

HERRAMIENTA EDUCATIVA COMPUTARIZADA PARA EL ESTUDIO DE TÉCNICAS ÓPTICAS UTILIZADAS EN LA MEDIDA DE PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS

EDUCATIONAL COMPUTING TOOL TO STUDY OPTICAL TECNICS USE IN SMALL DEFLECTION MEASUREMENT

Julio Enrique Duarte, Flavio Humberto Fernández Morales y Luis Fernando Parra León
Escuela de Educación Industrial, UPTC, Duitama, (Colombia)

Resumen

En este trabajo se describe la elaboración y evaluación de una herramienta educativa computarizada para el aprendizaje de algunas técnicas ópticas, utilizadas en la medida de pequeños desplazamientos y caracterización de superficies. El material desarrollado presenta los conceptos básicos, montajes experimentales y aplicaciones reales de tres de las técnicas ópticas más promisorias para la medición de desplazamientos en el rango de las micras, a saber: triangulación, interferometría y deflectometría. El material educativo computarizado incluye texto, fotografías, audios, videos y animaciones que motivan al estudiante en el conocimiento y profundización de los principios físicos relacionados con la óptica y su aplicación en el desarrollo tecnológico. Se trata de una herramienta dirigida a estudiantes y profesionales en ciencias básicas e ingeniería, que requieran ampliar sus conocimientos en dichas técnicas. Igualmente, se reporta la aplicación del material con estudiantes de Ingeniería Electromecánica de la la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Palabras claves: material educativo computarizado; técnicas ópticas; pequeños desplazamientos; triangulación; interferometría; deflectometría

Abstract

This paper describes the development and evaluation of an educational computing tool to study some optical techniques to be used as a small deflection measurement and surface characterization. The software presents the basic concepts, experimental set-up and real applications of three of the most relevant optical techniques intended to deflection measurements in the micron rings, like triangulation, interferometry and deflectometry. This tool includes tests, pictures, audio, video and animations that motivate students to learn more about the physical principles related to optics and its application in technological advance.

The tool is addressed to students and professionals in sciences and engineering that need to gain their knowledge on these techniques. Furthermore, it's reported the application of this tool with electrical and mechanical engineering students at the Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Keywords: Educational computing tool; optical techniques; small deflections; triangulation; interferometry; deflectometry

Introducción

La ciencia y la tecnología son inseparables; una hace posible la otra. Las nuevas tecnologías generan cambios estructurales en la sociedad, y la educación es una de las áreas más afectadas. La enseñanza tradicional no satisface las necesidades y exigencias del mundo moderno, caracterizado por la velocidad del cambio, la vertiginosa creación de ideas e imágenes y la forma de presentarlas (Quintero, 2010).

En los últimos años, el uso de medios audiovisuales e informáticos y las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) han sido determinantes para la educación. Además, estas tecnologías han abierto nuevas formas de acercar el conocimiento a los actores del proceso educativo, profesor y estudiante, incidiendo notablemente en el proceso enseñanza-aprendizaje en colegios y universidades (Cabero et al., 2009; Ramos et al., 2010; Benedito, 2012).

Por otra parte, la física, como ciencia fundamental, ha marcado considerablemente el progreso científico y tecnológico de la humanidad transformando su modus vivendi, caracterizado por el uso de nuevas tecnologías. Dentro de las ramas de la física se encuentra la óptica, cuyas leyes han dado origen a aplicaciones tales como la fibra óptica y la optoelectrónica, entre otras. Particularmente, las leyes ópticas han tenido una gran aplicación en varias ramas de la ciencia y de la técnica. Entre las leyes ópticas se encuentran las de Snell, las cuales se aplican en las técnicas de triangulación, interferometría y deflectometría, muy promisorias para la medición de desplazamientos en el rango de las micras (Duarte et al., 2005).

Los avances en los procesos de miniaturización y en las técnicas de microingeniería han permitido el desarrollo de dispositivos electrónicos para la captura y procesamiento de parámetros físicos como temperatura y aceleración, entre otros. Estos dispositivos, llamados microactuadores, presentan en su funcionamiento la deformación de su geometría (entendida como

abultamiento, alargamiento, deflexión y curvamiento). Esta deformación es del orden de unas decenas de micras y su caracterización requiere una técnica fiable, factible, con buena resolución y de costo razonable (Finot et al., 2008; Puigcorbe et al., 2003; Herrea et al., 2010). Las técnicas ópticas mencionadas se adaptan a los requerimientos de la caracterización de microactuadores.

