

LA SIMULACIÓN COMPUTACIONAL INCORPORADA AL APRENDIZAJE DE LA OPTICA FÍSICA

Hugo A. KOFMAN

Colaboradores en Software:
Juan BIANCULLI, Luis BIANCULLI

RESUMEN

Este trabajo fundamenta y describe la aplicación de una simulación computacional al estudio de la difracción de la luz por ranuras delgadas y redes: uno de los temas que presenta generalmente muchas dificultades a los alumnos debido a la complejidad de las ecuaciones del modelo físico y a las limitaciones de los dispositivos disponibles en forma corriente para la experimentación. En el mismo se realiza una descripción del software, de la modalidad de trabajo utilizada en el aula y de los resultados obtenidos hasta el momento.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de la informática a la enseñanza, aún hoy, se suele ver como una obligación derivada de la "necesidad" de utilizar las nuevas tecnologías disponibles. Quizás la mayor parte de los docentes consideran a esto como una carga más, y no están convencidos de que les puede representar algún tipo de ventaja, facilitándole tanto a él como al alumno la tarea de enseñanza-aprendizaje. Suponen por ejemplo que el manejo de los programas requerirá tanto de él, como de los alumnos, una inversión de tiempo extra, del que no siempre se dispone. En el caso de que esto se supere, no suelen tener en claro cómo se debe aplicar esta herramienta de manera que facilite la adquisición de aprendizajes significativos.

De ahí la importancia no sólo de contar con las computadoras y los programas, sino fundamentalmente de saber cómo se utilizan, es decir, de disponer de criterios para plantear a los alumnos las tareas que pueden realizar con ayuda del software.

Ciertas modalidades de aplicación de la computadora a la enseñanza no representan prácticamente ningún esfuerzo de aprendizaje adicional, sobre todo en este momento que existen interfaces estándares, que pueden ser rápidamente interpretadas por los alumnos. Así es que en pocos minutos, luego de sentarse a la máquina, se encuentran trabajando con soltura con los programas, tratando de responder en forma colaborativa a las preguntas planteadas en la guía de actividades, realizando los experimentos virtuales que les permiten encontrar los caminos hacia las respuestas. Tal modalidad de

trabajo con los ambientes virtuales de aprendizaje, apoyada en el constructivismo, permite que el alumno analice los problemas en forma cualitativa antes de pasar a la faz cuantitativa y desarrolle los modelos mentales congruentes con los fenómenos estudiados. No se pretende reemplazar a la experiencia de laboratorio ni la actividad de resolución de problemas en forma clásica, pero sí, complementarla mediante un entorno de gran flexibilidad e interactividad, con las grandes ventajas de sus representaciones gráficas y capacidad de cálculo.

Tal es la experiencia que se viene realizando en un curso de Física Universitaria, en el que se desarrolla una parte de un tema con ayuda de un software específico. Se trata del aprendizaje de los fenómenos de difracción de la luz por ranuras y redes; es decir de un tema que tradicionalmente representó importantes dificultades. Estas se derivan de las complejas expresiones matemáticas y los problemas para interpretarlas gráficamente, así como de las limitaciones experimentales. Aun en laboratorios bien equipados no resulta posible variar con libertad y en forma controlada todos los parámetros que intervienen (ancho de ranura, cantidad de ranuras iluminadas, distancia entre ranuras, longitud de onda). Todo esto se torna accesible a través de la simulación, incluyendo la posibilidad de estudiar los efectos producidos por espectros de varias longitudes de onda que inciden conjuntamente.

El programa, que fue desarrollado por el autor de este trabajo, con la colaboración de otros docentes, construye la gráfica de la distribución de intensidad luminosa en función de los distintos parámetros y representa una simulación del espectro obtenido en la pantalla. Con luz monocromática se puede estudiar la figura de difracción producida por una ranura, la interferencia que producen dos o más ranuras y el patrón obtenido por ambos fenómenos superpuestos. Utilizando dos componentes monocromáticas se puede estudiar el poder separador de una red de difracción, comprendiendo con mucha facilidad el significado de este importante parámetro, comprobándose el criterio de Rayleigh. Finalmente, se puede ver la separación de los distintos espectros que produce una red de difracción cuando es iluminada por una luz policromática.

