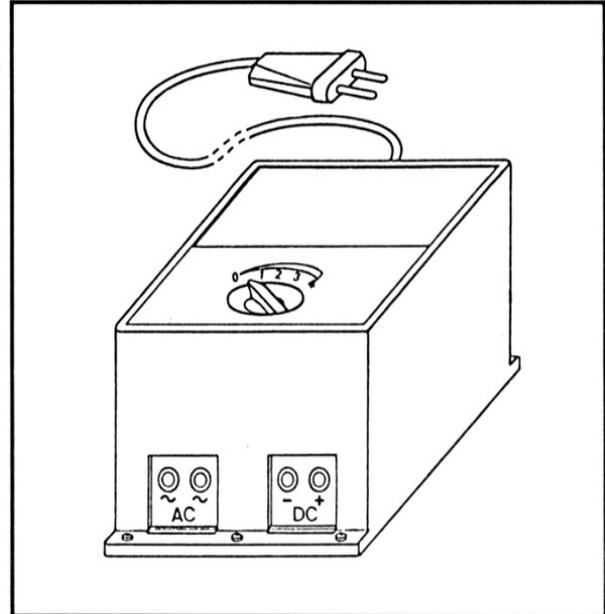
Fuente de alimentación de baja tensión de 3 A (522 16)

Salidas:

3/6/9/12 V de CA
3 A 3/6/9/1 V de CC
3 A

Fusible:

Protección contra sobrecarga térmica (conmutador bimetálico)

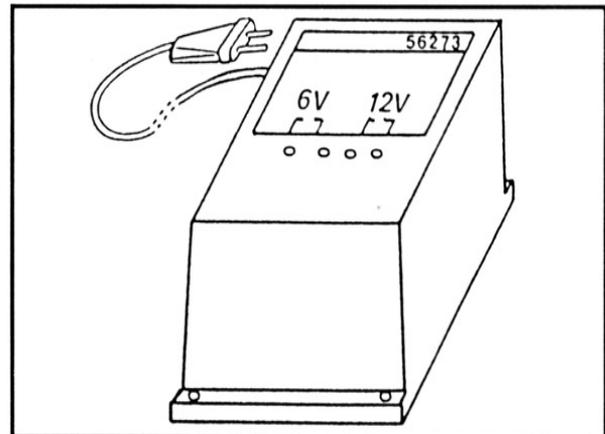


las

2) Voltaje de CA de 6 V / 12 V de CA

Ej.

Transformador de 6/12 V de CA; 30 W (562 73)





EQUIPAMIENTO

Items individuales del equipamiento (no incluido en las colecciones STM)

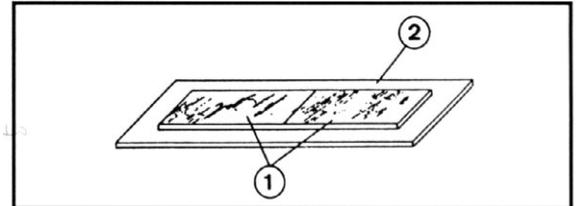
Espejo de Fresnel sobre placa (471 04)

El espejo de Fresnel consiste en dos espejos inclinados uno hacia el otro (1), insertado a una placa de metal (2).

Dimensiones del espejo individual:
30 mm x 40 mm

Angulo de inclinación:
Aprox. 10'

Dimensiones de la placa metálica:
50 mm x 100 mm



Biprisma de Fresnel (471 09)

El biprisma de Fresnel puede imaginarse como dos prismas P_1 y P_2 .

Un lado, compuesto por dos superficies de igual tamaño inclinadas ligeramente una con respecto a la otra, está opuesto a la superficie de nivel en el otro lado.

γ = ángulo de inclinación = ángulo de refracción:
aprox. 0.5°

Índice de refracción: $n = 1.5231$
(para $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)

Dimensiones: 50 mm x 50 mm x 2 mm

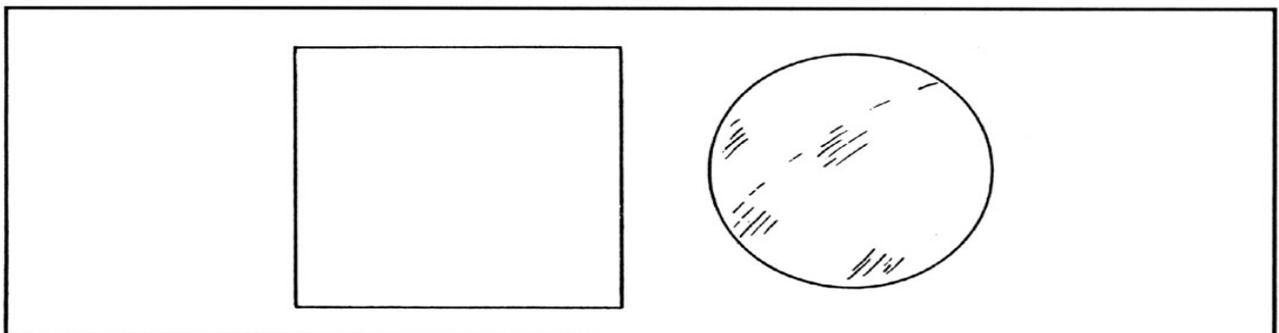
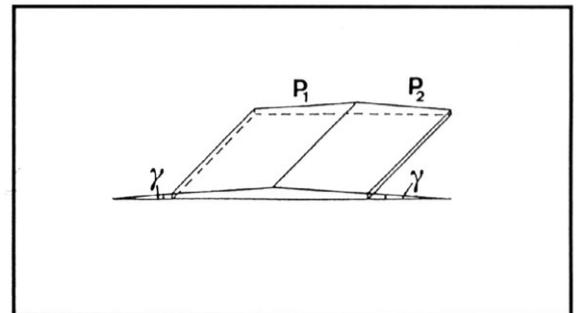


Fig.A

Placa y lente para los anillos de Newton (471 08)

Placa de planos paralelos

- Dimensiones: 50 mm x 50 mm x 3 mm

Lente, planoconvexo

- Diámetro: 40 mm

- Radio de curvatura: aprox. 2 m



Armado de la placa y de la lente para crear los anillos de Newton

Ubique la lente con el lado convexo sobre la placa. Sostenga la placa y la lente juntas ya sea con una cinta adhesiva (Fig. B) o con un adhesivo permanente. Aplique cuidadosamente a los tres puntos que se muestran en la figura C:

Importante



Bajo ninguna circunstancia las impurezas (particularmente adhesivas) deben alcanzar el área central de la lente.

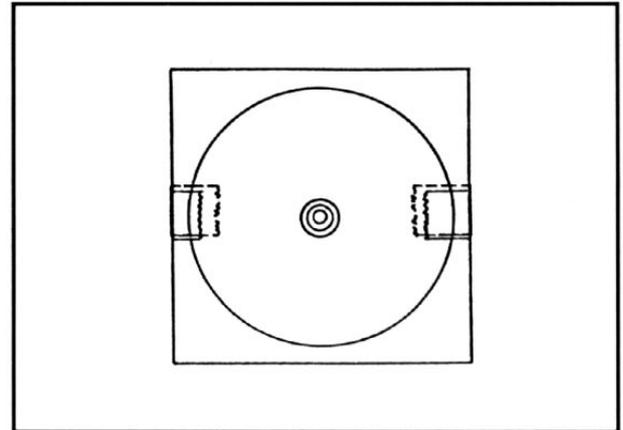


Fig. B

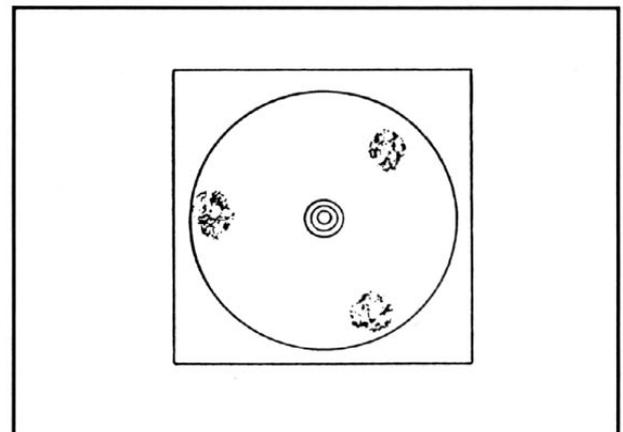


Fig. C

Filtro de luz monocromática

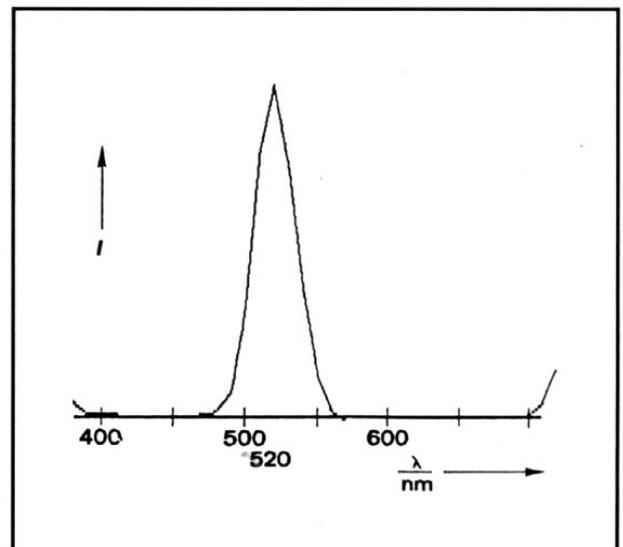
Azul-verde (468 09)

El filtro es una película de color que se inserta entre placas de vidrio de 50 mm x 50 mm y el cual es mantenido en su lugar, enmarcado e indicado con el número de catálogo.

Dimensiones: 50 mm x 50 mm

La transparencia del filtro puede observarse en el diagrama de esta página.

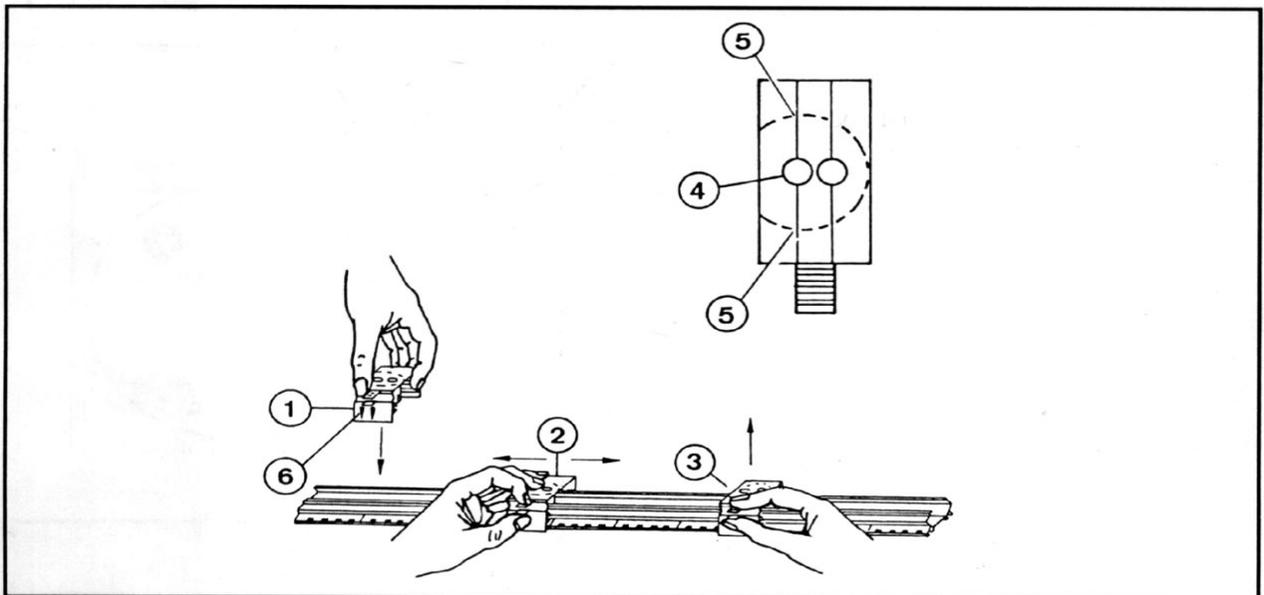
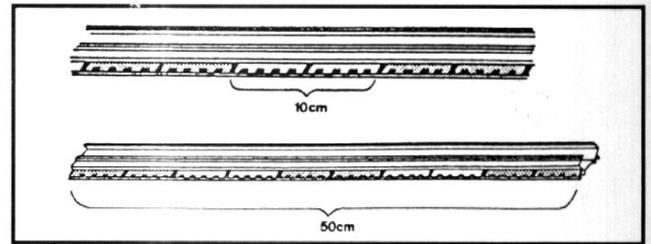
La transparencia óptica máxima es dada por la longitud de onda $\lambda = 520$ nm.





Items del equipamiento de las colecciones STM
Raíles metálicos de precisión, 0.5 m

Tarea: Sujetar los jinetillos en los que se insertan diversos componentes ópticos, dependiendo del experimento.
Escala dividida en bloques alternativos rojos y blancos de 10 cm.
Cada bloque está subdividido en secciones en cm. Los números dados en las ilustraciones de armado se refieren a la escala.



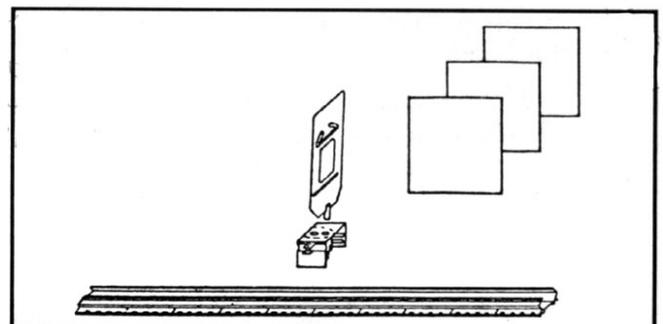
Jinetillos con pinza

Usados para sostener los componentes ópticos individuales (por Ej. lentes, soportes para diafragmas, etc). Se coloca el jinetillo en el banco óptico y se lo fija mediante presión (1). Al presionar juntamente las dos lengüetas, puede ser desplazado fácilmente a lo largo del banco óptico (2) o también puede ser extraído (3). Los componentes ópticos se introducen en la abertura izquierda (4) y se ajustan por medio de la ranura (5), es decir, se alinean. La información en cm de las ilustraciones se refiere a la flecha indicadora izquierda situada en la base del jinetillo (6).

Filtros

Los filtros se mueven en la trayectoria del haz con la ayuda del soporte para diafragmas y diapositivas. Dependiendo de los requerimientos, pueden ser empujados a ambos lados del soporte.

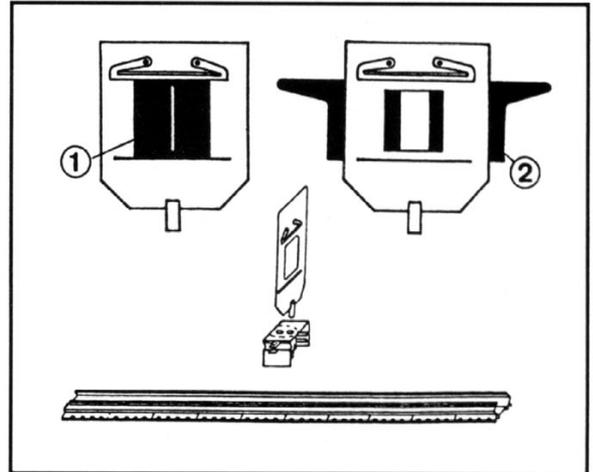
Filtro de color utilizado (de OP3, de 467 95)
Filtro del rojo: $\lambda \approx 610 \text{ nm}$.



