

Difracción en rendijas múltiples y en rejillas

COMPROBACIÓN DEL CARÁCTER ONDULATORIO DE LA LUZ Y DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA.

- Estudio de la difracción en una rendija doble con diferentes distancias entre las rendijas.
- Estudio de la difracción en una rendija doble con diferentes anchos de rendija.
- Estudio de la difracción en una rendija múltiple con diferentes números de rendijas.
- Estudio de la difracción en una retícula de rendijas y en una retícula cruzada.

UE4030200

11/15 JS/UD



Fig. 1: Disposición de medición.

FUNDAMENTOS GENERALES

La difracción de la luz en rendijas múltiples y en retículas se puede describir como la superposición de ondas elementales coherentes, que salen de cada punto iluminado en una rejilla múltiple, de acuerdo con el principio de superposición de Huygens. La superposición en una determinada dirección conduce a una interferencia constructiva o destructiva y se explica así el sistema de bandas claras y oscuras detrás de la rendija múltiple.

Detrás de una rendija doble la intensidad en un determinado ángulo de observación α_n es máxima cuando para cada onda elemental de la primera rendija se tiene exactamente una onda elemental de la segunda rendija y las dos se superponen constructivamente. Esto se satisface cuando la diferencia de camino Δs_n entre las ondas elementales que salen de los centros de las rendijas es un múltiplo entero de la longitud de onda λ de la luz (ver Fig. 2).

$$(1) \Delta s_n(\alpha_n) = n \cdot \lambda$$

$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$: Orden de difracción

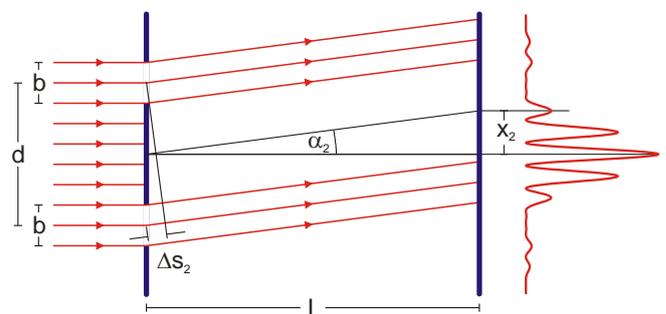


Fig. 2: Representación esquemática de la difracción de la luz en una rendija doble (b : Ancho de rendija, d : Distancia entre las rendijas, L : Distancia de la pantalla de observación a la rendija doble, x_2 : Distancia del segundo máximo hasta el centro, α_2 : Dirección de observación para el segundo máximo, Δs_2 : Diferencia de camino de los rayos del punto central)

A una distancia grande L de la rendija doble, para ángulos de observación pequeños α_n , entre la diferencia de camino Δs_n y la coordenada de x_n del máximo de intensidad se tiene la relación

$$(2) \frac{\Delta s_n}{d} = \sin \alpha_n \approx \tan \alpha_n = \frac{x_n}{L}$$

d : Distancia entre rejillas

Por ello, los máximos se encuentran a distancias regulares iguales entre sí

$$(3) a = x_{n+1} - x_n = \frac{\lambda}{d} \cdot L.$$

Esta relación vale también para la difracción en una rejilla múltiple con más de 2 rendijas equidistantes. Con la ecuación (1) se trata la condición para la interferencia constructiva de ondas elementales de tonos las N rendijas. Es decir que las ecuaciones (2) y (3) también se pueden aplicar para las rendijas múltiples.

La determinación de los mínimos de intensidad requiere un poco más de matemática: Mientras en el caso de la rendija doble en el centro entre dos máximos de intensidad se encuentra un mínimo de intensidad, en una rendija múltiple se encuentra entre los máximos n y $n + 1$ mínimos, cuando las ondas elementales de N rendijas interfieren de tal forma que intensidad de hace cero. Este es el caso cuando la diferencia de camino entre de las ondas elementales que salen del centro de la rendija cumplen la condición

$$(4) \Delta s = n \cdot \lambda + m \frac{\lambda}{N}$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots, m = 1, \dots, N-1$$

Es decir que se encuentran $N-1$ mínimos y entre ellos $N-2$ máximos secundarios, cuya intensidad es menor que la de los máximos principales.