ENTORNO VISUAL Y POSIBILIDADES QUE BRINDA EL PROGRAMA

En la siguiente imagen de la ventana principal de la aplicación (Figura 1), a la izquierda y al medio está el Emisor de luz, cuyo haz incide sobre la red. La Luz difractada por la misma incide sobre una pantalla, ubicada en posición vertical. El patrón luminoso de una parte de esta pantalla (seleccionable) se puede observar en el centro de la pantalla. En la parte de la derecha y abajo se observa la gráfica de Intensidad de Onda en función del seno del ángulo de desviación. El color de la luz responde a la longitud de onda correspondiente que se ha seleccionado.

En el caso considerado, se obtiene la distribución de intensidad de onda correspondiente a la difracción producida por una sola ranura.

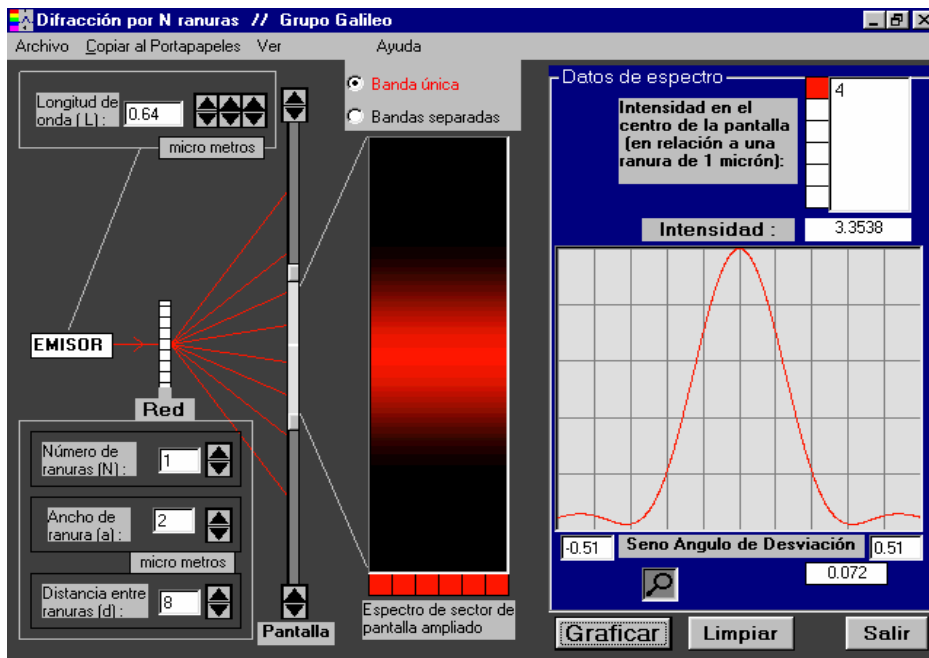


Figura 1. Ventana Principal de la aplicación. Caso: Difracción por una ranura

El programa contiene además las siguientes funciones:

- Grabación y recuperación de la sesión de trabajo, lo cual permite obtener un registro de la actividad realizada por el alumno, que puede ser utilizada para analizar la forma en que se trabajó, las dificultades existentes, etc.
- Visualización de imágenes de un laboratorio real.
- Visualización de un espectro de luz blanca con datos de longitudes de onda de la zona central de cada color.
- Explicación del modelo físico utilizado (Fraunhofer), con las expresiones de cálculo correspondientes.
- Ampliación de zonas de la gráfica (Zoom), que resultan de mucha utilidad para estudiar el poder de resolución de las redes.
- Copia al portapapeles de Windows de la gráfica de intensidades, el patrón luminoso obtenido y los datos de la experiencia, los que pueden ser pegados en distintas aplicaciones de ese entorno (Word, Paint, etc).

CONTENIDOS ESTUDIADOS

Además del caso visto en la gráfica anterior, correspondiente a la difracción producida por una ranura, se pueden mencionar los siguientes:

INTERFERENCIA DE N RANURAS MUY DELGADAS

Haciendo el ancho de ranura menor que la longitud de onda, el patrón de difracción se vuelve casi plano, con una iluminación prácticamente homogénea en la parte central de la pantalla. De este modo se puede estudiar el patrón de interferencia para distintas cantidades de ranuras, ubicadas a diferentes distancias entre sí y con distintas longitudes de onda. Se puede ver que a partir de tres ranuras aparecen los máximos secundarios y que a medida que aumenta el número de ranuras, estos decrecen en intensidad, mientras los máximos principales se hacen mas intensos y agudos. En la figura 2 se puede observar la distribución de intensidad para $N = 8$ ranuras.