Dada la importancia de estas nuevas tecnologías, es necesario que profesionales y estudiantes de ingeniería y ciencias básicas conozcan los principios físicos y las técnicas experimentales para su uso práctico. Aunque existe gran cantidad de artículos científicos con estudios de casos particulares, son escasos los libros de texto y material didáctico que tratan esta temática de una forma integral y accesible al usuario.

Para suplir la carencia de material educativo en temáticas científicas y tecnológicas especializadas, se elaboró una herramienta computarizada, orientada al estudio de las técnicas ópticas de medida, entre las cuales se encuentran las técnicas de triangulación, interferometría y deflectometría. En el material se ha incluido información actualizada de algunos desarrollos tecnológicos basados en estas técnicas, que incluye fotos, animaciones y videos.

La importancia de la herramienta desarrollada obedece a la complejidad de los fenómenos físicos y de los montajes experimentales involucrados en la medición de pequeños desplazamientos, en el rango de las micras. Otro aspecto importante del MEC radica en que permite el acercamiento a técnicas de medida que aún no tienen uso extendido en la industria, cuya implementación es de alto costo y sus montajes experimentales presentan un alto grado de complejidad.

A continuación se presenta el desarrollo y evaluación de la herramienta educativa computarizada para el aprendizaje de algunas técnicas ópticas. En ella se incluyen los conceptos básicos, montajes

experimentales y aplicaciones reales de las técnicas ópticas mencionadas. Igualmente, se reporta la aplicación del material con estudiantes de Ingeniería Electromecánica de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia.

Materiales y métodos

Marco teórico

Material Educativo Computarizado

De acuerdo con Galvis (1994), Material Educativo Computarizado (MEC) es un ambiente informático que le permite al usuario vivir la experiencia educativa adecuada a su necesidad de formación. Los MEC se caracterizan porque el estudiante es quien controla su ritmo de aprendizaje, la cantidad de ejercicios que desea realizar, así como el número de veces que desea interactuar; además, decide cuándo abandonar o reiniciar la aplicación. Esta flexibilidad resulta ventajosa para el usuario.

Este tipo de materiales contribuye al aprendizaje autónomo, que es la posibilidad de aprender a aprender, y hace más consciente al estudiante de su proceso de cognición (Manrique, 2004).

Interferometría óptica

Entre las técnicas ópticas empleadas para la medida de desplazamientos micrométricos la más conocida es la interferometría, que suele emplearse en la medida de espesores y análisis de superficies. La interferometría proporciona precisiones por debajo de la longitud de onda luminosa que se emplea, es decir, por debajo de $0,5 \mu\text{m}$ cuando se utilizan láseres dentro del espectro visible.

La interferometría óptica es un fenómeno basado en la naturaleza ondulatoria de la luz que permite realizar medidas precisas de las formas o las distancias, ya que proporciona una resolución extraordinaria y no requiere contacto físico directo con la superficie sometida a estudio.

El principio fundamental de la interferometría consiste en la interacción o interferencia entre dos ondas luminosas que se encuentran una con otra, similar a lo que sucede cuando se encuentran dos ondas

superficiales en el agua. En cualquiera de estos casos, cuando la cresta de una onda coincide con el valle de la otra, la interferencia es destructiva y las ondas se anulan. Cuando coinciden las dos crestas o los dos valles, las ondas se refuerzan mutuamente, la interferencia es constructiva y las ondas se suman.

Los interferómetros pueden dividirse en dos clases:

- a. Los que se basan en la división del frente de onda: en este caso se usan porciones del frente de onda primario, bien sea directamente como fuentes para emitir ondas secundarias, o conjuntamente con sistemas ópticos para producir fuentes virtuales de ondas secundarias. Luego se hace que se encuentren estas ondas secundarias para interferir. Como ejemplo se pueden mencionar el biprisma de Fresnel, los espejos de Fresnel y el espejo de Lloyd.
- b. Los que se fundamentan en la división de la amplitud: en este caso la onda primaria se divide en dos segmentos, los cuales viajan por diferentes caminos antes de recombinarse e interferir. Dentro de la gran cantidad de interferómetros de división de amplitud el más conocido de todos, e históricamente el más importante, es el interferómetro de Michelson (Duarte et al., 2007).

