

# Enseñanza de la Física mediante experimentos de Laboratorio “De la teoría a la práctica”: Análisis de la Ley de Bragg mediante microondas.

Hernández, Yamalí<sup>1</sup>

<https://orcid.org/0000-0002-2367-0635>

[yhernandez@unan.edu.ni](mailto:yhernandez@unan.edu.ni)

Ocampo, Mercedes<sup>2</sup>

<https://orcid.org/0000-0003-1847-8881>

[mocampo@unan.edu.ni](mailto:mocampo@unan.edu.ni)

Pomares Calero, Martín<sup>3</sup>

ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4994-0573>

[martinpomares@yahoo.com](mailto:martinpomares@yahoo.com); [mpomares@unan.edu.ni](mailto:mpomares@unan.edu.ni).

## Abstract

The teaching of Physics through laboratory experiments constitutes a fundamental pedagogical strategy for articulating theoretical knowledge with the empirical observation and verification of physical phenomena. This work analyzes the implementation of the didactic approach “*From Theory to Practice*” through the design, execution, and analysis of a sequence of six laboratory experiments in electromagnetism and optics.

The methodology employed is based on an experimental and constructivist approach, in which students actively participate in all stages of the scientific process, including hypothesis formulation, measurement, data analysis, and discussion of results. The phenomena studied include the law of reflection, electromagnetic wave polarization, Malus’ law, the photoelectric effect, the Stefan–Boltzmann constant, and Bragg’s law.

The results obtained show percentage errors below 10% when comparing experimental values with theoretical ones, which validates the accuracy of the experimental setups and the relevance of the didactic approach. It is concluded that experimental work promotes meaningful learning, the development of critical thinking, and the acquisition of essential scientific competencies in university education.

## Resumen

La enseñanza de la Física mediante experimentos de laboratorio constituye una estrategia pedagógica fundamental para articular el conocimiento teórico con la observación y verificación empírica de los fenómenos físicos. El presente trabajo analiza la implementación del enfoque

---

<sup>1, 2, 3</sup> Physics Department, Basic Science and Technology. UNAN-Managua.

didáctico “*De la teoría a la práctica*” a través del diseño, ejecución y análisis de una secuencia de seis experimentos de laboratorio en física electromagnética y óptica.

La metodología empleada se basa en un enfoque experimental y constructivista, donde el estudiantado participa activamente en todas las fases del proceso científico: formulación de hipótesis, medición, análisis de datos y discusión de resultados. Entre los fenómenos estudiados se incluyen la ley de reflexión, la polarización de ondas electromagnéticas, la ley de Malus, el efecto fotoeléctrico, la constante de Stefan–Boltzmann y la ley de Bragg.

Los resultados obtenidos muestran errores porcentuales inferiores al 10 % al comparar los valores experimentales con los teóricos, lo que valida la precisión de los montajes experimentales y la pertinencia del enfoque didáctico. Se concluye que el trabajo experimental favorece el aprendizaje significativo, el desarrollo del pensamiento crítico y la adquisición de competencias científicas esenciales en la formación universitaria.

**Palabras clave:** enseñanza de la física, aprendizaje constructivista, laboratorio de física, experimentación.

**Keywords:** Physics teaching, constructivist learning, physics laboratory, experimentation.

## **Introducción**

La enseñanza de la Física mediante experimentos de laboratorio constituye una estrategia pedagógica fundamental para articular el conocimiento teórico con la observación y verificación empírica de los fenómenos físicos, favoreciendo un aprendizaje significativo y activo. Diversos estudios en el ámbito educativo destacan que la integración sistemática de la experimentación en el proceso de enseñanza-aprendizaje permite al estudiantado construir el conocimiento a partir de la experiencia directa, fortaleciendo el razonamiento científico, el pensamiento crítico y la comprensión conceptual profunda (Araujo & Campos, 2006). En este sentido, el laboratorio se consolida como un espacio privilegiado para la formación científica, al posibilitar la confrontación entre los modelos teóricos y la evidencia experimental.

En este contexto, el presente trabajo se orienta al diseño, ejecución y análisis de una serie de experimentos de laboratorio con el propósito de explorar y verificar principios fundamentales de la Física, particularmente en los campos del electromagnetismo y la óptica. Los experimentos fueron desarrollados en un entorno controlado, utilizando equipos de microondas y accesorios especializados, lo que permitió comprobar y validar leyes físicas esenciales bajo condiciones reproducibles y didácticamente estructuradas.

El experimento fundamental a desarrollarse fue el comprobar la ley de Bragg, y dentro de esto lo inicial fue en la verificación de la ley de reflexión de las ondas electromagnéticas en superficies planas, empleando microondas polarizadas y una placa metálica como superficie reflectora. Después, apoyado en el uso de un goniómetro, se permitió analizar la polarización de las microondas y determinar su longitud de onda mediante cristales con índices de Miller (100) y (110). En el tercer experimento se verificó la ley de Malus, a través de la medición de la intensidad de las microondas en función de su posición y del ángulo de reflexión.

El conjunto de lo desarrollado en esta práctica de laboratorio fue sistematizado en un manual de laboratorio, concebido como un recurso didáctico para guiar el aprendizaje práctico del estudiantado y promover una enseñanza científica rigurosa y aplicada.

