

## **Su Apple favorito en Física.**

Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

Cuba. Departamento de Física.

Autor: Carlos Abilio Alejandro

Alfonso [calfonso@mfc.uclv.edu.cu](mailto:calfonso@mfc.uclv.edu.cu)

### **Resumen.**

Los fenómenos de la difracción de la luz por una red, el estudio de los espectros característicos de los gases excitados por descargas eléctricas y de la luz de arcos y chispas, y la teoría de Bohr sobre el átomo de hidrógeno pueden abordarse con el Apple que presentamos en este trabajo.

Analizamos una simulación que muestra el patrón resultante de la interferencia de los haces difractados en una red plana de difracción, permite comprobar la dependencia del patrón con la fuente de luz y la red de difracción utilizadas, además brinda la posibilidad de realizar mediciones que posibilitan, como en el caso real, aplicar la teoría de errores, expresar los resultados por intervalos de confianza y ajustar curvas aplicando el método de los mínimos cuadrados.

### **Abstract.**

The phenomena of the diffraction of the light for a net, the study of the characteristic spectra of the gases excited by electric discharges and of the light of arches and sparks, and the theory of Bohr on the atom of hydrogen can be approached with the Apple that we present in this work.

We analyze a simulation that the resulting pattern of the interference of the sheaves diffracted shows in a plane net of diffraction, it allows to check the pattern's dependence with the source of light and the used diffraction net, it also offers the possibility to carry out mensurations that facilitate, like in the real case, to apply the theory of errors, to express the results for intervals of trust and to adjust curves applying the method of the square minima.

### **Introducción.**

Aunque han existido, en diversas épocas, críticas a determinados enfoques utilizados, nadie niega la importancia de las prácticas de laboratorio en las clases de Física.

Estas pueden desarrollarse de manera que el alumno esté en contacto físico y pueda manipular los elementos, dispositivos e instrumental requeridos para el experimento (laboratorio real) o utilizando simulaciones interactivas programadas con el empleo de las PC (laboratorio virtual). Ambas formas requieren la autopreparación por parte de los estudiantes, a través de materiales impresos (textos o folletos), o en formato electrónico (Alejandro, C., Aceituno, J., Mujica, V. 2003a). Algunas experiencias muestran que el trabajo en ambos ambientes es complementario (Lucero, I. Y otros. 2000).

Las nuevas tecnologías de la información científica por si solas no mejoran en forma automática el modo de educar a nuestros estudiantes, ni los prepara mejor para enfrentar los desafíos del mundo actual, por el contrario, sin un enfoque pedagógico adecuado, estas mismas tecnologías podrían tener un efecto negativo (Gil, S. 1997).

Como profesores debemos seguir trabajando hacia el logro de una alfabetización científica, pues aun no se a encontrado la fórmula acabada (Gil y Vilches 20001). Con estos fines planteamos que a los estudiantes se les debe garantizar que:

- Las tareas a desarrollar en las prácticas de laboratorio sean abiertas( situaciones no acotadas y de enunciado abierto, por lo general cualitativo donde la mayor parte de la información que se requiere para su realización no aparece explícitamente en su enunciado) (Alejandro, C., Ruiz, F., García, M. 2003b).
- Cuando estén realizando prácticas virtuales tengan a su disposición textos en formato electrónico de fácil consulta (Ruiz, F., García, M., Alejandro, C. 2003c).
- Dispongan de un sistema que integre armónicamente varios textos de Física General, prácticas de laboratorio reales, prácticas de laboratorio virtual, otros recursos y puedan efectuar consultas con sus docentes (García, M., Alejandro, C., Ruiz, F. 2003d).
- Las simulaciones permitan, como en las prácticas reales, calcular el error (siempre presente) en las mediciones realizadas y por tanto expresar sus resultados por intervalos de confianza y ajustar ecuaciones y curvas a los datos experimentales.

La simulación que analizamos en este trabajo (González, T., Herrera K. Y Sánchez, R. 2003) tiene variados usos en la Física General.

## Desarrollo.

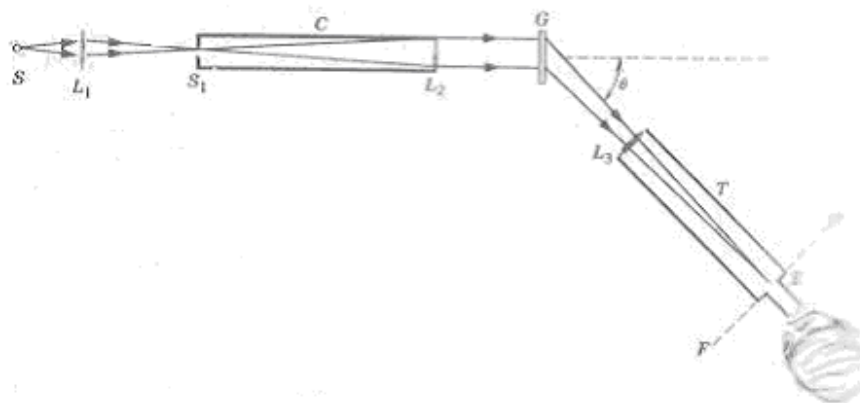
### 1.- Presentación de la simulación.

