

Figura T2.2. En el caso de realizar el mismo experimento con ondas, la dispersión de la onda original en cada rendija produce que parezca que una nueva onda se origina en ellas. Si tapamos una rendija cada vez, encontraríamos las distribuciones ① y ②. Sin embargo, la distribución que se encuentra cuando ambas rendijas están abiertas *no* es la suma de ambas distribuciones. La razón es que hay puntos, como los marcados con círculos negros, donde las dos ondas están en fase y se suman (*Interferencia constructiva*), pero hay otros, como los marcados con círculos blancos, en los que las dos ondas están en contrafase y se anulan (*Interferencia destructiva*).

En el caso de una onda, se observaría en la pantalla de detección una serie de máximos y mínimos debido a la interferencia de las ondas dispersadas por cada rendija. Este fenómeno se conoce con el nombre de *difracción*.

En el caso de una onda electromagnética de luz visible, en la pantalla de detección se observarían zonas de claridad y oscuridad alternándose. Si la rejilla que cruza la onda tiene un número elevado de rendijas (como es el caso de la experiencia que vamos a realizar), la interferencia de todas las ondas produce un estrechamiento de las zonas de claridad, que aparecen como puntos aislados entre zonas de oscuridad. Por supuesto, esto sólo ocurre si las rendijas de la rejilla mantienen separaciones siempre iguales entre sí. Si las rendijas estuvieran dispuestas de forma aleatoria, las ondas que llegaran a cualquier punto tendrían una distribución aleatoria de fases que resultaría en una interferencia media destructiva (un problema interesante es el de los sistemas semiordenados).

T2.3 La determinación de estructuras de sólidos cristalinos por métodos de difracción

La separación entre puntos de claridad en el diagrama de difracción depende, entre otros factores, de la distancia entre las rendijas de nuestra rejilla. Los átomos en un sólido cristalino constituyen una rejilla (red) ordenada periódicamente. Las distancias entre átomos, y también la disposición tridimensional, pueden ser determinados por difracción. Los espaciados entre átomos en un sólido son del orden de 10^{-10} m ($= 1 \text{ \AA}$), por lo que necesitamos emplear radiación electromagnética de rayos X [su longitud de onda está entre 100 y $0,1 \text{ \AA}$] o pequeñas partículas como electrones y neutrones convenientemente aceleradas como para que su longitud de onda esté en dicho rango (recordar la ecuación de De Broglie). La parte superior de la figura T2.3 muestra un esquema simplificado de un difractómetro de rayos X, aparato que se emplea en la determinación de estructuras cristalinas.

T2.4 El experimento de difracción óptica

En este experimento se hace un cambio de escala utilizando cuadrículas de puntos dibujadas en una diapositiva con espaciados del orden de 10^{-5} m, lo que nos permitirá usar luz visible cuya longitud de onda es del orden de unos cientos de nanómetros (figura T2.3 inferior).