La realización de este experimento en Física electromagnética y óptica proporciona a la comunidad de aprendizaje una comprensión profunda de los principios que rigen el comportamiento de las ondas y la luz a partir de microondas. Al aplicar conceptos como la ley de reflexión, la polarización de las ondas y la ley de Malus, entre otros, los estudiantes desarrollaran habilidades esenciales para la interpretación de fenómenos físicos y la obtención de mediciones precisas, competencias clave en el ámbito de la investigación científica.

Asimismo, estas experiencias experimentales no solo fortalecen la capacidad analítica y crítica del estudiantado, sino que también contribuyen de manera significativa a su formación en el diseño, análisis y optimización de tecnologías avanzadas, cuyo funcionamiento depende directamente de una comprensión adecuada y aplicada de estos fenómenos físicos.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo analizar la efectividad del enfoque experimental *“De la teoría a la práctica”* en la enseñanza de la Física universitaria, mediante la ejecución de prácticas de laboratorio orientadas a la verificación de leyes físicas fundamentales. De manera específica, se propone diseñar y aplicar una secuencia de experimentos con finalidad didáctica, verificar experimentalmente leyes del electromagnetismo y la óptica mediante microondas, comparar los resultados obtenidos con los valores teóricos a través del análisis de errores, evaluar el impacto del trabajo experimental en el desarrollo de competencias científicas como el pensamiento crítico y el análisis de datos, y sistematizar las prácticas realizadas en un manual de laboratorio que sirva como recurso para la docencia universitaria. Adicionalmente, los objetivos propuestos para esta investigación son: Encontrar la longitud de onda de la radiación de microondas utilizada y ángulos que satisfagan la condición de Bragg para diferentes familias de planos atómicos, determinar la distancia interplanar del modelo de cristal con estructura cúbica, verificar la ley de Bragg, y determinar el ángulo de incidencia experimental y compararlo con su valor teórico.

La presente investigación tiene un alcance descriptivo–experimental y didáctico, centrado en el análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje de la Física mediante actividades de laboratorio.

El estudio no pretende desarrollar nuevas teorías físicas, sino validar experimentalmente leyes conocidas y analizar su valor pedagógico dentro del aula universitaria. El alcance se limita a: Experimentos realizados en condiciones controladas de laboratorio, fenómenos de física clásica, electromagnetismo y óptica mediante microondas, estudiantes de nivel universitario en asignaturas de Física general y Física moderna, evaluación del aprendizaje desde una perspectiva cualitativa y cuantitativa, a partir de resultados experimentales y análisis de errores. Los resultados son generalizables en contextos educativos similares, particularmente en carreras de ciencias e ingeniería con acceso a laboratorios de Física.

### **Consideraciones Teóricas**

La Difracción de Bragg es un método experimental que permite estudiar la estructura atómica de un sólido cristalino. La dispersión de ondas electromagnéticas con longitudes de onda del orden del nanómetro se conoce como Ley de Bragg y permite estudiar las direcciones en las que la difracción de rayos X sobre la superficie de un cristal produce interferencias constructivas, dado que permite predecir los ángulos en los que los rayos X son difractados por un material con estructura atómica periódica (materiales cristalinos).

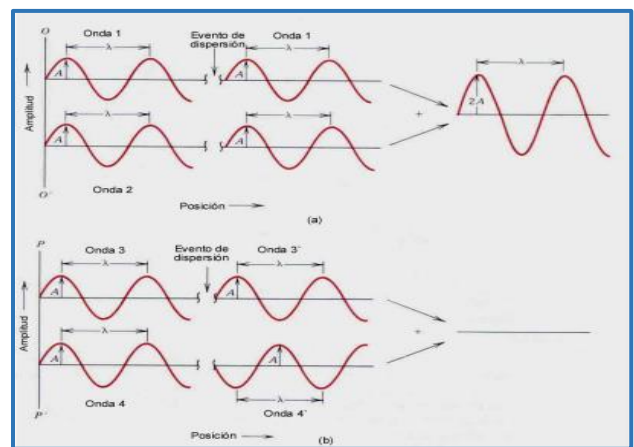
Históricamente mucho del entendimiento que tenemos de los arreglos atómicos y moleculares en los sólidos han sido resultado de investigaciones mediante rayos-X.

La difracción ocurre cuando una onda encuentra una serie de obstáculos espaciados regularmente, tal que es capaz de dispersar la onda y los espacios son comparables en magnitud a la longitud de onda. Por otro lado, la difracción es consecuencia de las relaciones específicas de las fases que se establecen entre dos o más ondas que han sido dispersadas por obstáculos.

Considerando las ondas 1 y 2 de la **figura 1**<sup>4</sup>, las cuales tienen la misma longitud de onda  $\lambda$  y están sobre el mismo plano O-O', y suponiendo que ambas ondas son dispersadas de tal manera que siguen diferentes trayectorias. La relación de fase entre las ondas dispersadas, dependen de la diferencia del patrón de longitud del camino recorrido.

Una posibilidad es que esta diferencia de longitud del camino recorrido sea un número integral de longitudes de onda. Como se nota en la Figura 1(a), estas ondas dispersadas (ahora denotadas 1' y 2') están en fase. Se dice que se refuerzan mutuamente (interferencia constructiva) y cuando las amplitudes son añadidas, la onda resultante se intensifica como se muestra en la parte derecha de la figura 1.