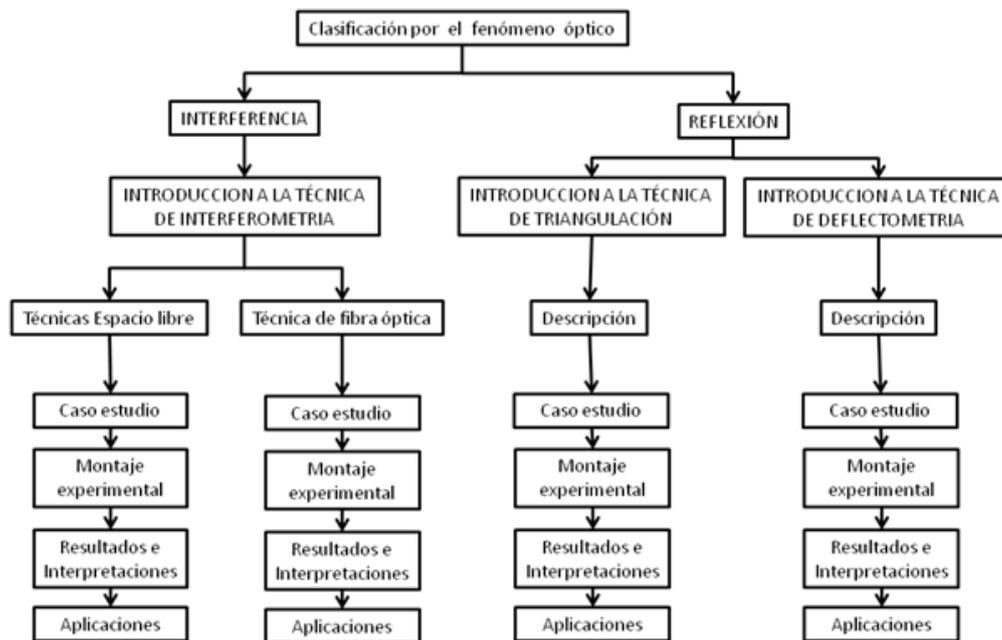
Metodología

A continuación se describe la metodología utilizada para el desarrollo del MEC, la cual comprendió las fases de estructuración, implementación y evaluación de la herramienta. Una vez disponible la información, se elaboró la estructura lógica del MEC, cuyo mapa conceptual se ilustra en la figura 1. Esta estructura se corresponde con la forma de navegar a través del material.

Estructuración de la herramienta

La información se estructuró alrededor de dos ejes temáticos conceptuales que corresponden a los fenómenos físicos que fundamentan las tres técnicas de medida. El fenómeno de interferencia se relaciona con la técnica de interferometría, mientras que la reflexión se relaciona con las técnicas de triangulación y deflectometría. En la figura 1 se observa que la información para cada técnica se organizó de forma similar, con el ánimo de facilitar la comparación de las técnicas y de los fenómenos físicos involucrados, para establecer ventajas y desventajas.

Figura 1. Mapa conceptual del MEC.



Implementación

El MEC se desarrolló con el programa Adobe Flash Professional CS5, que permite crear ambientes multimedia que facilitan el aprendizaje. Se trata de un programa de fácil manejo y con grandes posibilidades para crear contenido interactivo y animaciones, con la ventaja adicional de que la aplicación que se genera es fácilmente actualizable.

El MEC integra información en varios formatos como el de texto, que se encuentra en el cuerpo del aplicativo junto con información adicional en archivos PDF; también hay fotografías y esquemas relativos a los fenómenos físicos y montajes experimentales. Además, se incluyen animaciones que ilustran la operatividad de estos montajes. Se incluyen videos cortos que presentan la aplicación de las técnicas y la ocurrencia del fenómeno físico correspondiente. Igualmente, se encuentran hipervínculos que permiten navegar a través de la herramienta y acceder a información complementaria, incluida la bibliografía.

El aplicativo se instaló en una sala de informática, donde cada estudiante interactuó con el MEC, con el fin de evaluar la operatividad de éste en cuanto a navegabilidad, tamaño y tipo de fuentes, resolución de imágenes y buen funcionamiento de animaciones y videos. Esta información fue fundamental para la puesta a punto de la herramienta.

Evaluación pedagógica

En esta fase se realizó la evaluación del MEC con 20 estudiantes de Ingeniería Electromecánica de octavo semestre, de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad Seccional Duitama, Boyacá, Colombia.