Al aumentar el número N de rendijas, el aporte de los máximos secundarios desaparece. Ya no se habla más de una rendija múltiple sino de una rejilla o red de difracción. Al final una rejilla cruzada se puede considerar como dos rejillas o redes de difracción orientadas 90° una con respecto a la otra. Los máximos de difracción se convierten en puntos sobre una red cuadrada, cuyo ancho o abertura de malla se dan por (3).

La claridad en los máximos principales está modulada por la distribución de la claridad en la difracción de una rendija y está mayormente concentrada para ángulos pequeños α mientras mayor sea el ancho de la rendija b . Para un cálculo exacto se suman las amplitudes de las ondas elementales teniendo en cuenta las diferencias de camino hasta lograr la amplitud total A . En cualquier punto x de la pantalla se tiene entonces:

$$(5) I = A^2 \propto \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\frac{\pi \cdot b \cdot x}{\lambda \cdot L}} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(N \cdot \frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)}{\sin\left(\frac{\pi \cdot d \cdot x}{\lambda \cdot L}\right)} \right)^2 = f(x).$$

La función $f(x)$ del lado derecho de la ecuación (5) en el punto $x = 0$ en el centro de la distribución de claridad está acotada por el siguiente valor límite:

$$(6) \lim_{x \rightarrow 0} f(x) = N^2$$

El primer factor de $f(x)$ describe la difracción de una sola rendija y el segundo la interferencia entre N rendijas.

LISTA DE APARATOS

1	Diodo láser, rojo	U22000	1003201
1	Banco óptico K, 1000 mm	U8475240	1009696
2	Jinetillo óptico K	U8475350	1000862
1	Soporte de apriete K	U84755401	1008518
1	Soporte K para diodo láser	U8475550	1000868
1	Diafragma con 3 ranuras dobles de diferentes anchos de ranura	U14100	1000596
1	Diafragma con 4 ranuras dobles con diferentes distancias entre ranuras	U14101	1000597
1	Diafragma con 4 ranuras múltiples y una retícula	U14102	1000598
1	Diafragma con 3 retículas regladas	U14103	1000599
1	Diafragma con 2 retículas cruzadas	U14106	1000601

MONTAJE Y REALIZACIÓN

- Se coloca y se fija un jinetillo óptico en la posición 0 y otro en la posición 70-cm del banco óptico (Fig. 1).
- El diodo láser se inserta y se fija en el soporte para diodo láser. El soporte con el diodo láser se inserta en la posición 70-cm en el jinetillo óptico.
- Se inserta el soporte de apriete en el jinetillo óptico de la posición 0-cm. Se fija un diafragma con objetos de difracción en el soporte de apriete, de tal forma que el objeto de difracción a medir quede centrado en el eje óptico.
- Se posiciona una pantalla de proyección a una distancia de $L \approx 7$ m (Fig. 2) haciendo un ángulo recto con respecto al eje óptico. La distancia entre el objeto de difracción y la pantalla de proyección se mide con exactitud y se anota. La posición del banco óptico no se vuelve variar, en caso dado, la distancia L se vuelve a medir cada vez que se cambie el diafragma resp. el objeto de difracción.
- La fuente de alimentación del diodo láser de conecta a la red de suministro y se enciende el diodo láser.
- Secuencialmente, se fijan todos los diafragmas con los objetos de difracción en el soporte de apriete y cada vez se observa la distribución de claridad en la pantalla de proyección para todos los objetos de difracción y si es el caso, se sacan fotos de todas ellas.
- Para las 4 rendijas dobles de diferentes distancias entre rendijas se mide la distancia x_n entre un máximo de orden $n \neq 0$ y el máximo de orden 0 en el centro de la distribución de claridad (Ejemplo para $n = 2$, ver Fig.2) y se anota en la Tab. 1 (ver la Evaluación).

