

# OBTENCIÓN DE PATRONES DE LAUE DE UN CRISTAL DE COBRE POR EL MÉTODO DE BACKSCATTERING

Ticllacuri M. <sup>(1)</sup> [mticllacuri@ipen.gob.pe](mailto:mticllacuri@ipen.gob.pe); Ravello Y. <sup>(1)</sup> [yravello@ipen.gob.pe](mailto:yravello@ipen.gob.pe);  
Munive M. <sup>(1)</sup> [mmunive@ipen.gob.pe](mailto:mmunive@ipen.gob.pe); Valdivia H. <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Departamento de Física – IPEN / Lima, Perú

<sup>(2)</sup> Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería / Lima, Perú

## Resumen

Se obtuvieron los patrones de difracción de neutrones vía el método de Laue de un cristal de cobre usando las técnicas directa e indirecta de neutrografía. A diferencia del método convencional de difracción por transmisión, fueron registrados neutrones retrodispersados que también satisfacen la relación de Bragg.

## 1. Introducción

Cuando un neutrón se mueve con una energía dentro del rango térmico, este pone de manifiesto sus propiedades ondulatorias a través de su longitud de onda asociada dada por la relación de De Broglie,

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m v} \quad (1)$$

siendo  $m$  la masa del neutrón,  $v$  su velocidad y  $h$  la constante de Planck.

En condiciones de temperatura ambiente (273 K) y teniendo en cuenta la distribución de Maxwell para neutrones térmicos, la velocidad promedio de los neutrones es de  $2200 \text{ m s}^{-1}$ .

Haciendo uso de este resultado y usando la expresión (1), la longitud de onda asociada a este neutrón resulta ser  $1.798 \text{ \AA}$ , y con este valor, fácilmente puede producir el fenómeno de difracción cuando incide a un cristal cuyos átomos están regularmente espaciados a distancias del orden de  $1 \text{ \AA}$  a  $5 \text{ \AA}$ .

La dirección de los neutrones difractados podrán encontrarse por medio de la relación de Bragg dada según:

$$2 d \sin \theta = n \lambda \quad (2)$$

siendo  $\theta$  el ángulo de incidencia con respecto a la superficie del cristal y  $n$  un número natural que da información del orden de la difracción.

## Fundamento

El cristal de cobre tiene como red de Bravais la red cúbica centrada en las caras, siendo su parámetro de red igual a  $3.61 \text{ \AA}$ . Por otro lado, su red recíproca es cúbica de cuerpo centrado cuyo parámetro de red es  $1.75 \text{ \AA}^{-1}$ .

Teniendo en cuenta las posiciones de los átomos dentro de la celda unitaria del cristal y

sus correspondientes vectores primitivos en la red recíproca para este cristal, el factor de estructura para una reflexión  $(h k l)$  se reduce a lo siguiente:

$$F(hkl) = \begin{cases} 4 J & , \text{ si } h,k,l \text{ son todos pares o impares} \\ 0 & , \text{ si } h,k,l \text{ en otros casos} \end{cases}$$

donde  $J$  es el factor de forma atómico

## 2. Proceso Experimental

Como primera parte de esta experiencia se obtuvo el espectro de neutrones térmicos utilizando el espectrómetro de tiempo de vuelo (TOF). Los neutrones emergentes de la facilidad de irradiación utilizada tienen un rango de longitudes de onda comprendidos entre  $0.957 \text{ \AA}$  y  $1.629 \text{ \AA}$ . Este es el resultado más saltante de esta primera etapa de la experiencia.

De acuerdo a este rango disponible, se tiene la certeza de que el haz de neutrones con que se cuenta, más el importante flujo de  $10^8 \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  y la adecuada colimación del haz, fue posible cumplir con los objetivos esperados.

La Figura 1 muestra un bosquejo del sistema establecido en esta experiencia. Del sistema de colimación se tiene un haz emergente de  $0.8 \text{ cm}$  de diámetro el cual impactará sobre la superficie del cristal de cobre ya sea normalmente o con un ángulo dado por alguna rotación que este haya tenido alrededor de su eje perpendicular a la dirección del haz de neutrones.

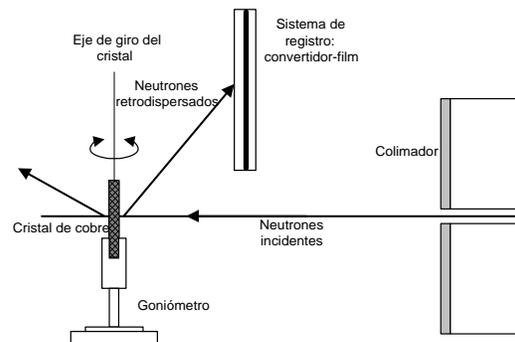
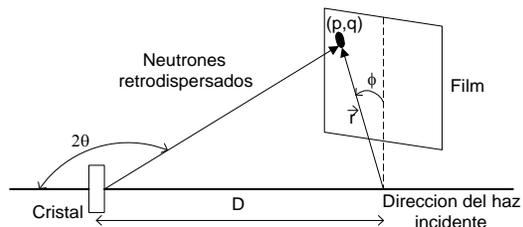


Figura 1. Bosquejo del arreglo experimental para el registro de los patrones de Laue.

