

Revista cubana de Física

Vol. 27, No.2A, 2010

~~TIBERO 2009~~

V Taller Iberoamericano de
Enseñanza de la Física Universitaria

Sociedad Cubana de Física
Facultad de Física, Universidad de La Habana



La Revista Cubana de Física (*RCF*), publica artículos originales de investigación, revisión y divulgación en el campo de la Física.

Editor

María Sánchez Colina
Facultad de Física,
Universidad de la Habana 10400
San Lázaro y L, Vedado
Ciudad de la Habana. Cuba
maruchy@fisica.uh.cu

Editores asociados

Ernesto Altshuler
Alfo José Batista Leyva
Víctor Fajer Ávila
Augusto González
Oscar Díaz Rizo
Roberto Mulet

Edición WEB

A. González Arias
arnaldo@fisica.uh.cu

R. Cuan
rcuan@fisica.uh.cu



Instrucciones a los autores

1. Los manuscritos enviados a la RCF son contribuciones originales que no están bajo la consideración de otra revista. La revista publica artículos de tres categorías (a) de revisión, conciliados previamente con el Consejo Editorial, con una extensión máxima de 10 páginas; (b) de investigación, con un máximo de 6 páginas; (c) de divulgación, con extensión no mayor de 6 páginas. Se aceptan artículos en español e inglés.
2. El manuscrito deberá ajustarse a las instrucciones y formato de la plantilla que se proporcionan, a descargar del sitio <http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/index.htm>, usando cualquier versión de LaTeX o Microsoft Office Word. No se aceptan otros formatos. También es posible solicitar el envío de la plantilla por correo electrónico.
3. Hay una plantilla para artículos/revisiones y otro para divulgación. **Las instrucciones en el cuerpo de la plantilla se deben leer detenidamente** para evitar retrasos posteriores. *Los manuscritos que no se ajusten a las especificaciones de la plantilla serán devueltos sin iniciar proceso.* Es necesario prestar especial atención a los gráficos y figuras, ubicándolos en el formato pedido (300 dpi, 8 cm de ancho). Posibles excepciones en el tamaño a conciliar con el Consejo Editorial.
4. El procedimiento de arbitraje consta de un sólo paso. El Comité Editorial, oído el criterio de los árbitros, aceptará o rechazará el artículo de forma definitiva. En caso de aceptación, y de acuerdo al arbitraje, el artículo podrá ser remitido al autor para correcciones.
5. Enviar el manuscrito a rcf@fisica.uh.cu.

Correo ordinario:

*Editor Revista Cubana de Física
Facultad de Física
Universidad de la Habana
San Lázaro y L, La Habana 10400
Cuba.*

Comencemos con la entropía	113
Introductory chemical dynamics: using the chemical potential from the start	119
Termodinámica: metodología para un mejor aprendizaje	125
Propuesta de uso de software de diseño mecánico como estrategia de enseñanza de la termodinámica	130
Aspectos termodinámicos de la meteorología y su influencia en la dispersión de los contaminantes atmosféricos	134
Una página web para la enseñanza del concepto entropía	138
El uso de las TIC's en la enseñanza a distancia: el camino hacia la evaluación continua en red	142
Uso de una hoja de cálculo en la enseñanza de una disciplina no experimental	147
Experimentos de ondas usando transductores de ultrasonido	151
Sistema de prácticas de laboratorio para la asignatura física III de ingeniería mecánica; evaluación de su impacto en la calidad y formación del profesional	154
Uso de las funciones de ajuste en el laboratorio teniendo en cuenta la correlación entre sus parámetros	160
Un modelo pedagógico para la enseñanza y aprendizaje de física experimental básica	163
Montaje experimental para la medición de las curvas resonantes del modo radial a altas temperaturas	167
Elaboración de material didáctico para la enseñanza del funcionamiento de motores de combustión interna	171
Enseñanza tradicional vs. aprendizaje activo para alumnos de ingeniería	175
Problemas cualitativos en el curso de física para diseñadores industriales	180
Conceitos microscópicos como necessidade do nonhecimento macroscópico na termologia	184
Experiencias de un curso introductorio de física para los estudiantes de la carrera de ingeniería civil en la UMCC	188
Propiedades circulares, elípticas y parabólicas en el lanzamiento de proyectiles	193
¿Es útil aún el modelo del átomo de Thomson para la enseñanza de la física general en las carreras de ingeniería?	197

RCF

REVISTA CUBANA DE FÍSICA

UNIVERSIDAD DE LA HABANA

Dos números al año



*Una publicación conjunta de la
Sociedad Cubana de Física y la
Facultad de Física de la Universidad de la Habana.*

San Lázaro y L. Colina Universitaria, Vedado, Ciudad Habana.

Artículos originales de investigación, revisión y divulgación en inglés y español en el campo de la Física. ISSN: 0253-9268.

*Selección de artículos presentados en el
V Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria.*

Revisados y editados por el Comité Organizador del Taller.



Comité científico internacional

S. Aguilera Morales. Universidad Católica del Norte. Antofagasta (Chile); N. Arias Ávila. Universidad Distrital de Bogotá (Colombia); O. Calzadilla Amaya. Universidad de La Habana (Cuba); C. Carreras Béjar. UNED (España); J. Fuentes Betancourt. Universidad de La Habana (Cuba); J. Granados Samaniego. UAM-A (México); F. Herrmann. Universidad de Karlsruhe (Alemania); M. Michellini. Universidad de Udine (Italia); E. Moltó Gil. Instituto Superior Pedagógico “Enrique José Varona” (La Habana, Cuba); C. E. Mora Ley. IPN (México); A. Pérez Perdomo. Universidad de La Habana (Cuba); V. Tricio Gómez. Universidad de Burgos (España); M. Yuste Llandres. UNED (España).

Comité local

Brasil:

Josefina Barrera Kalhil. Universidad del Estado de Amazonas.

Universidad de La Habana:

O. Calzadilla Amaya; A. del Cueto Inastrilla; A. Fornés Coujil; J. Fuentes Betancourt; A. González Arias; A. Pérez Perdomo; J. Vidal Larramendi.

RCF

Comencemos con la entropía

F. Herrmann

Universidad de Karlsruhe, Alemania; friedrich.herrmann@physik.uni-karlsruhe.de

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Abstract. When dealing with the concept of heat, the layman does not have particular problems: Heat is contained in hot bodies. The greater and the hotter a body, the more heat it contains. Heat goes or flows by itself from hot to cold, or from hot to less hot. Heat is produced within a flame, by mechanical friction or in the wire of a light bulb. It is strange, that physics has trouble with the concept of heat. Simple statements about the every-day concept of heat become incorrect, when interpreted in terms of the physical process quantity Q . They become correct, however, when the every-day heat concept is identified with the physical quantity “entropy” instead of Q . At the same time, one gets a simple intuition about entropy, otherwise infamous for its abstractness. A teaching sequence corresponding to the first five lessons of a thermodynamics course for beginners is presented, where entropy is introduced from the very beginning. In this short period of teaching time, not only the second and the third principle are introduced, but we also come to a physical description of basic processes of our everyday “thermal experience”. Entropy appears as a quantity no more difficult than length, time or mass.

Sumario. Al tratar con el concepto de calor, el hombre común no tiene demasiados problemas; él considera que el calor está contenido en los cuerpos calientes. Cuanto más grande y más caliente sea un cuerpo, tanto más calor contiene. El calor pasa por sí sólo desde lo más caliente a lo más frío, o desde lo caliente a lo menos caliente. El calor se puede generar de diversas formas: en una llama, por fricción mecánica o en el filamento de una lámpara incandescente, entre otras. Puede parecer extraño que la Física tenga dificultades con dicho concepto. Proposiciones sencillas de la vida cotidiana sobre el calor resultan incorrectas, cuando se las interpreta en términos de la magnitud física Q . Sin embargo, se vuelven correctas al identificar el calor del profano con la magnitud física “entropía”, en lugar de Q . Así se logra al mismo tiempo un concepto intuitivo y simple sobre la entropía, magnitud normalmente conocida por su alto grado de abstracción. Presentamos las cinco primeras lecciones de un curso de termodinámica para principiantes, introduciendo la entropía desde el comienzo del curso. Se muestra que en pocas horas de clase es posible enseñar y analizar el segundo y tercer principios, y que se puede llegar a una descripción física de procesos típicos de la vida cotidiana. La entropía se presenta como una magnitud que no es más difícil de entender y aprender que la longitud, el tiempo o la masa.