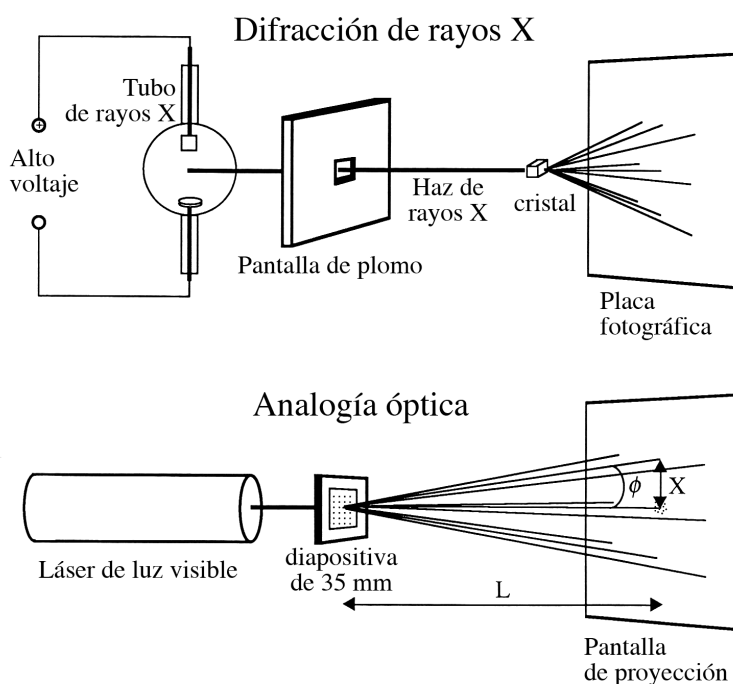


Figura T2.3. Comparación del aparato usado para difracción de rayos X y el experimento óptico. La analogía óptica muestra también el espacio entre puntos de difracción, X ; la distancia L entre la rejilla y el motivo de difracción; y el ángulo ϕ correspondiente a la interferencia constructiva de los rayos de difracción.

Se utilizará como fuente de luz monocromática un puntero Láser rojo ($\lambda = 660 \text{ nm}$) o verde ($\lambda = 532 \text{ nm}$). Para calcular la distancia entre puntos en las cuadrículas de la diapositiva se deberá medir la distancia de la dispositiva a la pantalla de proyección y la distancia entre los puntos de difracción en la

pantalla. De esta forma, se determinará el ángulo de dispersión ϕ que está relacionado por las ecuaciones siguientes con la distancia d entre los puntos de la red y la longitud de onda empleada (λ).

T2.5 Las ecuaciones de Bragg y Fraunhofer

En un experimento con un cristal, se mide la difracción de la luz reflejada por el sólido y la relación entre ϕ , d y λ viene dada por la ecuación de Bragg (Figura T2.4). En cambio, la difracción observada en nuestro experimento corresponde a la luz que atraviesa la diapositiva y se aplica la ecuación de Fraunhofer (Figura T2.5).

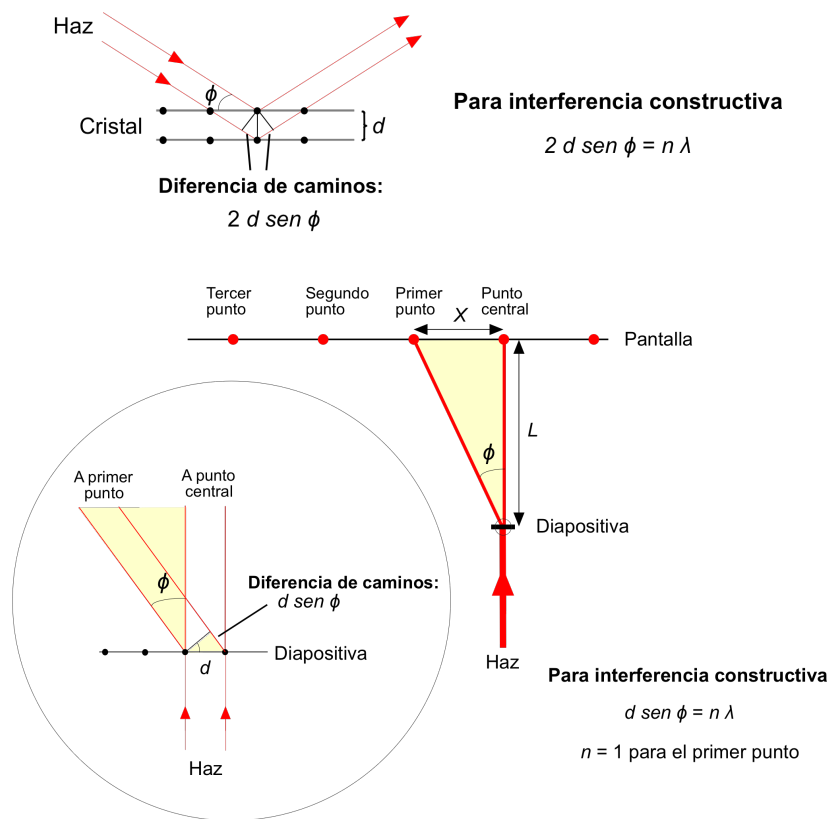


Figura T2.4. La difracción de Bragg y su ecuación.