EJEMPLO DE MEDICIÓN

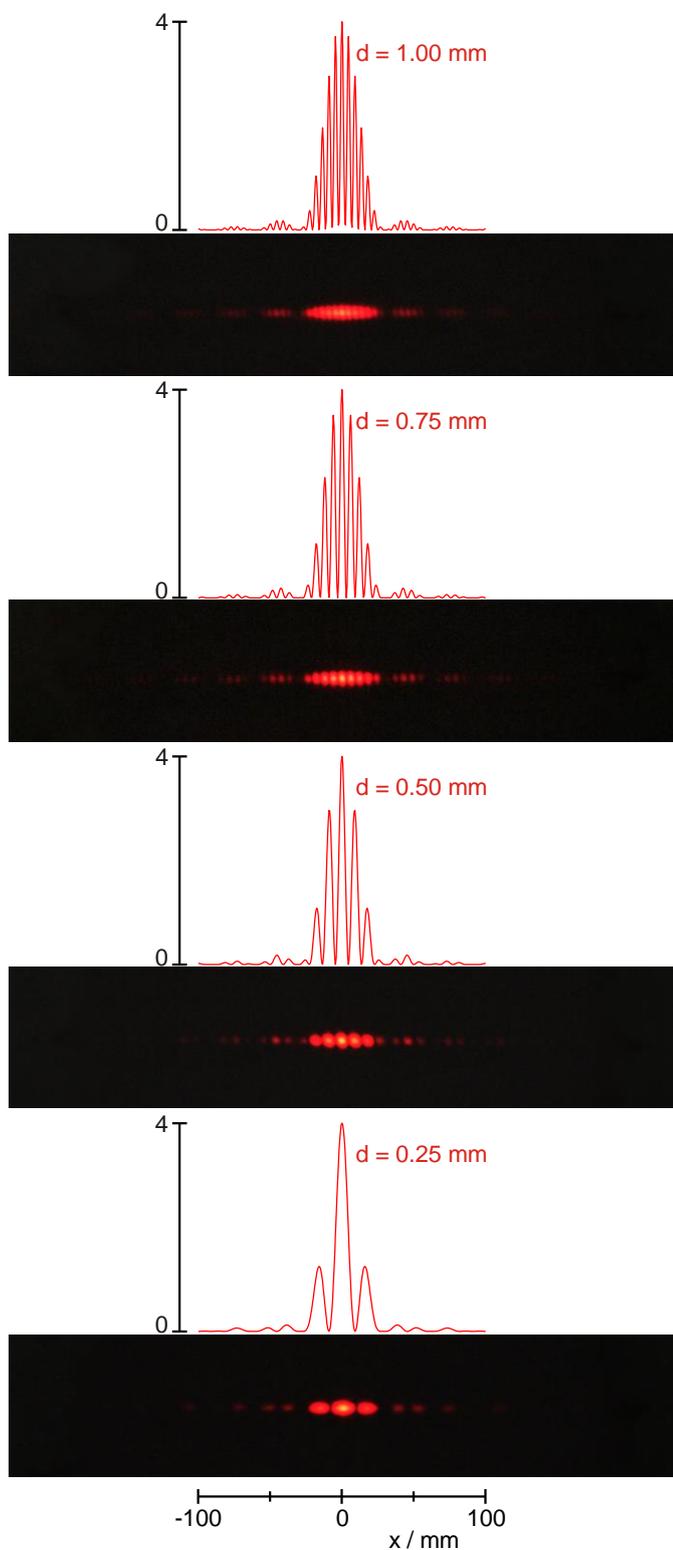


Fig. 3: Difracción en rendija doble con diferentes distancias d entre las rendijas. Función $f(x)$ calculada e intensidad observada. Número de rendijas $N = 2$, ancho de rendija $b = 0,15 \text{ mm}$.