En principio este Apple (programado en java) simula un espectroscopio simple de red (muy utilizado en los laboratorios de Física general para observar el espectro de una fuente luminosa que se supone que emite un buen número de longitudes de onda separadas, o sea, líneas espectrales). A continuación mostramos una foto de este dispositivo.



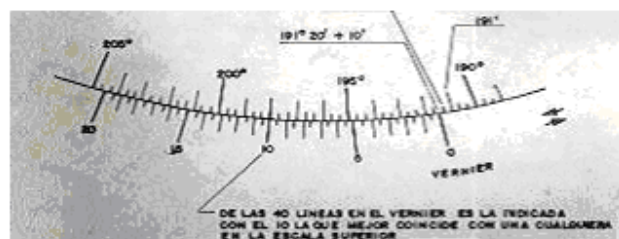
Se puede apreciar en la parte izquierda el espectrómetro, en el centro la red de difracción y el goniómetro y a la derecha el telescopio y la fuente de luz.

En la figura 1 presentamos un esquema del dispositivo. La luz que sale de la fuente  $S$  es enfocada por la lente  $L_1$  sobre una ranura  $S_1$  colocada en el plano focal de la lente  $L_2$ . La luz paralela que sale del colimador  $C$  llega a una red de difracción  $G$ . Los rayos paralelos correspondientes a un máximo de interferencia dado, que forman un ángulo  $\theta$ , llegan a la lente  $L_3$ , y son enfocados en plano focal  $FF'$  del ocular  $O$ . La imagen que se forma en ese plano se examina con el ocular  $O$ . Al otro lado de la posición  $\text{sen}\theta$  igual a cero se forma un patrón simétrico, como lo muestran las líneas de trazos. El espectro completo se puede observar haciendo girar el telescopio  $T$  diversos ángulos.



**Figura 1. Espectroscopio simple de red.**

El ángulo  $\theta$  puede ser medido mediante la escala circular graduada en grados sexagesimales grabada en el cuerpo del goniómetro. Para la lectura precisa se usa adicionalmente dos vernier y se procede similarmente a como se mide con el pie de rey. En la figura 2 se muestra un ejemplo de lectura.



**Figura 2. Ejemplo de lectura con la escala del goniómetro.**

La simulación podemos subdividirla en tres partes:

- La superior donde se puede seleccionar la lámpara o fuente de luz a utilizar (H, He o Hg), la red de difracción (según el número de líneas por mm y por tanto el período de la red ) y el paso ( para cambiar la posición de la franja indicadora).
- La central donde se despliega el patrón de interferencia (luego de realizar clic en ok) producto de la superposición de los haces de luz difractados en la red.

- La inferior, que es el Goniómetro virtual, y cuya función es medir la posición angular de una determinada raya espectral.

A continuación mostramos el patrón que se obtiene con una lámpara de mercurio y una red de 200 líneas / mm. Se observa que la posición angular relativa de la raya azul es de 185°