Figura T2.5. Difracción de Fraunhofer y ecuación que relaciona la distancia d entre puntos de la matriz en la diapositiva con la longitud de la onda y el ángulo ϕ . Este ángulo puede ser determinado a partir de la distancia X medida en el diagrama de difracción y la distancia L entre la diapositiva y la pantalla. El círculo grande es una ampliación de la zona de la diapositiva.

T2.6 Las matrices de puntos

En el experimento se utilizarán las ocho matrices de puntos (cuadrados) representados en la Figura T2.6. Estas matrices se diferencian en la celdilla unidad (cuadrada, cuadrada con punto central, rectangular, paralelogramo, hexagonal...) o el espaciamiento entre puntos (tamaño de la celdilla unidad). En el experimento, trataremos de relacionar cómo afectan estas cuestiones a la simetría, intensidad y orientación de los puntos de difracción (figura T2.7, la red que forman estos puntos de difracción se llama red recíproca). Finalmente, trataremos de determinar las distancias entre puntos las matrices de la diapositiva a partir de la distancia entre puntos en el diagrama de difracción y la distancia entre la pantalla de proyección y la diapositiva. Este cálculo se puede repetir con medidas obtenidas con luces de diferente color, comparando los resultados obtenidos (figura T2.8).

T2.7 Conclusiones a extraer

¿Qué generalizaciones se pueden hacer sobre la relación entre la simetría de las matrices de puntos y la simetría del diagrama de difracción? ¿Que generalizaciones se pueden hacer sobre la relación entre la distancia de puntos en las matrices de puntos y en el diagrama de difracción? ¿Que generalizaciones se pueden hacer sobre la relación entre la orientación de las matrices de puntos y la orientación del diagrama de difracción?

Dar los espaciados entre puntos de cada una de las redes con una incerteza estimada para cada uno. Dado que los puntos se originaron como pixels en una pantalla de ordenador, los espaciados de “a” a “e” y “g” deben de ser todos un múltiplo entero del tamaño del pixel. ¿Cuál es la mejor estimación para el tamaño de un pixel en la diapositiva?

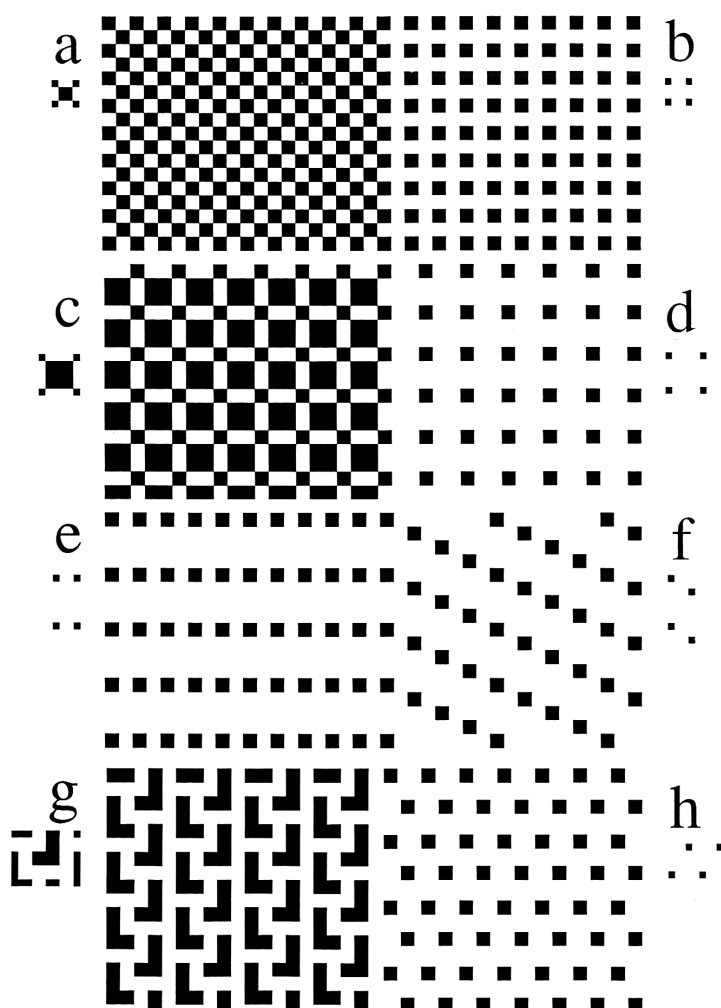


Figura T2.6. Rejillas

bidimensionales utilizadas en estas experiencias:

- (a) cuadrado centrado en las caras de 2×2 pixels ($1 \text{ pixel} \approx 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ mm}$).
- (b) cuadrado de 2×2 pixels.
- (c) cuadrado de 3×3 pixels con dos tamaños de punto diferentes.
- (d) cuadrado 2×2 pixels.
- (e) rectángulo 2×4 pixels.
- (f) monoclinico 2×4 pixels con ángulo de $\sim 63^\circ$.
- (g) rectángulo con motivo el ele, 4×5 pixels.
- (h) red hexagonal equivalente.

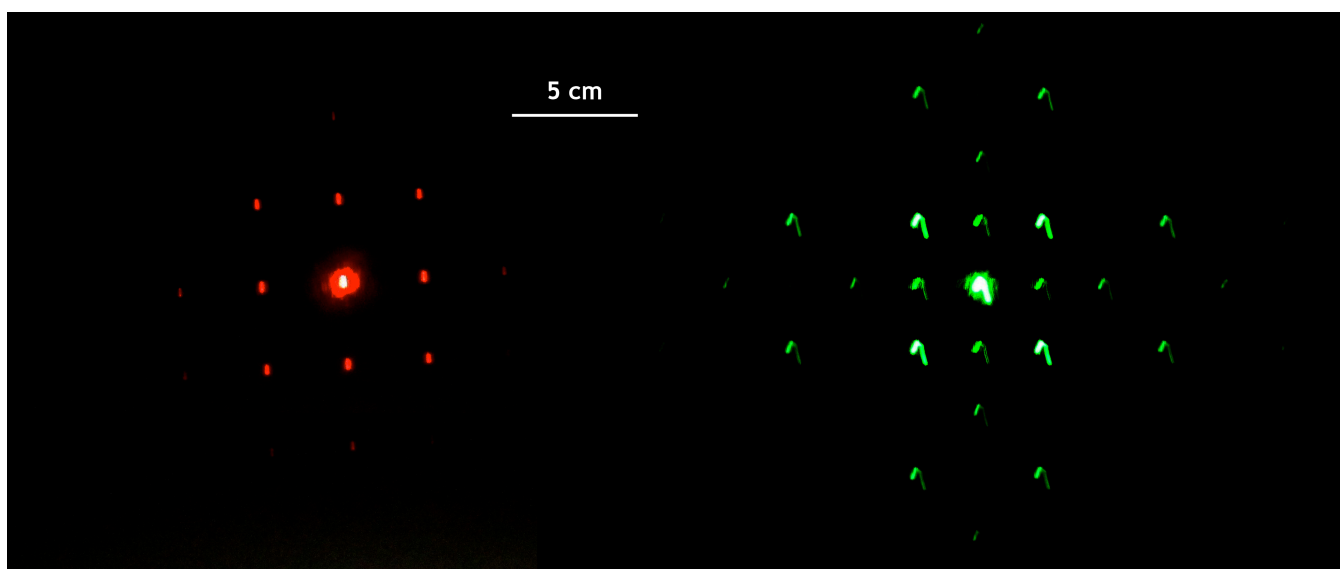


Figura T2.8. Fotografías de los diagramas de difracción obtenidos con la matrices de puntos de la figura 2 y un láser rojo de 660 nm (a la izquierda) y un láser verde de 532 nm (a la derecha). La distancia entre puntos adyacentes en una recta horizontal o vertical es de 3,23 cm (láser rojo) y 2,60 cm (láser verde), distancias que están en relación directa con las longitudes de onda respectivas.

