

Pesquisa em Ensino de Física

# El holograma y su utilización como un medio de enseñanza de la física en ingeniería

(*The hologram and its utilization as a physics teaching tool for physics teaching in engineering courses*)

Rolando Serra Toledo<sup>1</sup>, Gilda Vega Cruz<sup>1</sup>, Angel Ferrat Zaldo<sup>1</sup>,  
José J. Lunazzi<sup>2</sup> y Daniel S.F. Magalhães<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Ciudad de la Habana, Cuba

<sup>2</sup>Instituto de Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, Brasil

Recibido em 17/6/2008; Revisado em 28/8/2008; Aceito em 24/9/2008; Publicado em 30/4/2009

Con el surgimiento de los hologramas reconstruibles con luz blanca y su desarrollo posterior, se abrieron grandes posibilidades para su utilización como medio de enseñanza por la característica de producir una imagen tridimensional que constituye un duplicado óptico de un objeto. En el trabajo se describen las características distintivas del holograma como un medio de enseñanza de la física y se analiza su utilización en carreras de ingeniería, mediante la fundamentación, el diseño y construcción de una Exposición Didáctica de Holografía creada para este propósito.

**Palavras-chave:** holograma, medio de enseñanza, física, exposición didáctica.

With the emergence and development of the white-light holograms, new possibilities were created for its utilization as a teaching tool due to the characteristic of producing a three-dimensional image which constitutes an optical duplicate of the object. In this work the distinctive aspects of the hologram are described and its utilization is analyzed in engineering courses, through the design and construction of a Didactic Exhibition of Holography.

**Keywords:** hologram, teaching apparatus, didactic exhibition.

## 1. Introducción

La holografía es un método de recuperación integral de la información relativa al campo de irradiación difundido por un objeto real, por lo que permite obtener imágenes ópticas tridimensionales de distintos tipos de objetos [1].

El holograma es el resultado del proceso holográfico, de manera similar a la foto que es el resultado del proceso fotográfico. Para que se pueda comprender con mayor facilidad que es un holograma, podemos decir que es una foto realizada con el empleo de un láser y que la principal característica que posee es el carácter tridimensional de la imagen.

Al mirar un holograma el espectador tiene la impresión de ver, a través de una placa de vidrio, un objeto realmente existente y puede observarlo desde diferentes ángulos. El holograma refleja las zonas de luz y sombra, y la textura del material resulta visible, lo que acrecienta la impresión de relieve. En realidad el objeto no existe en la placa holográfica pero crea la ilusión óptica de su presencia ya que el holograma envía al espectador

ondas luminosas idénticas a las que reflejaría el objeto real. La singular cualidad que permite al holograma producir un duplicado óptico de un objeto indujo a estudiar las posibilidades de su utilización como medio de enseñanza de la física (Ver Fig. 1).

En el trabajo se describen las características distintivas del holograma como un medio de enseñanza de la física y se analiza su utilización en carreras de ingeniería, mediante la fundamentación, el diseño y construcción de una Exposición Didáctica de Holografía para estos propósitos.

## 2. Fundamentación del holograma como medio de enseñanza de la física

En relación con la utilización del holograma como medio de enseñanza de la disciplina física en ingeniería:

- Después de haber analizado los planes de estudio de ingeniería de varias Universidades de América y Europa [2-10], encontramos que existen muchas Universidades que no incluyen la holografía como

<sup>1</sup>E-mail: serra@electrica.cujae.edu.cu.

un tema de la disciplina física en ingeniería, a pesar de que la misma permite estudiar varias técnicas ingenieriles de uso generalizado.

- La gran mayoría de las Universidades que incluyen este tema se limitan a analizar los fundamentos físicos en que se sustenta esta técnica y a discutir las aplicaciones en un marco teórico y de forma expositiva.
- No se han encontrado referencias a la utilización de una Exposición Didáctica de Holografía para la enseñanza de la disciplina física en ingeniería que incluya además de las instalaciones, procedimientos de obtención y diferentes tipos de hologramas, las aplicaciones de esta técnica en la especialidad y en la vida cotidiana como contribución a la formación de una cultura general integral en los estudiantes de estas carreras.

Para poder comprender al holograma como medio de enseñanza, es conveniente comenzar por analizar qué entenderemos por medio de enseñanza.

En la amplia literatura del tema encontramos diversas definiciones de medio de enseñanza [11-17]. Entre las más completas, a nuestro criterio, están las siguientes:

“Medio es todo aquel componente material o materializado del proceso pedagógico que en función del método sirve para:

- Construir las representaciones de las relaciones esenciales forma – contenido, es decir, el significado y sentido de los conocimientos y habilidades a adquirir que expresa el objetivo.
- Motivar y activar las relaciones sujeto – objeto, sujeto – objeto – sujeto o sujeto – sujeto, así como la internalización y externalización de contenidos y acciones individuales o conjuntas presentes en tal proceso pedagógico.” [18]

Todo componente material del proceso docente educativo con el que los estudiantes realizan en el plano externo las acciones específicas dirigidas a la apropiación de los conocimientos y habilidades. [19]

Componentes del proceso pedagógico, que pueden ser utilizados por profesores y estudiantes, con el empleo o no de variados mecanismos y recursos, que partiendo de una relación orgánica con los objetivos y métodos sirven para facilitar el proceso de construcción del conocimiento, su control, el desarrollo de hábitos, habilidades y la formación de valores. [20]



Figura 1 - Holograma de la medalla del Premio Nobel de Ernest Hemingway producido en Cuba.

Consideramos que estas definiciones se complementan entre sí por lo que nos adscribimos a ellas para el desarrollo de este trabajo.

Existen diversas clasificaciones de medios de acuerdo a sus funciones específicas, a su naturaleza física o a su forma de utilización directa o mediante equipamiento técnico [21-26]. En algunas de las mismas se incluye al holograma como un medio pero no se fundamenta de forma pedagógica y mucho menos se analizan sus particularidades y características peculiares.

Si consideramos al holograma como un medio de enseñanza y de educación social, debemos analizar las funciones didácticas que puede desempeñar este medio al ser utilizado en los procesos pedagógicos curriculares o sociales. En la literatura consultada no existen referencias a la determinación de las funciones didácticas de los hologramas al ser considerados como medio de enseñanza y de educación social.