La evaluación se realizó en dos momentos: una prueba inicial para establecer los preconceptos de los estudiantes acerca de las leyes de la óptica, las técnicas de medida y sus aplicaciones. Después los estudiantes interactuaron con el MEC en una sesión de dos horas, en la cual accedieron libremente a la información disponible. Se realizó una segunda prueba para establecer los cambios conceptuales y los conocimientos adquiridos alrededor de las técnicas ópticas de medida; igualmente se indagó acerca de la satisfacción de los estudiantes con el uso del material.

Resultados y discusión

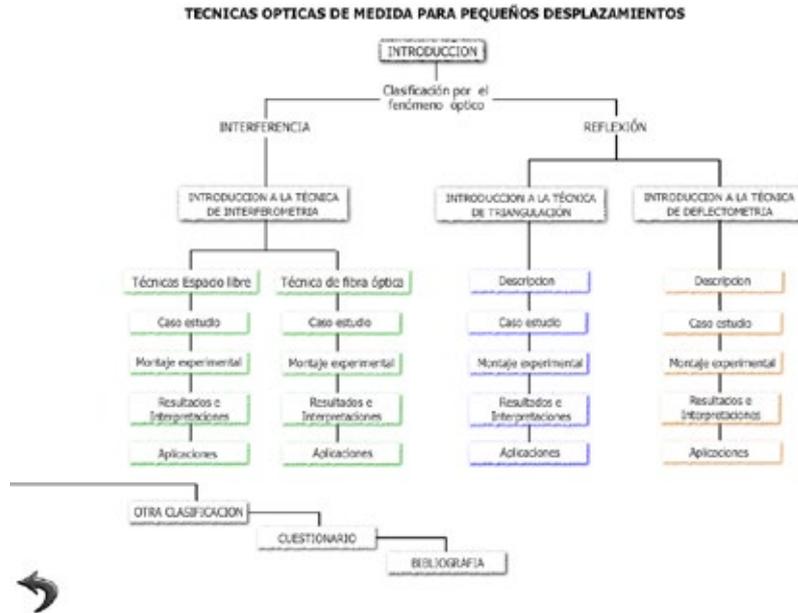
Descripción del material

A continuación se presentan algunas de las pantallas más relevantes del MEC. La figura 2 corresponde al menú principal del material en el cual se incluyen las opciones a las cuales puede acceder el usuario para facilitar su navegación.

A través de esta ventana, el usuario puede consultar la información sobre las técnicas ópticas de medida y su clasificación. Igualmente, se puede acceder a un cuestionario que le permite al estudiante controlar el avance en la apropiación de conocimiento. También

se puede acceder a las referencias bibliográficas que fueron consultadas para elaborar el MEC en las cuales el usuario podrá ampliar sus conocimientos en las temáticas consideradas.

Figura 2. Menú principal del material.



En la figura 3 se observa la descripción de la técnica de triangulación con su montaje experimental. Para ilustrarla se utilizó, como caso de estudio, la medida del comportamiento de una membrana de silicio. La bombilla de infrarrojo, ubicada detrás de la membrana en

la parte inferior izquierda de la figura 3, es responsable de controlar el movimiento de la membrana (al frente de ésta); el comportamiento de la membrana se determina por la desviación de un rayo láser que incide sobre su superficie, el cual es detectado por un sensor de posición (PSD).

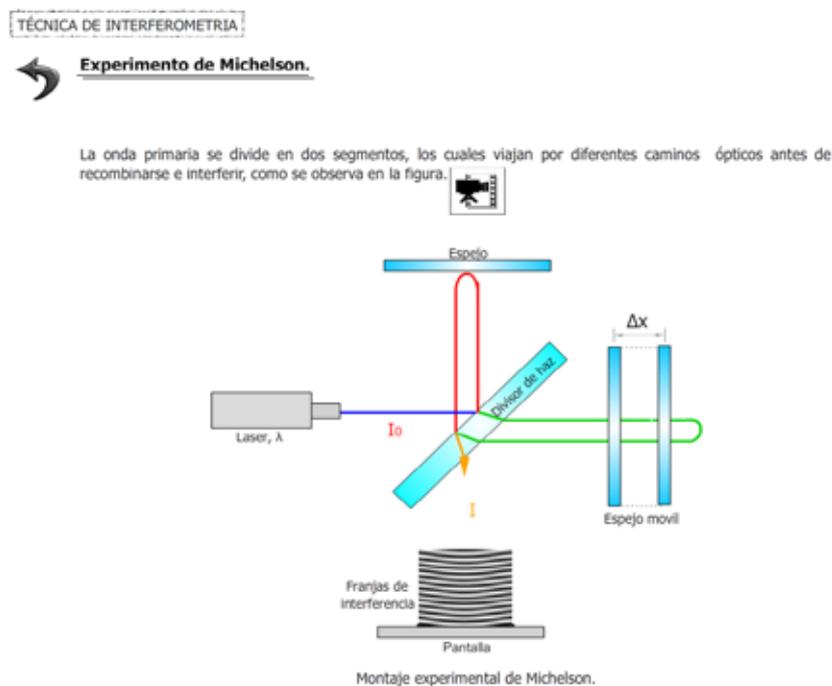
Figura 3. Técnica de triangulación.