Esta es una manifestación de **difracción**, y la referimos como un rayo difractado compuesto de un gran número de ondas dispersadas, que se refuerzan unas con otras.



**Figura 1.** (a) Demostración de como dos ondas (1 y 2) que tienen la misma longitud de onda y que están en Fase después del evento de dispersión (1' y 2') interfieren constructivamente una con la otra. (b) Demostración de como dos ondas (3 y 4) que tienen la misma longitud de onda y que llegan a estar fuera de fase después del evento de dispersión (3' y 4'), interfieren destructivamente una con la otra.

Otras relaciones de fase son posibles entre las ondas dispersadas que no resultan en un reforzamiento mutuo. La otra situación extrema se demuestra en la figura (b), donde la diferencia de las longitudes de los caminos recorridos después de la dispersión es un número integral de la mitad de la longitud de onda.

Las ondas dispersadas están fuera de fase esto es, se cancelan las amplitudes correspondientes o se anulan una a la otra, interfieren destructivamente (p.ej. la onda resultante tiene una amplitud cero), como se indica en el lado derecho de la Figura. Es claro que una relación de fases intermedias entre estos dos casos extremos es posible, dando como resultado un reforzamiento parcial.

### Deducción de la Ley de Bragg

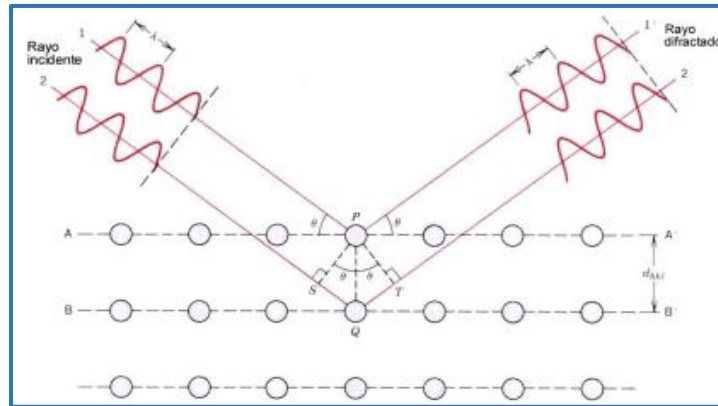
Los rayos-X son un tipo de radiación electromagnética que tiene una alta energía y longitudes de onda muy cortas, las longitudes de onda son del orden de espacios atómicos de los sólidos. Cuando un haz de rayos-X incide sobre un material sólido, una porción de este rayo se dispersará en todas las direcciones por los electrones asociados a cada átomo o ión que está dentro del camino del haz.

Consideremos las condiciones necesarias para la difracción de rayos-X por un arreglo periódico de átomos:

<sup>4</sup> Fuente <http://prof.usb.ve/hreveron/capitulo3.pdf>

Si se tienen dos planos de átomos A-A' y B-B', como se muestra en la **figura 2**<sup>5</sup>, que poseen los mismos índices de Miller h,k y l, y están separados por la distancia interplanar  $d_{hkl}$ . Asumiendo que un haz de rayos-X de longitud de onda  $\lambda$ , paralelo, monocromático y coherente (en fase) incide en estos dos planos con un ángulo  $\theta$ , dos rayos de este haz (1 y 2), son dispersados por los átomos P y Q. Ocurrirá una **interferencia constructiva** entre los rayos dispersados (1' y 2') a un ángulo  $\theta$  de los planos, si la diferencia de la longitud del camino recorrido entre 1-P-1' y 2-Q-2' (p.ej., SQ + QT) es igual a un número n, de longitudes de onda. Esta es la **condición de difracción**:

$$n\lambda = \bar{S}\bar{Q} + \bar{Q}\bar{T} , \quad (2)$$



**Figura2. Difracción de rayos-X por los planos de átomos A-A' y B-B'**

William. L. Bragg visualizó la difracción de rayos-X en término de reflexiones provenientes de los planos de un cristal, dando como resultado la simple relación (conocida como la Ley de Bragg):

Para que una familia de planos cristalográficos difracte, la diferencia del camino recorrido por ondas dispersadas sea un múltiplo entero de la longitud de onda:

De la figura 2 se obtiene que:

$$\bar{S}\bar{Q} + \bar{Q}\bar{T} = d_{hkl} \text{sen}\theta + d_{hkl} \text{sen}\theta , \quad (3)$$

Sustituyendo ecuación 8 en ecuación 7

$$n\lambda = \bar{S}\bar{Q} + \bar{Q}\bar{T} = d_{hkl} \text{sen}\theta + d_{hkl} \text{sen}\theta = 2d_{hkl} \text{sen}\theta$$

Entonces

$$n\lambda = 2d_{hkl} \text{sen}\theta , \quad (4)$$

Cuando esta condición no se cumple, se obtiene **interferencia destructiva**.

### Metodología general de la investigación

**Enfoque metodológico:** La investigación adopta un **enfoque mixto**, combinando elementos **cuantitativos** (mediciones experimentales, análisis de errores, comparación con valores teóricos) y **cualitativos** (observación del proceso de aprendizaje, participación activa del estudiantado y reflexión pedagógica).