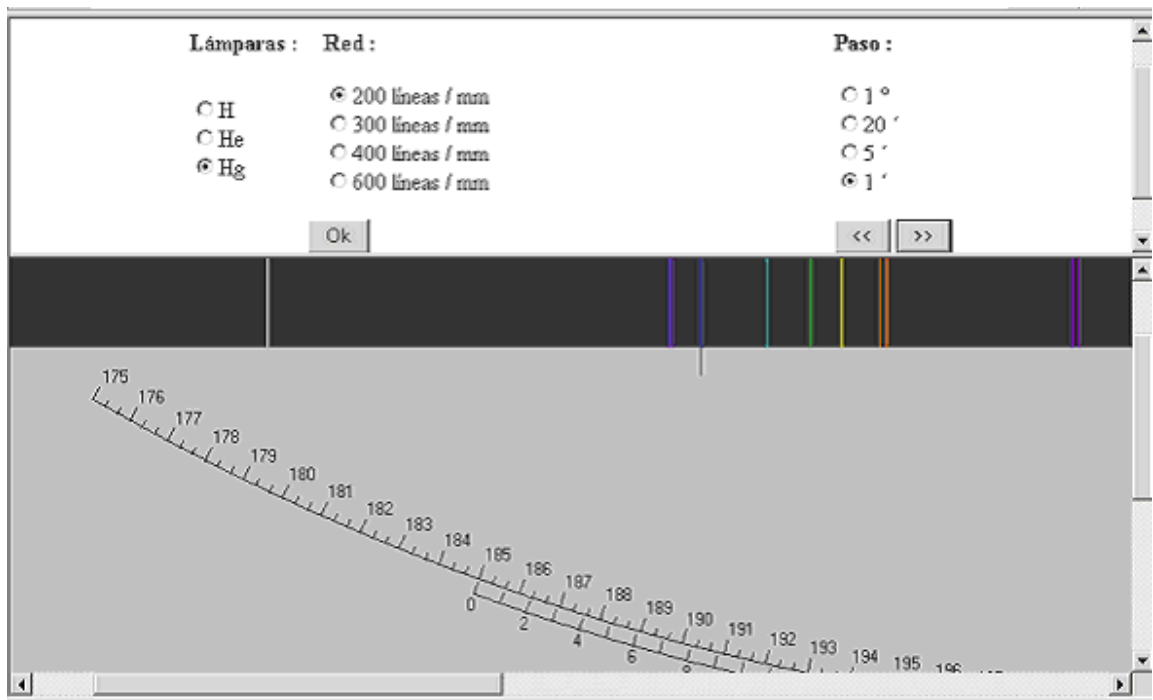


Figura 3. Simulación multipropósito en Física general.

## 2.- Diferentes usos de la simulación.

### a) Determinar experimentalmente la constante de Rydberg.

#### a.1) Fundamentos teóricos.

La validez de los postulados de Bohr sobre el átomo de hidrógeno se comprueba al comparar las conclusiones que de ellos se derivan con los resultados que se obtienen experimentalmente.

1er Postulado: En el átomo, los electrones se mueven en órbitas circulares de radios tales que el momento de la cantidad de movimiento es un múltiplo entero de:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Mientras que el electrón se encuentra en una de estas órbitas, no emite ni absorbe energía; es decir estas órbitas corresponden a estados estacionarios y cumplen la condición:

$$m_e v r = n \hbar \quad (1)$$

$m_e$  - masa del electrón.

$v$  - velocidad orbital del electrón.

$r$  - radio de la órbita del electrón.

$n$  - 1, 2, 3, . . .

2do Postulado: Un electrón puede pasar de una órbita estacionaria a otra de energía mayor o menor que la primera, de manera que en ese proceso se emitirá o se absorberá radiación electromagnética en forma de un cuanto o fotón de energía:

$$h f = E_i - E_f \quad (2)$$

$h$  - constante de Planck.

$E_i$  -energía correspondiente a la órbita inicial.

$E_f$  -energía correspondiente a la órbita final.

$f$  - frecuencia de la radiación emitida o absorbida.

Consideremos un átomo que consta de un núcleo de carga  $+ Z e$  y masa  $M$ , y un electrón simple de carga  $-e$  y masa  $m_e$ . En este caso  $Z$  representa el número de cargas positivas que tiene el núcleo del átomo en cuestión.

Utilizando los postulados de Bohr, podemos calcular los valores de las energías de los estados estacionarios de los átomos hidrogenoideos. Para ello supondremos que el electrón rota entorno al núcleo en una órbita circular. Supondremos además, que la masa del electrón es despreciable frente a la masa del núcleo, lo cual permite considerar que el núcleo se encuentra prácticamente fijo en el espacio a medida que el electrón gira entorno a él.

Bajo estas condiciones la fuerza de atracción electrostática que ejerce el núcleo sobre el electrón tiene la magnitud:

$$F = \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r^2} \quad (3)$$

En el caso de órbitas circulares esta fuerza es la fuerza centrípeta que actúa sobre el electrón . Por tanto de acuerdo con la segunda ley de Newton tendremos:

$$\frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r} \quad (4)$$

Combinando las expresiones (1) y (4) obtenemos:

$$r = \frac{4 \pi \epsilon_0 n^2 \hbar^2}{Z m_e e^2} \quad (5)$$

$$v = \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 \hbar n} \quad (6)$$

Si queremos ahora calcular la energía total correspondiente al estado estacionario de un átomo hidrogenoideo, debemos tener en cuenta que la misma es la suma de la energía cinética del electrón en ese estado, más la energía potencial electrostática. Si consideramos que esta última es nula en un punto infinitamente alejado del núcleo, entonces:

$$U = -\frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r} \quad (7)$$

$$E = E_c + U = \frac{1}{2} m_e v^2 - \frac{Z e^2}{4 \pi \epsilon_0 r} \quad (8)$$

Sustituyendo (5) y (6) en (8) se obtiene:

$$E_n = -\frac{m_e e^4 Z^2}{8 \epsilon_0^2 \hbar^2 n^2} \quad (9)$$

En la expresión anterior se introdujo el subíndice n para indicar que esta energía corresponde al estado estacionario enésimo del átomo.