En la parte inferior de la figura 3 aparecen los siguientes íconos: Introducción, Descripción, Caso de estudio, Montaje experimental, Resultados y Aplicaciones, a los cuales puede acceder el usuario para indagar más acerca de la técnica de medida, las características del montaje experimental y los resultados que se obtienen con ella.

En la figura 4 se observa la pantalla correspondiente a la técnica de interferometría de espacio libre y se presenta el esquema del interferómetro de Michelson, base de esta técnica de medida. El esquema de la figura corresponde a una animación en la cual se ilustran los caminos por los cuales se divide la onda luminosa, para unirse nuevamente y formar los patrones de interferencia, anillos de Newton en este caso.

Figura 4. Pantalla de la técnica de interferometría.



Prueba inicial

En un primer momento se indagó acerca de los preconceptos sobre las técnicas ópticas de medida y la experiencia previa de los usuarios en el manejo de materiales educativos computarizados.

A la pregunta: ¿Ha utilizado MEC en su formación profesional?, un 52 % de los encuestados respondió que no; esto ilustra el bajo interés, de docentes y estudiantes, en la utilización y aplicación de ese tipo de ayudas didácticas.

A la pregunta: ¿Cuál considera que es la mejor alternativa para el aprendizaje de temáticas complejas de ciencia y tecnología?, el 41 % prefiere las prácticas de laboratorio, seguido por un 26 % que se identifica con el aprendizaje por proyectos; mientras que el 17 %

prefiere la clase magistral, el 14 % prefiere los MEC y sólo un 2 % opta por la investigación individual. Estas respuestas ilustran que la metodología de enseñanza y los materiales didácticos utilizados en la formación de los ingenieros electromecánicos continúan siendo tradicionales.

A la pregunta: ¿Cómo debería presentarse la información en un MEC para educación en ingeniería?, un 39 % expresa su afinidad por las animaciones, un 24 % prefiere el video, un 20 % se inclina por el audio, un 7 % valora las imágenes, mientras que un 6 % halla útil el texto y un 4 % los hipervínculos. La respuesta a esta pregunta ratifica los postulados de las teorías cognitivas, que afirman que la mejor manera de desarrollar el proceso enseñanza-aprendizaje, significativamente, es la presentación dinámica de la información.

En la prueba inicial también se indagó sobre los conocimientos previos de los estudiantes respecto de los conceptos fundamentales involucrados en las técnicas ópticas de medida. Cabe resaltar que los estudiantes encuestados son de octavo semestre, o sea que ya han cursado la física fundamental; además, la prueba se realizó sin previo aviso.

A la pregunta: ¿Qué es la luz láser?, los estudiantes dieron respuestas como: dispositivo electrónico que emite luz, espectro electromagnético, radiación en el espectro visible. Ninguna respuesta se acerca a la verdadera definición de lo que es la luz láser: *radiación electromagnética, coherente, monocromática y con un ángulo de divergencia pequeño* (Serway et al., 2002). A la pregunta: ¿Conoce en qué consiste la técnica óptica de triangulación?, sólo un 14 % de los encuestados manifestaron conocerla. Dado que la triangulación es la más popular de las técnicas ópticas para la medida de desplazamientos, sería deseable que un alto porcentaje de los futuros ingenieros estuviera familiarizado con ella.

En cuanto a la interferometría como técnica óptica de medida, ninguno de los encuestados manifestó

conocerla, ni mucho menos pudieron identificar sus ventajas y desventajas. Siendo la interferometría una técnica óptica de gran aplicabilidad en diversos campos de la industria, gracias a su elevada resolución, sería de esperar que los estudiantes conocieran la técnica para su futuro desarrollo profesional.

También se pidió ilustrar el fenómeno de interferencia entre dos ondas, ante lo cual no se obtuvo ninguna respuesta correcta.