Palabras clave. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, entropy thermodynamics 05.70.-a

1 Introducción

“Comencemos con la entropía”. El título quiere decir: cuando enseñamos la termodinámica, es decir la ciencia del calor, introduzcamos desde el comienzo no solamente la temperatura, sino también la entropía.

¿Pero no es la entropía un concepto demasiado difícil para empezar? ¿Y no se puede hacer una buena termodi-

námica sin entropía? Intentaremos demostrar que la respuesta a ambas preguntas es “no”. En la primera parte del artículo veremos porqué. En la segunda parte esbozaremos las lecciones iniciales de un curso de termodinámica.

Este curso ha sido concebido inicialmente para la Universidad. Pero hoy existen también versiones para la escuela secundaria I y II. La versión escolar existe en

varios idiomas: Aparte de la versión original en alemán hay una en inglés, en italiano y en chino y el curso ha sido traducido parcialmente al español. Las versiones inglés, italiana y española se pueden descargar libremente de la red¹.

El curso, conocido con el nombre *Curso de Física de Karlsruhe*, o *KPK* (las iniciales en alemán), engloba no solamente la termodinámica, sino toda la física. Sin embargo, todos los sub-campos de la física están hechos según el patrón de la termodinámica. Hay razones para escoger la termodinámica como modelo. De hecho, la termodinámica es esa parte de la física que ha sobrevivido casi indemne a la tormenta de la teoría de la relatividad y al huracán de la mecánica cuántica. Mientras en la mecánica tradicional los conceptos básicos son: el cuerpo o la partícula, así como las fuerzas de interacción, los conceptos básicos de la termodinámica son el “sistema”, el “estado” y el “proceso” (o la transición). Estos son los mismos conceptos que más tarde se aplicarán en la mecánica cuántica.

2 Una analogía

En la física existen varias analogías. Veamos algunos ejemplos:

- la analogía entre los campos eléctrico y magnético, que refleja la simetría de las ecuaciones de Maxwell;
- la analogía entre la mecánica de los movimientos de traslación y rotación.

Consideramos en lo siguiente una analogía que comprende una parte sustancial de toda la física. La tabla 1 muestra cómo funciona. En esta analogía las magnitudes extensivas cantidad de movimiento p , carga eléctrica Q , entropía S y cantidad de sustancia n se corresponden. Se corresponden también las magnitudes intensivas “conjugadas” velocidad v , potencial eléctrico ϕ , temperatura absoluta T y potencial químico μ . A cada magnitud extensiva le corresponde también un flujo o una corriente: la corriente mecánica o fuerza F , la corriente eléctrica I , la corriente de entropía I_S y la corriente de sustancia I_n .

Muchas relaciones que existen entre las magnitudes de un campo de la ciencia (una línea en la tabla) tiene una contraparte en otro campo. La última columna de la tabla 1 muestra un ejemplo. Cada una de las ecuaciones de esta columna corresponde a un flujo de energía P . Si la ecuación pertinente es la de la segunda línea, entonces el intercambio de energía es llamado “trabajo”. La segunda ecuación (tercera línea) corresponde a lo que se llama energía eléctrica. (La letra U significa una diferencia del potencial eléctrico.) La ecuación de la cuarta línea describe un transporte en forma de calor, y la última línea corresponde a energía química.

En el *KPK*^{1,2} se aprovecha esta analogía. Por el momento sacamos una sola conclusión de la tabla 1: si tomamos en serio esta analogía, entonces podemos decir que cada una de las magnitudes extensivas debería ser el protagonista del campo de física correspondiente:

La mecánica es la parte de la física que trata sobre la

cantidad de movimiento y las corrientes de la cantidad de movimiento (las fuerzas). La ciencia de la electricidad es la parte de la física que trata sobre la carga eléctrica y las corrientes eléctricas. La física térmica se ocupa de la entropía y de las corrientes de entropía.

Podemos ir aun más lejos con nuestras conclusiones:

Enseñar la termodinámica sin entropía y sin corrientes de entropía es como enseñar la mecánica sin cantidad de movimiento y sin fuerzas o es como enseñar la electricidad sin carga eléctrica y sin corriente eléctrica.

Para la enseñanza de la termodinámica esto significa: *Enseñamos la entropía desde el comienzo.*

	Magnitud extensiva	Magnitud intensiva	Corriente	Corriente de energía
Mecánica	cantidad de movimiento p	velocidad v	corriente de momentum (= fuerza) F	$P = v \cdot F$
Electricidad	carga eléctrica Q	potencial eléctrico ϕ	corriente eléctrica I	$P = U \cdot I$
Termodinámica	entropía S	temperatura absoluta T	corriente de entropía I_S	$P = T \cdot I_S$
Química	cantidad de sustancia n	potencial químico μ	corriente de sustancia I_n	$P = \mu \cdot I_n$

3 El concepto tradicional del calor

La termodinámica o física térmica tal como se la enseña normalmente es una de las partes ‘feas’ de la física. ¿Por qué?

La física térmica tiene que ver con la temperatura y el calor. El hombre común tiene una intuición sana para ambos conceptos: La temperatura mide lo que se caracteriza cualitativamente con los términos “caliente” y “frío”, y el calor es algo que se encuentra por ejemplo en una bolsa de agua caliente: Si hay mucha agua en la bolsa y si el agua está muy caliente, entonces hay mucho calor en la bolsa. El hombre común también sabe que el calor sale de la bolsa y se va al ambiente, si espera un rato. Sabe además que se puede producir o generar o crear calor de varios modos: en una llama, en un filamento eléctrico o por fricción.

Pasamos al físico, al experto: en cuanto a la temperatura tiene el mismo concepto que el hombre común. Sin embargo, su concepto del calor es distinto. Para él, un cuerpo, después de haber recibido cierta cantidad de calor, no contiene más calor. Se agrega calor a un cuerpo, pero después el cuerpo no contiene más calor. ¿Cómo es posible? El físico nos explica que no es el calor, sino la energía interna que ha aumentado.

Muchos estudiantes están convencidos que en realidad el calor del cuerpo aumenta al suministrar calor. Creen que solamente no es permitido decirlo. En realidad, no es solamente una manera de hablar.

Consideremos un ejemplo que es aun más intrincado. Hay agua a 100 °C en un recipiente. Agregamos una cantidad de calor de 15 kJ de modo que se vaporiza una parte del agua. Parece razonable pensar que el vapor que

ha surgido contiene 15 kJ más de calor que el que tenía antes, al estar todavía en forma de agua líquida. Sin embargo, esto no es correcto. Como todos sabemos no es el calor del vapor quien es mayor en 15 kJ respecto al agua líquida sino la entalpía.

Nosotros, los físicos, estamos acostumbrados a esta clase de fealdades, y estamos convencidos de que se trata de una dificultad intrínseca y inevitable de la termodinámica. Y probablemente muchos físicos piensan que el hombre común sencillamente está equivocado.

Veremos más tarde que el hombre común no está tan equivocado. Veremos además que las acrobacias verbales no son una consecuencia necesaria de las leyes de la física y veremos también que la física térmica no es intrínsecamente difícil. Las complicaciones mencionadas resultan solamente de una presentación inapropiada de la termodinámica. Están debido al hecho de que la termodinámica tradicional no se aprovecha de las propiedades sencillas y del comportamiento sencillo de la entropía.

Para ver lo que no va bien, tenemos que echar una mirada en la historia del concepto de calor.

4 Algunas observaciones sobre la historia del concepto de calor

El concepto de calor ha asumido el carácter de una magnitud física a finales del siglo XVIII. El paso decisivo lo dio el químico escocés Joseph Black (1728-1799)^{3,4}. Fue Black quien distinguió claramente entre una magnitud intensiva “temperatura” y la magnitud extensiva “calor”. También introdujo los conceptos de calor específico y calor latente. No hay que decir que su calor era una magnitud de estado.