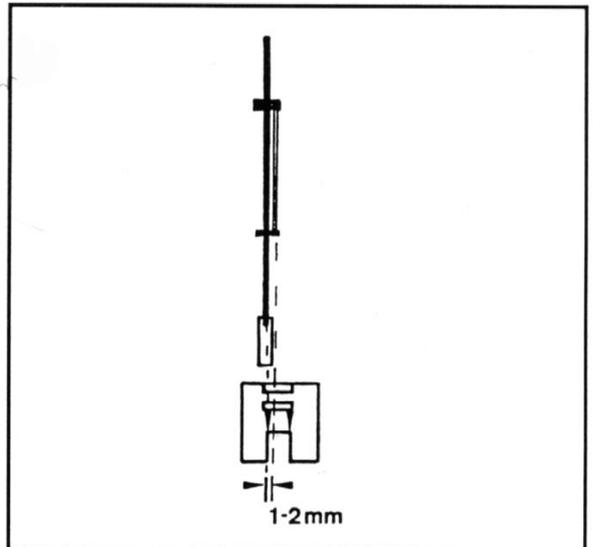


Soporte para diafragmas y diapositivas (459 33)

Se inserta la varilla del soporte del diafragma en el jinetillo con pinza. El punto central del diafragma queda indicado por la flecha derecha. Se empuja el diafragma (en el marco de la diapositiva) hacia el lado del soporte opuesto a la lámpara bajo la presilla. El otro lado se utiliza para acomodar el soporte para diapositivas y diafragmas (2) que puede usarse para cubrir una parte de la abertura del diafragma.



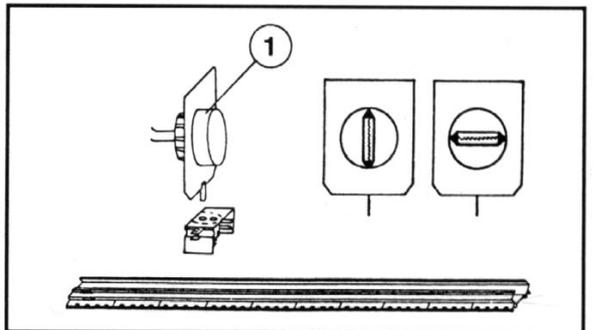
La posición de la flecha indicadora del jinetillo y la posición del objeto (diafragma) introducido en el soporte del diafragma difieren ligeramente entre si. La flecha indicadora da la posición del marco. Los diafragmas o las diapositivas pueden encontrarse 1 o 2 mm detrás del marco, ya que están asegurados al lado del soporte opuesto a la lámpara. De todas maneras, esta diferencia puede ser en la mayoría de los casos despreciada teniendo en cuenta la precisión requerida para estos experimentos.



Lámpara tubular (459 03)

Se inserta la varilla del bastidor de la lámpara en la abertura izquierda del jinetillo. El tubo de la lámpara (1) puede girarse, pudiéndose así ajustar el filamento de la lámpara en posición vertical u horizontal.

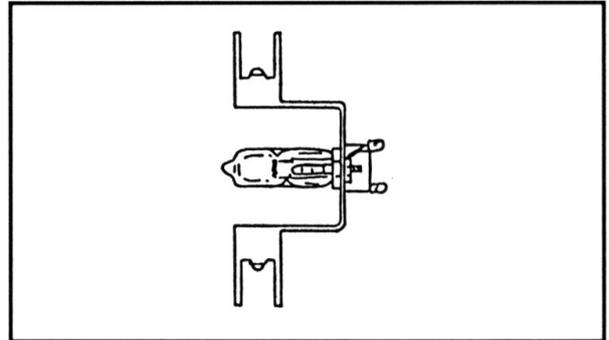
Máxima tensión de trabajo de la lámpara:
12 V de CA/CC





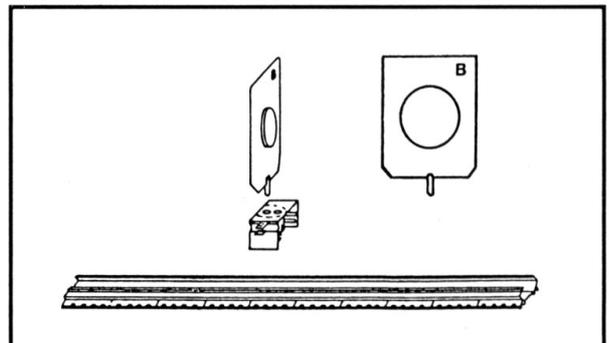
Lámpara halógena insertada

para la lámpara tubular de 12 V/20 W (459 04)



Lentes

Se introducen las varillas de las lentes en la abertura izquierda del jinetillo. El punto central de la lente estará de este modo indicado en el raíl por la flecha izquierda. La letra de identificación de la lente, por ejemplo "B", debe mirar en dirección opuesta a la lámpara.



Letra de identificación de las lentes	Longitud focal f/ mm	Incluido en el juego
A	+ 50	OP4
B	+ 100	OP1
C	+ 200	OP2,OP4
H	+ 300	



Fichas de trabajo de los estudiantes 1

Experimento del espejo doble de Fresnel

- Tareas**
1. Obtener la interferencia de dos haces con la ayuda de un espejo doble.
 2. Evaluar las franjas de interferencia en la luz monocromática:
Determinar la longitud de onda λ .

Aparatos

- | | |
|----------------------------------|--|
| 1 Espejo de Fresnel sobre placa | 1 Ranura regulable |
| 2 Bancos ópticos, 0.5m | 1 Soporte para diafragmas y diapositivas |
| 6 Jinetillos con pinza | 1 Lente H ($f = 30 \text{ cm}$) |
| 1 Lámpara tubular | 1 Caja con espejos |
| 1 Par de cables | 1 Lupa |
| 1 Fuente de tensión, 12 V | 1 Filtro del rojo |
| 1 Lente A ($f = 5 \text{ cm}$) | 1 Medida de cinta, 2 m |

Montaje

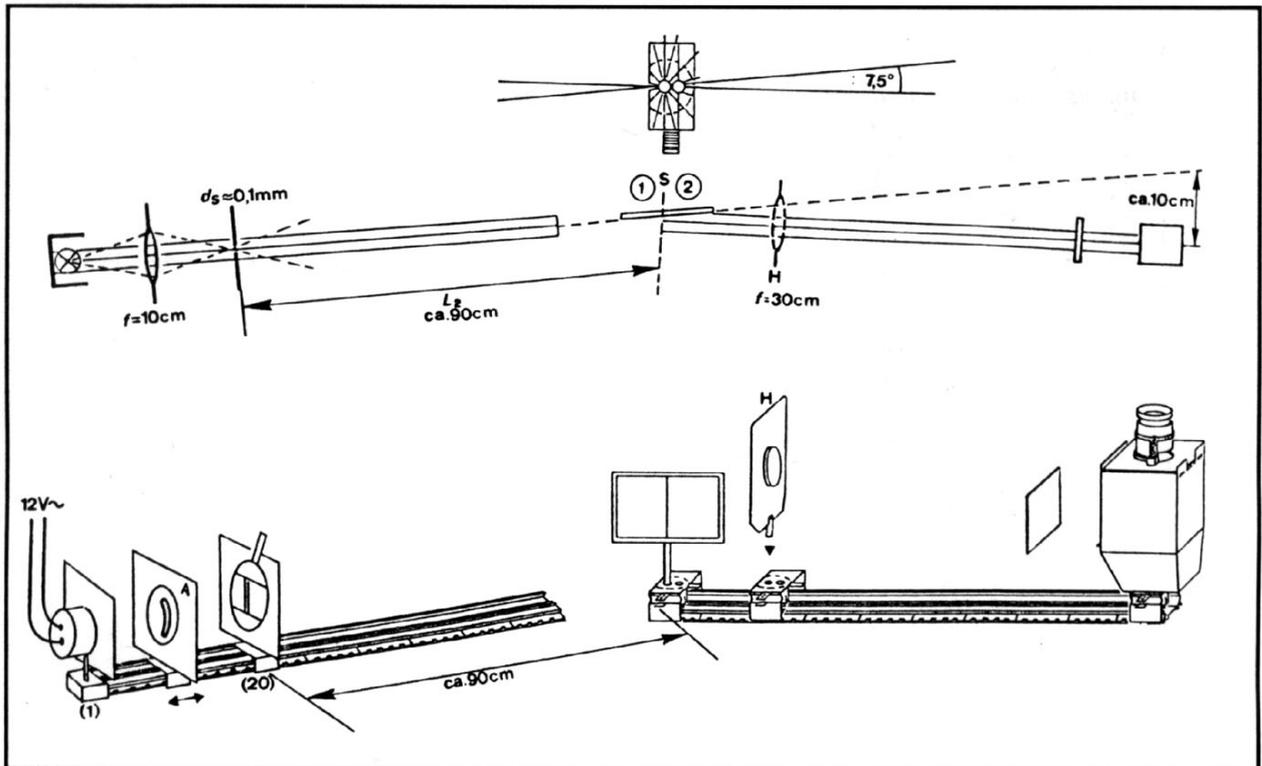


Fig.1: Abajo: montaje para experimento del espejo doble de Fresnel, utilizando aparatos STM
Arriba: proyección horizontal de la disposición.



► Fig.1

Banco óptico izquierdo:

Instalación de un condensador

Seleccione un ancho de ranura aprox. de 0.1 mm

Forme una imagen nítida del filamento de la lámpara ubicando la lente A en el plano de la ranura y alinearla paralelo a la ranura.

Banco óptico derecho:

Inicialmente no utilice la lente H. Inserte el espejo doble en el extremo izquierdo.

El jinetillo para el espejo doble tiene puntos de encaje a 0° y 15° .

Para alinear el espejo doble, seleccione el centro entre estos dos puntos.

Fije la caja con espejos al extremo derecho. No aplique la lupa aún.

- Luego disponga los dos bancos ópticos que se muestran en la Fig.1.
- Cuando mire dentro de la caja con espejos, debe poder ver dos imágenes del espejo de la ranura iluminada.
Esto se logra fácilmente ajustando ligeramente la alineación del banco óptico derecho.
- Ajuste la lupa de manera que la escala está en foco y lugar en la caja con espejos. Las franjas de interferencia (luz paralela y líneas oscuras) deben ser por lo tanto visibles.
- Sostenga el filtro de la luz (filtro del rojo) en la trayectoria del haz.

Método

Mida la distancia d entre dos mínimos de las líneas de interferencia como valor promedio de la distancia de varios mínimos (ejemplo 10) ► Tabla

La longitud de onda λ de la luz monocromática (aproximadamente) puede determinarse de la distancia d de las franjas de las líneas de interferencia, si conoce la distancia a de los centros de onda.

En este caso, esta es la distancia de las dos imágenes del espejo de la ranura iluminada.

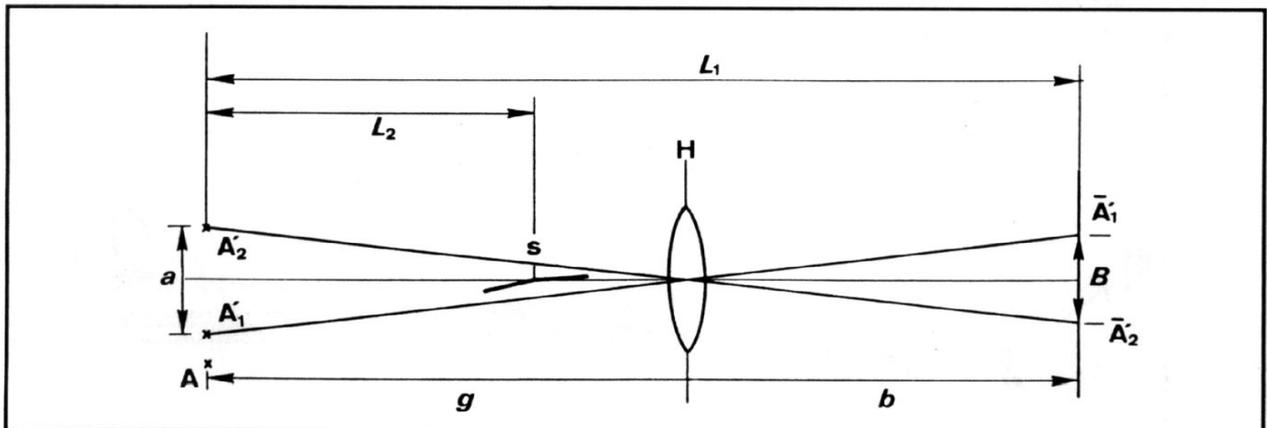


Fig.2: A: ranura iluminada, A_1' y A_2' : imágenes virtuales del espejo cuya distancia entre sí está dada por a . Imagen de A_1' y A_2' , con la ayuda de la lente H.

B: espacios de las imágenes del espejo en el plano de formación de imágenes.

g : distancia del objeto

b : distancia de la imagen

La distancia a puede ser ya sea:

- a) determinada experimentalmente con la ayuda de una simple instalación óptica ► Fig.2 o
- b) con la ayuda del ángulo de inclinación ϑ de los dos espejos y la distancia L_2 (ranura A – eje del espejo S). ► Fig.3.



Determinación experimental de a

Formación de una imagen de las fuentes de luz virtuales (imágenes del espejo de la ranura iluminada) con la ayuda de una lente (▶ Fig.2)

Determinación de a con la ayuda de la ecuación de distancia conjugada.

Método

- Inserte la lente H (▶ Fig.1/Fig.2)
- Muévelo de manera que se formen imágenes nítidas de la ranura iluminada en los dos espejos.
- Mida la distancia B de las dos imágenes de la ranura bajo la lupa ▶ Tabla.
- Mida la distancia b de la imagen (b = distancia de la lente H desde el plano de la imagen = pared posterior de la caja con espejos) ▶ Tabla
- Mida la distancia g del objeto (g = distancia ranura - lente H) ▶ Tabla

Mida también lo siguiente para evaluaciones posteriores:

- L₁: distancia ranura A - plano de formación de imagen (pared posterior de la caja con espejos)
- L₂: distancia ranura A – borde S del espejo (centro del espejo doble)

Los valores medidos listados en la siguiente tabla se explican en la descripción de la Fig.2.

$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{B}{\text{mm}}$	$\frac{b}{\text{mm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{L_1}{\text{mm}}$	$\frac{L_2}{\text{mm}}$

Determinación aritmética de a

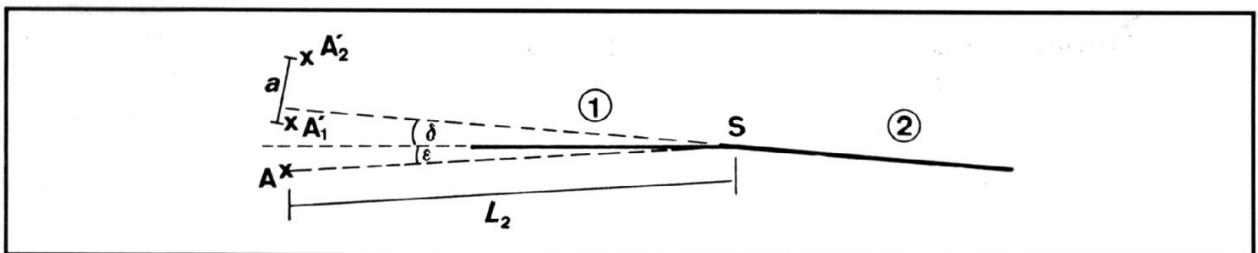


Fig.3: Diagrama para derivar la ecuación (II) (trazada exageradamente)

A₁' y A₂' : imágenes del espejo de la ranura iluminada A.