En el hidrógeno el estado de mínima energía corresponde a aquel para el cual n = 1. En este estado el electrón se encuentra en la órbita más interna. Generalmente este estado recibe el nombre de estado básico, o estado normal, ya que normalmente el

electrón tiende a caer en ese estado, si se le deja en condiciones libres; ya que como sabemos todo sistema tiende a ocupar la configuración de mínima energía.

El átomo puede recibir un estímulo externo que le comunique energía, por ejemplo debido al bombardeo con electrones rápidos o por la acción de un campo eléctrico externo, por calentamiento, etc. Como resultado de esto, el átomo puede recibir suficiente energía como para que el electrón pase a un estado de energía superior al básico, es decir, a estados de números cuánticos  $n > 1$ . Estos estados reciben el nombre de estados excitados del átomo de hidrógeno.

En los casos en que el átomo se haya estimulado, el electrón ascenderá a uno de los niveles excitados y permanecerá en él un breve intervalo de tiempo, pasado este, caerá a un nivel excitado inferior o regresará al estado básico.

El paso del electrón de un nivel energético cualquiera a otro, se denomina transición electrónica.

En una transición electrónica, el átomo absorbe o emite radiación en forma de un cuanto de energía, cuyo valor viene dado por (2). Si la energía correspondiente al estado final es menor que la energía del estado inicial, entonces el átomo emite radiación y si ocurre lo contrario el átomo absorbe radiación.

La longitud de onda de la radiación emitida o absorbida en una transición electrónica se puede calcular a partir de (2) y (9). Además teniendo presente la relación  $c = \lambda f$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{m_e e^4 Z^2}{8 \epsilon_0 h^3 c} \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (10) \quad \text{donde :}$$

$n_i$  - Número cuántico del estado inicial.

$n_f$  - Número cuántico del estado final.

Si hacemos:

$$R = \frac{m_e e^4}{8 \epsilon_0^2 h^3 c} \quad (11) \quad R = \text{Constante de Rydberg} \quad \text{entonces :}$$

$$\frac{1}{\lambda} = R Z^2 \left( \frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right) \quad (12)$$



Las longitudes de onda en el espectro de rayas del átomo de hidrógeno se definen por la fórmula 12, denominada de Balmer  $\square$  Rydberg.

Una característica importante del átomo de hidrógeno y, en general de cualquier átomo, es su espectro de emisión. En el espectro de emisión del hidrógeno se puede apreciar que las rayas espectrales están dispuestas en forma de grupos, llamados series espectrales. Cada una de las series espectrales contiene a las rayas del espectro correspondientes a las transiciones electrónicas, desde diferentes niveles energéticos superiores hasta un nivel energético inferior determinado. Se conocen cinco series espectrales del átomo de hidrógeno:

Desde: $n_i = 2, 3, 4, \dots$	Hasta $n_f = 1$	Serie de Lyman.
$n_i = 3, 4, 5, \dots$	$n_f = 2$	Serie de Balmer.
$n_i = 4, 5, 6, \dots$	$n_f = 3$	Serie de Paschen.
$n_i = 5, 6, 7, \dots$	$n_f = 4$	Serie de Brackett.
$n_i = 6, 7, 8, \dots$	$n_f = 5$	Serie de Pfund.

Tabla 1. Series espectrales del hidrógeno.

Todas las rayas correspondientes a la serie de Lyman caen en la zona ultravioleta del espectro. La serie de Balmer, sin embargo, implica transiciones electrónicas entre niveles energéticos más próximos y por ese motivo la mayoría de sus rayas caen en la zona visible. La serie de Paschen cae en la zona infrarroja, y las de Brackett y Pfund en la parte del infrarrojo lejano.

#### a.2) Posibilidades de la simulación.

En la tabla 2 mostramos los datos experimentales medidos en el primer orden de la serie de Balmer del hidrógeno, y con una red de difracción de 300 líneas / mm. A continuación aparecen los resultados de varios cálculos, aplicando la teoría de errores.

No	$\Theta_i (^{\circ})$	$\Theta_i - \bar{\Theta}$	$(\Theta_i - \bar{\Theta})^2$
1	180	0	0
2	180.02	0.02	0.0004

3	180	0	0
4	180.03	0.03	0.0009
5	179.98	-0.02	0.0004
6	180	0	0
7	180.03	0.03	0.0009
8	180.02	0.02	0.0004
9	180.03	0.03	0.0009
10	179.98	-0.02	0.0004
$\Sigma$	1800.09		0.0043

Tabla 2. Posición angular del centro del patrón.

$$\Theta = 180 \pm 0.022^\circ$$

con una confiabilidad del 95%.