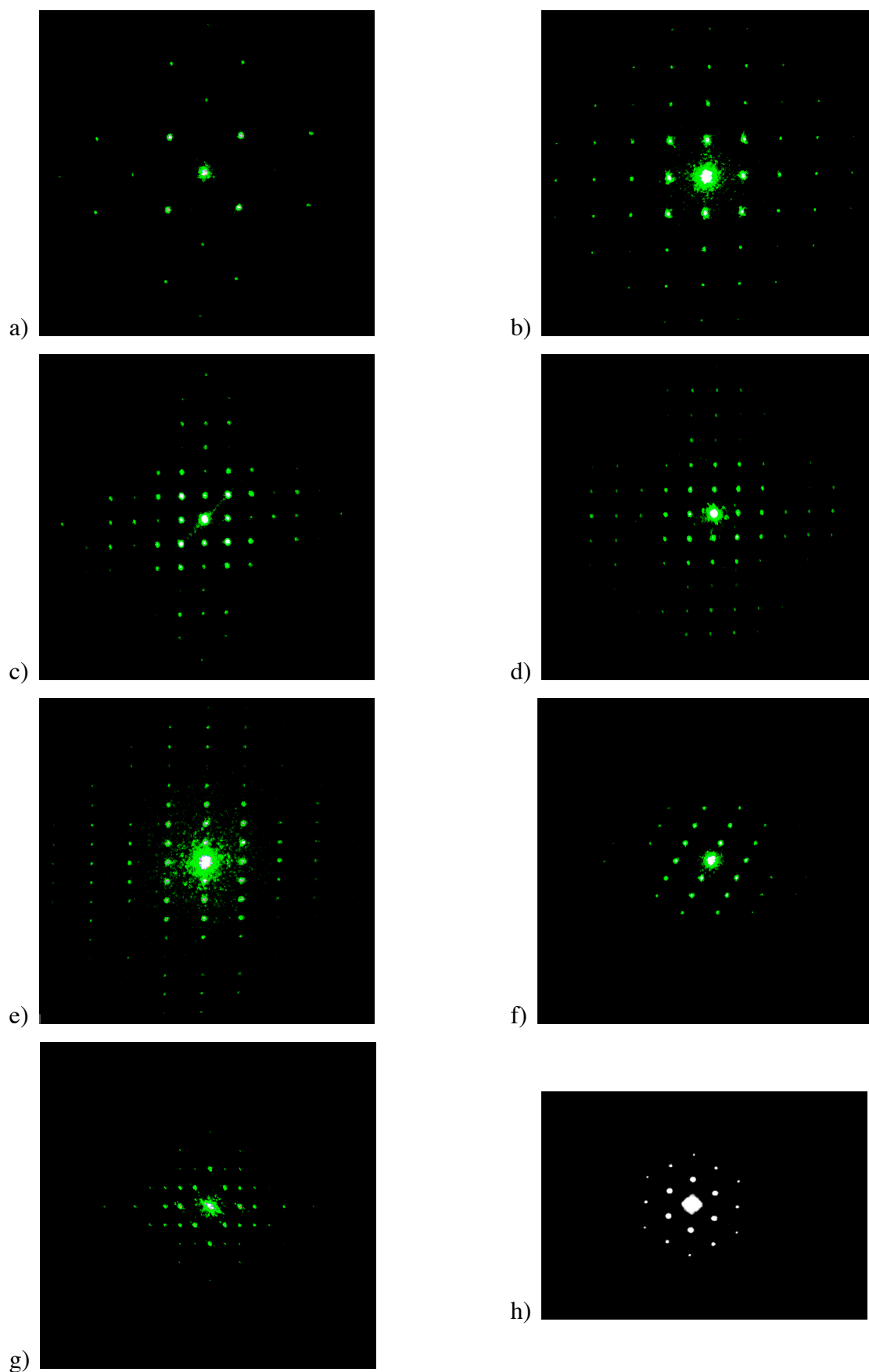


Figura T2.7. Fotografías de los diagramas de difracción obtenidos con las matrices de puntos de la figura 2a-h. Los diagramas fueron obtenidos con un láser verde de 532 nm de longitud de onda y 5 mW de potencia.