S muestra la posición del eje del espejo

Las direcciones de los planos del espejo sólo están esbozadas

Se aplica lo siguiente

$$a = 2 L_2 \cdot \vartheta \quad (II)$$

ϑ : ángulo de inclinación de los dos espejos en medición angular

L₂: distancia ranura A – borde S del espejo (centro del espejo doble)

Ecuaciones

a) Ecuación (I)

Mostrar a en función de B, b y g

b) derivar ecuación (II) ▶ Fig.3



c) Ecuación (III)

Sobre la base de la Fig.4, establezca la condición para que se produzcan los mínimos de interferencia donde se conoce la distancia a de dos centros de onda.

Qué diferencia de trayectoria óptica de las ondas provenientes de A'_1 y A'_2 existe para asociar los mínimos de interferencia con la distancia d' ?

Resuelva la ecuación de acuerdo a λ .

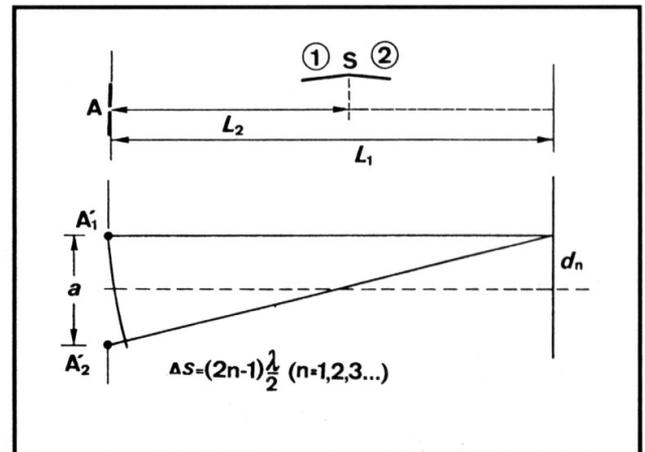


Fig.4: Arriba: diagrama del diseño

ranura A, pantalla y espejo doble

Abajo: diagrama del diseño; interferencia de dos rayos; determinación de la longitud de onda λ .

A'_1 y A'_2 : dos centros de onda, distancia a
 d_n : distancia de los mínimos enésimos de interferencia al eje óptico.

$\Delta s = (2n-1) \frac{\lambda}{2}$: diferencia de trayectoria la cual lleva a los mínimos enésimos de interferencia ($n = 1, 2, 3, \dots$).

Evaluación de los resultados de las mediciones

1. Con la ayuda de la ecuación (I), determine la distancia a de los centros de onda virtuales.
2. Con la ayuda de a , determine la longitud de onda de la luz de acuerdo a la ecuación (III)
3. Con la ayuda de ecuación (II), determine el ángulo de inclinación ϑ de los dos espejos.



**Experimento del espejo doble de Fresnel
Instalación con equipamiento STM**

Objetivos del experimento

1. Ser capaz de explicar la manifestación de la interferencia de dos haces en un espejo doble.
2. Ser capaz de determinar la longitud de onda utilizando luz monocromática de las franjas de interferencia.

Aparatos

1 Espejo de Fresnel sobre placa.	471 04
2 Raíles metálicos de precisión, 0.5 m.	460 82
6 Jinetillos con pinza.	460 95
1 Lámpara con bastidor en varilla. ej.	459 03
1 Par de cables. ej.	501 45
1 Fuente de tensión, 12 V. ej.	562 73
1 Lente A (f = 5 cm).	459 60
1 Ranura regulable.	471 71
1 Soporte para diafragmas y diapositiva.	459 33
1 Lente H (f = 30 cm).	459 64
1 Caja con espejos.	459 17
1 Lupa.	459 19
1 Filtro del rojo. de	467 95
1 Medida de cinta 2m.	311 77

Tabla (ejemplo de medición)

d	B	b	g	L ₁	L ₂
-----	-----	-----	-----	-----	-----
mm	mm	mm	mm	mm	mm
0,14	2,6	400	948	1420	940

Determinación de ecuaciones

a) Determinación experimental de a

Ecuación (I)

$$\frac{a}{g} = \frac{B}{b}$$

$$a = \frac{B \cdot g}{b} \quad (I)$$

b) Obtención de la ecuación para la distancia a de ambas fuentes de luz virtuales.

▸ Fig.3

La fuente luminosa A (ranura iluminada) tiene

- la fuente luminosa virtual A₁' simétrica al plano del espejo (1)
- la fuente luminosa virtual A₂' simétrica al plano del espejo (2)
-



Información para el profesor 2

Puesto que los ángulos ε y ϑ son pequeños y L_2 es grande, a puede calcularse muy fácilmente

$$a = \overline{AI' A2'} = \overline{AA2'} - \overline{AA1'}$$

$$= 2 L_2 (\varepsilon + \vartheta) - 2 L_2 \varepsilon$$

$$a = 2L_2 \cdot \vartheta \quad (II)$$

ϑ : ángulo de inclinación de los dos espejos en medición angular
 L_2 : distancia fuente de luz (ranura iluminada) - espejo de Fresnel (eje)

c) Ecuación (III) ▶ Fig.4

Puesto que $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ puede fijarse para ángulos pequeños, lo siguiente puede determinarse directamente del diagrama:

$$\frac{(2n - 1) \frac{\lambda}{2}}{a} = \frac{d_n}{L_1} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

Lo siguiente se aplica para asociar los mínimos de interferencia (▶ Fig.5) con la distancia d :

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{d}{L_1} \quad \text{ó}$$

$$\lambda = \frac{d}{L_1} \cdot a \quad (III)$$

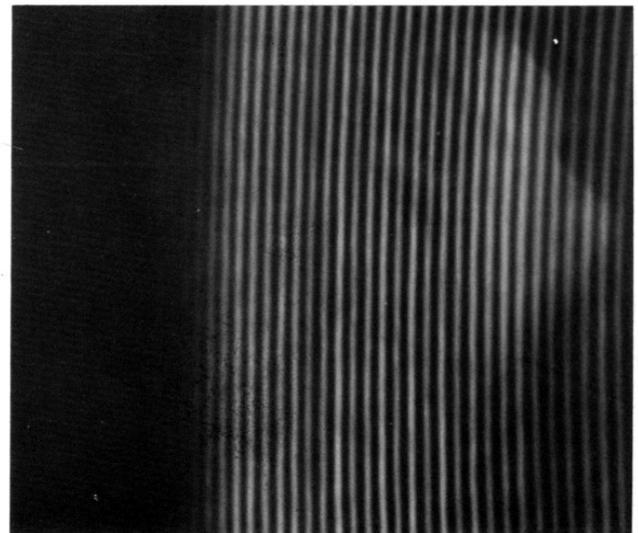


Fig.5: Fotografía de franjas de interferencia, producidas con la ayuda de un espejo doble

Evaluación de los resultados de las mediciones

1. Cálculo de la distancia de los centros de onda virtuales (imágenes del espejo de la ranura) por medio de la ecuación (I):

$$a = \frac{B \cdot g}{\dots}$$

$$= \frac{b}{2,6 \text{ mm} \cdot 948 \text{ mm}}$$

$$= \frac{\dots}{400 \text{ mm}}$$

$$a = 6,16 \text{ mm}$$

2. Determinación de la longitud de onda de la luz:

$$\lambda = a \cdot \frac{d}{L_1}$$

Con $a = 6.16 \text{ mm}$
 $d = 0.14 \text{ mm}$
 $L_1 = 1420 \text{ mm}$

Obtenemos

$$\lambda = 607 \text{ nm}$$

3. Determinación del ángulo de inclinación de ambos espejos:

De acuerdo a la ecuación (II)

$$\vartheta = \frac{a}{2L_2} \text{ (en medición angular)}$$

donde $a = 6.16 \text{ mm}$

y $L_2 = 940 \text{ mm}$

se sigue que

$$\vartheta = 0,0033$$

(= 0,19°)

Experimento del espejo doble de Fresnel Instalación con equipamiento de demostración

Aparatos

1 Espejo de Fresnel sobre placa.	471 04
1 Pinza de mesaej	301 07
1 Banco óptico pequeño	460 43
5 Mordazas	301 01
1 Lámpara de halógeno de 12 V, 50/100 W.	450 64
1 Fuente de tensión, 12 V, 100 W. ....ej.	562 75
2 cables de experimentación. ....ej.	501 28
1 Ranura variable	460 14
1 Mesa de prisma	460 25
1 Lente en montura, $f = 200$ mm	460 04
1 Soporte con muelles	460 22
1 Filtro monocromáticoej.	468 09
1 Base cilíndricaej.	300 11
1 Pantalla traslúcida	441 53
1 Cinta metálica de acero, 2 mej.	311 77
1 Calibreej.	311 54

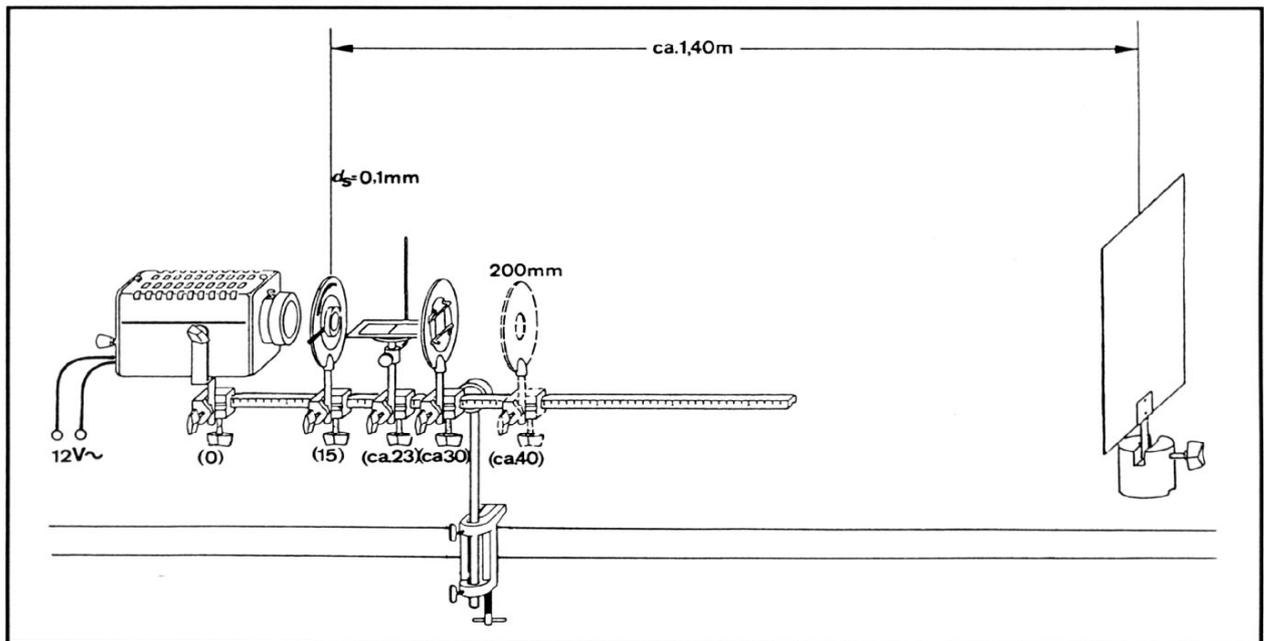


Fig. 6: Instalación para el experimento del espejo doble de Fresnel, utilizando el aparato de demostración

Instalación

Instale el aparato como se muestra en la Figura 6 (inicialmente sin lente $f = 200$ mm)

Ajuste el ancho de la ranura a aproximadamente $d \approx 0.1$ mm.



Método

▸ Fichas de trabajo de los estudiantes

Medición

ejemplo con filtros monocromáticos, azul-verde (468 09)

Tabla

$\frac{d}{\text{mm}}$	$\frac{B}{\text{mm}}$	$\frac{b}{\text{mm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{L_1}{\text{mm}}$	$\frac{L_2}{\text{mm}}$
1,45	2,3	1130	245	1375	85

1) $a = \frac{B \cdot g}{b}$

$a = 0,50 \text{ mm}$

2) $\lambda = a \frac{d}{L_1}$

$\lambda = 527 \text{ nm}$

3) $\vartheta = \frac{a}{2L_2}$

$\vartheta = 0,0030$
(= 0,17°)

Experimento del biprisma de Fresnel

- Tarea**
1. Producir interferencia de dos haces con la ayuda de un biprisma.
 2. Evaluar las franjas de interferencia en la luz monocromática, determinar la longitud de onda λ .

Aparatos

- | | |
|---------------------------|--|
| 1 Biprisma | 1 ranura regulable |
| 2 Bancos ópticos | 1 soporte para diafragmas y diapositivas |
| 6 Jinetillos con pinzas | 1 lente H ($f = 30$ cm) |
| 1 Lámpara con carcasa | 1 caja con espejos |
| 1 Par de cables | 1 lupa |
| 1 Fuente de tensión, 12 V | 1 filtro del rojo |
| 1 Lente A ($f = 5$ cm) | 1 Cinta métrica de acero, 2m |

Instalación

► Fig.1

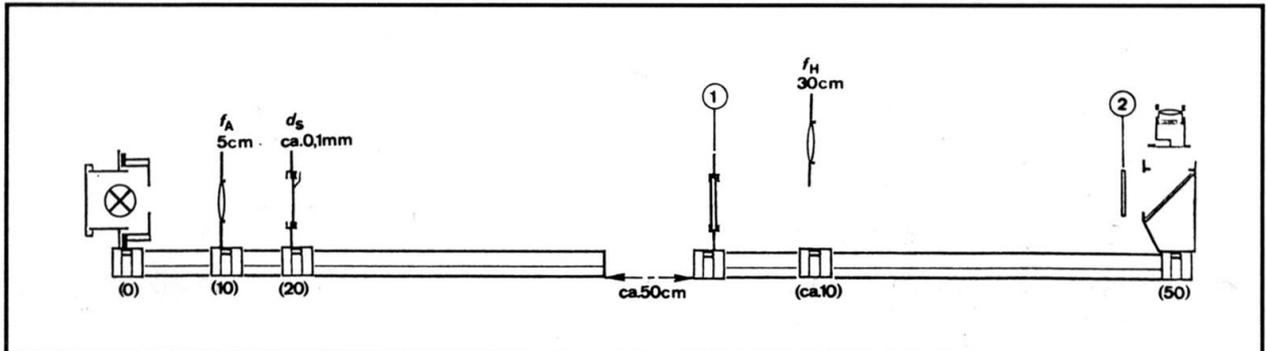


Fig.1: Instalación para el experimento del biprisma de Fresnel (1) Biprisma (2) Filtro de luz

Instale ambos bancos ópticos a una distancia de por lo menos 50 cm.

Banco óptico izquierdo:

Instalación de un condensador

Seleccione un ancho de ranura aprox. $d = 0.1$ mm

Forme una imagen nítida del filamento de la lámpara trasladando la lente A en el plano de la ranura y alinearla en la dirección de la ranura.

Banco óptico derecho:

Inserte el biprisma en el soporte para diafragma en el extremo izquierdo.

El ángulo de inclinación γ de ambas superficies prismáticas es tan pequeño que el borde común (a)

(► Fig. 2) sólo puede ser fácilmente reconocido si se permite reflejar luz sobre las superficies.

Inserte el biprisma en el soporte para diafragma como se muestra en la Fig.2. Alinear el borde (a) en el eje óptico paralelo a la ranura.

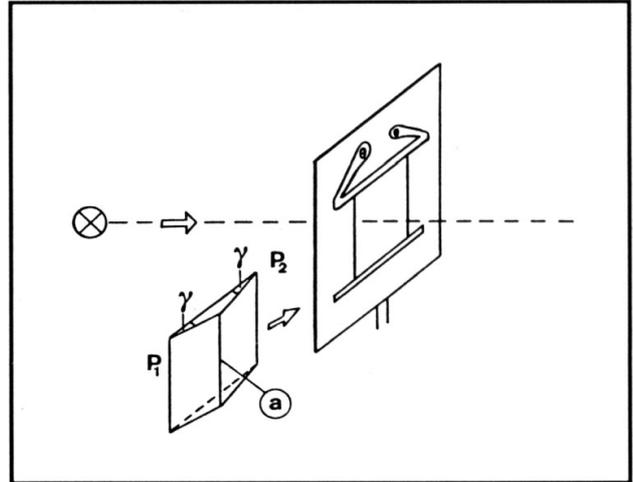


Fig.2: Inserte el biprisma en el soporte (a):
borde común de ambos prismas P_1 y P_2
 γ : ángulo del prisma

Método

Mire dentro de la caja con espejos.