. Podemos también caracterizar el patrón, del hidrógeno, utilizando la misma red. En la tabla 3 mostramos los valores del seno de las posiciones angulares de sus rayas, los valores de las longitudes de onda y de la constante de Rydberg.

	Violeta	Azul claro	Azul oscuro	Naranja
$\text{sen } \Theta$	0.122	0.13	0.146	0.197
$\lambda (nm)$	406.6	433.33	486.66	656.66
$R (10^7 m^{-1})$	1.106	1.098	1.096	1.096

Tabla 3. Rayas brillantes del espectro del hidrógeno, con una red de 300 líneas / mm.

Si determinamos el valor experimental promedio, a partir de los datos de la tabla 3 obtenemos:

$$\bar{R} = 1,099 \cdot 10^7 m^{-1}$$

El reportado en la literatura, calculado a partir de los valores de las constantes presentes en la ecuación 11 es:

$$R = 1,09737 \cdot 10^7 \text{ m}^{-1}$$

Por tanto la simulación está correctamente programada. Además los valores de la longitud de onda de las líneas correspondientes a la serie de Balmer del Hidrógeno concuerdan satisfactoriamente con los reportados, a partir de mediciones experimentales.

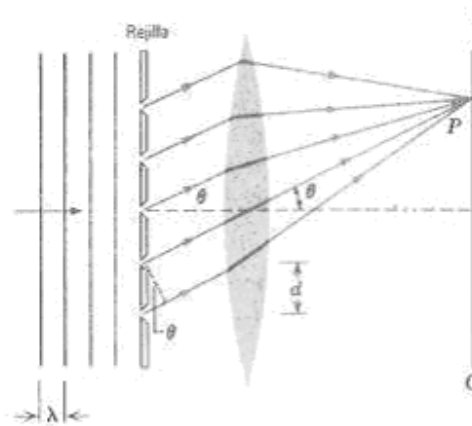
## **b) Caracterizar el espectro de emisión de una determinada sustancia.**

### **b.1) Fundamentos teóricos.**

La difracción es la desviación hacia una nueva dirección de las ondas que encuentran un objeto ( una barrera o una abertura ) en su camino. Para que se presente la difracción, el tamaño del objeto debe ser del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de las ondas incidentes; cuando la longitud de onda es mucho menor que el tamaño del objeto, por lo general, la difracción no se observa y el objeto forma una sombra definida. Los patrones de difracción constan de bandas claras y oscuras semejantes a los patrones de interferencia.

Una red de difracción es un dispositivo muy valioso en el estudio de espectros, sobre todo por su poder separador. Las redes se usan a menudo para medir las longitudes de onda y para estudiar la estructura e intensidad de las líneas del espectro. La red está constituida en principio por un gran número de rayas o aberturas (  $N$  ) en un espacio muy pequeño

La figura 4 muestra un esquema de una red de difracción idealizada. Cada abertura posee un ancho (  $b$  ), y entre los centros de dos aberturas consecutivas cualquiera existe una distancia (  $d$  ) llamada constante o período de la red.



**Figura 4: Esquema de una red de difracción.**

Bajo ciertas condiciones la radiación procedente de las aberturas es coherente, por lo que podemos recoger el patrón de interferencia en una pantalla y hacer las mediciones requeridas. La lente de distancia focal (  $f$  ) que se sitúa entre la red y la pantalla sirve para recoger sobre esta última, y en un punto, el haz de rayos paralelos difractados por la red. Los máximos principales, suponiendo que la luz incidente llega perpendicularmente a la red, se puede expresar mediante la expresión:

$$d \operatorname{sen} \theta = m \lambda \quad m = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$

El número entero  $m$  se llama orden del espectro, o más apropiadamente, orden del máximo principal de que se trate.

Si el objetivo, en un determinado laboratorio científico, es identificar la fuente o gas excitado, a partir de observar su espectro, resulta muy útil utilizar una curva de longitud de onda vs  $\operatorname{sen} \theta$ , pues la dependencia entre estas magnitudes es lineal ( manteniendo fija la red de difracción utilizada), con pendiente igual al periodo de la red.

Basta entonces medir la posición angular de cada raya, del gráfico obtenemos la longitud de onda y en una carta de espectros identificamos la fuente.

#### b.2) Posibilidades de la simulación.

Si utilizamos los valores de la longitud de onda y los valores del seno de las posiciones angulares de los máximos principales, para una fuente de hidrógeno y una red de difracción de 300 líneas / mm (Tabla 3) podemos obtener una recta, que luego de ajustada aplicando el método de los mínimos cuadrados nos permite utilizarla como curva de calibración (dado el espectro de otra fuente, con solo medir la posición angular de una determinada raya obtenemos por interpolación su longitud de onda). En la figura 5 se muestra una hoja del programa Excel, con una serie de datos obtenidos

experimentalmente, así como también la ecuación y el gráfico ajustados automáticamente a dichos datos mediante el método de los mínimos cuadrados.