Teniendo en cuenta que el principio de interferencia se presenta en fenómenos oscilatorios y es la base de la técnica óptica de interferometría, es fundamental que el futuro profesional tenga claro el concepto de este fenómeno. En las figuras 5 y 6 se ilustran la interferencia constructiva y la destructiva, respectivamente.

La interferencia constructiva ocurre cuando las crestas de las dos ondas coinciden para generar una nueva con una amplitud igual a la suma de las originales, mientras que en la interferencia destructiva la cresta de una onda coincide con el valle de la otra de modo que al sumarse se reducen, y llegan a ser cero cuando el valle y la cresta tienen la misma amplitud.

Figura 5. Ondas representativas de la interferencia constructiva.

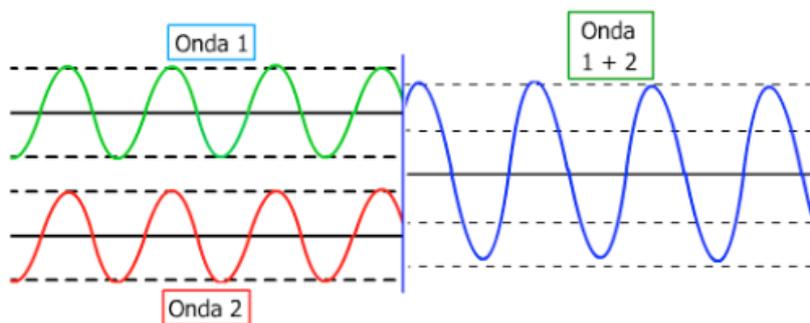
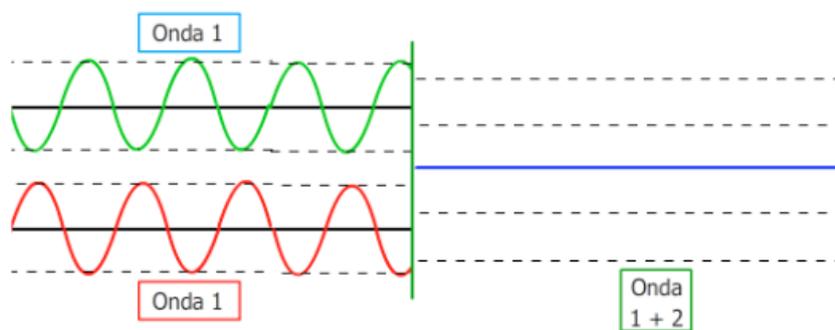
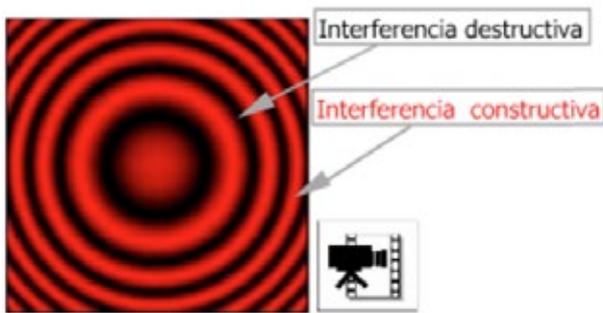


Figura 6. Ondas representativas de la interferencia destructiva.



Al aplicar el principio de interferencia en la interferometría óptica, se obtiene como resultado un patrón de interferencia en forma de anillos, como se ilustra en la figura 7. En este caso, las franjas rojas (brillantes) corresponden a la interferencia constructiva, mientras que las franjas negras (oscuras) representan la interferencia destructiva.

Figura 7. Anillos de Newton.



Prueba de campo

Esta actividad se realizó con la misma población de la prueba inicial. A los estudiantes se les permitió interactuar con el MEC descrito en la sección 3.1, sin advertir sobre la realización de una segunda prueba. Después de una semana se repitieron las preguntas de la prueba inicial sobre los conceptos temáticos involucrados, con el fin de establecer si realmente hubo un aprendizaje con la utilización del *software*. A continuación se describen los resultados obtenidos con esta última prueba.