Este concepto de calor era una construcción sana, según los criterios de la física, y fue aceptado en su época. Ha sido este mismo concepto el que utilizó Carnot⁵ en sus famosas *Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas aptas para desarrollar esta potencia* donde estudia cuanto trabajo se puede realizar al pasar el calor en una máquina térmica de una temperatura alta a una baja. Esto ocurrió en el año 1824.

Más adelante, 25 años más tarde, el concepto de calor le ocurrió el percance: Cuando Joule (1818-1889), Mayer (1814-1878), Helmholtz (1821-1894) y Lord Kelvin (1824-1907) introdujeron la energía.

En realidad el percance no era la introducción de la energía. Más bien era el hecho que la comunidad científica era demasiado entusiasta de la nueva magnitud. Introdujeron un concepto nuevo para la descripción de transportes térmicos de energía. Este concepto era análogo al concepto de trabajo, que ya existía antes, y que servía para la descripción de transmisiones mecánicas de energía. Ambos conceptos – calor y trabajo – han sido llamados más tarde magnitudes de proceso, para contrastarlas con todas las demás magnitudes físicas, que a veces son llamadas magnitudes de estado. El percance era que llamaron a esta nueva magnitud “calor”. Se puede preguntar porqué se escogía un nombre que ya era en uso

para otra magnitud. La respuesta es sencilla: Se pensaba que la antigua magnitud de Black y Carnot era la misma que la nueva magnitud de proceso. Creyeron que Black y Carnot no se habían dado cuenta que su calor era una forma de energía, o sea, una magnitud del tipo del trabajo mecánico.

Sin embargo con esta interpretación, algunas conclusiones de Black y de Carnot entraron en contradicción con las de los energeticistas. Se concluía que algunos resultados de Black y Carnot eran erróneos. Nadie se dio cuenta de que se tratase de dos magnitudes distintas. Desde un punto de vista moderno, la magnitud de Black no es otra cosa que lo que hoy llamamos entropía⁴.

Resumiendo: El nombre “calor” fue atribuido a una forma de energía recién inventada, y se imputó a Black y Carnot que ellos habían aspirado a introducir la energía, pero sin lograrlo.

Las consecuencias de esta desgracia eran catastróficas para la termodinámica⁶. No solamente que una magnitud desapareció de la física, sino – lo que es más grave – su nombre ha sido robado. El nombre “calor” (calore, heat, chaleur, wärme) fue atribuido a una forma de energía. De ahora en adelante era imposible decir que un cuerpo o un sistema *contiene* calor.

La magnitud que ahora portaba el nombre calor, era difícil de manejar. Además la magnitud sencilla e importantísima de Black había desaparecido de la física.

No había modo de expresar la cantidad de calor contenida en un cuerpo. Sin embargo, era evidente que tal medida era indispensable para la física y aun más para la química. Como consecuencia aparecieron varios sustitutos poco satisfactorios. Lo más conocido es la entalpía. Pero esto no cambió en nada el hecho de que la antigua magnitud de Black y Carnot seguía faltando. Desde el punto de vista de hoy no es una sorpresa que la antigua magnitud haya encontrado su camino de retorno a la física. Sin embargo apareció como algo nuevo y se le dio un nombre nuevo: Era la *entropía* introducida por Clausius en 1865. En este momento nadie, ni el mismo Clausius se dio cuenta de que la magnitud no era nada nueva sino era la resurrección del calor de Black. Y nadie se dio cuenta de que la entropía no era otra cosa que el concepto de calor del hombre común.

Este raro estado permaneció por casi medio siglo. Solamente en el 1911 el termodinámico inglés H. L. Callendar (1863-1930) se percató del embrollo y reveló su descubrimiento en un artículo muy bello en los *Proceedings of the Physical Society of London*⁷.

Citamos solamente algunas frases de este artículo: “Finalmente, en 1865, cuando su importancia [la importancia del calórico] fue más ampliamente reconocida, Clausius le atribuyó el nombre ‘entropía’ y lo definió como la integral dQ/T . Tal definición gusta solamente al matemático. Haciendo justicia a Carnot, se le debería llamar calórico, y definir directamente por su ecuación $W = AQ(T - T_0)$, que cualquier escolar puede comprender. Pero también el matemático puede ganar imaginándose el calórico como fluido, como la electricidad, capaz de ser producido por fricción o otros procesos irreversi-

bles.”

Desafortunadamente, este descubrimiento vino tarde. Aparentemente, un concepto que es establecido desde hace más de 50 años no tiene ninguna posibilidad de ser cambiado. Por lo tanto, este trabajo de Callendar pasó casi inadvertido, y la comunidad de los físicos continuaba luchando con un concepto de calor inapropiado y un concepto de entropía aparentemente incomprensible.

La historia no se termina aquí. Sesenta años después de la publicación de Callendar, la incoherencia ha sido descubierta de nuevo. En 1972 apareció un libro con el título⁸ “Nueva representación de la termodinámica – la entropía como calor”. Cuando escribió el libro, el autor, Georg Job, no conocía la publicación de Callendar. Más tarde, en 1996, apareció el libro „The dynamics of heat“ de Hans Fuchs⁹, que está basado en las mismas ideas.

5 La entropía como calor

Volvamos a la pregunta: ¿Pero, no es la entropía demasiado difícil para el principiante? La entropía es la magnitud que antaño se llamaba calor. Este nombre era absolutamente justificado, porque la correspondencia entre el concepto cotidiano de calor y la entropía de la física es casi perfecta. Si se aprovecha de esta correspondencia la enseñanza de la entropía se vuelve más fácil que la de la mayoría de las demás magnitudes físicas. Conforme a nuestra experiencia podemos confirmar que la entropía es una de las magnitudes más fáciles de enseñar, comparable a las magnitudes longitud, tiempo o masa. Podemos confirmar que el hombre común y por consiguiente también nuestros estudiantes antes de su primera clase de termodinámica tienen un sólido saber del segundo principio.

6 Las cinco primeras lecciones

En lo siguiente esbozaremos las cinco primeras lecciones de la termodinámica del KPK. Inicialmente, el curso había sido concebido para estudiantes de 14 a 15 años de edad. Sin embargo, en los últimos 20 años ha sido puesto a prueba y aplicado a estudiantes mayores y menores, empezando con alumnos de 11 años hasta estudiantes de la universidad.

Las cinco lecciones tal como las presentaremos aquí están comprimidas en un factor 10 aproximativamente. Se las presentan en forma de un diálogo tal como se puede desarrollar en el aula. Reproducimos respuestas y comentarios típicos de los alumnos tal como lo hemos experimentado enseñando el curso muchas veces.

Primera lección. Profesor (P): Hoy empezamos con un tema nuevo: La física del calor, o la termodinámica. Sabéis que en física se utilizan magnitudes físicas, o sea describimos el mundo cuantitativamente, con números. Todos ustedes conocen una magnitud que sirve para describir el estar frío o caliente.

Estudiante (E): La temperatura. **P:** Correcto, la temperatura.

Introducimos el símbolo y la unidad de medición, los centígrados.

En física se establecen relaciones entre magnitudes. Entonces hace falta por lo menos una magnitud más para describir el estar frío o caliente. Esta magnitud ya la conocen también. Nos dice cuanto calor hay dentro de un cuerpo, cuanto calor está contenido en un objeto. En otros términos: la cantidad de calor. Por ejemplo: Dentro de una bolsa de agua caliente hay calor. Esta es nuestra segunda magnitud.

A menudo, los físicos dan nombres particulares a las magnitudes para que no se confunden con otra cosa. Al calor contenido en un cuerpo caliente llaman entropía. La abreviación o el símbolo de la entropía es “S”. Su unidad de medición es el Carnot, abreviado Ct. Veremos más tarde cuanto vale un Carnot. Bueno, a ver si han comprendido. Voy a hacer preguntas en las cuales aparece la palabra “entropía”. Cada vez que digo entropía ustedes piensan “cantidad de calor”, en el sentido común.

Aquí (*Figura 1*) hay agua fría, veinte grados..., y aquella agua está caliente, sesenta grados. Las cantidades son iguales. ¿En qué recipiente hay más entropía?