Si fuera necesario, cambie ligeramente el alineamiento del banco óptico hasta que las franjas de interferencia (luz paralela y líneas oscuras) pueden reconocerse.

Mueva el filtro de luz en la trayectoria del haz.

Mida la distancia d entre dos mínimos de las líneas de interferencia como valor promedio desde la distancia de varias líneas (ejemplo 10) ► Tabla

La longitud de onda λ de la luz monocromática (aproximadamente) puede determinarse a partir de la distancia

d de las franjas de las líneas de interferencia, si conoce la distancia a de los centros de onda.

En este caso, esta es la distancia de ambas ranuras iluminadas virtuales producidas por el biprisma.

► Fig. 3

La distancia a puede ser ya sea:

- determinada experimentalmente con la ayuda de una simple instalación óptica o
- calcularse con la ayuda de dos ítems de datos del prisma.
(ángulo del prisma γ e índice de refracción n)

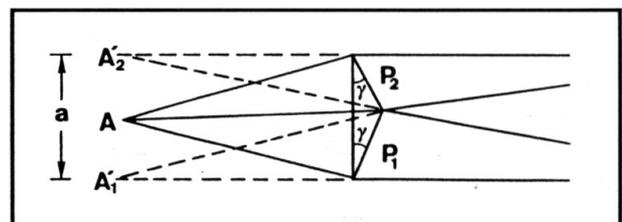


Fig.3: Creación de dos centros de onda virtuales A_1' y A_2' con la ayuda un biprisma.

Los haces de luz provenientes de A son refractados por los dos prismas P_1 y P_2 como si llegaran desde A_1' y A_2'

γ : ángulo del prisma

a: distancia de las fuentes de luz virtuales A_1' y A_2'

Determinación experimental de a

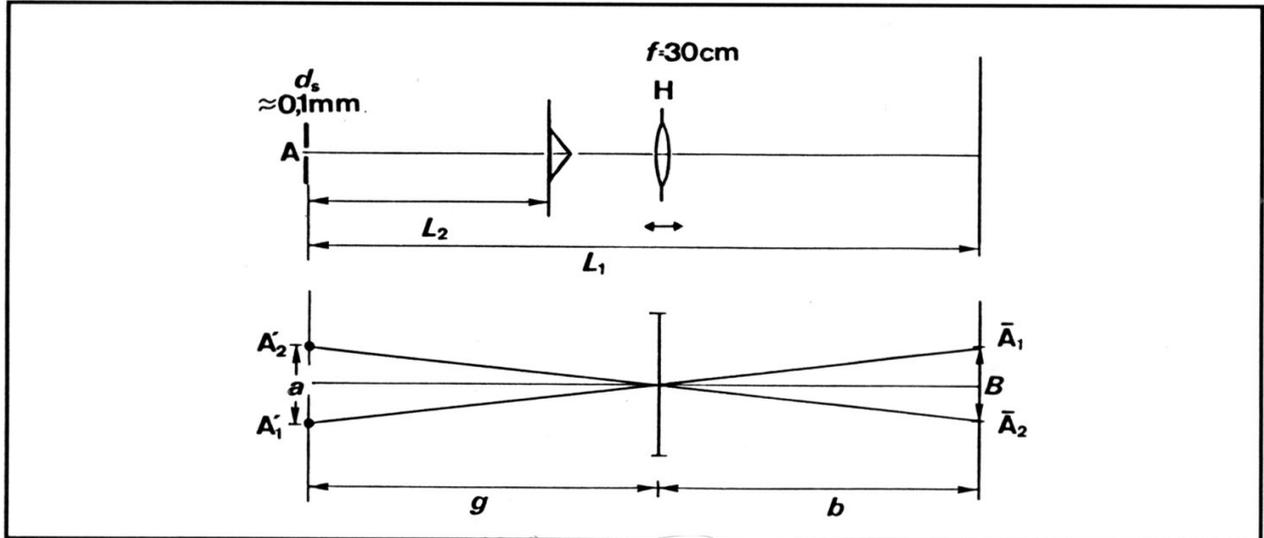


Fig.4: Arriba: ranura iluminada A con biprisma, distancia L_2 y plano de formación de imagen, distancia L_1 .

Abajo: formación de una imagen de las fuentes luminosas virtuales A_1' y A_2' producida por el prisma con la ayuda de la lente H.

a: distancia A_1' , A_2'

g: distancia del objeto = distancia de la ranura A desde la lente de formación de imagen H

b: distancia de la imagen = distancia de la lente H desde el plano de formación de imagen

B: distancia entre las imágenes virtuales \bar{A}_1 y \bar{A}_2 de la ranura

Forme una imagen de las fuentes luminosas virtuales (ranura iluminada) con la ayuda de una lente (► Fig.4)

Determine a con la ayuda de la ecuación de las distancias conjugadas.

Procedimiento

- Inserte la lente H (► Fig.1/Fig.4)
- Muévelo de manera que se formen imágenes nítidas de las dos ranuras virtuales
- Mida la distancia B de las dos imágenes de las ranuras bajo la lupa ► Tabla.
- Mida la distancia de la imagen b

b = Distancia de la lente H desde el plano de formación de imagen
(Pared posterior de la caja con espejos) ► Tabla

- Mida la distancia g del objeto (g = distancia ranura - lente H) ► Tabla

Mida también lo siguiente para evaluaciones posteriores:

- L_1 : distancia ranura - plano de formación de imagen (pared posterior de la caja con espejos)
- L_2 : distancia ranura - biprisma ► Tabla

Los valores medidos listados en la siguiente tabla se explican en la inscripción de la Fig.4.

$\frac{d_s}{\text{mm}}$	$\frac{B}{\text{mm}}$	$\frac{b}{\text{mm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{L_1}{\text{mm}}$	$\frac{L_2}{\text{mm}}$

Determinación aritmética de a

Lo siguiente se aplica para la deflexión δ de haces a través de un prisma con ángulo de refracción pequeño:

$$\delta = \gamma \cdot (n - 1) \quad (II)$$

n : índice de refracción del vidrio

$\delta, \gamma: \theta \blacktriangleright$ Fig. 5

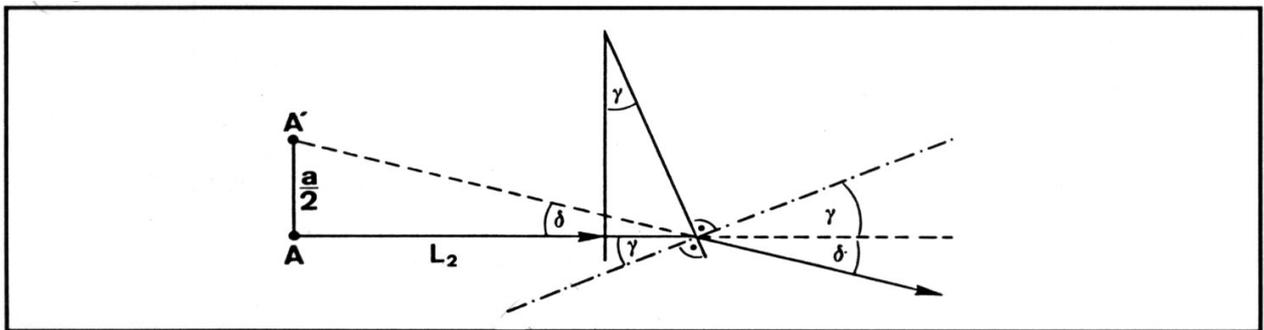


Fig.5: Diagrama para deducir la ecuación para la deflexión de un haz de luz a través de un prisma.

A: fuente luminosa; A': fuente luminosa virtual

L_2 : distancia fuente luminosa – prisma

γ : ángulo del prisma (en realidad aprox. 0.5)

Como puede observarse mas profundamente en la Fig 5, se aplica lo siguiente

$$A = 2 L_2 \cdot \delta \quad (III)$$

Establecer ecuaciones

- a) Ecuación (I)
representar a en función de B, b y g
- b) Ecuación (II)
Deducir
- c) Ecuación (III)
Deducir
- d) Ecuación (IV)
ingrese el valor para δ de la ecuación (II) a la ecuación (III)
- e) Ecuación (V)

Sobre la base de la Fig.6, determine las condiciones para el caso de los mínimos de interferencia cuando se conoce la distancia a de dos centros de onda.

Qué diferencia de trayectoria óptica de las ondas provenientes de A_1' y A_2' existe para asociar los mínimos de interferencia con la distancia d' ?

Resuelva la ecuación de acuerdo a λ

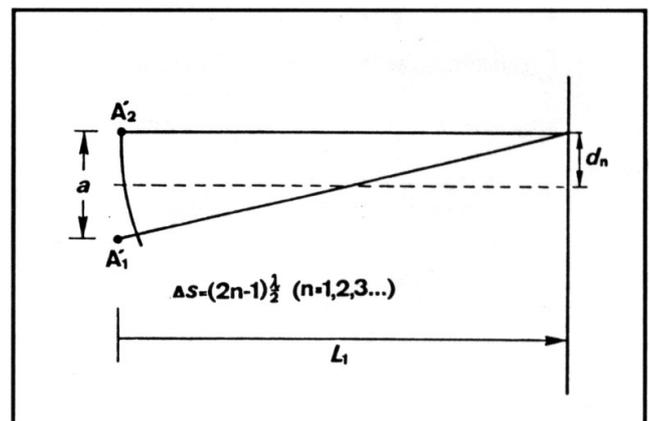


Fig.6: Diagrama del diseño:

Interferencia de dos haces, determinación de la longitud de onda λ .

A_1' y A_2' : dos centros de onda, distancia a

d_n : distancia de los mínimos enésimos de interferencia al eje óptico

$\Delta s = (2n-1) (\lambda/2)$: diferencia de trayectoria la cual lleva a los mínimos enésimos de interferencia ($n = 1, 2, 3, \dots$)

L_1 : distancia del plano de los centros de onda desde el plano de formación de la imagen. Fig.5



Evaluación de los resultados de las mediciones

1. Determine la distancia a de los centros de onda virtuales con la ayuda de la ecuación (1)
2. Con la ayuda de a , determine la longitud de onda de la luz de acuerdo a la ecuación (V)
3. Con la ayuda de ecuación (IV), determine el ángulo prismático γ .

Índice de refracción del vidrio:
 $n = 1.52$

(valor preciso: $n = 1.5231$ para $\lambda = 589.3 \text{ nm}$)



**Experimento del biprisma de Fresnel
Instalación con equipamiento STM**

- Objetivos**
1. Ser capaz de explicar la manifestación de interferencia de dos haces en un biprisma
 2. Ser capaz de determinar la longitud de onda λ utilizando luz monocromática desde las franjas de interferencia
 3. Ser capaz de determinar el ángulo del prisma cuando se conoce el índice de refracción del vidrio del prisma.

Aparatos

1 Biprisma	471 09
2 Raíles metálicos de precisión, 0.5 m	460 82
6 Jinetillos con pinza	460 95
1 Lámpara con carcasaej	459 03
1 Par de cablesej	501 45
1 Fuente de tensión, 12 Vej	562 73
1 Lente A (f = 5 cm).	459 60
1 Ranura regulable.	471 71
1 Soporte para diafragmas y diapositivas	459 33
1 Lente H (f = 30 cm)	459 64
1 Caja con espejos	459 17
1 Lupa	459 19
1 Filtro del rojo. de	467 95
1 Cinta métrica de acero.	311 77

Tabla

(ejemplo de medición)

$\frac{d_s}{\text{mm}}$	$\frac{B}{\text{mm}}$	$\frac{b}{\text{mm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{L_1}{\text{mm}}$	$\frac{L_2}{\text{mm}}$
0,13	3,25	436	845	1279	799

Determinación de las ecuaciones

a) Determinación experimental de a

Ecuación (I):

$$\frac{a}{g} = \frac{B}{b}$$

$$a = \frac{B \cdot g}{b}$$

(I)



b) Deducción de la ecuación (II)

➤ Fig.5

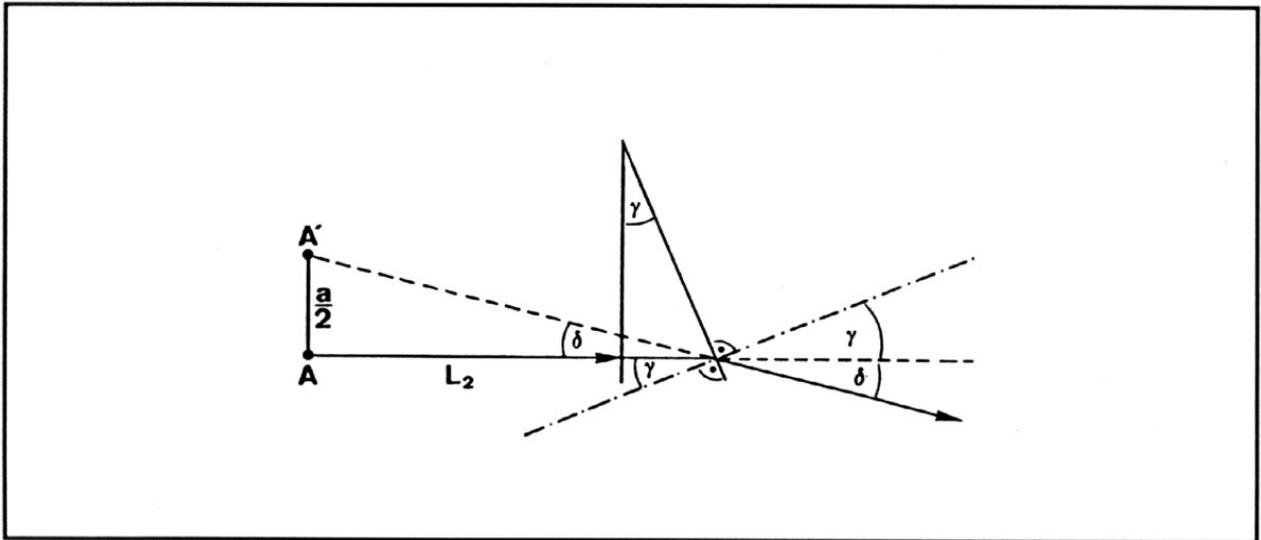


Fig.5

Debido a la incidencia vertical, el haz de luz penetra a través de la base del prisma sin interrupción. Se encuentra con la superficie inclinada de emergencia en el ángulo γ , el cual es el mismo que el ángulo del prisma.