Diversos autores han estudiado las funciones que desde un punto de vista didáctico pueden desempeñar los distintos tipos de medios en los procesos pedagógicos: Klingberg [27], González [23], Fernández [28], Porto [18] y Bravo [20].

En su Tesis Doctoral, Vicente González Castro [23] destaca importantes aspectos pedagógicos y psicológicos relacionados con los medios de enseñanza que sirven de base para el análisis de las funciones didácticas que los mismos pueden desempeñar:

“No solo para presentar evidencias del mundo material o sus representaciones, que es el uso que mas convencionalmente se les atribuye, ellos deben servir de guía a la formación de conceptos, leyes, algoritmos lógicos, permitir la extrapolación de los resultados obtenidos hasta lo posible y permitir derivar generalidades; ayudar a establecer el ciclo de ascensión de lo abstracto a lo concreto. Establecer el nexo entre lo sensorial y lo racional y entre este y sus aplicaciones prácticas, así como permitir la búsqueda de nuevas interrogantes y sus soluciones, son las tareas más impor-

tantes de los medios de enseñanza en el marco de la educación superior”.

El papel de los medios de enseñanza y de educación social radica esencialmente en establecer los vínculos entre los niveles sensoriales y racionales del conocimiento, entre lo concreto y el pensamiento abstracto; es así donde pueden ayudar realmente al aprendizaje de los estudiantes, a hacer más comprensible los conceptos, y abstraerse más fácilmente, a representar en su mente con más claridad aquellas cosas que al profesor son sumamente claras e incuestionables.

Por otra parte, analiza las características particulares y la importancia de las reproducciones visuales.

Las reproducciones visuales son las más complejas de todas las reproducciones, pero además, la más importante en la enseñanza, debido al valor que tiene la percepción visual, tanto para la recepción de información como para su retención.

- Las investigaciones demuestran que se necesita aproximadamente siete veces menos tiempo para captar las cualidades esenciales de un objeto viéndolo directamente que si se describe oralmente.
- Con los medios de enseñanza se aprovechan en mayor grado las potencialidades de nuestros órganos sensoriales. El 83% de lo que el hombre aprende le llega a través del sentido visual.

El holograma por sus particularidades, constituye una de las reproducciones visuales más icónica de las existentes, lo que constituye su principal cualidad en su utilización como un medio de enseñanza.

Teniendo en cuenta las características particulares de los hologramas, estos poseen fundamentalmente las siguientes funciones didácticas: cognoscitiva, comunicativa, informativa, motivadora e integradora.

Para el análisis de la función cognoscitiva podemos partir del criterio expresado por Klingberg [27] y referido por Bravo [20] cuando señalan que: “Estructurar el proceso de aprendizaje como un proceso del conocimiento requiere el empleo de medios de enseñanza”. El holograma se puede convertir en el medio audiovisual por excelencia para conocer las propiedades y características del objeto original e incluso suplantarlos para múltiples aplicaciones, a través de su imagen tridimensional. Esto se debe a que a través de la holografía se logra el nivel de reproducción completamente icónico, permitiendo la observación de la realidad lo más objetivamente posible. Otra arista de la función cognoscitiva del holograma, atendiendo a como se obtiene, es que mediante él se puede llegar

a comprender conceptos y fenómenos de la física y en particular de la óptica que se ponen de manifiesto y se aplican en el proceso de obtención del medio.

La función comunicativa de los medios de enseñanza y de educación social se pone de manifiesto en el papel que desempeñan en el proceso de comunicación, como señala Bravo [20] “ocupan el lugar del canal que es a su vez soporte de la información”. El holograma al producir una imagen tridimensional como duplicado óptico de un objeto, comunica la máxima información posible en ausencia del objeto original, en relación con la textura, el color, el brillo, el paralaje o la posibilidad de observación desde diferentes ángulos de visión, o sea, transmite la misma información que el objeto original. Una muestra de la importancia creciente que están teniendo los hologramas en la comunicación son las investigaciones relacionadas con la televisión y el cine holográfico.

La función informativa de los medios está muy relacionada con la comunicativa, ya que es a través de la comunicación que se da el proceso de información. Bravo [20] nos recordaba una idea importante donde se pone de manifiesto el significado de esta función al citar a Fernández [28] cuando expreso que “el empleo de los medios permite brindar una información más amplia, completa y exacta, ampliando los límites de la transmisión de los conocimientos”. Por las características de la reproducción holográfica analizadas anteriormente, es evidente que mediante un holograma se transmite prácticamente la misma información que nos llega del objeto original, excepto en lo referido al tacto, lo que no se logra con el empleo de ningún otro medio como la fotografía, la televisión, el vídeo o la computadora.

Para abordar la función motivadora, partiremos del criterio de González [23] ratificado por Bravo [20] cuando plantean que: “los medios aumentan la motivación por la enseñanza al presentar estímulos que facilitan la autoactividad del estudiante, la seguridad en el proceso de aprendizaje y el cambio de actividad”. De igual forma Porto [18] señalaba: “El medio cumple su función psicológica, si se convierte en factor emocional grato y duradero, en satisfacción por aprender, descubrir y solucionar, y si al contener todos los estímulos e incentivos apropiados alcanza la significación subjetiva necesaria y un clima favorable”. Al permitir el holograma la observación de una imagen tridimensional de un objeto no existente con un grado de realismo tal que da la impresión al observador de que el objeto realmente está presente, se crea un grado de motivación en el estudiante y en los visitantes al museo muy elevado, que se acrecienta cuando el observador comprueba que se conserva el paralaje de visión del objeto original y la sombra proyectada por el mismo. Por otra parte, es extraordinariamente motivador para el estudiante comprobar que mediante las técnicas holográficas se pueden visualizar efectos no apreciables a simple vista como los estados tensionales y deformacionales de los cuerpos del

orden de los micrómetros. Esta función motivadora del holograma se completa cuando el estudiante comprueba las múltiples aplicaciones de la holografía en la vida cotidiana a través de las actividades docentes programadas.

Este efecto motivador del holograma es de gran importancia para despertar el interés del estudiante y de los visitantes a los museos por comprender como se fabrica y por consiguiente lo predispone favorablemente para entender las leyes y conceptos de la física que se aplican en el proceso de obtención del mismo.