E: En el que contiene agua caliente. **P:** Ahora otra cosa (*Figura 2*): El agua en los dos recipientes tiene la misma temperatura. ¿En qué vaso hay más entropía? **E:** En el que hay más agua.

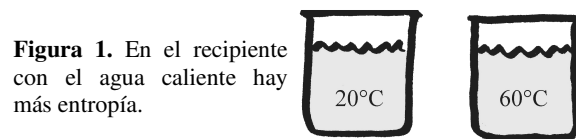


Figura 1. En el recipiente con el agua caliente hay más entropía.

P: Imaginan que en esta agua (*Figura 3*) hay 1200 Carnot. Ahora, vierto un tercio en el otro vaso. ¿Cuántos Carnot quedan en este vaso?

E: Ocho cientos. **P:** Ocho cientos Carnot, exacto. Pero, ¿dónde han quedado los otros cuatro cientos? **E:** En el otro. **P:** Correcto.

Segunda lección. P: Queremos estudiar algunas propiedades de la entropía. Otra vez voy a hacer preguntas y no olviden: Cada vez que digo entropía ustedes traducen mentalmente en cantidad de calor.

Aquí tengo una fuente (*Figura 4*), con agua del grifo, fría. En este vaso hay agua caliente. Se ve: 15 grados y 80 grados. ¿Pueden decirme qué pasa si pongo el vaso aquí dentro del agua fría?

E: El agua se enfría. **P:** ¿Cual agua? **E:** Él del vaso.

P: ¿Y él en la fuente? **E:** Se calienta..., pero solamente un poco. **P:** ¿Porqué solamente un poco? **E:** Porque en la fuente hay mucho más agua. **P:** Bueno, ahora cuidado. Quiero una explicación de lo que hemos observado. Y cuando digo explicación, quiero saber qué es lo que hace la entropía. Entonces aquí, en este proceso, ¿qué pasa con la entropía? **E:** La entropía va del uno al otro.

P: ¿Qué entiendes por el uno y por el otro? **E:** Del pequeño al más grande. **P:** Entonces, deducimos la regla: “La entropía siempre va del más pequeño al más gran-

de”, ¿correcto? **E:** ¡Pues no! No tiene sentido.

P: ¿Como no? **E:** La entropía va del más caliente al más frío. **P:** Correcto.

Apuntamos: “La entropía fluye por si sola de los cuerpos calientes a los fríos.” Pero el agua caliente no queda caliente. ¿Qué pasa con ella? **E:** Se enfría. **P:** ¿Se enfría cada vez más? **E:** No. Solamente hasta que las temperaturas sean iguales. **P:** ¡Sí! Este estado se llama equilibrio térmico.

Vemos que la entropía fluye solamente tanto que existe una diferencia de temperatura. Entonces podemos considerar la diferencia de temperatura como una especie de fuerza motriz de la corriente de entropía.

Tercera lección. **P:** En la última lección hemos aprendido que la entropía fluye espontáneamente de un cuerpo caliente a un cuerpo frío. Imaginen ahora que alguien quiere que la entropía vaya en la dirección opuesta, subiendo lo colina térmica. Especulamos que cuando logramos hacerlo podríamos hacer mucho dinero. ¿Tienen una idea como se podría hacer?

E: ...¿?... *No hay respuesta.*

P: En el fondo, es un problema que ya conocemos. Algo va espontáneamente de aquí allá. Por ejemplo: el aire va desde aquí allá si aquí la presión es alta y allá baja. Piensen en un neumático de auto. El aire sale por si solo. Si queremos que entre en el neumático, o sea que vaya de la presión baja a la alta, entonces nos hace falta un... **E:** Una bomba de aire. **P:** Y si queremos que la entropía vaya de la temperatura baja a la alta, hace falta de una... **E:** Bomba de entropía. **P:** ¡Bravo! Quizás, si la inventáramos nosotros, podríamos hacer un montón de dinero. Desgraciadamente alguien ya nos ha adelantado. Todos ustedes tienen una bomba de entropía en su casa.

E: ...¿?...

No hay respuesta..., entonces el profesor ayuda. **P:** Está en la cocina. **E:** ¿En la cocina?... ah ya ... la nevera. **P:** Sí, o más exactamente, la máquina negra en la nevera.

El profesor lleva una auténtica nevera desde la sala de preparación en el aula. La muestra. **P:** El término técnico de la bomba de entropía es “bomba de calor”. Pero la bomba ¿de dónde a dónde transporta la entropía? **E:** Del interior al exterior. **P:** ¿Y dónde entra la entropía en la máquina?

Se descubren los tubos en el interior de la nevera (*se ven solamente en las antiguas neveras*). ¿Y por dónde sale? **E:** Detrás, hay tubos también.

Cuarta lección. **P:** ¿Notan este libro? **E:** ¿Y qué?

P: ¿Cuánta entropía hay dentro? ¿Cuánta entropía puedo sacar? **E:** ...¿?... *No hay respuesta.*

P: ¿Han notado por lo menos que he hecho dos preguntas? **E:** ¿Porqué dos? Era una sola.

P: No, eran dos. La primera: ¿Cuánta entropía hay dentro?, y la segunda ¿Cuánta entropía puedo sacar?

E: Pero es la misma cosa. Si en una botella hay medio litro de agua mineral, puedo beber solamente medio litro.

P: Parece correcto..., pero yo conozco una cosa de la cual se puede sacar más de lo que contiene. **E:** ¡Ah ya!

Mi cuenta bancaria. **P:** Si hay 800 Pesos en su cuenta y si retira 1000, ¿cuántos quedan? **E:** 200 Pesos de débito. **P:** 200 Pesos de dinero negativo. Ahora, ¿cómo es con la entropía? **E:** ...¿?... *No hay respuesta.*

P: Para saberlo, habría que sacar toda la entropía del libro. Desgraciadamente, haría falta de una bomba de calor muy eficiente y muy costosa. Sin embargo, otra gente ya ha hecho el experimento. Desde hace 150 años, los científicos y técnicos establecieron nuevos récord con las bombas de calor. Haciendolo, han observado una cosa rara. Aun con las mejores bombas de calor no han podido enfriar un cuerpo debajo de cierta temperatura, por mucho que se bombee. Esta temperatura es menos doscientos setenta y tres grados. Ahora, ¿alguien de ustedes me lo puede explicar?

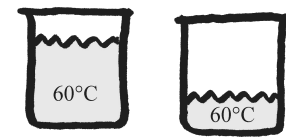


Figura 2. En el recipiente con mayor cantidad de agua hay más entropía.

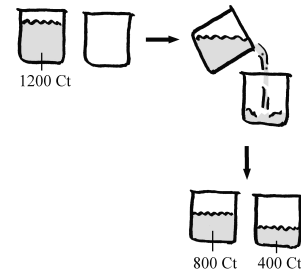


Figura 3. La entropía es una magnitud extensiva.

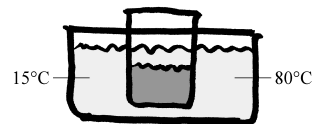


Figura 4. La entropía fluye por si sola del más caliente al más frío.

E: La temperatura ya no baja, porque ya no hay entropía dentro del cuerpo. No se puede sacar más entropía si ya no hay dentro. **P:** ¿Notan que ahora hemos contestado a una de las dos preguntas que hice al inicio? O más bien, sabemos que la respuesta a las dos es la misma: Se puede sacar tanta entropía como hay dentro y no más. Es diferente para el dinero en la cuenta bancaria o para la carga eléctrica en un cuerpo cargado. Y vemos que para la temperatura hay un valor mínimo. Es razonable y práctico escoger esta temperatura mínima como origen de una nueva escala de temperatura, la temperatura absoluta. Cuando se da una temperatura en esta escala, se emplea la unidad Kelvin.