A la pregunta: ¿Qué es la luz láser?, algunas de las respuestas fueron: haz emitido por un dispositivo,

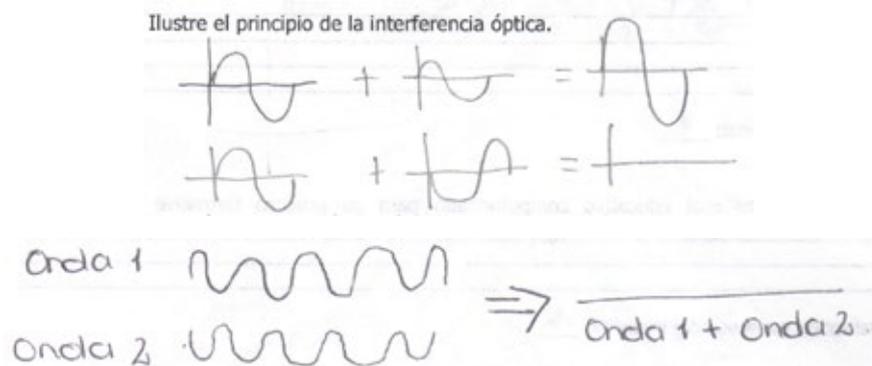
haz de luz unidireccional, haz de luz concentrada que no se dispersa y es un flujo de energía concentrado con orientación específica. En este caso, las respuestas muestran un avance significativo en la conceptualización de las características de la luz láser, lo cual ilustra la utilidad del MEC.

A la pregunta: ¿Conoce en qué consiste la técnica óptica de triangulación?, un 62 % de los encuestados la reconoció y pudo establecer algunas de las desventajas como la distancia de la señal, la distracción o pérdida de ésta y que en espacio libre la luz se distorsiona proporcionalmente a la distancia. Al comparar estas respuestas con las reportadas en la sección 3.2, donde sólo un 14 % manifestó conocer la técnica de triangulación, se observa una apropiación de conocimientos facilitada por el MEC.

Con respecto a la interferometría como técnica óptica de medida, todos los encuestados manifestaron conocerla, a diferencia de la prueba inicial en la que ninguno de ellos la reconoció. Además, pudieron identificar algunas de las ventajas, y se obtuvieron respuestas como: es utilizada para medidas de precisión, medición de pequeños desplazamientos y de distancias cortas en sistemas de posicionamiento. Estas dos últimas aplicaciones son las más importantes de esta técnica.

Cuando se les solicitó a los estudiantes ilustrar el principio de la interferencia, un 50 % de las respuestas se acercaron a lo presentado en las figuras 5 y 6. La figura 8 muestra algunos bosquejos elaborados por los estudiantes.

Figura 8. Algunas de las respuestas de los estudiantes en la prueba de campo sobre el principio de interferencia.



Finalmente, a la pregunta: ¿Considera necesario el uso de material educativo computarizado, o *software* educativo, para su proceso formativo universitario?, un 95 % respondió que sí, con aportes tan interesantes como los siguientes:

- *Aumenta el interés de los estudiantes.*
- *Facilita la comprensión.*
- *La universidad como ente generador de conocimiento debe ser pionera en la implementación de nuevas herramientas para garantizar que los estudiantes sean competitivos; por eso los docentes deben dar ejemplo en el uso cotidiano de cualquier material que facilite el aprendizaje.*
- *A través de éstos, el aprendizaje puede ser más rápido debido a que se ilustran más los principios y se comprende más.*

El elevado porcentaje de aceptación de la herramienta desarrollada obedece a las ventajas propias de este tipo de materiales, como son: la presentación de información audiovisual que facilita la comprensión y el aprendizaje de conceptos con alto grado de dificultad, como los subyacentes a las técnicas ópticas de medida para la medición de pequeños desplazamientos.

Las reflexiones anteriores son muestra inequívoca de la importancia que tiene el uso de herramientas computacionales para estar a tono con el progreso y aplicación de la informática en el aula de clase, a cualquier nivel, con el fin de incentivar a los docentes en el desarrollo, uso y apropiación de estos materiales como mediadores del proceso enseñanza-aprendizaje.

Conclusiones

En este trabajo se presenta un MEC especialmente diseñado para el estudio de las técnicas ópticas para la medida de pequeños desplazamientos. El programa incluye información relacionada con las técnicas de triangulación, interferometría y deflectometría, las cuales tienen amplia aplicación para hacer medidas en el rango de las micras. La importancia de la herramienta desarrollada obedece a la complejidad de los fenómenos físicos y de los montajes experimentales involucrados en la medición de pequeños desplazamientos. Además, la información se presenta de forma clara y atractiva, con imágenes, videos y animaciones que facilitan el aprendizaje para

estudiantes y profesionales de ciencias básicas e ingeniería.