La función integradora de este medio es muy importante ya que en un holograma se integran diferentes elementos de gran importancia en la formación integral del estudiante y de la población en general:

- Leyes y conceptos de la física presentes en el proceso de registro y elementos importantes de química que se aplican en las etapas de procesamiento químico y de conservación.
- Conocimiento de una moderna técnica que permite obtener la imagen tridimensional de un objeto y que tiene múltiples y crecientes aplicaciones en la vida cotidiana y en las investigaciones actuales relacionadas con el cine y la televisión holográfica.
- En el caso de hologramas de doble exposición o interferogramas permiten al estudiante el conocimiento de una importante técnica de ensayo óptico no destructivo de gran aplicación en todas las especialidades de ingeniería.
- Constituye un medio de apreciación estética donde están presentes elementos formales del objeto: forma, color, etc.
- Al ser la mayoría de los hologramas construidos en Cuba de objetos de alto valor histórico y patrimonial, contribuyen significativamente en la formación cultural, patriótica y política de los estudiantes y de la población en general.

Para lograr el cumplimiento de los principios didácticos y de las funciones didácticas analizadas anteriormente en las propuestas de utilización del holograma como un medio de enseñanza y de educación social, debe estructurarse un proceso pedagógico con un enfoque holístico que logre la integración armónica de todos sus componentes.

En la psicología contemporánea se desarrolló y consolidó en la segunda mitad del siglo pasado un enfoque epistemológico originado a partir de la escuela histórico cultural de L.S. Vigotski y seguidores [29-33] que encontró un campo de aplicación con muchas posibilidades en sociedades como la nuestra que promueven las condiciones sociales que aseguran un desarrollo pleno e integral del hombre.

En la Educación Superior Cubana en los últimos 15 años, se han aplicado algunos de los postulados fundamentales de este enfoque al perfeccionamiento del proceso pedagógico en la creación de condiciones de aprendizaje más favorables en distintas disciplinas de varias carreras universitarias.

Analizaremos a continuación como algunos de los postulados fundamentales del enfoque histórico cultural de Vigotski, sirven de basamento teórico a la utilización del holograma como medio de enseñanza.

Comenzaremos por analizar un primer aspecto en la utilización del holograma como medio de enseñanza. Nos referimos a la influencia del holograma en el incremento de la motivación de los estudiantes por el conocimiento y el aprendizaje, no solo por la información que transmiten sino también por los fundamentos físicos relacionados con la construcción del mismo. Un holograma es altamente motivador por las características del mismo de brindar la imagen tridimensional de un objeto que produce en el espectador la sensación de que el objeto real está presente en ese momento en la escena.

Con relación a la importancia de la motivación en el aprendizaje, Vigotski a partir de reconocer el carácter integral del psiquismo humano, analiza las relaciones existentes entre dos esferas tradicionalmente escindidas en las escuelas psicológicas precedentes: la esfera cognoscitiva y la afectiva.

En el primer capítulo de su libro *Pensamiento y Lenguaje* señala [30]:

La primera cuestión que surge cuando hablamos de la relación del pensamiento y el lenguaje con respecto a los restantes aspectos de la conciencia, es el de la vinculación entre la inteligencia y el afecto. Como se sabe, la separación del aspecto intelectual de nuestra conciencia y del aspecto afectivo, volitivo, es uno de los defectos fundamentales y radicales de toda la psicología tradicional. Mas adelante señala: “ El análisis que divide el todo complejo en unidades... muestra que existe un sistema dinámico de sentido que representa la unidad de los procesos afectivos e intelectuales. Muestra que en toda idea se contiene, reelaborada, una relación afectiva del hombre hacia la realidad, representada en esa idea. Permite descubrir el movimiento directo que va de la necesidad de los impulsos del hombre a la determinada dirección de su pensamiento, y el movimiento contrario, desde la dinámica del pensamiento a la dinámica del comportamiento y la actividad concreta de la persona.

La Exposición Didáctica como tipo de clase tiene como objetivo fundamental contribuir al desarrollo de

una cultura general integral en los estudiantes abordando un tema o un aspecto específico del contenido de una asignatura de forma integral con la utilización protagónica de los medios de enseñanza adecuados, donde se manifieste en un entorno natural el vínculo Investigación - Docencia - Extensión universitaria y se utilicen los métodos participativos y de elaboración conjunta que garanticen la creación de un ambiente de trabajo colectivo.

En la fundamentación de la metodología propuesta para desarrollar este tipo de actividad docente, planteamos que por su concepción, una de las características fundamentales de esta actividad es el empleo de métodos participativos y de elaboración conjunta que garanticen una participación activa de los estudiantes y la creación de un ambiente de trabajo colectivo de gran importancia para el logro de los objetivos.

El desarrollo integral de la personalidad del estudiante es el centro del enfoque histórico cultural al que nos adscribimos. Algunos autores han profundizado en la concepción Vigotskiana de aprendizaje que lo considera como una actividad social, y no solo un proceso de realización individual como se había sostenido [33, 34].

De los postulados del enfoque histórico cultural y de su concepción de aprendizaje se desprenden los siguientes elementos que han servido de base en el diseño de la actividad en la Exposición Didáctica de Holografía:

- La importancia que se adjudica a la actividad conjunta, a la relación de cooperación entre los alumnos y entre estos y el profesor. Lo que las personas puedan hacer con ayuda de otros puede ser en cierto sentido más indicativo de su desarrollo mental que lo que pueden hacer por sí solos.
- Cuando se organiza la enseñanza en actividad conjunta donde interactúan profesor y alumno o alumnos entre sí se fomenta en el estudiante el desarrollo de una serie de cualidades de su personalidad, de formas de relación en las situaciones grupales, de intereses relacionados con el estudio. Además, se genera un clima emocional favorable muy eficaz para el aprendizaje.
- Se coloca el proceso de aprendizaje como centro de atención a partir del cual se debe proyectar el proceso pedagógico. Supone utilizar todo lo que está disponible en el sistema de relaciones más cercano al estudiante para propiciar su interés y un mayor grado de participación e implicación personal.
- En lo relacionado con el estudiante, implica utilizar todos los resortes de que dispone en su personalidad en relación con los que aporta el grupo de clase, involucrando a los propios estudiantes en

la construcción de las condiciones más favorables para el aprendizaje.