Quinta lección. **P:** Imaginemos que haya frío y que queremos calentar la habitación. **E:** Hay que meter entropía en la habitación. **P:** Justo. ¿Y cómo hacemos? **E:** Abrir la calefacción. **P:** Correcto. Y en este caso, ¿de dónde viene la entropía? **E:** Del radiador. **P:** ¿Y cómo llega al radiador? **E:** Con el agua. **P:** ¿Y cómo ha llegado al agua? **E:** Abajo en el sótano hay una caldera. **P:** Sí, así es. ¿Pero allá, de dónde viene la entropía? **E:** En la

caldera hay una llama. **P:** ¿Viene de la llama la entropía?, ¿Cómo ha llegado a la llama? **E:** Se origina en la llama. **P:** Muy bien. Esta produce, en la combustión, en una reacción química. Se hubiera podido calentar la habitación también de otro modo... **E:** Con una calefacción eléctrica. **P:** ¿De dónde viene la entropía en este caso? **E:** Del calentador, o termoventilador. **P:** ¿Y qué hay dentro del calentador? **E:** Un alambre eléctrico que se calienta. **P:** Sí. Cuando una corriente eléctrica atraviesa un resistor eléctrico se genera entropía.

P se frota las manos, al inicio despacio y después cada vez más vigorosamente. Hay un otro modo para producir entropía. **E:** Con el rozamiento. **P:** Sí. Resumiendo: Se puede producir entropía en una reacción química, en un resistor eléctrico y por rozamiento.

Pasamos a un tema más interesante. Imaginemos que queremos enfriar algo, no calentar. Por ejemplo: Tenemos una taza de té que es demasiado caliente para beber. ¿Qué hacemos?

E: Esperamos que se enfríe. **P:** Sí. ¿Y qué le pasa a la entropía? **E:** Sale del té. **P:** ¿Y a dónde va? **E:** Al ambiente. **P:** Pero, entonces al ambiente debería calentarse. **E:** Sí, lo hace. **P:** Pero no lo notamos. **E:** El ambiente es tan grande, ..., la entropía se distribuye, se diluye. **P:** Muy bien. Pero, ¿no habiéramos podido desembarazarnos de la entropía de otro modo? **E:** Poner el té en la nevera. **P:** ¿Y qué sucede con la entropía? **E:** Sale de la nevera por detrás. **P:** Justo.

...Hasta ahora han mencionado métodos donde la entropía del té termina en otro lugar. Antes está en el té, después en el ambiente. Pero cuando discutimos el calentamiento, era distinto. La entropía que apareció en la habitación no ha venido de otro lugar, sino ha sido producida. Antes no existía, después existía. ¿No se puede hacer la misma cosa al al revés? Es decir: hacer desaparecer la entropía del té, y no traerla en otro lugar. Hacerla desaparecer definitivamente. **E:** No, no se puede. **P:** ¿Y por qué no? **E:** Porque es así. Sabemos que no es posible. **P:** Es correcto. Tienen razón. Concluimos que: La entropía puede ser producida pero no destruida. Probablemente no han notado lo increíble que es esta afirmación.

E: ¿Por qué increíble? **P:** Los científicos han intentado demostrar, por más de cien años, que no es cierta. Han hecho todo para regatear la naturaleza. Pero sin éxito.

P: ¡Ah ya! Comprendo...la Tierra debería calentarse cada vez más... el efecto invernadero. **E:** Ya ven que es interesante. Pero con el efecto invernadero nada tiene que ver. **P:** ¿Por qué no? **E:** Es cierto que en la Tierra se está creando cada vez más entropía, con todos los procesos imaginables, en particular en los procesos de combustión. Pero, en realidad es aun peor: Llega también entropía

del Sol con la luz. Por otra parte, esto no representa un problema para la Tierra. La Tierra cede entropía con la radiación infrarroja que está emitiendo continuamente. Con esta radiación toda la entropía se va de la Tierra: La entropía recibida del Sol más la entropía producida. ¿Es resuelto el problema? **P:** ¡En absoluto! Si es así, el espacio debería calentarse cada vez más. **E:** Ahora estamos llegando a los problemas verdaderamente interesantes.

Del problema de la entropía del universo se ocupan los astrofísicos y los cosmólogos. Pero el problema no está resuelto todavía. La afirmación tiene otra consecuencia singular: Nos dice en qué dirección corre el tiempo. Imaginen que he filmado algo, sin sonido. Les muestro a ustedes la película. Pero no les digo si la muestro en la dirección correcta o al revés. ¿Serían capaces de decirme si la película corre en la dirección correcta? **P:** Depende. **E:** Sí, depende. Pero, ¿de qué depende? **P:** A veces se puede decidir, a veces no.

Sigue la discusión de varios ejemplos: Una pelota que sube, da la vuelta y baja; una torre de cubos que se derrumba; una vela que se consume. Siempre preguntamos: ¿Cómo sería el proceso al revés? ¿Y qué hay de particular en los procesos que pueden transcurrir adelante y al revés? Estos procesos se llaman reversibles. ¿Y qué hay de particular en los procesos que no pueden transcurrir en ambas direcciones? Estos se llaman irreversibles. Encontramos que en los últimos siempre hay producción de entropía.

Referencias

1. F. Herrmann, "Der Karlsruher Physikkurs," en alemán: Aulis-Verlag, Köln, 2003. en italiano, español y inglés: descargar de www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de
2. F. Herrmann, "The Karlsruhe Physics Course," Eur. J. Phys., 2000, vol. 21, p. 49-58.
3. J. Black, "Lectures on the elements of chemistry," William Creech, Edinburgh, 1803.
4. G. Falk, "Entropy, a resurrection of caloric—a look at the history of thermodynamics," Eur. J. Phys., 1985, vol 6, p. 108-115.
5. S. Carnot, "Reflexiones sobre la potencia motriz del fuego y sobre las máquinas aptas para desarrollar esta potencia," Cuadernos de ciencia y de cultura, Madrid 1927.
6. H. Fuchs, "A surrealist tale of electricity," Am. J. Phys., 1986, vol. 54, p. 907-909.
7. H. L. Callendar, "The Caloric Theory of Heat and Carnot's Principle," Proc. Phys. Soc. London, 1911, vol. 23, p. 153-189.
8. G. Job, "Neudarstellung der Wärmelehre – die Entropie als Wärme," Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt am Main, 1972 (exhausted), available at: georg.job@gmx.de
9. H. Fuchs, "The dynamics of heat," Springer, New York, 1996.

Introductory chemical dynamics: using the chemical potential from the start

Hans U. Fuchs

Center for Applied Mathematics and Physics; Zurich University of Applied Sciences at Winterthur
Switzerland; hans.fuchs@zhaw.ch

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 21/11/10.

Sumario. Los procesos químicos –aquellos asociados con el transporte, variación y reacciones en las sustancias- dan paso a un rico mundo de fenómenos, interesante tanto para los físicos como para los químicos y biólogos. Históricamente, la abundancia de fenómenos ha conducido a una amplia gama de maneras de describirlos. Mayormente a través del trabajo de Georg Job, recientemente ha quedado claro que la descripción se puede unificar si el potencial químico se presenta con una relevancia adecuada en los modelos de los cambios químicos. Para utilizar la fuerza del potencial químico para describir los fenómenos, el concepto debe introducirse desde el principio en cualquier curso de química o química física. Es igualmente importante motivar su construcción de manera intuitiva y no crear una cantidad derivada laboriosamente de otras aparentemente más básicas. En este artículo se presentan y discuten un número de fenómenos cuya descripción sugiere la existencia de un concepto unificador de fuerza motriz química. Utilizando el razonamiento analógico, es decir, comparando descripciones de procesos químicos y teorías de fluidos, electricidad o calor, vemos que la fuerza motriz puede ser concebida como la diferencia de los potenciales químicos de las especies involucradas en el transporte o las reacciones. Se demuestra como la noción de potencial químico y su diferencia puede conducir a modelos bastante simples, pero poderosos, del cambio químico.

Abstract. Chemical processes -those associated with the transport, change, and reaction of substances- open up a rich world of phenomena which is just as interesting for physics as it is for chemistry or biology. Historically, the wealth of phenomena has led to a plethora of forms of description. Largely through the work of Georg Job, it has become clear in recent years that descriptions can be unified if the chemical potential is given its proper relevance in models of chemical change. To make use of the power of the chemical potential in describing chemical phenomena, the concept should be introduced from the beginning in any course of chemistry or chemical physics. It is equally important to motivate this construct intuitively and not make it a quantity derived laboriously from other seemingly more basic ones. In this paper, we present and discuss a number of phenomena whose description suggests the existence of a unifying concept of chemical driving force. Using analogical reasoning, i.e., by comparing descriptions of chemical processes to theories of fluids, electricity, or heat, we see that the driving force can be conceived of as the difference of the chemical potential of the species involved in transports or reactions. It will be demonstrated how the idea of the chemical potential and its difference can lead to rather simple yet powerful models of chemical change.