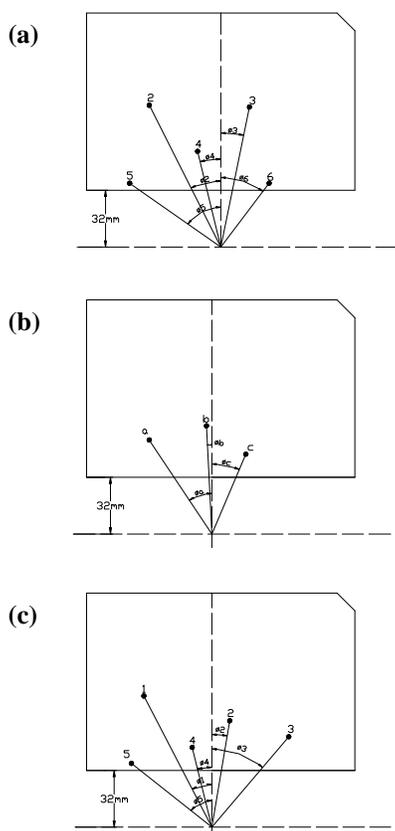
La Figura 2 muestra un diagrama geométrico donde se indica la posición del spot y los parámetros que se tienen en cuenta en las tablas de resultados.



**Figura 2.** Ubicación de un spot y los parámetros geométricos que lo caracterizan.

### 3. Resultados

La Figura 3 muestra una réplica de los patrones obtenidos en películas fotográficas. En todos los casos, la distancia sistema de registro – cristal fue de 4 cm (D).



**Figura 3.** Réplica de los patrones de difracción obtenidos (a) cuando el haz incide normalmente a la superficie del cristal, (b) cuando el cristal gira 5° en sentido horario alrededor de su eje perpendicular al haz y (c) cuando el cristal gira 5° en sentido antihorario respecto al mismo eje mencionado en (b).

En las Tablas 1,2 y 3 se presentan resultados de las situaciones descritas en la figura 3.

**Tabla 1.** Resultado de la difracción del haz de neutrones que incide normalmente a la superficie del cristal.

Spot*	(p, q)	r, cm	r/D	2θ, °	φ, °	hkl
2	(4.0,8.0)	8.94	2.2	114.09	26.57	5 1
3	(1.6,7.9)	8.06	4	116.39	11.45	3
4	(1.3,5.4)	5.55	2.0	125.76	13.54	5 1
5	(5.1,3.6)	6.24	2	122.65	54.78	3
6	(2.7,3.6)	4.50	1.3	131.63	36.87	4 0
			9			2
			1.5			4 0
			6			2
			1.1			6 2
			3			2

**Tabla 2.** Resultado de la difracción del haz de neutrones que incide en el cristal de cobre que ha girado 5° en sentido horario.

Spot*	(p, q)	r, cm	r/D	2θ, °	φ, °
a	(3.5,5.3)	6.4	1.60	122.01	33.44
b	(0.3,6.1)	6.2	1.55	122.83	2.82
c	(1.9,4.5)	5.0	1.25	128.66	22.89

**Tabla 3.** Resultado de la difracción del haz de neutrones que incide en el cristal de cobre que ha girado 5° en sentido antihorario.

Spot*	(p, q)	r, cm	r/D	2θ, °	φ, °
1	(3.8,7.4)	8.4	2.10	115.46	27.18
2	(1.0,6.0)	6.1	1.53	123.25	9.46
3	(4.3,5.1)	6.7	1.68	120.84	40.14
4	(1.1,4.5)	4.6	1.15	131.01	13.74
5	(4.5,3.6)	5.9	1.48	124.14	51.34

\* La notación es referida de acuerdo a lo registrado en las películas fotográficas.

### 4. Conclusiones

- El dominio de conceptos como la esfera de Ewald y el factor de estructura para determinar las reflexiones posibles en un cristal, han sido explotados en esta experiencia. Sin estas herramientas no se pudo haber sospechado que los neutrones difractados fácilmente registrables se encontraban detrás del cristal (backscattering).
- La técnica directa de neutrografía es de respuesta rápida pues el cristal es irradiado en simultáneo con el sistema de registro; esto tiene como inconveniente la presencia de radiación gamma que acompaña al haz de neutrones y sensibiliza a la película

fotográfica. Este inconveniente fue superado usando la técnica indirecta donde la radiación gamma queda totalmente ignorada.

- Se pensaba que la dirección del haz incidente estaba en uno de los ejes de simetría del cristal pero no fue así. Al girar el cristal en  $5^\circ$  tanto en sentido horario como antihorario, no fue posible observar una simetría en los patrones tal como se esperaba. Sin embargo, por el arreglo geométrico de los átomos en los cristales, todo hace indicar que el método de Laue tiene como una buena aplicación, la orientación de cristales en sus direcciones de simetría.

## 5. Referencias

- [1] Ch. Kittel. Introducción a la Física del Estado Sólido, 2<sup>da</sup> Edición, Editorial Reverte, 1975.
- [2] G.L. Squires. Introduction to the Theory of Thermal Neutron Scattering, 1<sup>st</sup> Edition, Dover Publication, 1996.
- [3] J.C. Domanus. Practical Neutron Radiography, Kluwer Academic Publishers, 1992.
- [4] L. Azaroff. Elements of X-Ray Crystallography, Mc Graw Hill Book Company, 1968.