- En lo relacionado con el profesor, supone extraer de sí mismo todos los elementos que permitan el despliegue del proceso de redescubrimiento y reconstrucción del conocimiento por parte del estudiante, de sus particularidades personales, la relación de comunicación en sus diferentes tipos de función (informativa, afectiva y reguladora) que permita un ambiente de cooperación, de colaboración, de actividad conjunta dentro del aula.
- Este enfoque trata de utilizar al máximo las posibilidades educativas que brinda cualquier situación de instrucción que sea concebida íntimamente vinculada con la vida de la sociedad y de la profesión, en el contexto socio histórico en que vive el estudiante.

Las posiciones teóricas asumidas nos permiten considerar que las propuestas de utilización del holograma como un medio de enseñanza y de educación social están pedagógicamente fundamentadas para el logro de los objetivos propuestos.

### 3. El holograma y sus particularidades como medio de enseñanza

Antes de adentrarnos en el análisis de las particularidades que caracterizan al holograma como un medio de enseñanza, expondremos algunas de las diferencias fundamentales del mismo en comparación con su antecesor más cercano, la fotografía (Ver Tabla 1), lo que ayudará en la comprensión de las características particulares y distintivas que posibilitan no solo su utilización en la docencia y en la educación de la población, sino también en múltiples aplicaciones en la técnica y en la vida cotidiana.

Las características distintivas del holograma como un medio de enseñanza y de educación social son las siguientes [34]:

- Brinda una imagen tridimensional exacta del objeto real con paralaje total y visualización de las zonas de luz y sombra, que puede sustituir satisfactoriamente al objeto real para múltiples aplicaciones.
- En la construcción del mismo se aplican leyes y conceptos de la física, en particular de la óptica y el láser, lo que lo convierte además en objeto de enseñanza cuando se utiliza curricularmente.
- Los estudiantes pueden construir el medio de enseñanza en prácticas de laboratorio de la disciplina física.



Tabla 1 - Diferencias fundamentales entre la fotografía y la holografía.

Fotografía	Holografía
1. Resolución del material baja.	1. Resolución del material alta.
2. Se utiliza para iluminar el objeto cualquier fuente de luz normal.	2. Se utiliza para iluminar el objeto un láser.
3. Se usa una lente para formar la imagen en el medio de registro.	3. No usa una lente y no se forma la imagen en el medio de registro. Lo que se forma en el mismo es un patrón de interferencia.
4. Almacena la información relacionada con la intensidad.	4. Almacena la información relacionada con la intensidad y con la fase.
5. Los puntos individuales brillantes y oscuros son la imagen.	5. Las áreas brillantes y oscuras son franjas de interferencia microscópicas que no son la imagen del objeto.
6. Se obtiene un negativo y la foto se hace a partir del negativo.	6. Se obtiene directamente el holograma
7. La foto resultante es una imagen plana o bidimensional del objeto sin paralaje.	7. La imagen resultante en el holograma es tridimensional con paralaje total.

- Permite visualizar efectos no apreciables a simple vista (estados tensionales y deformacionales de los cuerpos del orden de  $10^{-6}\text{m}$ ). Esto se logra mediante la holografía de doble exposición y constituye una técnica de ensayo óptico no destructivo.
- Permite obtener imágenes tridimensionales de objetos con perspectiva invertida.
- Permite mostrar en el aula la imagen tridimensional de objetos imposibles de mostrar directamente por sus características, medidas excepcionales de seguridad y conservación, etc.
- Permite obtener imágenes con ampliación o reducción del tamaño real del objeto (hologramas de imagen enfocada). Especialmente importante para que el estudiante o el público en general pueda apreciar detalles muy pequeños, no perceptibles a simple vista.
- Se puede lograr el cambio de color de la imagen del objeto al cambiar la posición de observación (hologramas de arcoiris).

Existen algunas limitantes en la utilización de hologramas como medios de enseñanza y de educación social entre las cuales podemos destacar las siguientes:

- Existen algunos objetos que por sus características no son holografiables.
- Existe limitación en la realización de hologramas de objetos con mucha profundidad.

- Para poder ver los hologramas se necesita una fuente de luz blanca puntual o con filamento estrecho.
- Los hologramas poseen un ángulo de visión relativamente restringido por lo que no se pueden ver desde cualquier posición del observador.
- Es un medio relativamente costoso y para su construcción deben crearse las condiciones materiales necesarias.
- Para su elaboración debe existir una experiencia de investigación en los profesores y técnicos del Departamento Docente.

#### 4. Utilización del holograma como medio de enseñanza de la física en ingeniería

Al realizar un análisis de la literatura consultada en relación con este tema, y de algunas de las tesis de doctorado defendidas recientemente sobre la enseñanza de la física en ingeniería [35-39] podemos plantear que no se ha encontrado en la literatura consultada la fundamentación de la Exposición Didáctica como un tipo de clase de la Educación Superior. En particular no existen referencias a la construcción y utilización de una Exposición Didáctica de holografía para la enseñanza de la disciplina física en carreras de ingeniería.

Algunos de los fundamentos planteados por Alvarez [40] que sirvieron de base a la clasificación de los tipos de clase de la educación superior utilizada han sido:

La forma organizativa de la actividad docente es la estructuración y el ordenamiento interno de los componentes personales de dicho proceso: profesor y estudiante, y de los elementos del contenido de las disciplinas: conocimientos y habilidades, con vistas a lograr de la manera más eficiente los objetivos propuestos.

La tipología (clasificación) de la forma de enseñanza debe hacerse atendiendo a un rasgo fundamental que las caracteriza. Nosotros nos inclinamos por clasificar las formas de enseñanza de acuerdo con el componente del proceso docente en que se desarrolla, con el objetivo que cumple (grado de dominio del contenido y tipo de habilidad a formar).

Así las clases se pueden clasificar en la siguiente tipología:

- Conferencia, que es aquella clase que persigue el objetivo de que los estudiantes comprendan el contenido de la rama del saber o ciencia.
- Clase práctica, que es aquella clase que persigue el objetivo de que los estudiantes dominen la rama del saber o ciencia.
- Práctica de laboratorio, que es aquella clase que persigue el objetivo de que los estudiantes dominen el método experimental de la ciencia.
- Seminario, que es aquella clase que persigue el objetivo de que los estudiantes discutan, valoren, analicen y generalicen los contenidos de la ciencia.