Keywords. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, entropy thermodynamics 05.70.-a

1 Introduction

The chemical potential is commonly treated as a complex derived quantity and, as such, is assumed to be hard

to grasp. When it is introduced, it is derived in terms of concepts from thermodynamics. Therefore, we do not commonly view the chemical potential as a quantity in its own right that can be introduced as a primitive con-

cept (i.e., not derived in terms of others).

It will be shown that we can create courses for high school or university level that make use of the chemical potential right from the beginning. We would like to demonstrate how this concept can be introduced in a simple way. The power of the concept of chemical potential should become apparent if we learn to produce useful models of chemical processes by directly using this fundamental quantity rather than relying on indirect arguments.

The approach discussed here has been developed largely by G. Job¹⁻⁶, and has been adapted for high school by F. Herrmann.^{7,8} It has been used in the context of a dynamical theory of heat by H. Fuchs⁹. Lately it has been demonstrated that the chemical potential can be fruitfully applied in simple dynamical modeling of chemical processes¹⁰.

(Refs. 2, 3 available at http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/konzepte/4_jobb.pdf and the same with 2_job). Ref.7, English translation: http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub_fremdsprachen/englisch.html. Partial Spanish translation: http://www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de/publication/pub_fremdsprachen/spanisch.html).

2 Phenomena involving the transport and change of substances

Here is a small list of chemical processes from the huge variety found in nature and in technical processes. They seem so different that a unified description appears to defy human imagination. Perhaps for this reason we find different conceptualizations for virtually every type of process having to do with chemical substances. However, it turns out that we need only a very small number of concepts to understand different phenomena.

Bread dries when left lying around. Water left in a puddle after a rainstorm evaporates. CO₂ can be dissolved in water in quantities that depend upon circumstances. Salt water freezes at a lower temperature than fresh water. A red blood cell ruptures when placed in fresh water. Iodine dissolved in water moves into ether if the latter is mixed into the water-iodine mixture. The polarization of light passing through a solution of glucose in water changes slowly in the course of time and finally reaches a stable value. Radioactive substances decay. Medication becomes ineffective if stored for too long. Baking soda added to an aqueous solution of citric acid lets the solution foam up violently, and the mixture becomes rather cold.

In the following, four processes will be described in more detail, and word models will be given. The explanations suggest that we can conceptualize very different processes economically by introducing a single concept, namely the *chemical potential*. The difference of the

chemical potential (of a species in different states or locations, or between different species) is considered the *driving force* of chemical processes.

Diffusion. Consider the concentration of salt dissolved in water. If there is a body of water at rest, and a small amount of salt is dissolved in only the bottom layer, the upper layers slowly receive salt as well whereas the concentration in the lower layer(s) decreases (Figure 1). It turns out that the concentration becomes homogenous in the end: the process—called *diffusion*—stops when the concentration of salt is the same everywhere.

Figure 1. Concentration of salt in adjacent layers of water in the course of time. The change of concentration is said to be the result of diffusion.

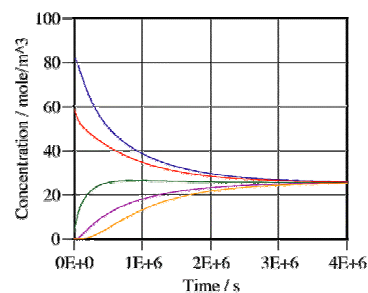
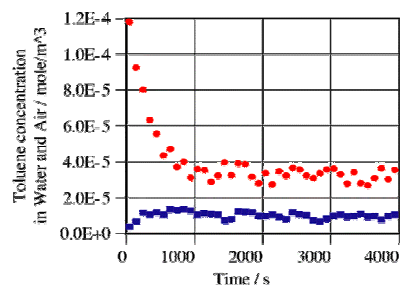


Figure 2. Concentrations of toluene in water and air measured as functions of time. Upper curve: water. Data courtesy J. Hosang.



There are similar phenomena in electricity, heat, and motion. The explanations of all these phenomena involve a single type of concept. We imagine an *intensive* quantity for electric, thermal, or mechanical processes which we call a *potential* (electric potential, temperature, angular speed). Differences of these potentials are conceptualized as *driving forces* for their respective processes. The processes involve the flow (and/or production) of *fluidlike* quantities—electric charge in electricity, entropy in thermal phenomena, and angular momentum in rotation.^{9,11}

This form of explanation that makes use of a strong form of analogical reasoning can be transferred to the case of diffusion of substances. There is a *chemical potential* associated with salt dissolved in water (which depends upon the concentration of salt). Smaller concentration means lower chemical potential. Salt flows through water as long as there is a difference of its chemical potential in different parts of the container.

Toluene in the environment. The previous example might suggest that we do not need a new concept such as the chemical potential; concentration suffices for an explanation. However, the following observation shows that we need a generalized intensive quantity to understand chemical processes. Toluene diffuses from water

into air (or vice-versa) until its concentration is about four times higher in water than in air (Figure 2).

The dynamic behavior seen in Figure 2 is basically the same as in the examples described so far, suggesting an explanation of similar type. However, it appears that toluene “prefers” to be in water rather than in air. So, if there are equal concentrations of toluene in water and air in contact, there still is a drive of toluene to migrate into water. Again, we can explain this by introducing the concept of chemical potential. At equal concentrations, the chemical potential of toluene is lower in water than in air. The difference of the chemical potentials of toluene in water and in air is interpreted as the drive (or driving force) for the diffusion of toluene. The observation tells us that the driving force for the flow of toluene cannot be differences in its concentration; rather, it is a gradient of the chemical potential of a substance.

Mutarotation of glucose. Glucose exists in two different configurations (called anomers) that only differ in the spatial arrangement of the elements in its molecules. The configurations are called α -glucose and β -glucose, respectively. At first, we only have α -glucose. If we dissolve it in water, part of it will change slowly into β -glucose. This is seen if we measure the angle by which light is rotated as it passes through an aqueous solution of glucose. The angle changes in the course of time, and this indicates changing concentrations of the anomers (Figure 3).

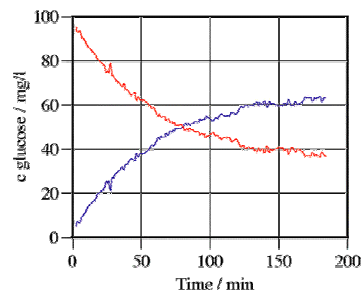
This is interpreted as follows: A configuration of glucose has a tendency or drive to change or decay, i.e., there is a tendency for a chemical reaction. The strength of this tendency can be expressed in terms of the chemical potential, just as shown in the case of the tendency of a substance to disperse. α -glucose and β -glucose have different chemical potentials, and these potentials also depend upon concentration. Once the chemical potentials have become equal, the reaction stops. The experiment shows that the chemical potentials of α -glucose and β -glucose become equal at different concentrations.

Decay and elimination of a radioactive substance. Radioactive substances are sometimes used in performing medical tests. Their presence and their concentration may be measured by the activity they produce (Figure 4). The substance decays and is excreted at the same time which means that the processes run in parallel.

Both processes are chemical in nature, the former is a transformation (reaction) whereas the latter is a form of transport. Either one of the processes can be understood as being governed by the chemical potential of the species. Here, the chemical potential depends upon the nuclear state, the concentration, and the biological environment. There is a tendency of the substance to decay, and there is a tendency to migrate. Nuclear reactions lead to the typical exponential decay, whereas elimination from the body can be modeled as being dependent on the difference of concentrations (as in diffusion) which, in the simplest case, also leads to exponential

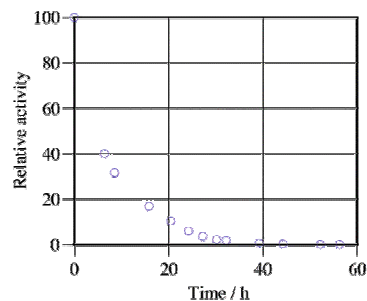
change.