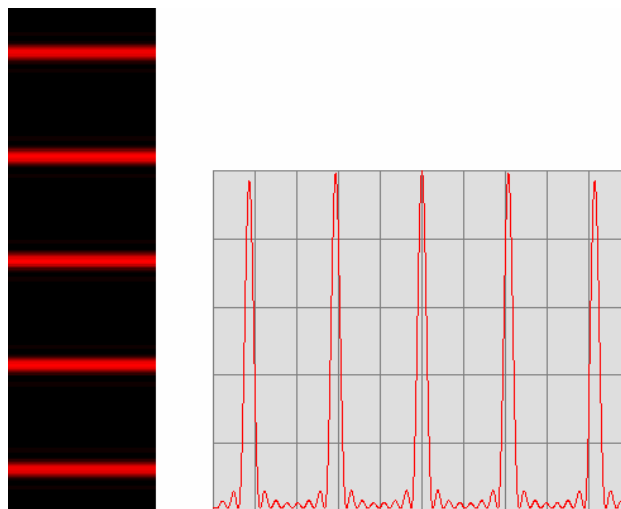


Figura 2. Interferencia de 8 ranuras muy delgadas

DIFRACCIÓN E INTERFERENCIA DE N RANURAS

La figura más general de distribución de intensidades de N ranuras con ancho mayor que la longitud de onda puede ser estudiada para distintos casos, estableciendo los parámetros correspondientes. En la figura 3 vemos un ejemplo, en el que el cuarto máximo de interferencia aparece anulado por el primer mínimo de difracción. Como en este caso, se pueden ver simultáneamente los patrones de difracción de una ranura con la difracción e interferencia de las 4 ranuras.

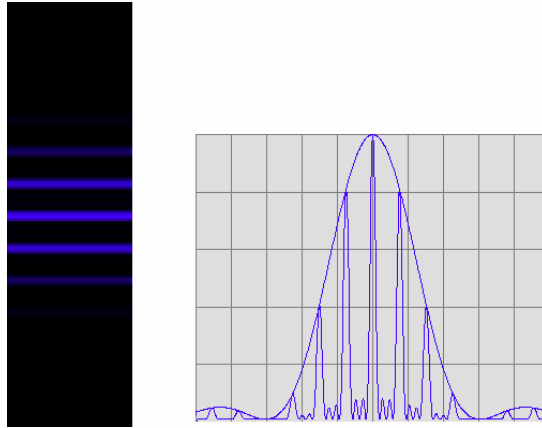


Figura 3. Difracción e Interferencia de 4 ranuras.

PODER DE RESOLUCIÓN DE UNA RED DE DIFRACCION

Utilizando dos longitudes de onda próximas (distantes un $\Delta\lambda$), es posible estudiar el poder de resolución de una red de difracción. El criterio de Rayleigh establece que la mínima distancia angular entre dos máximos, para verlos separadamente (resueltos) debe ser igual a la mitad del ancho del pico. En base a este criterio se calcula el mínimo Poder Separador de la red, según su definición:

$$R = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = Nm \quad (1)$$

Donde:

N: Número de ranuras iluminadas.

m : orden de los máximos de interferencia.

En la Figura 4 se puede observar la distribución de Intensidad Luminosa de una parte del espectro de dos longitudes de onda próximas, en la que se observa cómo aumenta el poder separador en forma proporcional al orden de los máximos.

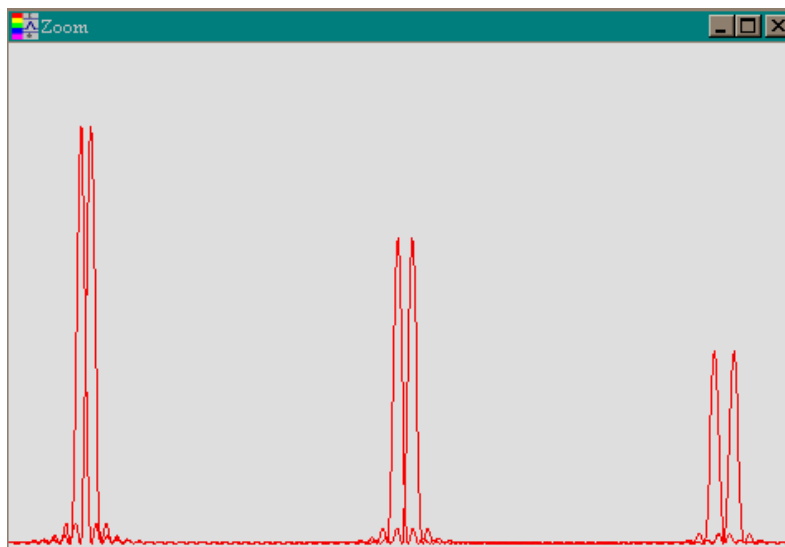


Figura 4. Ampliación para dos longitudes de onda próximas.