De acuerdo con esta clasificación de los tipos de clase, no existen antecedentes de la fundamentación de la Exposición Didáctica como un tipo de clase de la educación superior. Se conoce de su utilización fundamentalmente en la enseñanza artística y en la enseñanza de la arquitectura, pero no planificada como una actividad docente de forma estable y sistemática en los programas de las disciplinas.

Por otra parte, en los últimos años se ha venido precisando la misión de las Universidades y la relación entre los principales procesos que desarrolla. Díaz [41] y González [42] han planteado que si consideramos la Universidad como una institución social que tiene como misión transformar la sociedad, es de suma importancia concebir los procesos de Docencia, Investigación y Extensión Universitaria integrados como un único proceso formativo dirigido a la solución de las necesidades de la vida económica y cultural.

Estos autores han realizado un análisis de los principales problemas para la pertinencia social de las universidades y en la relación Universidad - Sociedad que resumiremos a continuación:

- Los problemas de la práctica social no son objeto de análisis y punto de partida para el diseño del proceso docente educativo.
- Falta integración entre los componentes académico, laboral e investigativo.
- Énfasis en la formación instructiva por encima de la educativa y desarrolladora.
- Deficiencias en la formación humanística de los profesionales.
- Lentitud en la capacidad de respuesta a los problemas sociales por parte de los profesionales.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, estos autores han precisado dos características muy importantes que a su criterio debe reunir la Universidad del siglo XXI:

- La Docencia, la Investigación y la Extensión Universitaria deben integrarse en un solo quehacer, aplicándose a la solución de problemas sociales.
- Debe ser forjadora de ciudadanos conscientes y responsables, dotados de cultura humanística y científica capaces de seguirse formando por sí mismos.

Publicaciones recientes refieren la necesidad de nuevos diseños para la enseñanza de la física en el ámbito teórico – conceptual y metodológico, donde se consideren los avances de la ciencia en la práctica pedagógica y se propicie la participación activa del estudiante en la construcción del conocimiento [43].

Teniendo en cuenta todos los elementos expuestos anteriormente en nuestro trabajo, pensamos que la Exposición Didáctica puede ser considerada como un tipo de clase de la educación superior, particularmente de la disciplina física en las carreras de ingeniería si nos planteamos el cumplimiento del siguiente objetivo:

Que los estudiantes puedan comprender un tema o un aspecto específico del contenido de una asignatura de forma integral como contribución a la formación de una cultura general en los mismos, con la utilización protagónica de los medios de enseñanza adecuados, donde se manifieste en un entorno natural el vínculo Investigación - Docencia - Extensión Universitaria a través de las actividades docentes planificadas.

Para poder diseñar una Exposición Didáctica donde se pueda abordar de manera integral un tema de una asignatura de la disciplina física en las carreras de ingeniería, deben tenerse en cuenta los siguientes elementos:

- El tema seleccionado debe ser de actualidad.
- Debe tenerse en el Departamento una experiencia investigativa y de Extensión Universitaria en la temática.
- El tema debe tener aplicaciones en la especialidad del estudiante y en la vida cotidiana.

Una característica importante de este tipo de clase es que puede servir de complemento a las restantes formas de enseñanza para lograr el aprendizaje integral de la temática de estudio, o sea, que en dependencia de las características y complejidad del tema seleccionado se puede abordar completamente en la Exposición Didáctica o utilizarse la misma en los aspectos de la formación integral que no puedan ser incluidos en los demás tipos de clase.

#### 4.1. Diseño y montaje de una exposición didáctica de holografía

Para ser utilizada en la enseñanza de pregrado y postgrado se diseñó y construyó una exposición didáctica de holografía en el Departamento de Física del Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE) [44, 45] integrada fundamentalmente por hologramas subproducto de las investigaciones, que constituye el embrión de un futuro museo de la historia de la holografía en Cuba. Esta Exposición Didáctica como actividad docente se incluyó en el diseño curricular de la disciplina física en las diferentes carreras que se imparten en este centro y se planifica la misma en los horarios de clases junto al resto de los tipos de clase.

La Exposición Didáctica está integrada por los siguientes elementos:

- Hologramas artísticos de reflexión reconstruibles con luz blanca, subproducto del proceso de elaboración de los hologramas que integran las exposiciones holográficas que se encuentran en varios museos del país.
- Hologramas de transmisión reconstruibles con luz láser.
- Hologramas de imagen enfocada y de arcoiris.
- Colección de hologramas que muestran los defectos principales que aparecen en el proceso de obtención de hologramas para aplicaciones museables.

- Hologramas de doble exposición que muestran los estados tensionales y deformacionales de cuerpos y estructuras.
- Hologramas de personas.
- Hologramas impresos o estampados conocidos como “embossed”.
- Conjunto de pancartas didácticas con diferentes esquemas de registro y de reconstrucción.
- Colección de diapositivas, acetatos y videos sobre aplicaciones de la holografía en diversas ramas de la ciencia y la técnica.
- Maquetas de las mesas holográficas diseñadas y construidas en la CUJAE.
- Fotos y reseñas de los precursores del láser y la holografía.
- Recopilación bibliográfica de la holografía y sus aplicaciones.
- Album con la historia de la holografía en Cuba.
- Computadora con el sitio WEB de holografía de la CUJAE y el acceso a los principales sitios de esta temática en el mundo.

En la Fig. 2 se muestran algunas vistas de la Exposición Didáctica de Holografía que se utiliza en la impartición de la disciplina física en las carreras de Ingeniería en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría (CUJAE), La Habana, Cuba.



Figura 2 - Diferentes vistas de la Exposición Didáctica de Holografía.



Los principales resultados alcanzados en la utilización de la Exposición Didáctica de Holografía son los siguientes:

- Utilización durante 7 cursos académicos en la enseñanza de la física en ingeniería en todas las carreras del Instituto, reportándose mediante encuestas y entrevistas a estudiantes y profesores un incremento considerable de la motivación y comprensión de temas de la física como la óptica y el láser.
- Contribución al conocimiento y difusión del patrimonio cultural cubano y a la formación política, histórica y patriótica de los estudiantes, por el valor de muchos de los objetos holografiados que se exponen.
- Utilización en la enseñanza de posgrado, en la maestría en óptica del Departamento de Física de la CUJAE.
- Utilización en la divulgación de los resultados de investigación obtenidos en esta temática y en la realización de pruebas de mercado para la comercialización de hologramas.
- Utilización en la experiencia de exposiciones holográficas itinerantes en la comunidad.