Figure 3. Concentration of the anomers α -glucose (decreasing curve) and β -glucose in water as functions of time. α -glucose decays into β -glucose.



The concentration is determined by measuring the rotation of the plane of polarization of plane-polarized light shining through a solution of glucose. Data courtesy B. Sonnleitner.

Figure 4. Activity of Tc99m in a human body as a function of time.¹²



3 Intuitive conceptualization

An important part of the conceptualization of chemical processes is contained in the word models presented above. These models make use of the concept of chemical potential. Here we would like to show how the chemical potential relates to two more fundamental quantities: amount of substance, and energy.

Driving force, conversion rate, and power. The following discussion of chemical change is quite intuitive; it makes use of common sense reasoning. A chemical process consists of the flow and/or production (and destruction) of substances. The reason for such a process is found in a chemical driving force. When a chemical process runs by itself, it can cause other changes.

Note that there are three aspects of chemical change being used in this common sense explanation.¹³ (<https://home.zhaw.ch/~fusa/LITERATURE/Literature.html>).

There is a measure of *amount*, a measure of *tension*, and a measure of *power*. The first is formalized by introducing the amount of substance (which is the extensive thermal quantity), the second is cast in the form of the difference of the intensive chemical quantity (the chemical potential), and the third (causation) is measured in terms of energy or power.

There is a simple relation between these three basic concepts. The faster the chemical conversion (the higher the conversion rate), the higher the chemical power. Furthermore, the higher the driving force of a conversion for given conversion rate, the higher is the power. If we

express the conversion rate by the symbol \dot{I}_n , and the driving force by $[\Delta\mu]_R$, the power of the process is⁹

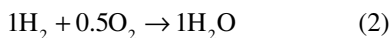
$$P_{chem} = [\Delta\mu]_R \dot{I}_n \quad (1)$$

This relation can be interpreted graphically with the help of process diagrams. Figure 5 shows such a diagram for a battery—a device where a spontaneous chemical reaction drives an electric process.

4 Driving force of a reaction

In this section, we will discuss how we can deal with interesting everyday processes on a rather simple level if we have tables of chemical potentials of some substances at our disposal.^{2,3,5,7} (See also <http://job-stiftung.de/index.php?id=11,0,0,1,0,0>.)

Is a certain reaction possible, and if so, how much energy is released in a given conversion? Take the case of hydrogen gas and oxygen gas. The reaction that produces water is



Tables of chemical potentials for standard conditions (a temperature of 25°C, a pressure of 1 bar, and a concentration of solutions of 1 M;¹⁴) tell us that the chemical potential of both hydrogen gas (H_2) and oxygen gas (O_2) are zero. The chemical potential of water, on the other hand, is -234 kJ/mol . Now, the overall driving force of a reaction depends on the quantities involved:

$$\begin{aligned} [\Delta\mu]_R &= 1\mu_{\text{H}_2\text{O}} - (1\mu_{\text{H}_2} + 0.5\mu_{\text{O}_2}) \\ &= -273.2 \frac{\text{kJ}}{\text{mole}} - (1 \cdot 0 + 0.5 \cdot 0) \frac{\text{kJ}}{\text{mole}} \end{aligned} \quad (3)$$

If the overall driving force is negative, the reaction occurs spontaneously, and energy is released. Obviously, hydrogen gas and oxygen gas can react spontaneously at 25°C and a pressure of 1 bar, and energy is released. The amount of energy released for 1 mole of H_2 is -273.2 kJ . Here is a second example. What happens to ice at standard conditions? Again, tables of chemical potentials tell us that the potential of ice is higher than that of water (at 25°C). Therefore, ice will spontaneously convert to water.

5 T and P dependence of the chemical potential

The second small example in Section 4 brings up an interesting question. If ice melts at 25°C, what happens at lower temperatures?

Chemical potentials depend on a number of quantities, among them temperature and pressure. In an introductory course, we can treat these dependencies in a simple yet useful manner by using linearizations. We may write

$$\mu(p, T_0) = \mu(p_0, T_0) + \beta(p - p_0) \quad (4)$$

$$\mu(p_0, T) = \mu(p_0, T_0) + \alpha(T - T_0) \quad (5)$$

for the dependence of the potential on pressure (Equation 4) and on temperature (Equation 5). If the pressure and temperature coefficients of the chemical potential (β and α) are known (again for standard conditions), we can perform simple calculations that allow us to understand a range of everyday phenomena.

Take the example of ice and water. At what temperature would ice no longer turn into water? In different words, what is the temperature at which there is an equilibrium of phases? Equilibrium means vanishing chemical driving force, i.e., the difference of the chemical potential is zero:

$$\mu_{\text{water}}(p_0, T) = \mu_{\text{ice}}(p_0, T) \quad (6)$$

Water and ice tell us how to deal with this type of problem:

$$\begin{aligned} \mu_{\text{water}}(p_0, T_0) + \alpha_{\text{water}}(T - T_0) \\ = \mu_{\text{ice}}(p_0, T_0) + \alpha_{\text{ice}}(T - T_0) \end{aligned}$$

Introducing numbers¹⁴ leads to a temperature of 1.5°C for the melting point of ice. For a linear approximation to an otherwise complicated relation, this is not bad.

6 Dilute solutions

The chemical potential obviously depends upon the concentration of a substance in its environment. In the case of solutions, this fact makes the chemical potential of the solvent dependent upon the concentration of the solute. These observations lead to explanations of a host of interesting phenomena.

The dependence upon concentration is most easily considered by noting that the solute in a dilute solution behaves just like an ideal gas (in empty space). For isothermal conditions, the chemical potential of an ideal gas depends upon its pressure as follows:⁹

$$\mu(p, T) = \mu(p_0, T) + RT \ln(p/p_0) \quad (7)$$

Therefore, the chemical potential of a solute must depend upon its concentration as follows:

$$\mu(c, T) = \mu(c_0, T) + RT \ln(c/c_0) \quad (8)$$

Let us now treat a couple of examples to see what can be achieved when we make use of the concept of chemical potential and chemical driving force. First, consider the solution of CO_2 in bottled water. Assume the pressure of the CO_2 in the empty space of a sealed bottle to be 2 bar. How much CO_2 will be dissolved in the water? Again, we can think of this as a case of chemical equilibrium that is established some time after CO_2 has been introduced in the bottle. We have equilibrium when the drive of CO_2 in the water to go into the gaseous phase is equal to the drive of the gas to go into solution. The condition leads to a ratio of $c_{aq}/c_{aq,0} = 0.10$. Therefore, the concentration of CO_2 in water in this bottle is 0.10 mole/L, which corresponds to a little more than 4 g per liter.

Now consider the effect of the solute upon the solvent.⁹ Assume we have a solvent with some solute in an

open container at air pressure. The pressure of the mixture is 1 bar. The solute has a certain pressure which increases with concentration, so the pressure of the solvent decreases. Since the chemical potential of a liquid changes with its pressure, we finally arrive at

$$\mu_1(T, y) = \mu_1(T, 0) - RTy \quad (9)$$

where $y = n_s / (n_l + n_s)$ is the mole fraction of the solute in the solution (s stands for solute, l for solvent or liquid).

This explains some important phenomena such as osmosis or the change of boiling point and melting point of a liquid. Take osmosis as an example. If a red blood cell is placed in fresh water, it absorbs a lot of it. The reason is simply that the pressure of water inside the cell is lower than outside: there are substances dissolved in it.

7 Dynamical models

Transports and chemical reactions are governed by chemical driving forces, i.e., by the difference between chemical potentials in two states. We will show here that transports and reactions can be treated analogously, and that, near equilibrium, transport and reaction equations take the well known forms involving concentrations.

Transports between different environments. If a substance flows in a homogenous environment, the idea of the chemical driving force leads to Fick's law of diffusion. If the environments are different but uniform, we can easily derive the proper constitutive rule for transport between the environments.