LUZ POLICROMÁTICA

En la figura 5 se muestra la incidencia de cinco componentes monocromáticas a una red de difracción, lo cual se asemeja al efecto producido por una luz blanca. En la misma se observa la superposición de todos los colores en el máximo central, resultando prácticamente una luz blanca. A continuación, hacia cada lado se observan dos espectros, correspondientes a los máximos de 1ro. y 2do. orden respectivamente, siendo el primero más intenso y el segundo más amplio.

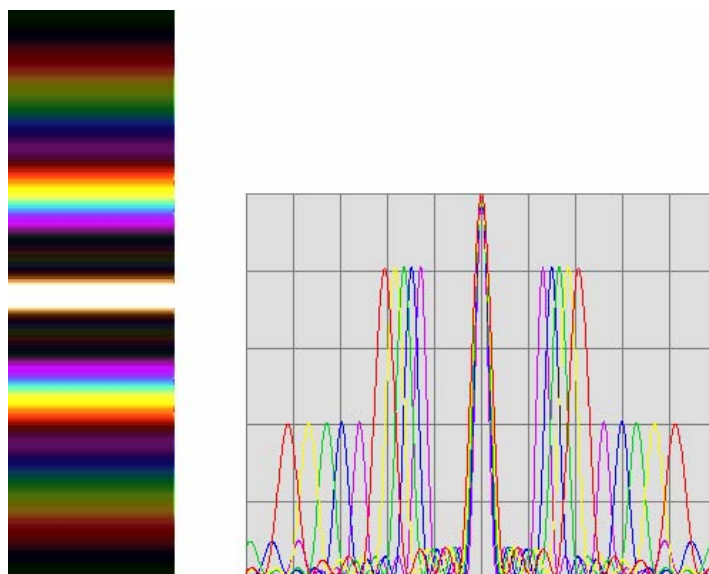


Figura 5. Red de Difracción con luz policromática.

PROPUESTA DIDACTICA

La actividad con el software se propone como complemento de las experiencias de laboratorio, o como sustitución de las mismas en caso de no contarse con los elementos necesarios. Puede ser planteada como tarea previa a la deducción de las funciones que dan la distribución de intensidades, o como actividad posterior para el estudio de sus representaciones gráficas y la interpretación de los fenómenos.

En la experiencia realizada se ha elegido esta última modalidad, por las siguientes razones:

- 1) La deducción de las ecuaciones no resulta demasiado dificultosa (se trabaja para ello con la geometría de las superposiciones de campos en forma fasorial).
- 2) De la observación de las funciones no surge de manera directa una interpretación de sus gráficas y menos aun sobre como se modifican en función de los distintos parámetros.
- 3) El hecho de contar con las expresiones al momento del trabajo autónomo con la computadora, permite relacionar y racionalizar mejor los resultados hallados, dada la complejidad de los mismos.

La actividad con la computadora fue realizada luego de la deducción de las ecuaciones y de la realización de experiencias demostrativas de laboratorios con un Láser, diapositivas con ranuras y redes. Los alumnos trabajaron con la computadora en grupos de tres o cuatro.

La guía de trabajo a desarrollar con la computadora, que se detalla mas adelante, debe estar adecuada a la situación particular de aprendizaje, y podrá ser o no trasladada a otros ámbitos. Se trata de un aspecto de ninguna manera trivial. Más aun, la adecuación de las consignas de trabajo al nivel y modalidad de enseñanza en el que se aplica, resulta de importancia trascendente.

Se trata de encontrar el punto adecuado de equilibrio, para que el alumno aprenda construyendo sus propios conocimientos, en forma colaborativa, mediante la exploración y la toma de decisiones sobre los caminos a recorrer. Si las consignas son demasiado abiertas, se puede generar una sensación de frustración, que se manifiesta en permanentes consultas al docente y en la imposibilidad práctica de avanzar en forma autónoma. El alumno no tiene claros los objetivos de trabajo. Si, por el contrario, las consignas son demasiado detalladas, la tarea de aprendizaje pierde motivación, y en vez de constructivista se sitúa en una metodología conductista, a través de las tradicionales guías tipo "receta de cocina".

Solo la puesta en práctica de la propuesta, el análisis del desempeño de los alumnos y la posterior corrección del material, podrán conducir a la "puesta a punto" de esta herramienta.