Los objetivos que nos proponemos cumplimentar con un tipo de clase de estas características son:

Objetivo general:

Lograr en el estudiante un conocimiento integral de la holografía mediante el análisis de la evolución histórica de esta técnica, fundamentos físicos, esquemas y procedimientos de obtención, tipos fundamentales de hologramas y las principales aplicaciones en la vida cotidiana y en la especialidad, contribuyendo a la formación de una cultura general integral acerca del conocimiento de esta técnica y sus aplicaciones.

Objetivos específicos instructivos y educativos:

Que el estudiante al finalizar la actividad sea capaz de explicar los siguientes aspectos:

- Surgimiento y evolución histórica de la holografía hasta la actualidad.
- Fundamentos físicos del proceso de obtención de un holograma.
- Principales esquemas de registro y reconstrucción de un holograma.
- Características fundamentales de los diferentes tipos de hologramas.
- Aspectos fundamentales de la metodología para la fabricación de hologramas.

- La holografía de doble exposición como técnica óptica de ensayo no destructivo.
- Técnicas holográficas importantes y modernas como la holografía de seres vivos, de imagen enfocada y de arcoiris, holografía “embossed”, etc.
- Aplicaciones de las técnicas holográficas en las diferentes especialidades.
- Aplicaciones de las técnicas holográficas en la vida cotidiana.

Además contribuir a la formación integral del estudiante mediante el conocimiento de:

- El valor cultural y patrimonial de la mayoría de los objetos holografiados.
- Los logros fundamentales alcanzados en la implementación y desarrollo de esta técnica en el país.
- Las ventajas económicas de las metodologías propias de fabricación de hologramas a partir del análisis de las patentes nacionales otorgadas.
- Las principales investigaciones que se realizan en este campo en el mundo.
- Las posibilidades y facilidades que brinda la exposición para el desarrollo de trabajos de investigación curriculares y extracurriculares.

#### 4.2. Valoración de los resultados obtenidos en la utilización de la Exposición Didáctica de Holografía

La fundamentación y valoración de los resultados obtenidos en la utilización de la Exposición Didáctica de Holografía en la enseñanza de la disciplina física en las carreras de ingeniería, se estructuró a partir de la aplicación de dos instrumentos:

- Encuesta de entrada a estudiantes
- Encuesta de opinión a estudiantes

A continuación explicaremos cada uno de los instrumentos utilizados y analizaremos los resultados y las conclusiones que se derivan de la aplicación de los mismos.

La encuesta de entrada se aplicó a una muestra aleatoria simple de 420 estudiantes de diferentes facultades del curso regular diurno antes de recibir la actividad docente en la Exposición Didáctica de Holografía, con el objetivo de valorar sus conocimientos previos sobre esta temática y sus aplicaciones.

La encuesta de opinión se aplicó a una muestra aleatoria simple de 379 estudiantes de diferentes facultades después que recibieron la actividad docente en la Exposición Didáctica de Holografía, con el objetivo de valorar mediante una serie de preguntas, sus criterios sobre la importancia y utilidad de este tipo de clase.

**4.2.1. Encuesta de entrada**

1. ¿Qué es un holograma?
2. ¿Conoce usted alguna aplicación de la holografía en la vida cotidiana? Ejemplifique.
3. Explique usted como en la construcción de un holograma se aplican los fenómenos de interferencia y difracción.
4. ¿Es posible obtener la imagen tridimensional de un objeto por métodos ópticos?
5. ¿Conoce usted de la existencia de algún método óptico que permita visualizar los estados tensionales o deformacionales de los cuerpos?

**4.2.2. Resultados de la encuesta de entrada a estudiantes**

Total de estudiantes encuestados - 420

- Pregunta # 1
  - Respuesta satisfactoria - 42 (10%)
  - Respuesta no satisfactoria - 378 (90%)
- Pregunta # 2
  - Respuesta satisfactoria - 55 (13%)
  - Respuesta no satisfactoria - 365 (87%)
- Pregunta # 3
  - Respuesta satisfactoria - 6 (1.4%)
  - Respuesta no satisfactoria - 414 (98.7%)
- Pregunta # 4
  - Respuesta satisfactoria - 38 (9%)
  - Respuesta no satisfactoria - 382 (91%)
- Pregunta # 5
  - Respuesta satisfactoria - 2 (0.5%)
  - Respuesta no satisfactoria - 418 (99.5%)

La Fig. 3 muestra un resumen de los resultados obtenidos.

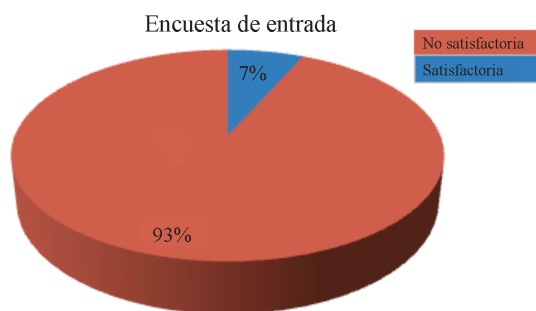


Figura 3 - Resumen de los resultados obtenidos en la aplicación de la encuesta de entrada.

**4.2.3. Análisis de los resultados**

- Solo un 10% de los estudiantes conoce de forma aceptable qué es un holograma y alguna aplicación en la vida cotidiana.

- Menos de un 2% de los estudiantes conoce los fundamentos físicos de la holografía y la interferometría holográfica.

**4.2.4. Encuesta de opinión**

Has concluido la actividad docente en la Exposición Didáctica de Holografía. Nos resulta de gran interés tus opiniones sobre la misma. Te pedimos que marques con una X en la casilla que le corresponda.

Especialidad:

- |                    |     |             |     |
|--------------------|-----|-------------|-----|
| Eléctrica          | ( ) | Hidráulica  | ( ) |
| Automática         | ( ) | Mecánica    | ( ) |
| Telecomunicaciones | ( ) | Industrial  | ( ) |
| Química            | ( ) | Informática | ( ) |
| Civil              | ( ) |             |     |

1. La actividad contribuyó a incrementar tu motivación por la física.

- ( ) Contribuye notablemente
- ( ) Contribuye
- ( ) No contribuye

2. El nivel de asequibilidad de los contenidos tratados es:

- ( ) Alto
- ( ) Bajo
- ( ) Adecuado
- ( ) No tengo respuesta

3. La actividad permitió conocer que es la holografía, sus fundamentos, esquemas de registro y los principales tipos de hologramas.