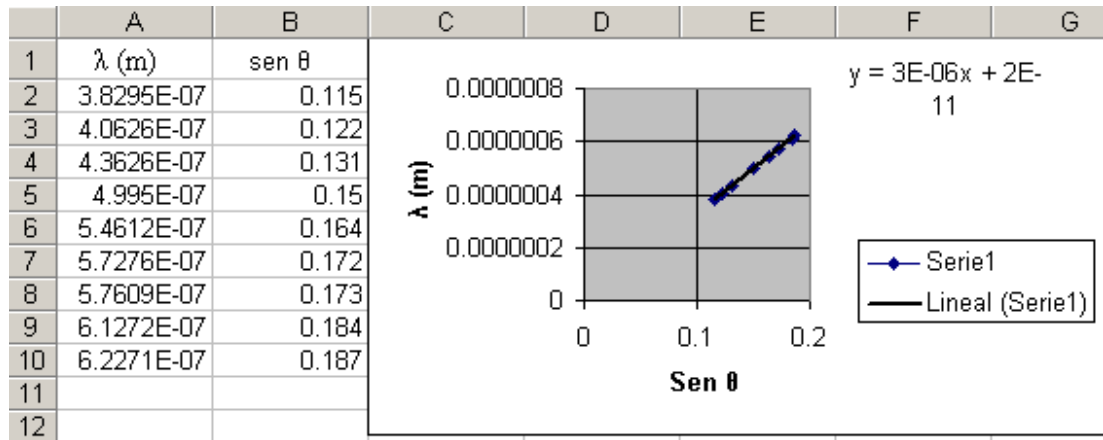


Figura 5. Espectro del mercurio y gráfico ajustado.

**c) Caracterizar el fenómeno de difracción de la luz a través de una red.**

**c.1) Fundamentos teóricos.**

Para estudiar un espectro se deben conocer otras propiedades de la red como son la dispersión angular ( $D_\theta$ ) y el poder separador (R).

Dispersión angular: Rapidez de cambio de la posición angular con la longitud de onda. Es una medida de la separación angular producida entre dos ondas incidentes monocromáticas cuyas longitudes de onda difieren en un pequeño intervalo de longitudes de onda.

Utilizando la ecuación 1 podemos obtener:

$$D_\theta = \frac{m}{d \cos \theta} \quad (14)$$

Poder separador: Definido como.

$$R = \frac{\lambda}{\Delta \lambda} \quad (15)$$

$\lambda$  – Longitud de onda más pequeña, de las dos rayas espectrales que apenas pueden distinguirse como diferentes.  
 $\Delta \lambda$  – Diferencia de longitudes de onda entre las dos rayas.

Para poder establecer una diferencia clara entre ondas luminosas cuyas longitudes de onda están muy cercanas, la red debe tener un poder separador (R) elevado.

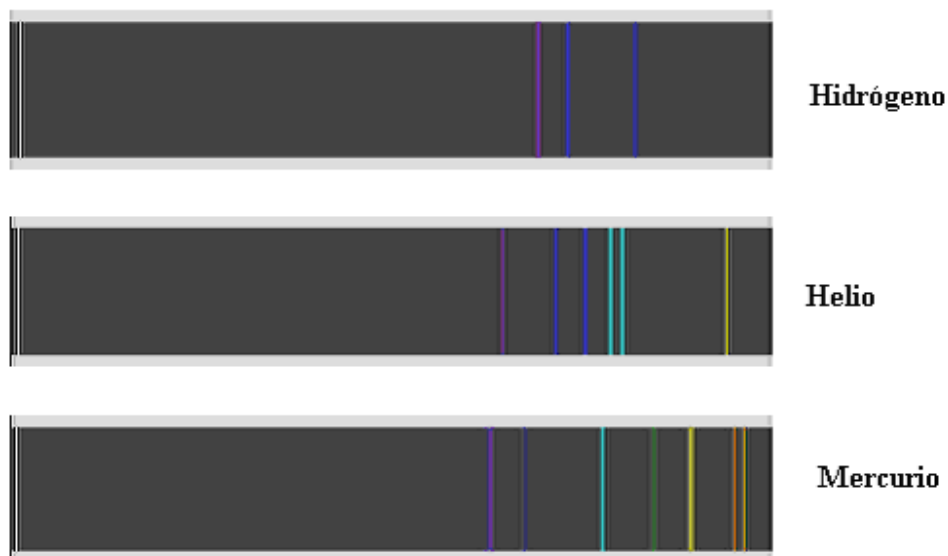
El poder separador de una red puede determinarse mediante el criterio de Rayleigh: Para que dos máximos principales estén en el límite de ser separados, deben tener una separación angular tal que el máximo de una línea coincida con el primer mínimo de la otra.

$$R = m N \quad (16)$$

### c. 2) Opciones de la simulación.

La simulación permite:

. Comparar los patrones de interferencia de diferentes fuentes, utilizando la misma red de difracción. Mostramos el primer orden, utilizando la red de 300 líneas / mm.