El ángulo de salida es $\gamma + \vartheta$.
(ϑ : desviación angular de la dirección original)

De acuerdo a la ley de refracción, se aplica lo siguiente:

$$\frac{\sin \gamma}{\sin (\gamma + \vartheta)} = \frac{1}{n} \quad (n = \text{índice de refracción del vidrio})$$

$$\frac{\sin (\gamma + \vartheta)}{\sin \gamma} = n$$

(Esta ecuación corresponde a una inversión de la trayectoria del haz). El numerador de la fracción puede reemplazarse de acuerdo con el teorema de la adición para $\sin (\gamma + \vartheta)$.

$$\frac{\sin \gamma \cos \vartheta + \cos \gamma \sin \vartheta}{\sin \gamma} = n$$

$$\cos \vartheta + \frac{\sin \vartheta}{\operatorname{tg} \gamma} = n$$

La ecuación cambia a lo siguiente para ángulos pequeños ϑ y γ .

$$1 + \frac{\vartheta}{\gamma} = n$$

or

$$\boxed{\vartheta = \gamma(n - 1)} \quad (II)$$



c) Deducción de la ecuación (III)

► Fig.5

$$\frac{a}{L_2} = \text{tg } \delta \approx \delta, \text{ since } a \ll L_2$$

Por lo tanto se sigue que

$$a = 2L_2 \cdot \delta \quad (\text{III})$$

d) Deducción de la ecuación (IV) sustituyendo δ de (II) en (III).

$$a = 2L_2 \cdot \gamma (n-1) \quad (\text{IV})$$

e) Ecuación (V)

► Fig. 6

Puesto que $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ puede establecerse para ángulos pequeños, lo siguiente puede determinarse claramente del diagrama:

$$\frac{(2n-1) \frac{\lambda}{2}}{a} = \frac{d_n}{L_1} \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$$

Se aplica lo siguiente para asociar los mínimos de interferencia con la distancia d

$$\frac{\lambda}{a} = \frac{d}{L_1}$$

o

$$\lambda = \frac{d}{L_1} \cdot a \quad (\text{V})$$

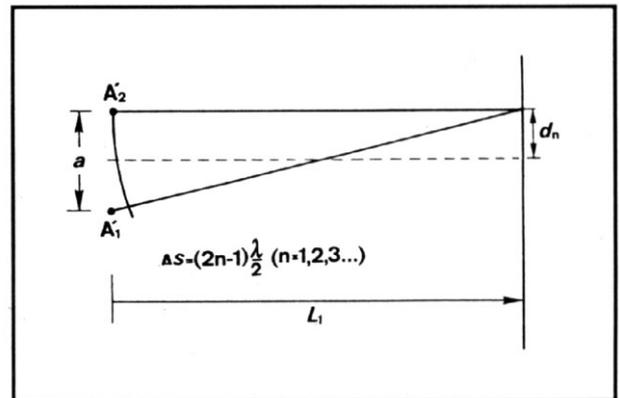


Fig.6: Diagrama del esquema Interferencia de dos haces

Determinación de la longitud de onda λ

A1' y A2': dos centros de onda, distancia a
 d_n : distancia de los mínimos enésimos de interferencia al eje óptico.

$\Delta_s = (2n-1) (\lambda/2)$: diferencia de trayectoria la cual lleva a los mínimos enésimos de interferencia ($n = 1, 2, 3, \dots$).

L_1 : distancia del plano de los centros de onda desde el plano de formación de imagen.

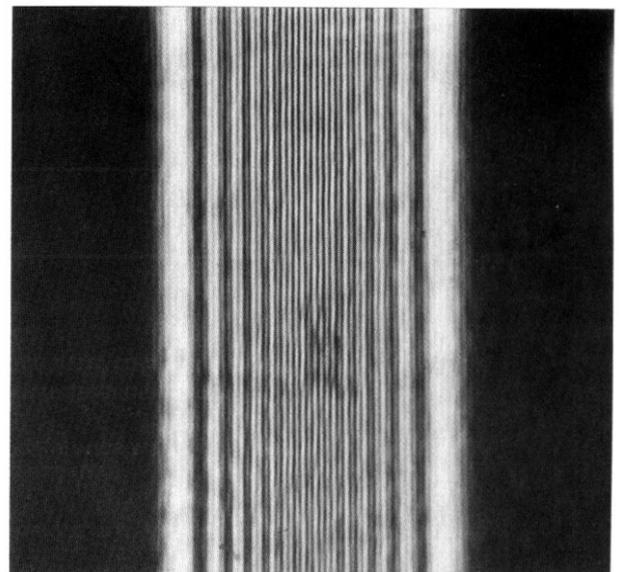


Fig. 7: Fotografía de las franjas de interferencia, producida con ayuda de un biprisma



Evaluación de los resultados de las mediciones

1. Cálculo de la distancia de los centros de onda virtuales de acuerdo a la ecuación (I):

$$a = \frac{B \cdot g}{b}$$
$$= \frac{3.25\text{mm} \cdot 845\text{mm}}{436\text{mm}}$$

$$a = 6.30 \text{ mm}$$

2. Determinación de la longitud de onda de la luz:

$$\lambda = a \cdot \frac{d}{L_1}$$

donde $a = 6.30 \text{ mm}$
 $d = 0.13 \text{ mm}$
 $L_1 = 1279 \text{ mm}$

Obtenemos

$$\lambda = 642 \text{ nm}$$

3. Determinación de ángulo del prisma

Lo siguiente se aplica de acuerdo a la ecuación (IV)

$$a = 2 L_2 \cdot \gamma (n - 1)$$

Resolución sobre la base del ángulo del prisma γ

$$\gamma = \frac{a}{2L_2(n-1)}$$

donde

$a = 6.30 \text{ mm}$
 $L_2 = 799 \text{ mm}$
y $n = 1.52$

sigue que

$$\gamma = 0,0076$$
$$(\approx 0,44^\circ)$$



Experimento del biprisma de Fresnel
Instalación con equipamiento de demostración

Aparatos

1 Biprisma.....	471 09	1 Soporte con muelles	460 22
1 Pinzas de mesa..... ej	301 07	1 Filtro monocromático, azul /verde	ej 468 09
1 Banco óptico pequeño	460 43	1 Lente en montura, $f = 200$ mm	460 04
4 Mordazas	301 01	1 Pantalla traslucida.....	441 53
1 Lámpara de halógeno de 12 V, 50/100 W	450 64	1 Base cilíndrica	ej 300 11
1 Lámpara de halógeno de 12 V, 100 W	450 63	1 Cinta métrica de acero, 2m	ej 311 77
1 Fuente de alimentación de 12 V, 100W	ej 562 75	1 Calibre	ej 311 54
2 Cables de experimentación.. ej	501 28		
1 Ranura variable	460 14		

Instalación

Instale el aparato como se muestra en la Fig.8 (inicialmente sin lente $f = 20$ cm)

Ancho de la ranura aprox. 0.1 mm

Alinee paralelamente la ranura y el borde del biprisma, de manera que las franjas de interferencia puedan observarse claramente.

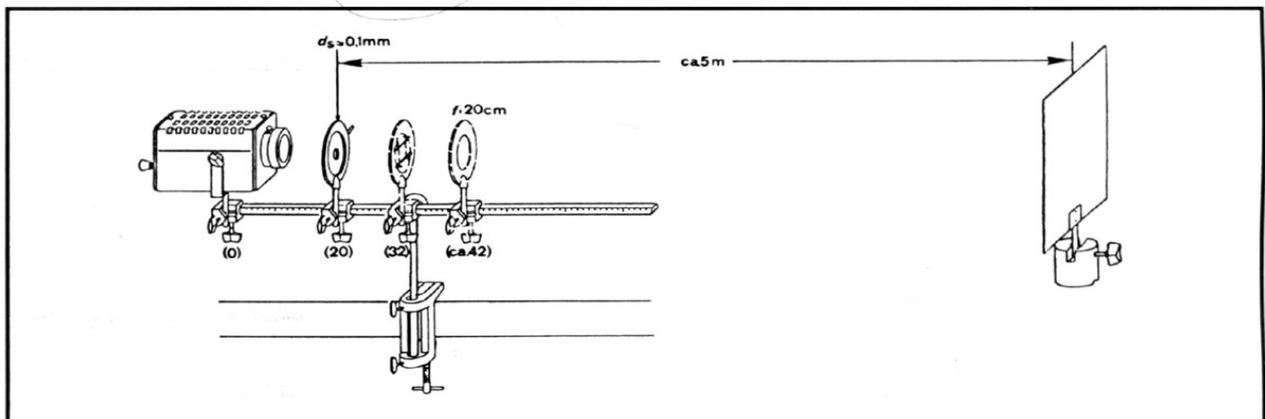


Fig.8: Instalación para el experimento del biprisma de Fresnel, utilizando el aparato de demostración

Método

Determine la distancia de las fuentes luminosas virtuales

Inserte una lente ($f = 20$ cm) en el sistema y muévala de manera que se forme una imagen nítida de las fuentes luminosas.

Utilice calibres para medir su distancia B . Para ello, oscurezca la sala.

Evaluación

► Sección de los estudiantes.

Experimento de la ranura doble de Young

- Tarea**
1. Crear franjas de interferencia con la ayuda de la ranura doble iluminada.
 2. Evaluación de las franjas de interferencia de luz monocromática; determinación de la longitud de onda λ .

Aparatos

- | | |
|---|--|
| 1 Diafragma con 4 ranuras dobles | 1 Ranura regulable |
| 2 Bancos ópticos, 0.5 m | 1 Filtro del rojo |
| 5 Jinetillos con pinzas | 1 Soporte para diafragmas y diapositivas |
| 1 Lámpara tubular | 1 Lente H ($f = 30$ cm) |
| 1 Par de cables de 50 cm, ej rojo, azul | 1 Caja con espejos |
| 1 Fuente de tensión de 12 V de CA | 1 Lupa |
| 1 Lente A ($f = 5$ cm) | 1 Cinta métrica de acero, 2m |

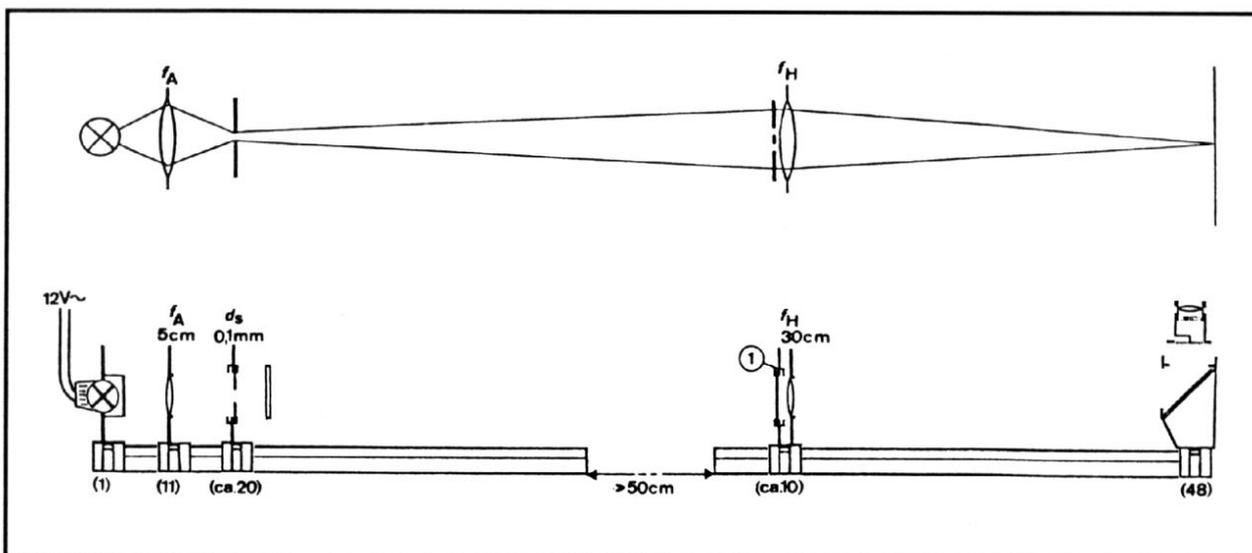


Fig. 1: Abajo: instalación para el experimento de la ranura doble de Young
Arriba: vista de plano de la disposición

Instalación

► Fig. 1

Banco óptico izquierdo:

Instalación de un condensador

Forme una imagen nítida del filamento de la lámpara moviendo la lente a en el plano de la ranura y alinearla en la dirección de la ranura.

► Fig. 2

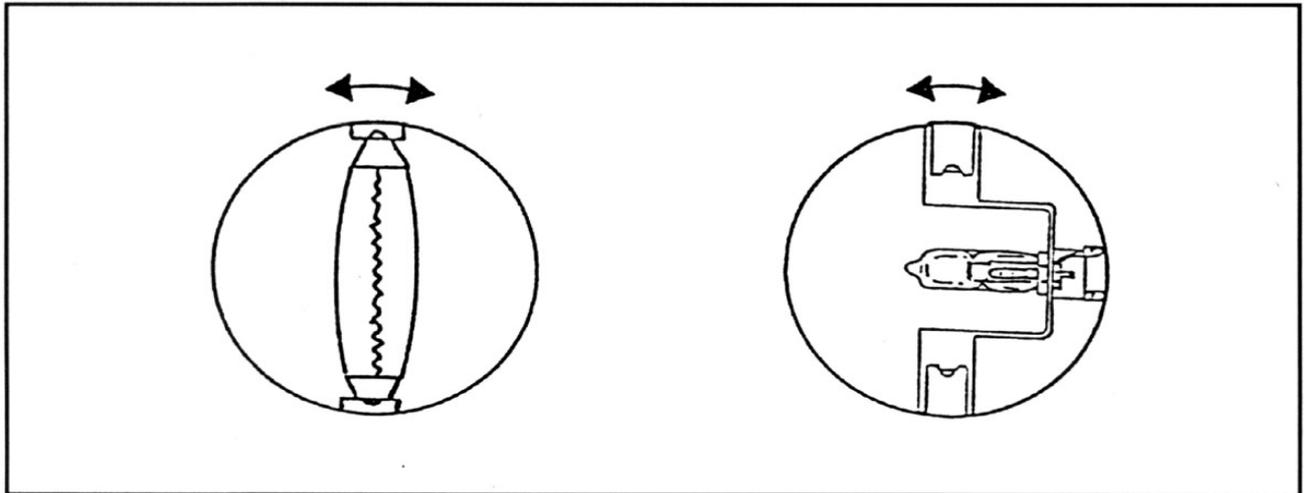


Fig. 2 Lámpara tubular (izquierda) y lámpara de halógeno (derecha) cuando el filamento de la lámpara está alineado verticalmente.

Banco óptico derecho:

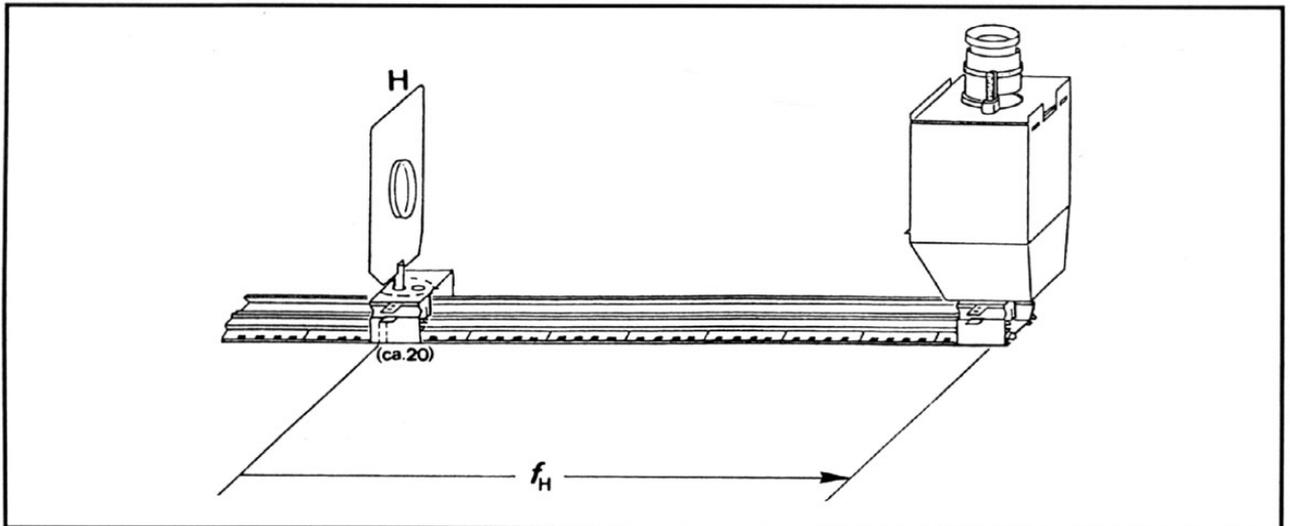


Fig.3: Preparación del banco óptico derecho:

Ajuste de la distancia \Rightarrow Lente H – plano de formación de imagen \Leftarrow a la distancia focal f_H

Instale un “telescopio astronómico” como se muestra en la Fig.3. Inserte la lente H en el orificio derecho del jinetillo.