- ( ) Mucho
- ( ) Regular
- ( ) Aceptable
- ( ) Poco

4. La actividad permitió conocer las posibilidades de aplicación de la holografía a tu especialidad.

- ( ) Mucho
- ( ) Regular
- ( ) Aceptable
- ( ) Poco

6. El tiempo de duración de la actividad pareció:

- ( ) Largo
- ( ) Adecuado
- ( ) Corto

7. La actividad permitió que conocieras algunas de las principales aplicaciones de la holografía en la vida cotidiana.

- ( ) Mucho
- ( ) Regular
- ( ) Aceptable
- ( ) Poco

**4.2.5. Resultados de la encuesta de opinión (de salida) de los estudiantes que recibieron la actividad docente en la Exposición Holográfica**

Total de estudiantes encuestados por especialidad:

- |                        |                           |
|------------------------|---------------------------|
| Eléctrica: 40          | Automática: 25            |
| Telecomunicaciones: 35 | Química: 30               |
| Civil: 45              | Hidráulica: 30            |
| Mecánica: 88           | Industrial: 54            |
| Informática: 32        | <b>Total general: 379</b> |

#### 4.2.6. Análisis de los resultados

- Más del 90% de los estudiantes reconocen que la actividad en la exposición didáctica contribuyó a incrementar su motivación por la física, que los contenidos impartidos son asequibles y que pudieron conocer los fundamentos de la holografía.
- En relación con el conocimiento de las posibilidades de aplicación de la holografía a la especialidad de cada estudiante las respuestas las podemos clasificar en tres grupos (ver Fig. 4).

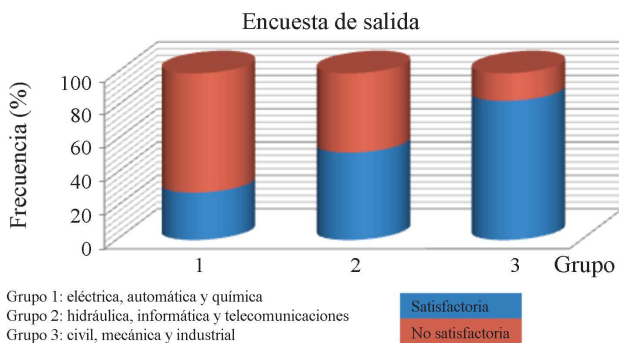


Figura 4 - Resultados de la encuesta de salida de los estudiantes por grupos de Facultades en relación con la contribución de la Exposición Didáctica al conocimiento de las aplicaciones de la holografía.

1. Un primer grupo formado por los estudiantes de las especialidades de eléctrica, automática y química en que solamente de un 22% a un 35% del total de estudiantes encuestados reconoce que la actividad contribuyó de alguna manera a conocer las posibilidades de aplicación de la holografía a sus especialidades. Este resultado queda explicado plenamente cuando establecimos que para el diseño de la Exposición Didáctica debe tenerse en el Departamento una experiencia investigativa en el tema expuesto. En la Exposición Didáctica de Holografía hay pocos ejemplos de aplicación a estas carreras.
2. Un segundo grupo formado por los estudiantes de las especialidades de hidráulica, informática y telecomunicaciones en que en el intervalo entre 47% y 58% del total de estudiantes encuestados reconoce que la actividad contribuyó de alguna manera a conocer las posibilidades de aplicación de la holografía a sus especialidades.
3. Un tercer grupo formado por los estudiantes de las especialidades de civil, mecánica e industrial en que en el intervalo entre 78% y 89% del total de estudiantes encuestados reconoce que la actividad contribuyó de alguna manera a conocer las posibilidades de aplicación de la holografía a sus especialidades. Son en estas carreras donde

existe una mayor experiencia de investigación del Grupo de Holografía de la CUJAE cuyos resultados investigativos se encuentran en la Exposición Didáctica.

- Mas del 94% de los estudiantes reconoce la contribución de la actividad al conocimiento del patrimonio cultural cubano por el valor histórico y patrimonial de muchos de los objetos holografados.
- Aunque existen pequeñas diferencias lógicas entre las respuestas relacionadas con el tiempo de duración de la actividad debido a las características de cada especialidad, menos del 10% de los estudiantes considera largo el tiempo de la actividad, alrededor del 75% de los estudiantes lo considera adecuado y un 15% lo considera insuficiente.
- De igual forma, aunque con algunas fluctuaciones de acuerdo a la especialidad de los estudiantes mas del 90% de los estudiantes reconoce que la actividad le permitió conocer las principales aplicaciones de la holografía a la vida cotidiana.

## 5. Conclusiones

Se ha realizado la fundamentación del holograma como un medio de enseñanza de la física, definiéndose las funciones didácticas específicas que lo distinguen y se analizaron las potencialidades de la utilización del holograma como medio de enseñanza tomando como fundamento algunos de los planteamientos fundamentales del enfoque histórico cultural de L.S. Vigotski y otros investigadores en relación con la importancia de la motivación en el proceso de aprendizaje y la necesidad de utilización de métodos participativos que permitan la creación de un ambiente de trabajo colectivo.

Se ha puesto de manifiesto la factibilidad de utilización del holograma como medio de enseñanza de la disciplina física en las carreras de ingeniería mediante la fundamentación de la Exposición Didáctica como un tipo de clase de esta disciplina, el diseño, construcción y utilización durante 7 cursos académicos de una Exposición Didáctica de Holografía y su contribución a la formación de una cultura general integral en los estudiantes sobre la holografía y sus aplicaciones en la técnica y en la vida cotidiana.

## Referencias

- [1] G. Saxby, *Practical Holography* (Cambridge, University Press, Cambridge, 1996).
- [2] Universidad Politécnica de Cataluña, <http://goliat.upc.es>, tomado en febrero 2008.
- [3] Universidad Carlos III de Madrid, [www.uc3m.es](http://www.uc3m.es), tomado en febrero de 2008.