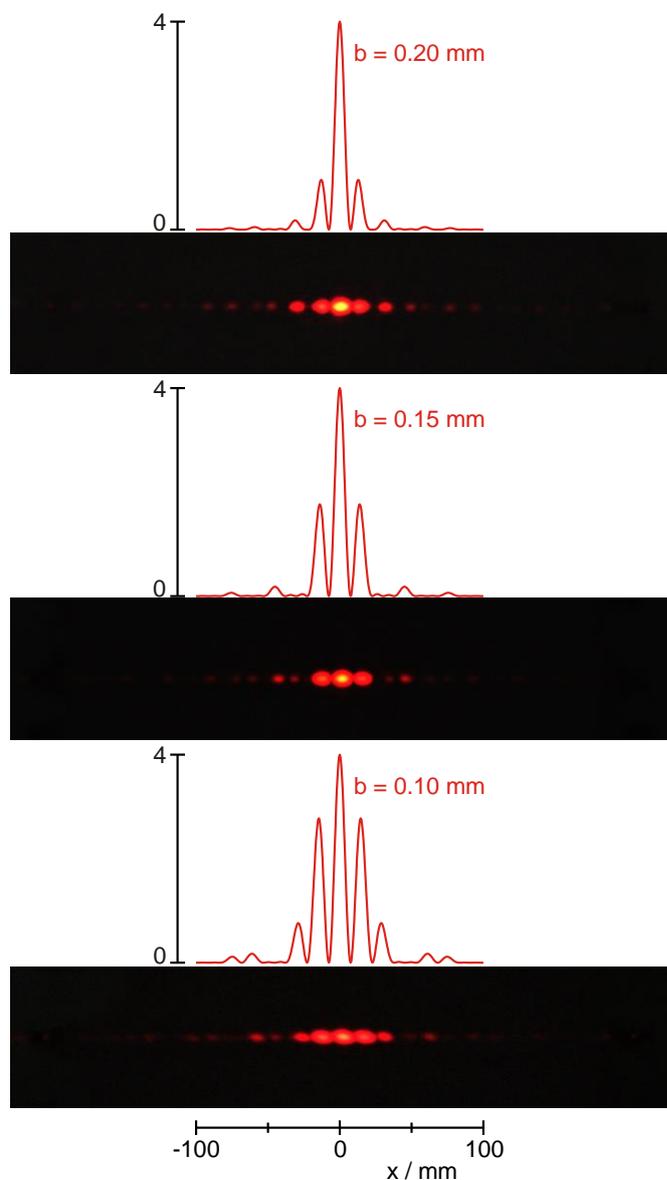


Fig. 4: Difracción en rendija doble con diferentes anchos de rendija b . Función $f(x)$ calculada e intensidad observada. Número de rendijas $N = 2$. Distancia entre rendijas $d = 0,30 \text{ mm}$.