<sup>5</sup> <http://prof.usb.ve/hreveren/capitulo3.pdf>

Desde el punto de vista educativo, se fundamenta en el **aprendizaje constructivista y experimental**, donde el estudiante construye el conocimiento a partir de la interacción directa con los fenómenos físicos.

**Diseño metodológico:** La investigación se desarrolló bajo un diseño experimental de laboratorio, estructurado en una serie de prácticas secuenciales, cada una orientada a la verificación de una ley física específica. Los experimentos fueron concebidos desde un enfoque didáctico, integrando de manera sistemática una introducción teórica previa, la formulación de hipótesis, la ejecución experimental, el registro de datos, el análisis e interpretación de los resultados y la discusión comparativa con los modelos teóricos correspondientes. Este diseño permitió articular coherentemente los fundamentos conceptuales con la experiencia empírica, favoreciendo la comprensión profunda de los fenómenos estudiados.

La experiencia se llevó a cabo con estudiantes universitarios de asignaturas de Física, en un laboratorio equipado con sistemas de microondas, dispositivos ópticos y sensores de medición. El contexto experimental permitió el control de las variables físicas relevantes y garantizó la repetibilidad de los experimentos, condiciones esenciales para la validez de los resultados y su análisis didáctico.

La recolección de datos se realizó mediante mediciones directas de intensidad, ángulos, corriente eléctrica y temperatura, apoyadas en el uso de equipos de microondas, fototubos, goniómetros y sensores térmicos. Los datos obtenidos fueron organizados en tablas experimentales y representados mediante gráficas intensidad-ángulo, lo que facilitó su análisis cuantitativo. Asimismo, se calcularon errores absoluto y relativo, así como la desviación estándar, con el fin de evaluar la precisión de las mediciones y comparar los valores experimentales con los teóricos.

El procedimiento general incluyó la calibración y ajuste inicial de los equipos experimentales, la ejecución controlada de cada práctica siguiendo protocolos previamente establecidos, el registro sistemático de los datos, su procesamiento matemático y la posterior comparación con los valores teóricos. Finalmente, los resultados fueron analizados mediante métodos estadísticos básicos, tales como el cálculo de promedios, desviación estándar y errores porcentuales. El uso de representaciones gráficas permitió identificar patrones físicos característicos, como máximos de intensidad asociados a fenómenos de interferencia constructiva, facilitando una discusión integral desde las perspectivas física y pedagógica.

Los experimentos didácticos para desarrollar se estructuran en una secuencia progresiva que permite al estudiantado comprender y verificar, de manera experimental, leyes fundamentales del electromagnetismo y la óptica mediante un dispositivo que emite señales acústicas. La idea central es la utilización de un equipo que genera microondas y que permite comprobar la Ley de Bragg, por lo cual, en primer lugar, se realiza un experimento orientado a la verificación de la Ley de Reflexión de las ondas electromagnéticas, utilizando un sistema de microondas, mediante el cual se miden los ángulos de incidencia y reflexión para analizar su concordancia con el modelo teórico. Posteriormente, se desarrolla una práctica destinada al estudio de la ley de Bragg basándose en las consideraciones anteriores, para lo cual se emplea un goniómetro y estructuras cristalinas con índices de Miller definidos, lo que permite analizar la variación de la intensidad transmitida y estimar la longitud de onda de las microondas. En una tercera experiencia, se verifica la Ley de Malus a través de la medición sistemática de la intensidad de la radiación en función del ángulo de orientación del analizador, evidenciando la dependencia cosenoidal

prevista teóricamente. En conjunto, estas prácticas constituyen un recurso didáctico integral que articula la teoría con la experimentación, fortaleciendo el aprendizaje significativo y el desarrollo de competencias científicas en la formación universitaria.

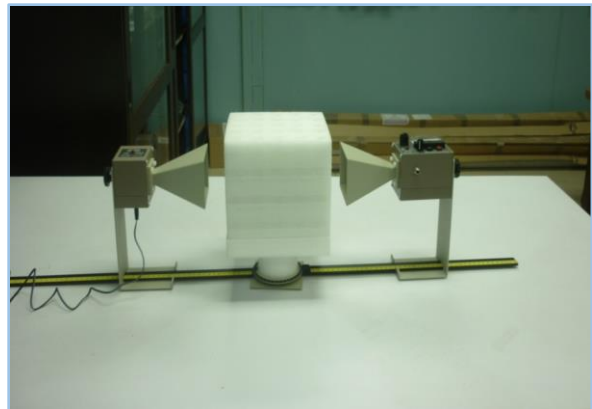
**Materiales:** Para la ejecución de los experimentos se utilizaron diversos equipos y materiales especializados. Se contó con un equipo de microondas, compuesto por un emisor y un receptor con polarización, que permitió generar y detectar las ondas electromagnéticas necesarias para los estudios. Una placa metálica fue utilizada como superficie reflectora en los experimentos de Ley de Reflexión, mientras que un goniómetro permitió medir con precisión los ángulos de incidencia y reflexión, además de ajustar las antenas emisora y receptora. Para el análisis de polarización y determinación de la longitud de onda, se emplearon cristales de microondas con índices de Miller (100) y (110). El efecto fotoeléctrico se estudió mediante un fototubo acompañado de filtros de colores y aperturas, lo que permitió observar cualitativamente la emisión de electrones inducida por la radiación. Para la determinación experimental de la constante de Stefan–Boltzmann se utilizó un cilindro de aluminio con calefactor y termocupla para medir la variación de temperatura. Finalmente, los instrumentos contaban con baterías de 9V según el modelo utilizado, garantizando el correcto funcionamiento de los equipos.