GUIA DE TRABAJO PRÁCTICO

- 1) Analice en forma cualitativa la influencia del **Ancho de Ranura** y de la **Longitud de Onda** de la luz incidente (monocromática) en el patrón de difracción de una ranura, utilizando el software. Compruebe la expresión que relaciona el ancho de ranura con la posición angular de los mínimos de difracción.
- 2) Un haz de luz monocromática, de $\lambda = 0.7$ micrones incide en forma perpendicular sobre una placa con una ranura muy delgada. A dos metros, y ubicada paralelamente a la misma, se encuentra una pantalla en la que se forma la figura de difracción. La distancia entre el centro y el primer mínimo es de 10 cm.
 - a) Calcular el ángulo correspondiente a ese mínimo y el ancho de la ranura que se requiere. Verificar con el software.
 - b) Calcular la intensidad relativa al centro de la pantalla, de un punto que está a 2.5 cm de dicho centro utilizando la expresión teórica. Verificar con el programa.
- 3) Busque las condiciones que conducen a la distribución de intensidades de pantalla mas plana que permite el programa, para una ranura con luz monocromática. Estudie en esa situación el patrón de interferencia de dos ranuras y la influencia de la **Distancia entre Ranuras** y de la **Longitud de onda** de la luz.

Compruebe numéricamente las expresiones que dan las posiciones angulares de los máximos y mínimos de interferencia.

La Simulación Computacional incorporada al aprendizaje de la óptica física

- 4) Para una red de dos ranuras, con luz monocromática, encuentre y verifique una combinación de parámetros tal, que el primer mínimo de difracción anule exactamente al tercer máximo de interferencia. Fundamente con las ecuaciones correspondientes.
- 5) Estudie cualitativamente lo que ocurre cuando se va aumentando el número de ranuras de una red de difracción.
- 6) Para una red de 30 ranuras iluminadas, encuentre por simulación dos longitudes de onda cuyos máximos de interferencia aparezcan resueltos en el segundo orden, pero no en el primero, de acuerdo al criterio de Rayleigh. Fundamente con las expresiones correspondientes y compruebe por simulación.
- 7) Analice el comportamiento de una red de difracción cuando a la misma se la ilumina con luz blanca. Pruebe sustituir la misma con una combinación de componentes monocromáticas con longitudes de onda en la zona central de cada color (consulte el Espectro que se encuentra en el menú Ver del programa).

RESULTADOS OBTENIDOS

Luego de una prueba inicial con grupos de alumnos "voluntarios", se realizaron ajustes al programa y a la guía de actividades, y se trabajó con la totalidad de alumnos de un curso. Los resultados obtenidos fueron más que alentadores, a tal punto que la clase quedó incorporada a la programación regular de la cátedra, y se abordó el desarrollo de otras simulaciones para temas en los que se detectaron dificultades para la conceptualización, en particular para el tema de campo eléctrico y potencial.

Si bien no se realizó aun una investigación con herramientas cuantitativas de análisis, se pudo observar una respuesta muy favorable por parte de los alumnos, que trabajaron con mayor motivación que en otras actividades, emitieron opiniones favorables sobre la modalidad y en algunos casos pidieron copia del programa para instalar en su computadora personal. También de un modo cualitativo, pudo observarse que a posteriori los alumnos expresaban menos dudas que de costumbre sobre el tema en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

- DE CORTE, ERIK. (1996). Aprendizaje apoyado en el computador: una perspectiva a partir de investigación acerca del aprendizaje y la instrucción. Colombia. Congreso RIBIE/96.
- HECHT, EUGENE; ZAJAK, ALFRED (1986). *Optica*. EEUU. Editorial Addison-Wesley Iberoamericana.
- LARKIN, HILL H., CHABAY, RUTH W. (1996), La Investigación sobre la enseñanza del pensamiento científico: implicaciones para la enseñanza basada en computadoras. Recopilación de Resnick, Lauren B. y Klopfer Leopold E, *Curriculum y cognición*. Madrid .Editorial AIQUE.
- VARSAVSKY, OSCAR. (1982). Metodología: Modelos Matemáticos y experimentación numérica, capítulo VI de *Obras Escogidas*. Buenos Aires .Centro Editor de América Latina.
- WINDSCHITL, M. y ANDRE T. (1996). Using Computer Simulations to Enhance Conceptual Change: The Roles of Constructivism Instruction and Student Epistemological Beliefs, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol. 35, Issue 2, pp. 145 – 160.