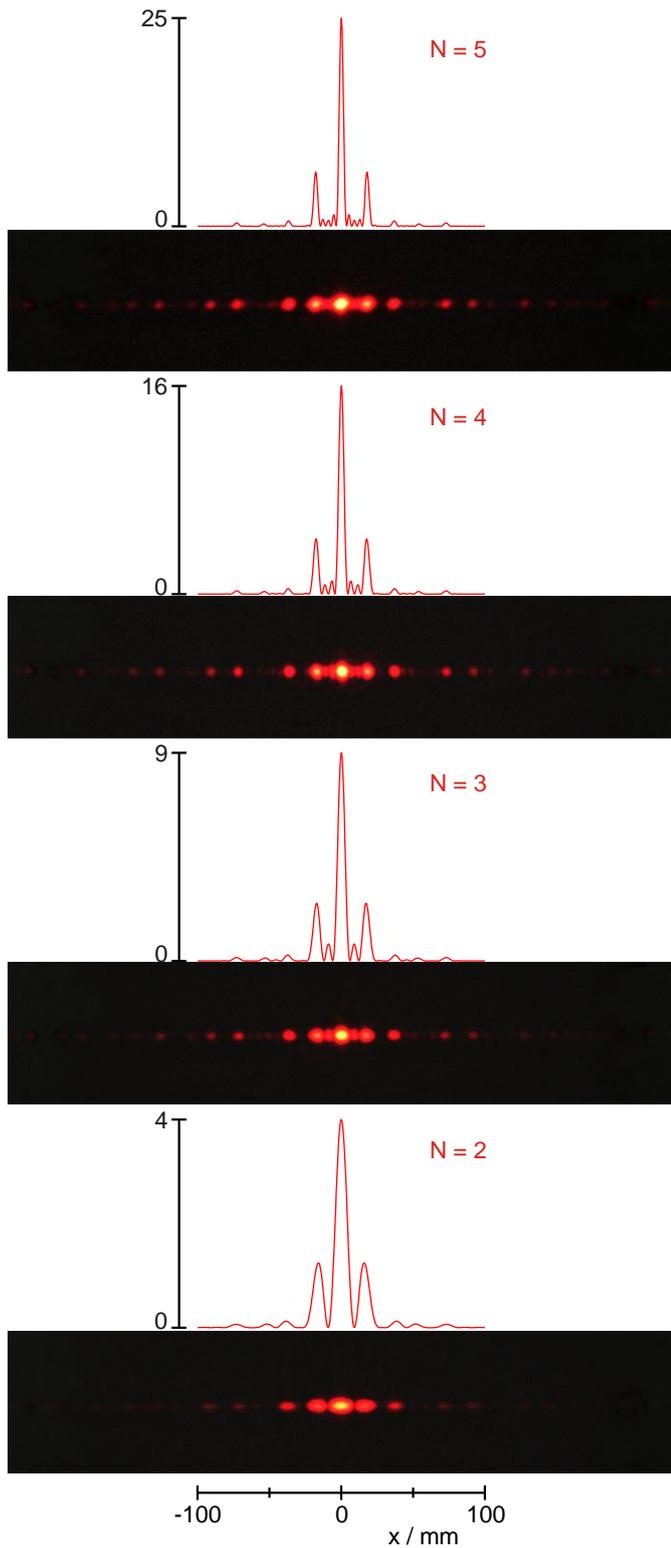


Fig. 5: Difracción en rendijas múltiples con diferentes números de rendijas N . Función $f(x)$ calculada e intensidad observada. Distancia entre rendijas $d = 0,25$ mm, ancho de rendija $b = 0,15$ mm.

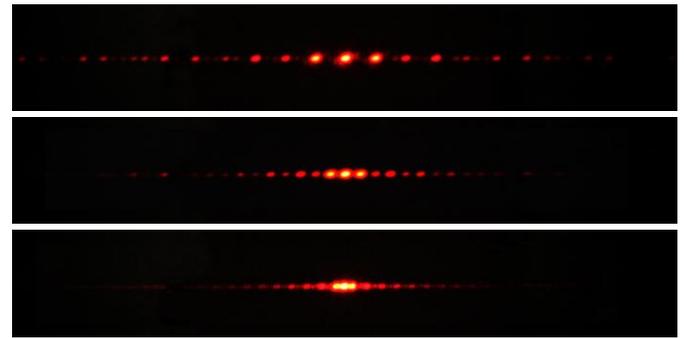


Fig. 6: Difracción en retículas con 20 (abajo), 40 (en el centro) y 80 líneas / cm (arriba, correspondiendo a las constantes de retícula: $g = 0,50, 0,25$ y $0,125$ mm).

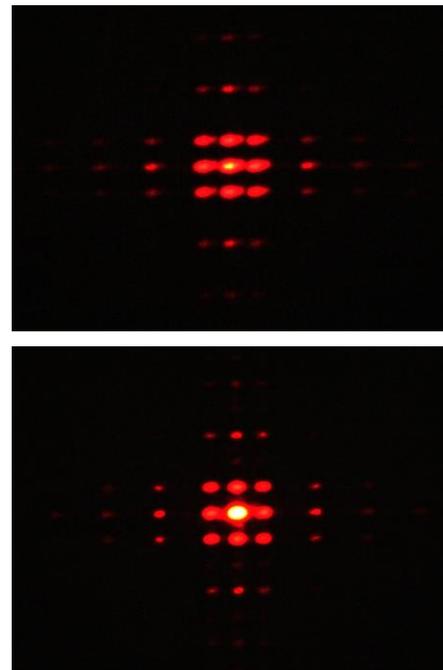


Fig. 7: Difracción en una retícula cruzada blanca (abajo) y en una retícula cruzada negra (arriba) con 40 líneas / cm, correspondiendo a una constante de retícula de $g = 0,25$ mm.

EVALUACIÓN

Para una evaluación detallada de las distribuciones de claridad de los diferentes diafragmas de rendija observadas en la pantalla, se calculan las distribuciones de claridad, respectivamente las funciones $f(x)$ según la ecuación (5) utilizando como base los anchos de rendija, las distancias entre las rendijas, el número de ellas previstos y se comparan con las distribuciones de claridad observadas en la pantalla (Figs. 3, 4 y 5).

En las rendijas con diferentes distancias entre rendijas (Fig. 3) se reconoce que el número de máximos de interferencia aumenta al aumentar la distancia entre las rendijas y su ancho se hace más delgado, porque el ancho de los máximos de difracción permanece constante (la envolvente de los máximos de interferencia). Con una distancia entre rendijas creciente más y más ondas difractadas pueden interferir entre sí.

En las rendijas con diferentes anchos de rendija (Fig. 4) se reconoce que el número de máximos de interferencia con el ancho de rendija permanece constante y su intensidad para órdenes $n \neq 0$ disminuye, porque el ancho de los máximos de difracción se hacen más delgados (la envolvente de los máximos de interferencia). Debido a que al aumentar el ancho de la rendija la difracción se hace menos marcante, la interferencia entre las ondas difractadas se hace correspondientemente menor.