**Métodos:** En el experimento sobre la Ley de Reflexión de ondas electromagnéticas, se inició con la calibración y ajuste del equipo de microondas para minimizar errores de instalación o manejo y optimizar la señal. La placa metálica se colocó como reflector, y se midieron los ángulos de incidencia y reflexión, verificando la ley de reflexión mediante la orientación del receptor hasta registrar el máximo de señal. Para el análisis de polarización y la medición de la longitud de onda, el goniómetro se montó con las antenas emisora y receptora ubicadas a 15 cm del centro del equipo. Los cristales con índices de Miller (100) y (110) se alinearon en el goniómetro para identificar el ángulo de entrada que produce la máxima intensidad de señal. Durante el experimento se registró la intensidad de las microondas en función de los ángulos de entrada y se comparó con los valores teóricos correspondientes. En el experimento de la Ley de Malus, se ajustó el reflector para obtener un máximo de intensidad de microondas, midiendo cuidadosamente los mínimos y máximos de señal al mover lentamente el reflector y registrando las variaciones de intensidad.

### Procedimiento de medición

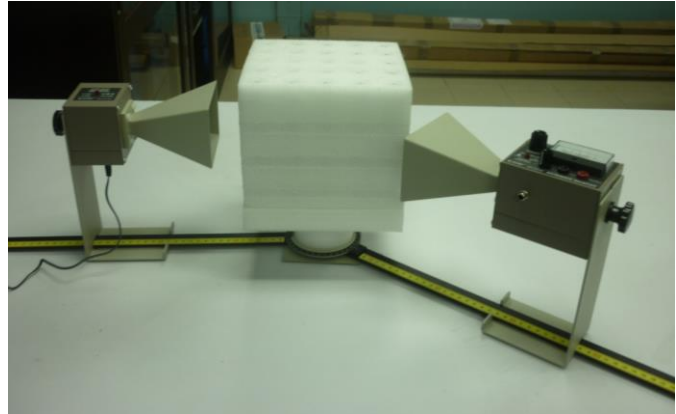
Para realizar este experimento se procedió de la siguiente manera: La antena emisora se colocó en el brazo fijo del goniómetro y la antena receptora en el brazo móvil, de modo que los planos terminales de las ambas antenas estuviesen situados a una distancia aproximada de 15cm del centro del círculo giratorio del goniómetro. Se ajustaron las antenas emisora y receptora para que la polarización del campo eléctrico fuese vertical. Se situó la mesita rotatoria imanada sobre el círculo giratorio del goniómetro y se colocó sobre ella el cristal de microondas como se muestra en la foto 2.3

**Foto 2.3** Equipo de microondas con sus componentes para realizar práctica de laboratorio Difracción de Bragg.



El brazo móvil del goniómetro se giró hasta alinearlo con el brazo fijo y el receptor se deslizó a lo largo del brazo móvil hasta conseguir que la lectura en el receptor alcanzara un máximo. La mesita rotatoria se orientó de manera que la muesca de la superficie imanada de la mesita marcara cero grados sobre el goniómetro. Asimismo se orientó el cristal de microondas de manera que los planos con índices de Miller (100) quedasen paralelos a los brazos del goniómetro como se indica en la foto 2.2. En ese momento se ajustó los rangos de amplificación y el botón de sensibilidad variable del receptor hasta conseguir que la lectura fuese la mayor posible. Se giró un ángulo de  $10^\circ$  el cristal de microondas junto con la mesita rotatoria en el sentido de las agujas del reloj y el brazo móvil del goniómetro se giró un ángulo doble (esto es  $20^\circ$ ), también en el sentido de las agujas del reloj como se muestra en la foto 2.4.

**Foto 2.4. Cristal de microondas girado un ángulo de entrada en sentido de las agujas del reloj.** El ángulo girado por el cristal de microondas corresponde al ángulo de entrada  $\theta$ . Este ángulo es el complementario del que normalmente se conoce como ángulo de incidencia.



## Resultados y discusiones

El experimento No 2 consistió en comprobar la Ley de Bragg a frecuencias de Microondas, utilizando para ello el equipo de microondas de longitud de onda de 2.85cm que es de unos ocho órdenes de magnitud superior a los de los rayos X utilizados en el análisis de sólidos cristalinos y tiene una frecuencia de 10.525 GHz. Se determinaron experimentalmente la distancia interplanar del modelo tridimensional utilizado, el ángulo de incidencia, su longitud de onda y el resultado se comparó con sus valores teóricos obtenidos de los datos que proporciona el equipo utilizado, calculándose el porcentaje de error en cada uno de ellos. Para obtener los resultados en las mediciones se prosiguió adecuadamente con el procedimiento anterior y los datos obtenidos se presentan en las siguientes tablas y gráficos.