Seleccione la distancia de lente H – plano de formación de imagen (pared posterior de la caja con espejos) equivalente a la distancia focal f_H

Método sencillo:

Forme una imagen nítida de un objeto distante.

Inserte el diafragma con 4 ranuras dobles en el soporte para diafragmas y diapositivas.

Mueva la ranura doble con la distancia de la ranura (centro) $g = 0.50$ mm sobre el eje óptico.

Observe \uparrow en el centro del soporte.



Ficha de trabajo de los estudiantes 3

Cubra la otra ranura con ambas correderas de diafragmas

Inserte el soporte para diafragmas y diapositivas en frente de la lente H ► (1) en la Fig.1. Seleccione la mayor distancia posible entre el banco óptico derecho y el izquierdo, que permita la longitud de la tabla.

Sin embargo, no debe ser menor que 50 cm.

Alinee el banco óptico derecho con la ranura iluminada. Ajustar la lupa de manera tal que la escala pueda verse claramente.

Ubique la lupa en la caja con espejo.

Método

Coloque el filtro del rojo en la trayectoria del haz y mida los siguientes parámetros:

- Espacio d de los mínimos de interferencia (como valor promedio desde varias distancias)
- Distancia focal f_H = distancia lente H – plano de formación de la imagen (pared posterior de la caja con espejos)

Ecuación para la longitud de onda λ

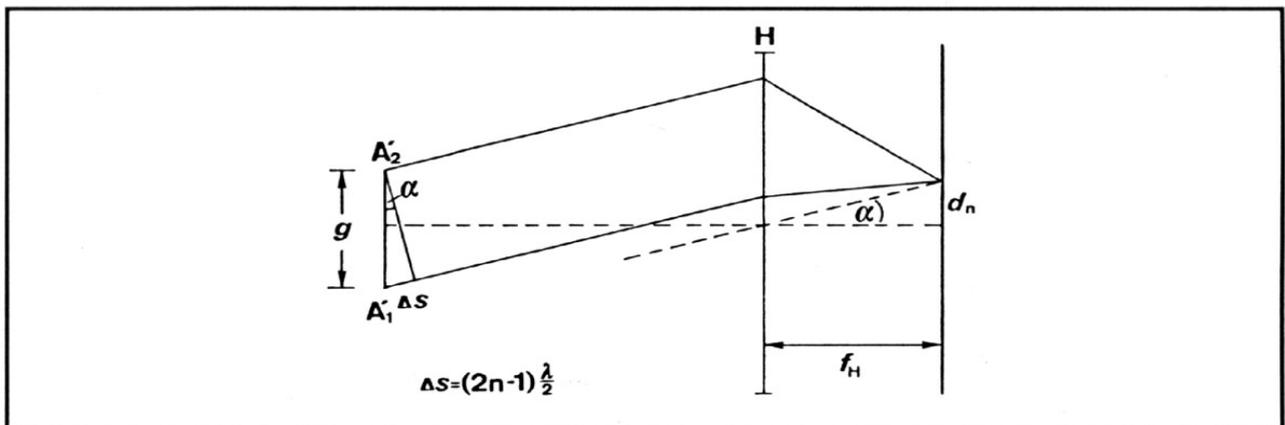


Fig.4: Diagrama de la interferencia de dos haces: determinación de la longitud de onda λ .

A_1' y A_2' : centros de onda en la distancia g (centro) de la ranura doble

d_n : distancia de los mínimos n ésimos de interferencia desde el eje óptico.

Δs : $(2n-1) \lambda/2$ (múltiplo impar de $\lambda/2$), ($n = 1,2,3\dots$): diferencia de trayectoria la cual lleva a los mínimos n ésimos de interferencia.

λ : longitud de onda de la luz

f_H : distancia de la lente H – plano de formación de imagen el cual debe ser equivalente a la distancia focal f_H

Con la ayuda de la figura 4 deducir la ecuación para determinar la longitud de onda λ

Variables dependientes: ► inscripción en Fig.4

Evaluación de las mediciones

- Determine la longitud de onda λ de la luz del filtro del rojo.



**Experimento de la ranura doble de Young
Instalación con aparato STM**

Objetivos

1. Saber que la luz de un filamento incandescente emite luz susceptible de interferencia si se selecciona un ángulo de abertura del haz suficientemente pequeño
2. Reconocer que dos centros de onda que emiten luz susceptible de interferencia pueden bloquearse desde un haz de luz, con la ayuda de una ranura doble.
3. Ser capaz de determinar la longitud de onda de la luz que pasa por filtros de luz monocromáticos, evaluando la imagen de interferencia de la ranura doble.

Aparatos

1	Diafragma con 4 ranuras	469 85	1	Ranura regulable	471 71
2	Raíles metálicos de precisión, 0.5m	460 82	1	Filtro del rojo	de 467 95
5	Jinetillos con pinzas	460 95	1	Soporte para diapositivas y diafragmas.	459 33
1	Lámpara tubular, 12 V, 18 W	459 03	1	Lente H (f = 30 cm)	459 64
1	Par de cables, 50 cm		1	Caja con espejos.	459 17
	Ej. Rojo, azul.	501 45	1	Lupa	459 19
1	Fuente de voltaje de CA de 12 V. . .ej.	562 73	1	Cinta métrica de acero, 2 m.	311 77
1	Lente A (f = 5 cm)	459 60			

Ecuación para la longitud de onda λ

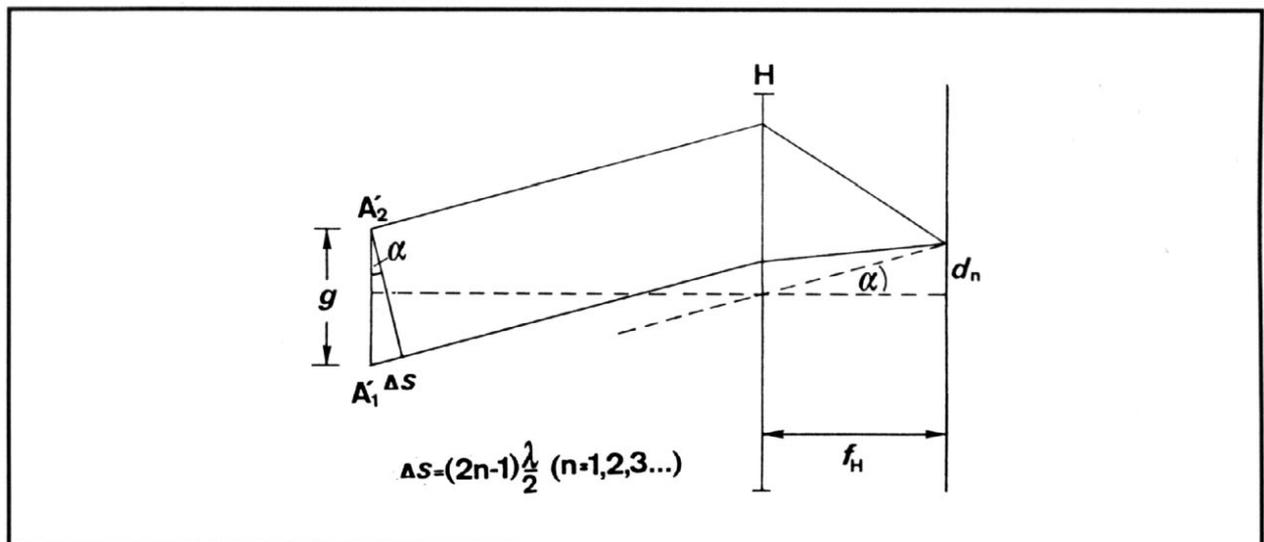


Fig.4: Diagrama de la interferencia de dos haces: determinación de la longitud de onda λ .

A_1 y A_2 : centros de onda en la distancia g (centro) de la ranura doble.

d_n : distancia de los mínimos enésimos de interferencia desde el eje óptico.

Δ_s : $(2n-1) \lambda/2$ (número impar múltiplo de $\lambda/2$), ($n = 1,2,3\dots$): diferencia de trayectoria que lleva a los mínimos enésimos de interferencia.

λ : longitud de onda de la luz

f_H : distancia de la lente H – plano de formación de imagen el cual debe ser equivalente a la distancia focal f_H



►Fig. 4

Puesto que $\sin \alpha \approx \text{tg } \alpha \approx \alpha$ puede establecerse para ángulos pequeños, lo siguiente puede verse claramente del diagrama:

$$\frac{(2n - 1) \frac{\lambda}{2}}{g} = \frac{d_n}{f_H} \quad (n = 1, 2, 3 \dots)$$

Lo siguiente se aplica para relacionar los mínimos de interferencia con la distancia d

$$\frac{\lambda}{g} = \frac{d}{f_H}$$

o

$$\boxed{\lambda = \frac{g \cdot d}{f_H}} \quad (I)$$

Ejemplo de medición

$$g = 0.50 \text{ mm}$$

$$d = 0.37 \text{ mm}$$

$$f_H = 304 \text{ mm}$$

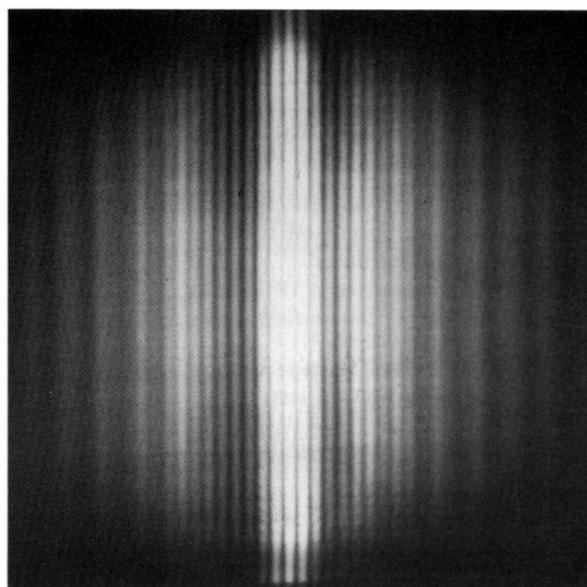


Fig.5: Fotografía de las franjas de interferencia (máximos y mínimos de difracción) producidas con la ayuda de una ranura doble.

Evaluación de las mediciones

De acuerdo a la ecuación (I), resulta lo siguiente para la longitud de onda de la luz que pasa por el filtro del rojo con los valores del ejemplo de medición:

$$\lambda = 609 \text{ nm}$$

Notas:

- Si la ranura doble se utiliza con la mitad de la distancia g (centro), el valor obtenido para d es el doble de grande.
Cuando $g = 0.75 \text{ mm}$ o 1.00 mm , la distancia de los mínimos es menor.
El producto $g \cdot d$ es constante cuando λ y f_H son constantes.
- El doctor inglés Thomas Young (1773 – 1829) midió las longitudes de onda de la luz por primera vez en 1802. Para ello utilizó una ranura doble.
- Nuevos experimentos con ranuras de diafragmas, incluyendo retículas pueden encontrarse en el Manual "Óptica ondulatoria – Difracción" (589 251). Acá también puede encontrar experimentos sobre la determinación de la coherencia de la luz emitida por lámparas incandescentes.



Experimento de la doble ranura de Young Instalación como experimento de demostración

Los estudiantes observarán a través de ranuras dobles hacia la luz filtrada de una lámpara tubular. Se evalúan las imágenes de difracción visibles para determinar la longitud de onda de la luz.

Aparatos

- | | | | |
|---|--------|--|--------|
| 1 Raíl metálico de precisión, 0.5 m. | 460 82 | 1 Fuente de tensión 12 V de CA , Ej.
transformador 6 V CA/12 V CA | 562 73 |
| 2 Jinetillos con pinzas | 460 95 | 1 Diafragma con 4 ranuras dobles | 469 85 |
| 1 Soporte para diapositivas y diafragmas. . | 459 33 | <i>se recomienda: varios diafragmas</i> | |
| 1 Filtro del rojo de | 467 95 | 1 Cinta métrica de acero, 2 m. | 311 77 |
| 1 Lámpara tubular 12V/18W | 459 03 | 1 Hoja de papel blanco | |
| 1 Par de cables, 50 cm, ej. rojo, azul. | 501 45 | Cinta adhesiva | |

Instalación

Instale la lámpara con el filtro del rojo en frente de la clase como se muestra en la Fig.6. Aplique una tira de papel como se observa en la Fig.6 y particularmente en la Fig.7. Ancho de s aprox. 20 cm.

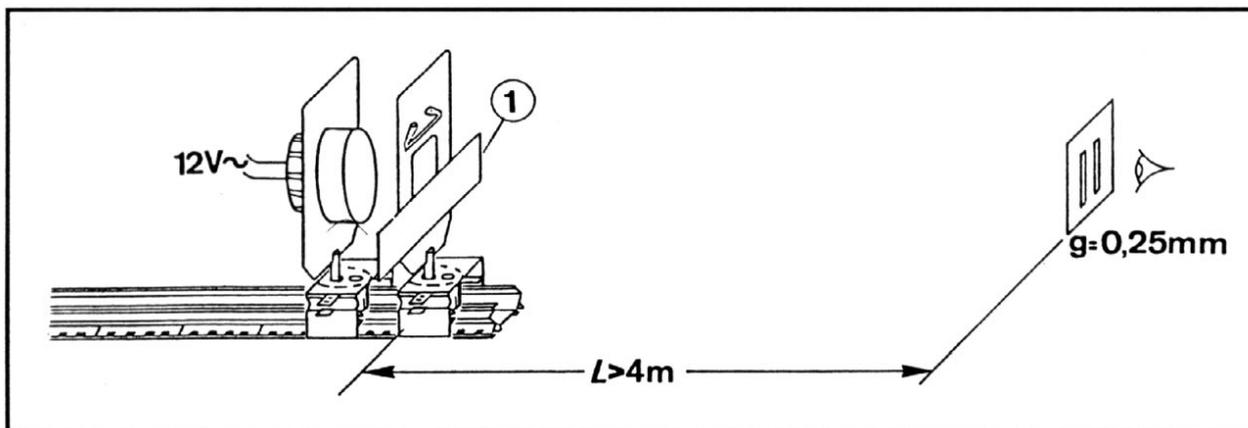


Fig.6: Instalación para el experimento de la ranura doble para demostración

L: distancia tira de papel (1) - ranura doble
g: distancia del centro de la ranura doble

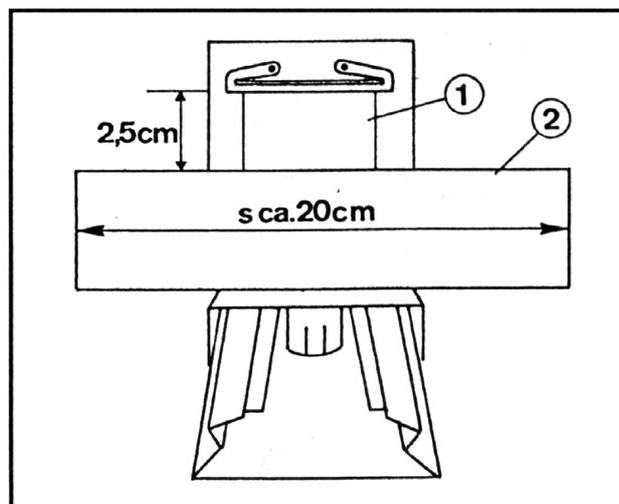


Fig.7 Soporte para diafragmas y diapositivas con
(1) filtro del rojo
(2) tiras de papel; ancho s



Método

Deje mirar a los alumnos través de la ranura doble con $g = 0.25$ mm contra la luz roja de la lámpara tubular.