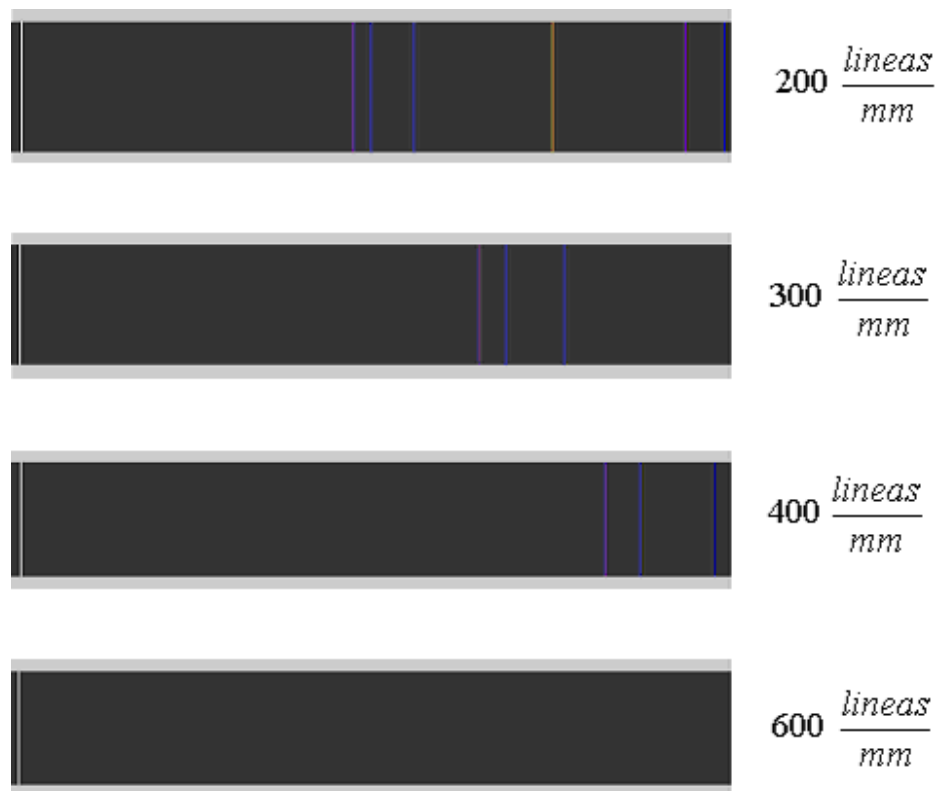
**Figura 5: Primer orden del espectro, utilizando la misma red de difracción.**

Cuando un arco de mercurio o tubo de neón es usado como una fuente de luz solo un número limitado de longitudes de onda es emitido y el espectro en una serie de imágenes coloreadas de la ranura, separadas por regiones oscuras. Tal espectro es

característico de los gases excitados por descargas eléctricas y de la luz de arcos y chispas.

Las longitudes de onda de las líneas en un espectro y sus intensidades relativas dependen de la estructura atómica de la sustancia que emite el espectro. Por ello tales espectros son llamados espectros característicos.

. Comprobar los efectos que sobre el patrón de interferencia tiene la red de difracción que se utilice. Mostramos el primer orden ( $m=1$ ) de los patrones obtenidos con una fuente de Hidrógeno, utilizando las 4 redes.



**Figura 7. Primer orden del espectro de hidrógeno, utilizando 4 redes de difracción diferentes.**

Se aprecia claramente como aumenta la posición angular de un mismo máximo principal, con la disminución del período de la red. Concuerta con lo esperado según el fundamento teórico, y las ecuaciones 13 y 14.

. Determinar la longitud de onda de cada una de las rayas del espectro. Mostramos en la tabla 3 una serie de datos obtenidos experimentalmente, para una fuente de hidrógeno y una red de 300 líneas / mm.

. Mostrar que para un espectro dado, la longitud de onda de cualquier raya espectral, no depende del orden del espectro. Utilizamos una fuente de mercurio y una red de 200 líneas / mm.

n	Posición angular a la derecha del centro del patrón						$\theta$ (°)	Sen $\theta$	$\lambda$ (nm)
	1	2	3	4	5	Promedio			
	186.28	186.3	186.32	186.3	186.32	186.30	6.3	0.109	545
	192.6	192.63	192.63	192.61	192.6	192.61	12.61	0.218	545
	199.1	199.1	199.13	199.1	199.13	199.11	19.11	0.327	545
	205.91	205.88	205.88	205.88	205.90	205.89	25.89	0.436	545

Tabla 4: Raya verde del espectro del mercurio, con una red de difracción de 200 líneas / mm.