- [4] Universidad Complutense de Madrid, [www.ucm.es](http://www.ucm.es), tomado en febrero de 2008.
- [5] Universidad de Zaragoza, [www.unizar.es](http://www.unizar.es), tomado en febrero de 2008.
- [6] Universidad Autónoma de México, [www.unam.mx](http://www.unam.mx), tomado en febrero de 2008.
- [7] Pontificia Universidad Católica del Perú, [www.pucp.edu.pe](http://www.pucp.edu.pe), tomado en febrero de 2008.
- [8] Unión de Universidades de América Latina (UDUAL), [www.unam.mx/udual](http://www.unam.mx/udual), tomado en febrero de 2008.
- [9] University of Ghent, [www.rug.ac.be](http://www.rug.ac.be), tomado en febrero de 2008.
- [10] University of Oxford, [www.ox.ac.uk](http://www.ox.ac.uk), tomado en febrero de 2008.
- [11] J. García, *Los Medios en el Proceso Pedagógico* (Curso a distancia, Dirección de Tecnología Educativa I.S.P. Enrique José Varona, 1997).
- [12] V. González, *Teoría y Práctica de los Medios de Enseñanza* (Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 1986).
- [13] A. García, *Acerca de la Capacitación Didáctico - Metodológica de los Estudiantes para el Trabajo con los Medios de Enseñanza en las Universidades Pedagógicas de la República de Cuba* (Tesis doctoral, ISPJAE, Cuba, 1989).
- [14] C. Alvarez, *Hacia una Escuela de Excelencia* (Editorial Academia, Cuba, 1996).
- [15] I. Parra, Revista Electrónica Órbita Científica **1**, Cuba, en [www.ceniai.inf.cu](http://www.ceniai.inf.cu), tomado en diciembre 2007.
- [16] B. Fernández, *Los Medios de Enseñanza y la Tecnología Educativa* (Material del curso de posgrado de Pedagogía, ISPEJV, Cuba, 1997).
- [17] J. Macías, *Un Software como Medio Didáctico para la Enseñanza de la Lectura en la Licenciatura en Lengua Inglesa* (Tesis Doctoral, ISPJAE, 2000).
- [18] A. Porto, *Tareas para Capacitarse en el Trabajo con los Medios* (Tesis Doctoral, ISPEJV, Cuba, 1995).
- [19] J. Cubero, *Psicopedagogía de los Medios de Enseñanza*, (Material inédito, 1997).
- [20] C. Bravo, *Un Sistema Multimedia para la Preparación Docente en Medios de Enseñanza, a través de un Curso a Distancia* (Tesis Doctoral, ISPEJV, Cuba, 1999).
- [21] E. Dorrego, *Dos Modelos para la Producción y Evaluación de Materiales Instruccionales* (Fondo editorial de la Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1991).
- [22] B. Araujo, *Tecnología Educativa, Teoría de la Instrucción* (Editora Vozes, Brasil, 1991).
- [23] V. González, *Teoría y Metodología del Uso de la Televisión en Circuito Cerrado como Parte del Sistema de Medios de Enseñanza de la Educación Superior* (Tesis Doctoral, ISPEJV, Cuba, 1984).
- [24] V. González, *Diccionario Cubano de Medios de Enseñanza y Términos Afines* (Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba, 1993).
- [25] J. Cabero, *Análisis de Medios de Enseñanza* (Alianza, Sevilla, 1990).
- [26] G. Norbis, *Didáctica y Estructura de los Medios Audiovisuales* (Editorial Kapeluz, Buenos Aires, 1978).
- [27] L. Klingberg, *Introducción a la Didáctica General* (Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de la Habana, Cuba, 1978).
- [28] B. Fernández, *Utilización del Sistema de Medios de Enseñanza en la Asignatura: Anatomía, Fisiología e Higiene del Hombre, de la Educación General y Politécnica* (Tesis Doctoral, ISPEJV, Cuba, 1989).
- [29] L. Vigotsky, *Historia de las Funciones Psíquicas Superiores* (Editorial Científico-Técnica, La Habana, 1987).
- [30] L. Vigotsky, *Pensamiento y Lenguaje* (Edición Revolucionaria, La Habana, 1966).
- [31] P. Galperin, *Sobre el Método de Formación por Etapas de las Acciones Intelectuales* (Pueblo y Educación, C. de la Habana, 1982).
- [32] N. Talizina, *Conferencia sobre Los fundamentos de la enseñanza en la Educación Superior* (Ciudad de la Habana, Material impreso, Universidad de la Habana, CEPES, 1985).
- [33] O. González, *El Enfoque Histórico-Cultural como Fundamento de una Concepción Pedagógica* (Universidad de la Habana, Habana, 1996).
- [34] R. Serra, *La Utilización del Holograma como Medio de Enseñanza y de Educación Social en Cuba a través del Vínculo Investigación-Docencia-Extensión Universitaria* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 2004).
- [35] A. García, *Física General Aplicada: Novedosa Concepción para la Enseñanza de la Física en Ciencias Técnicas* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 1997).
- [36] P. Horrutinier, *El Perfeccionamiento del Sistema de Conocimientos en la Disciplina Física para Estudiantes de Ingeniería* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 1998).
- [37] A. Patiño, *Una Concepción de Modernización para la Disciplina Física General en Ciencias Técnicas* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 2000).
- [38] A. Ferrat, *La Resolución de Problemas de Física. Un Estudio para Propiciar su Aprendizaje Mediante el uso de Estrategias de Solución* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 1999).
- [39] H. Falcón, *Una Concepción de Profesionalización desde la Disciplina Física General en Ciencias Técnicas* (Tesis Doctoral, ISPJAE, Cuba, 2003).
- [40] C. Alvarez, *Fundamentos Teóricos de la Dirección del Proceso Docente Educativo en la educación Superior Cubana* ( Editorial del MES, Cuba, 1989).
- [41] T. Díaz, en *Conferencia Magistral del VI Taller Internacional de Extensión Universitaria*, (Ciudad de la Habana, Cuba, 2001).
- [42] G. González, en Conferencia de la 3ra Convención Internacional de Educación Superior (Palacio de Convenciones, Ciudad de la Habana, Cuba, 2002).
- [43] N. Oliveira, Revista Brasileira de Ensino de Física **30**, 1401 2008.
- [44] R. Serra, *VI Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física en Ingeniería*, (ISPJAE, Ciudad de la Habana, Cuba, 2004).
- [45] R. Serra, en 3ra Convención Internacional de Educación Superior, (Palacio de Convenciones, Ciudad de la Habana, Cuba, 2006)