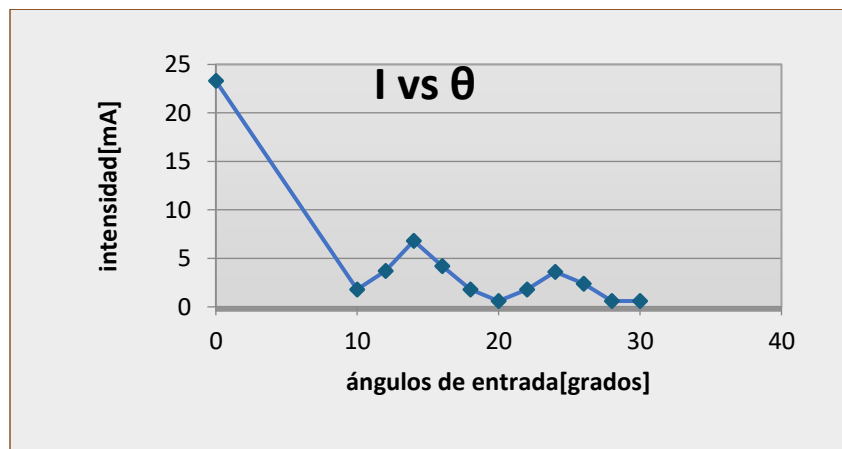
El ángulo de entrada se varió desde  $\theta = 10^\circ$  hasta  $\theta = 60^\circ$  en intervalos de  $2^\circ$  y se registró el resultado en la **tabla 2.1**. Donde,  $\theta^\circ_e$ : es el ángulo de entrada que se forma al girar el cristal de microondas.  $2\theta^\circ_e$ : es dos veces el ángulo de entrada que se forma al girar el receptor en el brazo móvil del goniómetro.  $I_1$ ,  $I_2$  e  $I_3$  son las intensidades cuando la lectura en el receptor al ir deslizándolo a lo largo del brazo del goniómetro alcanza su máximo.  $I_{prom}$  es la intensidad promedio que resulta de sumar las tres intensidades registradas en la tabla anterior. Se procuró que el cristal de microondas ubicado en el centro del círculo giratorio del goniómetro una vez que se orientó en los planos con índices de Miller (100) estuviese siempre fijo en su posición teniendo cuidado de no moverlo, esto se realizó con el propósito de que el ángulo de incidencia indicado en el goniómetro no cambiara su valor y lograr que el error en las mediciones no fuese muy grande. Se calcularon los errores absoluto y relativo porcentual de las intensidades obtenidas y la

desviación estándar utilizando la ecuación 
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (I_i - I_{prom})^2}$$
.

Donde  $N=3$ , en cada caso. Al realizar la gráfica con los datos de los ángulos de incidencia contra las intensidades se obtuvo el siguiente resultado:

**Tabla 2.1 Datos de ángulo de entrada para la familia de planos con índices de Miller (100)**

$\theta_e \pm 1^\circ$	$2\theta_e \pm 1^\circ$	$(I_1 \pm 0,01) \text{ mA}$	$(I_2 \pm 0,01) \text{ mA}$	$(I_3 \pm 0,01) \text{ mA}$	$(I_{\text{prom}} \pm 0,01) \text{ mA}$	Error abs	Error rel%	$\sigma$
0	0	23,4	23,1	23,4	23	0,13	0,57	0,17
10	20	1,8	1,83	1,8	1,8	0,01	0,74	0,02
12	24	3,6	3,6	3,9	3,7	0,13	3,6	0,17
14	28	6,6	6,9	6,9	6,8	0,13	1,9	0,17
16	32	4,2	4,2	4,2	4,2	0	0	0
18	36	1,8	1,8	1,8	1,8	0	0	0
20	40	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0
22	44	1,8	1,8	1,8	1,8	0	0	0
24	48	3,6	3,6	3,6	3,6	0	0	0
26	52	2,4	2,4	2,4	2,4	0	0	0
28	56	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0
30	60	0,6	0,6	0,6	0,6	0	0	0



**Gráfica 2.1 Representación gráfica de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio. Difracción de Microondas por un cristal cúbico.**

Esta gráfica representa los planos con índices de Miller (100), los picos en la gráfica significan las intensidades máximas solo para aquellos ángulos que satisfacen la condición de Bragg, es decir que los máximos de intensidad ocurren en puntos donde las reflexiones de planos adyacentes interfieren en forma constructiva con diferencia de fase  $2n\pi$  radianes.

**En la tabla 2. 2 se encuentra el valor experimental y teórico del ángulo de incidencia**

$\theta^{\circ}_{\text{max exp}}$	$\theta^{\circ}_{\text{max teo}}$	Error rel %
20	22	9,1

El valor experimental del ángulo de incidencia se obtuvo de calcular el promedio de los ángulos de incidencias registrados en la tabla 1.1 utilizando la ecuación  $\bar{\theta} = \frac{\sum \theta_i}{n}$ , y el valor teórico se calculó al despejar el ángulo de incidencia de la ecuación (4):  $n\lambda = 2d\text{sen}\theta$ . Despejando el ángulo  $\theta$ .

$$\text{sen}\theta = \frac{n\lambda}{2d} \quad \text{Entonces } \theta = \sin^{-1} \frac{n\lambda}{2d} \quad , \quad (5)$$

El error absoluto porcentual fue calculado por medio de la ecuación  $E_a \% = \left| \frac{\theta_E - \theta_T}{\theta_T} \right| \cdot 100$  donde  $\theta_E$  es el ángulo de incidencia experimental y  $\theta_T$  es el ángulo de incidencia teórico. En la **tabla 2.3** se presenta el valor de la distancia interplanar encontrada experimental y teóricamente con su error absoluto porcentual.