En la literatura se reporta que los límites aproximados del color verde son 500 - 578 nm y que para el mercurio la longitud de onda de la raya verde es 546.1 nm, lo cual confirma la utilidad y validez de esta simulación.

### Conclusiones

La simulación que analizamos es muy útil para caracterizar el fenómeno de difracción de la luz, los espectros de determinadas sustancias y particularmente para confirmar experimentalmente la validez de los postulados de Bohn.

Una de las posibilidades, inéditas en las simulaciones públicas en los sitios de Internet consultados, es la posibilidad de aplicar la teoría de errores, pues las posiciones



angulares se miden con un goniómetro virtual, cuya escala es muy similar a la de los goniómetros reales.

El trabajo de los estudiantes con un programa informático como el Excel, u otro similar, contribuye a familiarizarlos con procedimientos actualmente utilizados en la actividad científico – técnica, en este caso con la automatización del procesamiento de datos.

Esta simulación se está utilizando en las prácticas virtuales de nuestro departamento:

[http://www.mfc.uclv.edu.cu/DVF/sefisac/sefisac/P.V.de%20F/pagina\\_nueva\\_8.htm](http://www.mfc.uclv.edu.cu/DVF/sefisac/sefisac/P.V.de%20F/pagina_nueva_8.htm)

[http://www.mfc.uclv.edu.cu/DVF/sefisac/sefisac/P.V.de%20F/cons\\_de\\_rydberg.htm](http://www.mfc.uclv.edu.cu/DVF/sefisac/sefisac/P.V.de%20F/cons_de_rydberg.htm)

## **Bibliografía**

- ❖ Aceituno, J., Alejandro, C., Mujica, V. 2003. Propuesta de Sistema de Orientación Integrado para la realización del Laboratorio de Física General, basado en las NTIC. En las memorias de la II Conferencia Internacional "Problemas Pedagógicos de la Educación Superior". UCLV. Villa Clara. Cuba.
- ❖ Alejandro, C., Ruiz, F., Garcia, M. 2003. Prácticas de laboratorio virtuales de Física. En las memorias de la II Conferencia Internacional "Problemas Pedagógicos de la Educación Superior" UCLV. Villa Clara. Cuba.
- ❖ García, M., Alejandro, C., Ruiz, F. 2003. Sistema de Enseñanza de la Física Asistido por Computadora.(SEFISAC). En las memorias de la II Conferencia Internacional "Problemas Pedagógicos de la Educación Superior" UCLV. Villa Clara. Cuba.
- ❖ Gil, S. (1997). Nuevas tecnologías en la enseñanza de la Física. Oportunidades y desafíos. Memorias VI Conferencia Interamericana sobre educación en la Física. Págs. 13-15.
- ❖ Gil, D. Y Vilches, A. 2001. Una alfabetización científica para el siglo XXI: Obstáculos y propuestas de actuación. Investigación en la escuela, 43, 27-37.

- ❖ Gonzalez, T., Herrera, K. Y Sánchez, R. (2003). Prácticas virtuales de óptica a través de Apples. En las memorias de Inforedu 2003.
  
- ❖ Lucero, I., Y otros. (2000). Trabajo de laboratorio de Física en ambiente real y virtual. Memorias Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE. Argentina.
  
- ❖ Ruiz, F., García, M., Alejandro, C. 2003.  
 //////////////////////////////////////. En las memorias de la II Conferencia Internacional "Problemas Pedagógicos de la Educación Superior" UVLV. Villa Clara. Cuba.
  
- ❖ Solves, J., Calvo, A. y Pomer, F., 1994. El futuro de la enseñanza de la física. *Revista Española de Física*, 8 (4), 45-49.
  
- ❖ Valdés, R., Valdés 1997 y Clavelo A. Familiarización de los estudiantes con la automatización de experimentos mediante computadoras: determinación de la velocidad del sonido en el aire. *Revista Española de Física* (Aceptado para su publicación en un próximo número).
  
- ❖ Valdés, R. 1996. *Objetivos Fundamentales y Metodología de la Utilización de las Computadoras en la Enseñanza de la Física. Consideraciones acerca de la Formación y Superación de Profesores* (Tesis de doctorado: Departamento de Física, ISP "Enrique J. Varona", La Habana).
  
- ❖ Waks, L. 2001. Philosophy of Design, Design Education, and Educational Design. Introduction to the Special Issue. *International Journal of Technology and Design Education*, 11, 1-4.