Mida los siguientes parámetros:

L = Distancia ranura doble – tira de papel

$$d = \frac{s}{n}$$

s = Ancho de la tira de papel

d = Distancia de los mínimos de interferencia medida sobre la tira de papel

n = Número de distancia d sobre el ancho s de la tira de papel

Sabemos:

g = Espaciamiento (centro) de la ranura doble

Ejemplo de medición

$$L = 4200 \text{ mm}$$

$$g = 0.25 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} n = 18 \\ s = 19 \text{ mm} \end{array} \right\} d = \frac{19 \text{ mm}}{18} = 1,06 \text{ mm}$$

Evaluación

Lo siguiente se aplica a la longitud de onda λ_R de la luz roja:

$$L = 4200 \text{ mm}$$

$$g = 0.25 \text{ mm}$$

$$\left. \begin{array}{l} n = 18 \\ s = 19 \text{ mm} \end{array} \right\} d = \frac{19 \text{ mm}}{18} = 1,06 \text{ mm}$$



Anillos de Newton

- Tarea**
1. Observar los anillos de color de Newton sobre una placa y sobre una lente en la luz que pasa a través de ellos.
 2. Evaluar los anillos de Newton en la luz monocromática
 - a) Determinar la longitud de onda λ de la luz cuando se conoce el radio R de curvatura de la lente.
 - b) Determinar el radio R de curvatura de la lente cuando se conoce la longitud de onda λ de la luz.

Aparatos

1 Placa y lente para los anillos de Newton	1 Lente A ($f = 5\text{cm}$)
2 Bancos ópticos	1 Lente B ($f = 10\text{cm}$)
4 Jinetillos con pinzas	1 Soporte para diafragmas y diapositivas
1 Lámpara con carcasa	1 Filtro del rojo
1 Par de cables	1 Mesa óptica
1 Fuente de tensión, 12 V	1 Cinta métrica de 2m
	Cinta adhesiva

Instalación

Inserte la placa y la lente para los anillos de Newton (3) en el lado derecho del soporte para diafragmas y diapositivas (1) de manera tal que la lente mire hacia fuera.

Mueva el filtro de luz (2) (filtro del rojo) al otro lado del soporte.

El filamento de la lámpara debe estar en el punto focal izquierdo de la lente A de manera que (1) se ilumine con luz paralela. Instale la mesa óptica (► Fig.) verticalmente de forma tal que resulte un plano vertical para proyección.

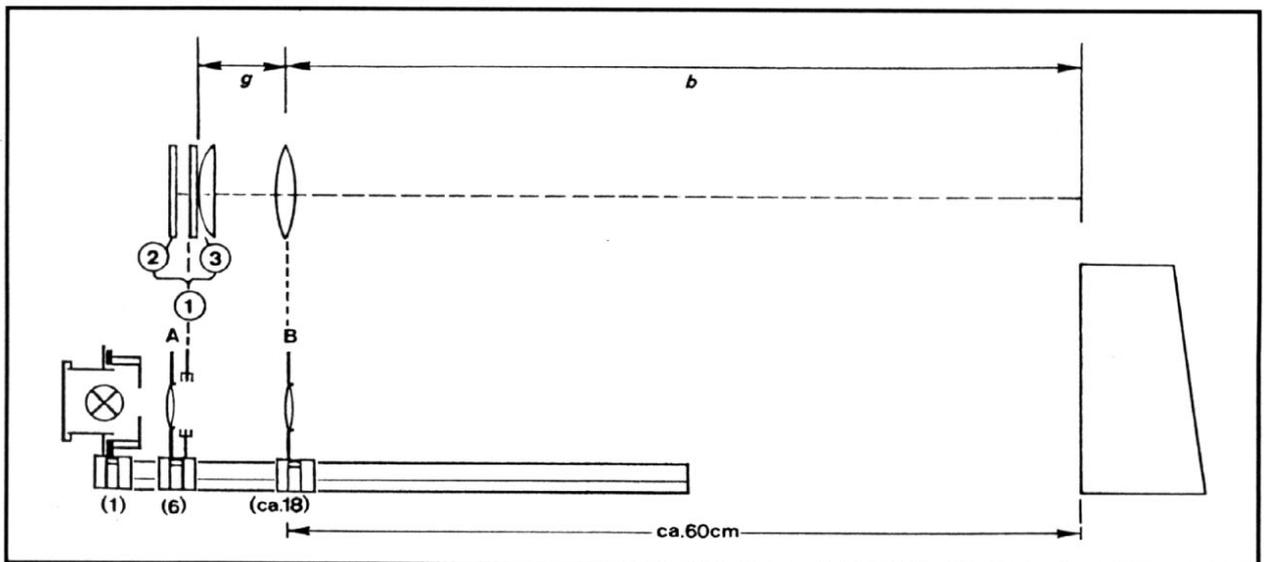


Fig.1: Instalación del experimento con aparatos STM para observar los anillos de Newton en la luz que pasa

- (1) Soporte para diafragma s y diapositivas
- (2) Filtro de luz
- (3) Placa y lente para los anillos de Newton.



Método

Mueva la lente B de manera tal que se forme una imagen nítida de los anillos de Newton.

Mida la distancia de la imagen b y la distancia del objeto g (► Fig.1).

► Tabla

Los diámetros de los anillos de Newton aparecen ampliados por el factor $V = b/g$ en la proyección.

Si el diámetro real es D , se mide $D \cdot V$ en la proyección.

Medición de $D \cdot V$

Mida el diámetro $D \cdot V$ para aprox. 7 anillos de Newton apagados en secuencia.

$$b = \quad ; g =$$

$$V = \frac{b}{g} =$$

k	$\frac{D \cdot V}{\text{mm}}$	$\frac{D}{\text{mm}}$	$\frac{D^2}{\text{mm}^2}$	$\frac{D^2_{k+1} - D^2_k}{\text{mm}^2}$
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
Valor medio ►				



Evaluación

La Fig.2 muestra como surgen los anillos de Newton

- Qué diferencia de trayectoria óptica lleva a la extinción (interferencia destructiva)

- a) en la luz incidente?
- b) en la luz reflejada?

Designaciones:

Δs_T Diferencia de trayectoria con transmisión

Δs_R Diferencia de trayectoria con reflexión

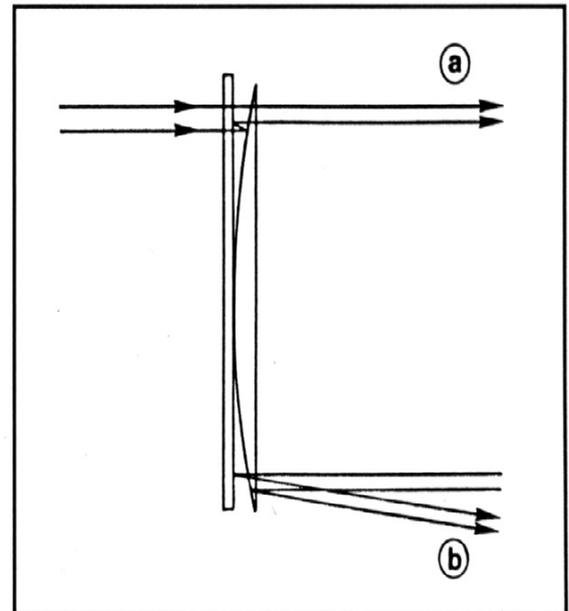


Fig.2: Diagrama para mostrar como surgen los anillos de Newton

a) en la luz que pasa

b) en la luz reflejada

Los ángulos de refracción y reflexión pueden ser despreciados

- Puede verse que la siguiente formula se aplica a los anillos de Newton ya sea en la luz incidente o en la luz reflejada. ► Fig 3:

$$D_{k+1}^2 - D_k^2 = 4R \cdot \lambda$$

D_{k+1} , D_k : diámetro en secuencia de los dos anillos de Newton

R : radio de curvatura de la lente = 2000 mm

λ : longitud de onda de la luz

- Completar la tabla
- Determinar la longitud de onda λ de la luz la cual permite pasar el filtro del rojo.

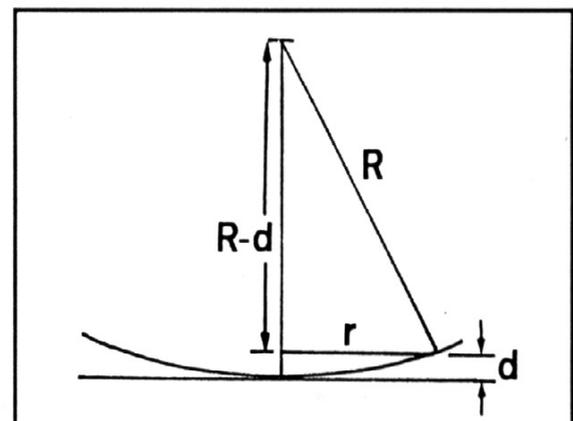


Fig.3: Diagrama para deducir la relación entre el diámetro $D = 2r$ de los anillos de Newton y el ángulo R de curvatura de la lente.



Anillos de Newton

Objetivos 1. Ser capaz de explicar la manifestación de los anillos de color de Newton sobre una placa y una lente en la luz reflejada e incidente.

2. Saber que los anillos de Newton aparecen en forma complementaria en la luz reflejada y en la incidente (como resultado de la conservación de energía).

3. Ser capaz de determinar la longitud de onda de la luz midiendo los anillos de Newton en la luz monocromática:

Ecuación:

$$\lambda = \frac{D^{2k+1} - D^{2k}}{4R}$$

D_{k+1} , D_k : diámetro de los anillos de Newton consecutivos ($k = 1, 2, 3...$)

R: radio de curvatura de la lente

4. Ser capaz de determinar el radio de curvatura R de las lentes con una gran distancia focal, con la ayuda de los anillos de Newton cuando se conoce la longitud de onda.

Aparatos

1 Placa y lente para los anillos de Newton	471 08	1 Lente A (f = 5cm)	459 60
2 Raíl metálico de precisión, 0.5m	460 82	1 Lente B (f = 10 cm)	459 62
4 Jinetillos con pinzas	460 95	1 Soporte para diafragmas y diapositivas	459 33
1 Lámpara con carcasa	ej 459 03	1 Filtro del rojo	467 95
1 Par de cables	ej 501 45	1 Mesa óptica	459 15
1 Fuente de alimentación de 12 V	ej 522 16	1 Cinta métrica de acero, 2m	311 77
		Cinta adhesiva	

Ecuaciones

Lo siguiente se obtiene para la diferencia de trayectoria óptica de la onda propagada en la dirección de los haces de luz. (► Fig.2):

a) con transmisión

$$D_{ST} = 2d$$

b) con reflexión

$$D_{SR} = 2d + \frac{\lambda}{2}$$

donde

d: ancho del intervalo de aire

λ : longitud de onda de la luz

La diferencia de trayectoria $\frac{\lambda}{2}$ explica la

naturaleza complementaria de las imágenes de interferencia. La razón de esto es que se produce

un salto de fase π ($\hat{=} \frac{\lambda}{2}$) con reflexión en el medio mas denso.

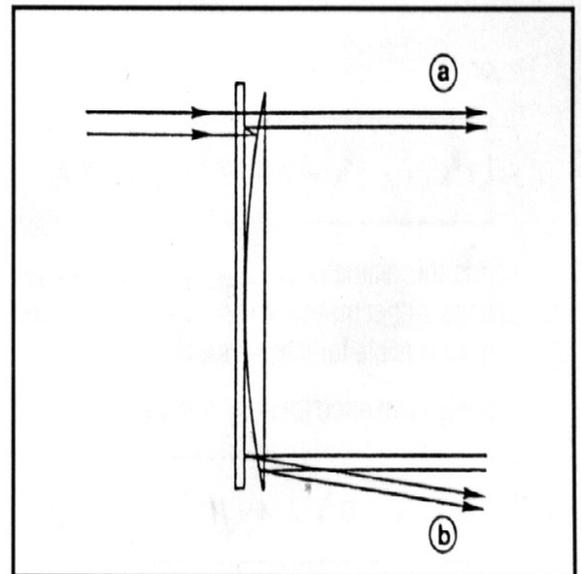


Fig.2: Diagrama para mostrar como surgen los anillos de Newton

a) en la luz que pasa

b) en la luz reflejada

Pueden despreciarse los ángulos de reflexión y refracción



Lo siguiente puede leerse de la Fig.3:

$$(R - d)^2 + r^2 = R^2$$
$$r^2 = 2Rd - d^2$$

puesto que $R \gg d$, d^2 puede ser despreciado con respecto a $2Rd$:

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

Esto significa que de este modo obtenemos lo siguiente:

$$a) \Delta s_r = \frac{r^2}{R} \quad (I)$$

$$a) \Delta s_R = \frac{r^2}{R} = \frac{\lambda}{2} \quad (II)$$

La extinción de ambas ondas (interferencia destructiva) ocurre cuando la diferencia de trayectoria óptica es un número impar múltiplo de $\frac{\lambda}{2}$, es decir

$$\text{Diferencia de trayectoria óptica} = (2k - 1) \frac{\lambda}{2}; k = 1, 2, 3, \dots$$

Puesto que las diferencias de trayectoria óptica equivalentes se repiten periódicamente con la longitud de onda λ , la diferencia de trayectoria óptica es la misma que la longitud de onda λ , ambas con transmisión y reflexión. Esto significa que de acuerdo a (I) o (II), lo siguiente se aplica para dos anillos contiguos:

$$\frac{r_{k+1}^2}{R} - \frac{r_k^2}{R} = \lambda$$

o

$$\boxed{r_{k+1}^2 - r_k^2 = \lambda \cdot R} \quad (III)$$

Es el diámetro $D_k = 2r_k$ de los anillos de Newton, mas que su radio r_k , que es directamente accesible para medición.

Si esto se ingresa en (III), obtenemos:

$$\boxed{D_{k+1}^2 - D_k^2 = 4 \cdot R \cdot \lambda} \quad (IV)$$

Esta ecuación vincula el diámetro de los anillos de Newton contiguos con el radio R de curvatura de la lente y la longitud de onda λ de la luz.

Si se conocen dos de estos parámetros, el tercero puede calcularse en cada caso.