**Tabla 2.3. Distancia interplanar encontrada experimental y teóricamente**

$d_{\text{exp}}$ (m)	$d_{\text{teo}}$ (m)	Error %
0,0398	0,0390	2,1

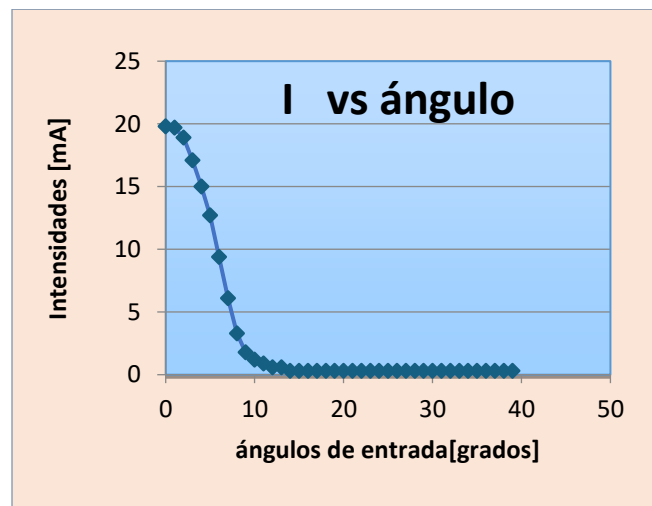
La distancia interplanar teórica ( $d_T$ ) se calculó utilizando también la ecuación 1 pero en este caso la variable a despejar fue  $d$ . Por lo tanto de  $n\lambda = 2d\text{sen}\theta$  y despejando se obtiene:

$$d = \frac{n\lambda}{2\text{sen}\theta} \quad , \quad (6)$$

Y la distancia interplanar experimental ( $d_E$ ) se obtuvo al medir directamente la distancia que hay entre cada espacio de la red cúbica utilizada para realizar este experimento.

El error absoluto porcentual fue calculado al utilizar la ecuación  $E_a = \left| \frac{d_E - d_T}{d_T} \right| \cdot 100$

**El procedimiento** anterior se repitió para la familia de planos con índices de Miller (110) y (200) estos datos están registrados en las **tablas 2.4 y 2.5** y se realizaron las gráficas para cada familia de planos atómicos.



**Gráfica 2.2. Representación gráfica de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio. Intensidad contra ángulos de entrada. Difracción de Microondas por un cristal cúbico**



**Tabla 2.5 Datos de los planos atómicos con índices de Miller (210)**

No	$\theta_e \pm 1^\circ$	$2\theta_e \pm 1^\circ$	$(I_1 \pm 0.01) \text{ mA}$	$(I_2 \pm 0.01) \text{ mA}$	$(I_3 \pm 0.01) \text{ mA}$	$(I_{\text{prom}} \pm 0.01) \text{ mA}$	Error abs	Error rel%	Desv
1	0	0	11,4	11,4	11,1	11	0,13	1,2	0,17
2	2	4	10,2	10,5	10,2	10	0,13	1,3	0,17
3	4	8	8,4	8,1	8,1	8,2	0,13	1,6	0,17
4	6	12	5,4	5,7	5,7	5,6	0,13	2,4	0,17
5	8	16	1,8	1,8	1,5	1,7	0,1	7,8	0,17
6	10	20	0,3	0,3	0,6	0,40	0,13	33	0,17
7	12	24	0	0	0	0	0	0	0
8	14	28	0	0	0	0	0	0	0
9	16	32	0	0	0	0	0	0	0
10	18	36	0	0	0	0	0	0	0
11	20	40	0	0	0	0	0	0	0
12	22	44	0	0	0	0	0	0	0
13	24	48	0	0	0	0	0	0	0
14	26	52	0	0	0	0	0	0	0
15	28	56	0	0	0	0	0	0	0
16	30	60	0	0	0	0	0	0	0
18	32	64	0	0	0	0	0	0	0
19	34	68	0	0	0	0	0	0	0
20	36	72	0	0	0	0	0	0	0
21	38	76	0	0	0	0	0	0	0
22	40	80	0	0	0	0	0	0	0
promedio	20								



**Gráfico 2.3. Representación gráfica de los datos experimentales obtenidos en el laboratorio. Intensidades contra ángulos de entrada.**

Las **gráficas 2.1 y 2.2** muestran los planos con índices de Miller (110) y (210), en ellas se observa un pico de difracción que corresponde a un máximo de intensidad para un ángulo de  $0^\circ$  e intensidades de 20mA y 11mA, en las **tablas 2.4 y 2.5** se observa que sólo para los primeros ángulos de incidencias se registran lecturas de intensidades en el receptor y para los demás ángulos la intensidad tiene un valor constante y en el otro caso intensidades igual cero.