Para la rendija múltiple (Fig. 5) se observan $N-2$ máximos secundarios, como es de esperar, es decir, con una rendija doble, ninguno, con una rendija triple, uno, con una rendija cuádruple, dos, y con una quintuple, tres.

Por lo general, en los puntos en los cuales se da un mínimo de difracción no se pueden observar máximos de interferencia. Este es el caso cuando el primer factor de $f(x)$ en la ecuación (5) se hace cero, es decir, con un múltiplo entero de $x = (\lambda / b) \cdot L$. Para $b = 0,15 \text{ mm}$ se da por ejemplo. (véanse las Fig. 3 y Fig. 5):

$$(7) \quad x = \frac{\lambda}{b} \cdot L = \frac{650 \text{ nm}}{0,15 \text{ mm}} \cdot 7 \text{ m} = 30,3 \text{ mm}$$

- En el caso de las tres rejillas de difracción (Fig. 6), como es de esperar, desaparece la contribución de los máximos secundarios y la distancia a de los máximos principales en la pantalla, de acuerdo con la ecuación (3), al aumentar el número de líneas/cm, correspondientemente con la reducción de la constante de rejilla g , se hace siempre mayor.
- Con las dos rejillas cuadradas (Fig. 7) los máximos de difracción, como es de esperar, se convierten en puntos en una red rectangular. Los máximos de difracción de la rejilla cuadrada blanca aparecen más claros que en la rejilla cuadrada negra, porque con la rejilla cuadrada blanca se transmite más intensidad y correspondientemente se absorbe menos intensidad que en la rejilla cuadrada negra.
- La longitud de onda de la luz difractada se puede determinar para rendijas dobles de diferentes distancias de rendijas, de acuerdo con la ecuación (3), partiendo de la distancias regulares a de los máximos.
- Para las 4 rendijas dobles de diferente distancia entre las rendijas se toma el cociente L / d (Tab. 1).
- Para la determinación de la distancia a de los máximos cada vez se dividen las distancias x_n medidas por el or-

den de difracción n (Tab. 1).

- Los valores a determinados a partir de la medición se llevan a un diagrama contra L / d y se ajusta una recta en los puntos de medida (Fig. 8).

Según la ecuación (3) la pendiente de la recta ajustada corresponde exactamente a la longitud de onda λ :

$$(8) \quad a = \lambda \cdot \left(\frac{L}{d} \right)$$

Se obtiene un valor de $\lambda = 630 \text{ nm}$, el cual concuerda hasta en un 3% con el valor específico de $\lambda = 650 \text{ nm}$.

Tab. 1: Difracción en rendijas dobles con diferentes distancias entre las rendijas d , comparación con la Fig. 3 ($L = 7 \text{ m}$: Distancia hasta la pantalla, n : Orden de difracción, x_n : Distancia medida, a : Distancia determinada x_n a partir de la distancia entre los máximos).

d / mm	L / d	n	x_n / mm	a / mm
0,25	28000	2	35,56	17,78
0,50	14000	6	53,20	8,87
0,75	9333	8	47,60	5,95
1,00	7000	12	53,20	4,43

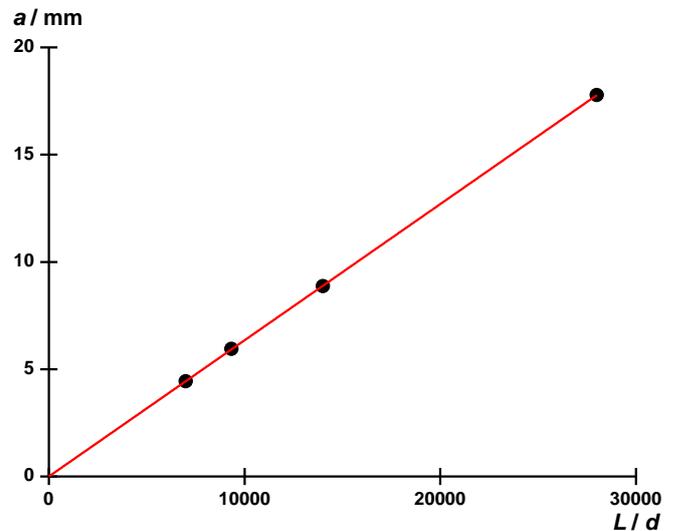


Fig. 8: Distancias a de los máximos en dependencia con el cociente L / d , a partir de la distancia hasta la pantalla de $L = 7 \text{ m}$ y de las distancias d entre las rendijas.