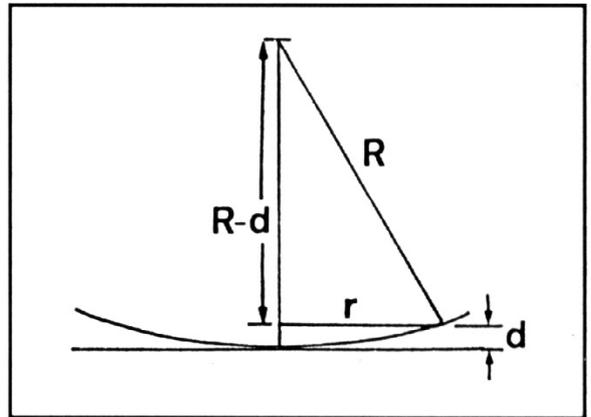


Fig.3: Diagrama para deducir la relación entre el diámetro $D=2r$ de los anillos de Newton y el radio de curvatura R de la lente

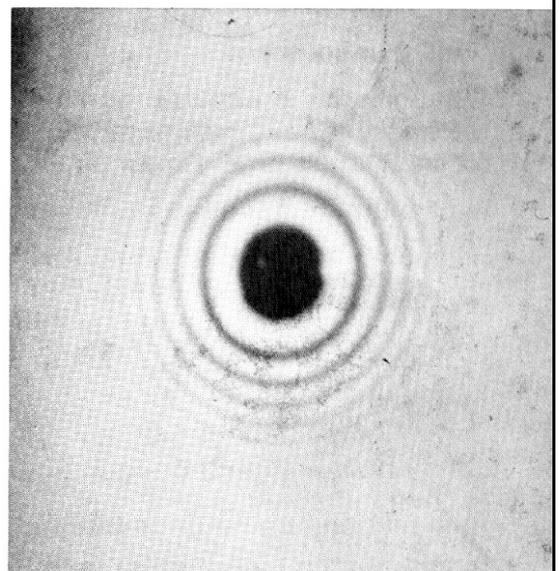


Fig.3: Fotografía de los anillos de Newton



Tabla
(ejemplo de medición)

$$b = 635 \text{ mm} ; g = 119 \text{ mm}$$

$$V = \frac{b}{g} = 5,34$$

k	$\frac{D \cdot V}{\text{mm}}$	$\frac{D}{\text{mm}}$	$\frac{D^2}{\text{mm}^2}$	$\frac{D^2_{k+1} - D^2_k}{\text{mm}^2}$
1	8	1,498	2,24	5,13
2	14,5	2,715	7,37	
3	19	3,558	12,66	5,29
4	22	4,120	16,97	4,31
5	25	4,682	21,92	4,95
6	28	5,243	27,49	5,57
7	30	5,618	31,56	4,07
8				
9				
10				
11				
Valor medio ►				4,89

Evaluación de los resultados de las mediciones

Con el radio de curvatura $R = 2000 \text{ mm}$ de la lente, se obtiene lo siguiente para la longitud de onda de la luz, la cual pasa por el filtro del rojo:

$$\lambda = \frac{4,89 \text{ mm}^2}{4 \cdot 2000 \text{ mm}}$$

$\lambda = 611 \text{ nm}$



Ficha de trabajo para los estudiantes 1

Anillos de Newton
Instalaciones con aparatos de demostración

- a) Interferencias en la luz que pasa
- b) Interferencias en la luz reflejada

Aparatos

Para a) y b)

1 Placa y lente para los anillos de Newton	471 08	2 Cables de experimentaciónej.	501 28
2 Pinzas de mesa.ej.	301 07	2 Soportes con muellesej.	460 22
2 Bancos ópticos pequeños	460 43	1 Filtro monocromático, azul-verde.	468 09
4 Mordazas	301 01	1 Lente en montura, $f = 100$ mm.	460 03
1 Lámpara de halógeno de 12V, 50/100W . .	450 64	1 Base cilíndricaej.	300 11
1 Lámpara de halógeno de 12V, 100W	450 63	1 Pantalla traslúcida	441 53
1 Fuente de voltaje 12 V, 100W.ej.	562 75	1 Cinta métrica de acero, 2mej.	311 77
		Cinta adhesiva	

Interferencias en la luz que pasa

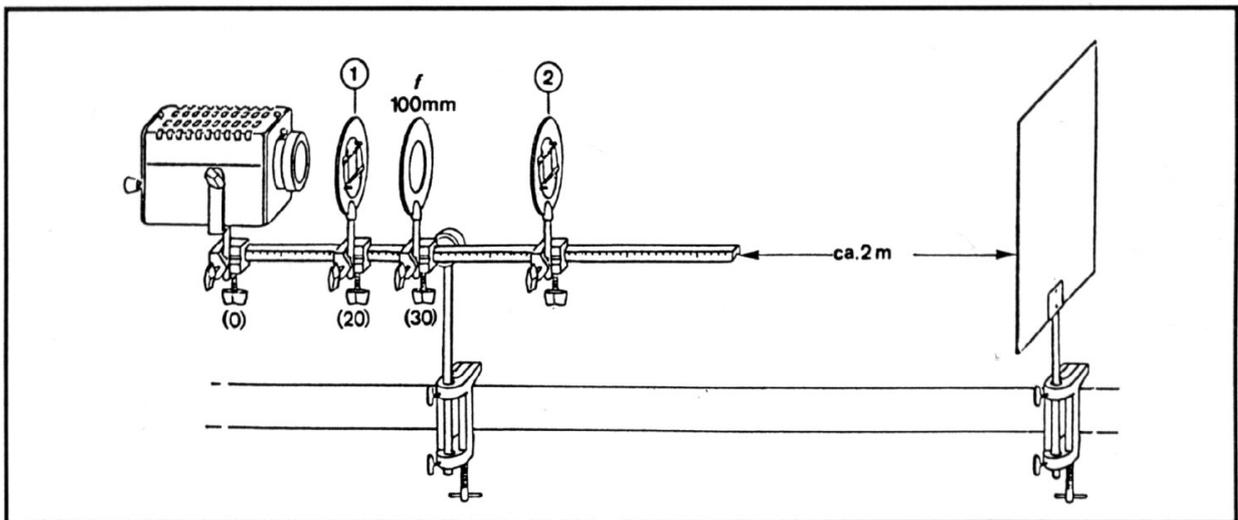


Fig.5: Instalación del experimento con aparatos de demostración para observar los anillos de Newton en la luz que pasa.
(1) Placa con lente para los anillos de Newton en el soporte con muelles.
(2) Filtro de luz monocromática, azul-verde, en el soporte con muelles

Instalación

Como se muestra en la Fig. 5

Método

Como se describe en la sección de los estudiantes



b) Interferencias en la luz reflejada

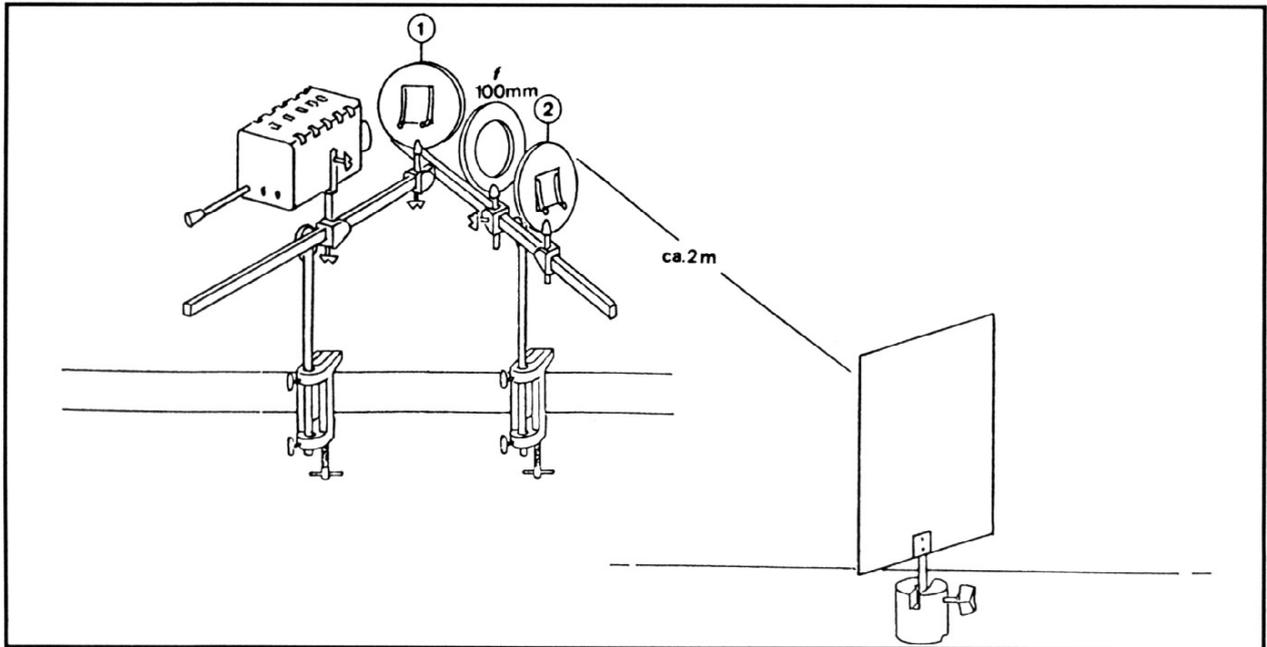


Fig.6: Instalación de experimento con aparatos de demostración para observar los anillos de Newton en la luz reflejada.

- (1) Placa con lente para los anillos de Newton en el soporte con muelles.
- (2) Filtro de luz monocromática en el soporte con muelles

Instalación

Como se muestra en la Fig.6

Método

Forme una imagen nítida de los anillos de Newton en la pantalla o en una pared con la lente ($f = 100 \text{ mm}$).

Como se describe en la sección de los estudiantes, mida el diámetro extendido $D \cdot V$ de los anillos de Newton.

► Tabla.

Con la disposición para la reflexión, los grandes ejes de los elipses observados corresponden a estos diámetros.



Tabla
(ejemplo de medición)

$$b = 2190 \text{ mm} ; g = 103 \text{ mm}$$

$$V = \frac{b}{g} = 21,3$$

k	$\frac{D \cdot V}{\text{mm}}$	$\frac{D}{\text{mm}}$	$\frac{D^2}{\text{mm}^2}$	$\frac{D^2_{k+1} - D^2_k}{\text{mm}^2}$
1	31	1,455	2,12	4,07
2	53	2,488	6,19	
3	68	3,192	10,19	
4	80	3,756	14,11	
5	91	4,272	18,25	
6	100	4,695	22,04	
7	109	5,117	26,19	
8	119	5,587	31,21	
9	126	5,915	34,99	
10	133	6,244	38,99	
11	139	6,526	42,59	
Valor medio ➤				4,05

Resultados de los experimentos

Cuando $R = 2000 \text{ mm}$, se obtiene lo siguiente de acuerdo con la ecuación (IV) para la longitud de onda de la luz, la cual pasa por el filtro monocromático azul-verde:

$$\lambda = \frac{4,05 \text{ mm}^2}{4 \cdot 2000 \text{ mm}}$$

$$\lambda = 506 \text{ nm}$$

Notas

Los anillos de Newton ya se conocían mucho antes de Newton.

Fueron mencionados por *Leonardo da Vinci* (1452 – 1519)

Grimaldi (1618 – 1663) deduce de esta demostración que la luz puede extinguirse con luz.

La disposición con una placa de vidrio y una lente planaconvexa con un radio de curvatura grande utilizado acá fue usada por primera vez en 1665 por *Hooke* y en 1676 por *Newton*.



Óptica ondulatoria
Interferencia

Aparatos

Items individuales de aparatos

Estos items de aparatos no están incluidos en los juegos STM. Son utilizados ya sea en los experimentos de los estudiantes como en los experimentos de demostración.

- 1 Espejo de Fresnel sobre placa. 471 04
- 1 Biprisma 471 09
- 1 Placa y lente para los anillos de Newton 471 08
- Cinta adhesiva o adhesivo para asegurar la placa y la lente
se recomienda:
- 1 Filtro de luz monocromático, azul-verde 468 09
(en vez del filtro del rojo de 467 95, contenido en OP3)

Aparatos STM

Es preferible utilizar estos items de aparatos en experimentos para los estudiantes. Están incluidos en los juegos de aparatos que se muestran a continuación.

Número máximo	Nombre del aparato	Nº Cat.	Aparato en el juego			
			OP1	OP3	OP4	OP7
1	Diafragma con 4 ranuras dobles	469 85				1
2	Raíles metálicos de precisión, 0.5 m	460 82	1			1
6	Jinetillos con pinza	460 95	4		1	1
1	Lámpara tubular 12 V/18 W <i>alternativamente</i>	459 03	1			
1	Lámpara de halógeno 12 V/20 W	459 01				
1	Par de cables, 50 cm, por ej. rojo, azul	501 45	1			
1	Lente A (f = 5 cm)	459 60			1	
1	Lente H (f = 30 cm)	459 64			1	
1	Ranura regulable	471 71				1
1	Soporte para diafragmas y diapositivas	459 33	1			
1	Caja con espejos	459 17				1
1	Lupa	459 19				1
1	Filtro del rojo de	467 95		1		
1	Mesa óptica	459 15	1			
1	Cinta métrica, 2 m	311 77				
1	Fuente de voltaje de 12 V CA/20 W por ej. transformador de 6 V CA/12 V CA ó fuente de alimentación de baja tensión de 3 A	562 73 522 16				



Aparatos para demostración

Lo siguiente contiene una alternativa a los aparatos STM del programa de aparatos para experimentos de demostración:

2 Bancos ópticos pequeños		460 43
2 Pinzas de mesa	ej.	301 07
5 Mordazas múltiples de Leybold		301 01
1 Base cilíndrica	ej.	300 11
2 Soportes con muelles		460 22
1 Ranura regulable		460 14
1 Mesa de prisma		460 25
1 Lente en montura, $f = 100$ mm		460 03
1 Lente en montura, $f = 200$ mm		460 04
1 Pantalla traslúcida		441 53
1 Lámpara de halógeno de 12 V/50 W/100 W		450 64
1 Lámpara de halógeno de 12 V, 100 W		450 63
1 Fuente de voltaje de 12 V, 100 W	ej.	562 75
2 Cables de experimentación	ej.	501 28
1 Calibre de precisión de vernier	ej.	311 54
1 Cinta métrica, 2 m	ej.	311 77
1 Diafragma con 4 ranuras dobles		469 85

Resumen de los Módulos de Física STM

Área temática	Manuales de experimentación		Juego de equipos del experimento Número de catálogo y abreviación
	Grupo temático	Cantidad de experimentos		Catálogo N°
Mecánica			
Propiedades de la materia	37	589 001	ME 1 (588 50) + ME 2 (588 51)
Fuerzas	41	589 011	ME 1 (588 50) + ME 3 (588 52) + ME 4 (588 53)
Máquinas simples	38	589 021	ME 1 (588 50) + ME 4 (588 53) + ME 5 (588 54)
Fluidos	30	589 031	ME 1 (588 50) + ME 2 (588 51) + ME 6 (588 55)
Movimiento lineal	26	589 041	ME 7 (588 56)
Oscilaciones	52	589 071	ME 1 (588 50) + ME 8 (588 72)
Ondas	14	589 081	
Calor			
Expansión y propagación del calor	26	589 051	CA 1 (588 57) + CA 2 (588 58)
Energía calórica y estados de la materia	25	589 061	CA 1 (588 57) + CA 3 (588 59)
Magnetismo • Electricidad • Electrónica			
Magnetismo	22	589 111	MAG 1 (588 60)
Circuitos eléctricos simples	47	589 121	EL 1 (588 61) + EL 2 (588 62)
Electromagnetismo e Inducción	43	589 131	EL 1 (588 61) + EL 3 (588 63)
Electroquímica	20	589 141	EL 1 (588 61) + EL 4 (588 64)
Electroestática 1: Cargas y fuerzas	59	589 161	ESA 1 (588 73)
Electroestática 2: Cargas y campos	40	589 171	ESA 1 (588 73) + ESA 2 (588 74)
Electrónica básica	48	589 151	EL 1 (588 61) + EL 5 (588 65)
Óptica geométrica			
Propagación y Reflexión de la luz	46	589 201	OP 1 (588 66) + OP 2 (588 67)
Refracción y Lentes	49	589 211	OP 1 (588 66) + OP 3 (588 68)
Instrumentos ópticos	39	589 221	OP 1 (588 66) + OP 4 (588 69)
Experimentos con la fuente de rayos luminosos	40	589 231	OP 5 (588 70)
Óptica ondulatoria			
Difracción	24	589 251	OP 1 (588 66) + OP 7 (588 75)
Interferencia	10	589 261	OP 1 (588 66) + OP 7 (588 75)
Polarización	30	589 271	OP 1 (588 66) + OP 8 (588 76)
Física nuclear			
Radioactividad	Ca. 32	589 501	RAD 1 (588 77)
Informática / Tecnología digital			
Operaciones lógicas básicas	15	571 171	P 1 (571 011)
Circuitos de combinación y de secuencia	20	571 171	P 1 (571 011) + P 2 (571 022)