## **Análisis e interpretación de resultados**

La distancia interplanar, la longitud de onda y el ángulo de incidencia fueron calculados teóricamente y experimentalmente obteniéndose para cada uno de ellos un error porcentual del 2.1%,1.4% y 9.1%.

Con los datos experimentales registrados en la **tabla 2.1** se realizó la **gráfica 2.1** donde se observa que se forman crestas o valles y esto se da porque las ondas difractadas producen intensidades máximas en el detector es decir la diferencia entre las trayectorias de un rayo es un número entero de longitudes de onda. En el gráfico se muestra que sólo para ciertos ángulos se satisface la ley de Bragg lo que significa que para ésta familia de planos atómicos (100) se cumple la condición de interferencia constructiva. Los picos de difracción que se observan corresponden a los ángulos de  $14^\circ$  y  $24^\circ$  respectivamente. Las **tablas 2.4 y 2.5** corresponden a las familias de planos con índices de Miller (110) y (210). Estos datos nos muestran que solo para los primeros valores de ángulos de incidencia existen reflexiones y se detectan intensidades en el receptor. En las gráficas 2.2 y 2.3 que corresponden a los planos con índices de Miller (110) y (210) tienen esa tendencia porque solo para los primeros ángulos se registraron intensidades esto fue debido a que el equipo de microondas utilizado solo emite microondas polarizadas linealmente y al ubicar el cristal en estos ángulos no se da una polarización de este tipo sino que la radiación de microondas no incide en el cristal provocando que no se registraran lecturas en el receptor.

## **Conclusión**

Los resultados obtenidos son muy satisfactorios pues se lograron cumplir con todos los objetivos planteados. La enseñanza de la Física mediante la estrategia “De la teoría a la práctica” demostró ser efectiva para lograr un aprendizaje significativo, al involucrar al estudiantado en el diseño, ejecución y análisis de experimentos relacionados con fenómenos electromagnéticos y ópticos. Los seis experimentos desarrollados permitieron comprobar leyes físicas fundamentales como la ley de reflexión, la ley de Malus, el efecto fotoeléctrico, la polarización de las ondas, la constante de Stefan-Boltzmann y, en especial, la ley de Bragg para el estudio de difracción por estructuras cristalinas.

Los resultados obtenidos, como los errores porcentuales inferiores al 10% en los valores experimentales comparados con los teóricos, validan tanto el diseño experimental como la precisión en la ejecución. La identificación de picos de intensidad en las gráficas de difracción para distintos planos cristalinos confirma la veracidad del fenómeno de interferencia constructiva bajo las condiciones de Bragg.

Asimismo, se destacó que el equipo utilizado, aunque limitado en la polarización de microondas, fue suficiente para observar claramente el fenómeno de difracción en las familias de planos atómicos (100), (110) y (210), permitiendo fortalecer habilidades analíticas, de resolución de problemas y razonamiento científico en los estudiantes.

Por tanto, este enfoque experimental no solo refuerza los conocimientos teóricos, sino que potencia la formación integral de los futuros profesionales en ciencias e ingeniería, al conectar el aprendizaje con aplicaciones tecnológicas reales.

En la tabla 2.1 se encuentra el valor del ángulo de incidencia experimental encontrándose un error de 9,1% respecto de su valor teórico. La distancia interplanar calculada y comparada con su valor teórico tiene un porcentaje de error del 2,1%. Los porcentajes de errores obtenidos son muy aceptables pues son menores del 10%. En la tabla 1.1 y la gráfica 1.1 se observa que solo ciertos ángulos cumplen con la condición de Bragg dada una familia de planos atómicos 100. Es decir que no en todos los puntos existen máximos de intensidades. En la gráfica se muestran los picos que corresponden a los ángulos donde ocurren máximos de intensidad es decir que existe una interferencia constructiva. Para las otras dos familias de planos atómicos (110) y (210) registrados en las tablas 2.2 y 2.3 se observa que no para todos los ángulos existe difracción y solo existe un máximo de intensidad representado en las gráficas 2.2 y 2.3. Los porcentajes de error encontrados para cada uno de las medidas realizadas son aceptables porque son menores del 10%.

## **Bibliografía.**

Araujo, M., & Campos, M. M. (2006). *La praxis pedagógica en la educación física y los estilos de enseñanza predominantes en los docentes de educación básica*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Instituto Pedagógico de Barquisimeto (UPEL-IPB).

Giancoli, D. C. (2006). *Física: Principios con aplicaciones* (6.ª ed.). Pearson Educación

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2014). *Física para ciencias e ingeniería* (9.ª ed.). Cengage Learning.

Tipler, P. A., & Mosca, G. (2009). *Física para la ciencia y la tecnología* (Vol. 2). Reverté.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2011). *Fundamentos de Física* (8.ª ed.). Wiley.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2013). *Física universitaria* (12.ª ed.). Pearson Educación

Bragg, W. H., & Bragg, W. L. (1913). *The Reflection of X-rays by Crystals*. Proceedings of the Royal Society A, 88(605), 428–438.

H. Reverón (s.f.). *Cristalografía y difracción de rayos X*. Universidad Simón Bolívar. Recuperado de: <http://prof.usb.ve/hreveren/capitulo3.pdf>