La prueba diagnóstica refleja que los estudiantes indagados han sido formados con los métodos tradicionales de enseñanza, con poco acceso a materiales didácticos novedosos que involucren conceptos científicos y tecnológicos de punta. Además, se evidencia una gran falencia en el conocimiento de las leyes que rigen los fenómenos ópticos y su utilización práctica, a pesar de su importancia en los avances científicos y tecnológicos.

Luego de aplicar el material se evidenció un cambio radical satisfactorio en cuanto al conocimiento, uso y aplicaciones de las técnicas de medida, especialmente la interferometría, lo cual contrasta con el desconocimiento manifestado en la prueba inicial. Cabe destacar que el MEC hace énfasis en la técnica de interferometría tanto de espacio libre como de fibra óptica, ilustrando su principio físico, esquema y montaje experimental y un caso de estudio con resultados reales.

Aunque la prueba no se realizó en un curso regular de óptica o de metrología, sino en la asignatura Seminario de Investigación, los resultados muestran el valor de utilizar material didáctico específicamente diseñado para el aprendizaje significativo de temáticas especializadas en ciencia y tecnología. Este tipo de material didáctico motiva a los estudiantes en la apropiación del conocimiento de temáticas complejas; a la vez, invita a los docentes al desarrollo, uso y apropiación de estos materiales como mediadores del proceso enseñanza-aprendizaje.

Es imprescindible que los planes de estudio de los programas de ciencias básicas e ingeniería incorporen temáticas como la tratada, para que el futuro profesional conozca y aplique los avances científicos y tecnológicos con el fin de hacerlos más competentes en su desempeño profesional.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, especialmente a la Dirección de Investigaciones, por la financiación del joven investigador.

Referencias

- Duarte, J. E., Fernández, F.H. y Moreno, M. (2005). Caracterización de microactuadores mediante técnicas ópticas. *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería*, 15(53), pp. 35-38.
- Duarte, J. E., Fernández, F. y Moreno, M. (2007). Caracterización de membranas termoneumáticas mediante interferometría óptica. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas Físicas y Naturales*, 31(2), pp. 79-87.
- Finot, E., Passian, A. & Thundat, T. (2008). Measurement of mechanical properties of cantilever shaped materials. *Sensors*, 8(5), pp. 3497-3541.
- Galvis, A. H. (1994). *Ingeniería del Software Educativo*. Bogotá: Uniandes.
- Herrera, A., Aguilera, L., Manjarrez, E. y González, M. (2010). Sistemas nanoelectromecánicos: origen, aplicaciones y desafíos. *Interciencia*, 35(3), pp. 163-170.
- Manrique, L. (2004). *El aprendizaje autónomo en la educación a distancia*. LatinEduca 2004, Primer Congreso Virtual Latinoamericano de Educación a Distancia. Recuperado el 4 de noviembre de 2012 de http://www.ateneonline.net/datos/55_03_Manrique_Lileya.
- Puigcorbe, J., Vogel, D., Michel, B., Vilá, A., Gracia, I., Cané, C. y Morante, J. R. (2003). Thermal and mechanical analysis of micromachined gas sensors. *Journal of Micromechanics and Microengineering*, 13(2003), pp. 548-556.
- Quintero, C. (2010). Enfoque ciencia, tecnología y sociedad (CTS): perspectivas educativas para Colombia. *Zona Próxima*, 12(1), pp. 222-239.
- Ramos, M. C., Gómez, de O. (2010). Development a tool of experimental physics teaching at distance, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(4), pp. 4503-4510.
- Serway, A. y Jewet, J. W. (2002). *Física II*. México: Thomson.

Sobre los autores

Julio Enrique Duarte

Licenciado en Física, Magister en Física, Doctor en Ciencias Físicas, Docente Titular, Escuela de Educación Industrial, UPTC, Duitama, Boyacá, Colombia. Grupo de Didáctica para la Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología en Niños (DECTEN) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. julioenriqued1@gmail.com

Flavio Humberto Fernández Morales

Ingeniero Electrónico, Doctor en Ingeniería Electrónica, Docente Titular, Escuela de Educación Industrial, UPTC, Duitama, Boyacá, Colombia. Autor de contacto. Grupo de Didáctica para la

Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología en Niños (DECTEN) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. flaviofml@gmail.com

Luis Fernando Parra León

Licenciado en Educación Industrial, Docente, Escuela de Educación Industrial, UPTC, Duitama, Boyacá, Colombia. Grupo de Didáctica para la Enseñanza de la Ciencia y la Tecnología en Niños (DECTEN) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. luisfdopl@gmail.com

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.