Substances flow from one environment into another as long as there is a difference of the chemical potentials of the substance in these environments. If the substance is dissolved, its chemical potential depends logarithmically upon its concentration. Therefore

$$\Delta\mu_{\text{transport}} = \mu_B^{\text{eq}} - \mu_A^{\text{eq}} + RT \ln \left(\frac{c_B}{c_B^{\text{eq}}} \right) - RT \ln \left(\frac{c_A}{c_A^{\text{eq}}} \right) \quad (10)$$

The condition of equilibrium has been chosen as the reference point for calculating the chemical potential. A and B refer to the substance in environments A and B. The difference of chemical potentials in equilibrium must be zero. For small deviations from equilibrium, the expression can be linearized to yield

$$I_n = -Ak(c_A - Kc_B) \quad (11)$$

$$\text{with } c_A^{\text{eq}}/c_B^{\text{eq}} = k \quad (12)$$

where k is an equilibrium constant. Here, A is the surface area through which the substance migrates. Ak may be interpreted as a kind of conductance. The expression in Equation 11 can be generalized to one where the equilibrium relation is not constant, such as for toluene in water and soil. For this example, the term in parentheses in Equation 11 would change to $c_w - kc_s^a$.

Now, we combine this constitutive expression with the law of balance of amount of substance. This yields

$$\frac{dc_A}{dt} = -\frac{1}{V_A} Ak(c_A - Kc_B) \quad (13)$$

where V_A and c_A are the volume of environment A, and the concentration of the substance in that environment, respectively.

A simple reaction. Take the transformation of a substance A into a substance B (or vice-versa). Assuming a reaction rate proportional to the chemical driving force, combining the equation of balance of amount of substance with the constitutive law leads to

$$\frac{dn_A}{dt} = -k'c_A [\Delta\mu]_n \quad (14)$$

Linearization (as in the case of transport treated above) yields the typical kinetic equation

$$\frac{dc_A}{dt} = -k(c_A - Kc_B) \quad (15)$$

Creating a dynamical model. A simple model for the mutarotation of glucose (Figure 3) can be created that can be successfully compared to experimental data.¹⁰ In the case of mutarotation of glucose, it turns out that a relation for the reaction rate that is linear in the chemical driving force yields very good results. Other cases would be different, since chemical reactions show a great variety of behaviors. However, the idea of kinetics dependent upon the chemical driving force remains the simplest starting point for dynamical modeling.

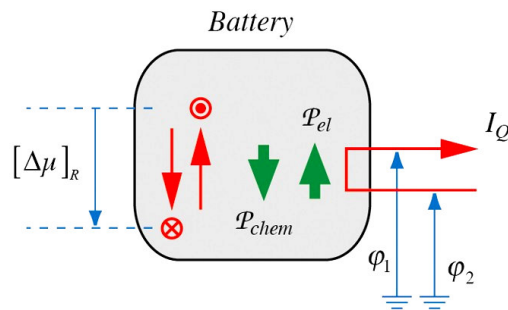


Figure 5. Process diagram of an ideal battery. In the chemical reactions, some substances disappear (down-arrow and symbol of sink) and some are produced (up-arrow and symbol of source). Overall, the reaction runs “downhill” (from higher to lower chemical potentials). As a result, energy is released at a certain rate (vertical fat arrow). The energy release is used (vertical fat arrow pointing up) for driving a flow of electric charge I_Q “uphill” (from lower to higher electric potentials).

8 Conclusions

It has been demonstrated by way of examples that the idea of chemical potentials and the chemical driving force can be introduced early on in a course on chemical dynamics. The results are courses that unify the great variety of chemical processes and deal with chemical phenomena in a much more vivid and intuitive manner than is commonly the case.

The idea of the chemical potential can be introduced in analogy to temperature or electric potential. As in

those cases, a difference of potentials is conceptualized as a driving force for processes (temperature difference for the flow of entropy, voltage for the flow of charge, and chemical potential difference for chemical transports and reactions).

Many concrete examples of chemistry can be treated by employing the assumption that differences of chemical potentials vanish in equilibrium. If we have tables of potentials for substances, and if we know how these potentials depend upon circumstances (temperature, pressure, concentration, environment, etc.), we can perform back-of-the-envelope type of calculations for interesting real-life situations. Finally, applying the idea of the chemical driving force more generally, we can come up with simple dynamical models for transports and reactions (see ref. [9], Chapter 6, 2nd edition).

A type of application not treated here deserves mentioning. We can extend the idea of potentials to combined potentials such as the electro-chemical potential or the gravito-chemical potential and then deal with cases from electrochemistry (including many from biochemistry) or the transport of substances in the gravitational field (including plant physiology and hydrology).

Acknowledgments

The author would like to thank Friedrich Herrmann, Michele D'Anna and Paolo Lubini for their valuable help with this paper. The Eduard Job Foundation for Thermodynamics and Chemical Dynamics in Hamburg, and the Center for Applied Mathematics and Physics at Zurich University of Applied Sciences at Winterthur, generously supported my travels to the conference.

References

1. Job G., Neudarstellung der Wärmelehre, Die Entropie als Wärme. Akademische Verlagsgesellschaft, Frankfurt (1972).
2. Job G., Das chemische Potential im Physik- und Chemie-Elementarunterricht, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 2, Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover, p. 67-78 (1978).
3. Job G., Chemische Reaktionen physikalisch beschrieben, Konzepte eines zeitgemäßen Physikunterrichts, Heft 4, Hermann Schroedel Verlag KG, Hannover, p. 14-31 (1981).
4. Job G. and Herrmann F. Chemical potential – a quantity in search of recognition. *Eur. J. Phys.* 27, 353-371 (2006).
5. Rüffler R. and Job G., Chemical Potential From the Beginning. Conference of the International Union of Pure and Applied Chemistry, Torino, Italy. 4-12 August (2007).
6. Job G. and Rueffler R., *Physikalische Chemie*. Teubner Studienbücher Chemie, B. G. Vieweg und Teubner Verlag, Wiesbaden, Germany (2011).
7. Herrmann F., *Der Karlsruher Physik-Kurs*. Sekundarstufe 1 (3 Bände), Sekundarstufe 2 (2 Bände), 2 Lehrerbände. Universität Karlsruhe and Aulis-Verlag, Köln. (1989-1999).
8. Herrmann F. and Wuerfel P., Light with nonzero chemical potential. *Am. J. Phys.* 73, 717-721 (2005).
9. Fuchs H. U., *The Dynamics of Heat*. Springer-Verlag, New York, 2nd Edition (2010).
10. D'Anna M., Fuchs H. U., Lubini P., System dynamics modeling – from mechanics to chemistry. GIREP - MPTL Conference - Nicosia, 18-22 August (2008).
11. Herrmann F., Comencemos con la entropia. *Rev. Cub. Fis.*, to be published in this same number. (2010).
12. Jesse K., Biological Half-Life of Cardiolite. *The Physics Teacher* 46, 522-525 (2008).
13. Fuchs H. U., From Image Schemas to Dynamical Models in Fluids, Electricity, Heat, and Motion. An Essay on Physics Education Research. ZUAS at Winterthur (2007).

Termodinámica: metodología para un mejor aprendizaje

L.C. de la Portilla Maldonado[†], J.L. Fernández Chapou, J.M. Velázquez Arcos y J. Granados Samaniego

Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, División de Ciencias Básicas e Ingeniería,
Departamento de Ciencias Básicas; lcpm@correo.azc.uam.mx[†]

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/11/10.

Sumario. La enseñanza de la termodinámica como tradicionalmente se ha hecho generalmente ha sido bien aceptada por profesores y estudiantes. Sin embargo, nos hemos dado cuenta que si ésta enseñanza es combinada con el uso de Tablas donde se pide calcular P, V, T utilizando la ecuación de estado del gas ideal $PV = nRT$; el estudiante puede aprender mejor. También se combina el uso de ΔU , Q, W utilizando la Primera Ley de la Termodinámica $\Delta U = Q - W$ y cambios de entropía del sistema, alrededores y universo, utilizando la segunda ley de la termodinámica $\Delta S = \Delta Q/T$. Además de diagramas VP y ST donde se visualizan los diferentes procesos politrópicos que realiza un sistema sean ciclos o no, y su correcta interpretación, todo esto, permite a los estudiantes un mejor entendimiento y aprendizaje de la termodinámica de una manera amena y divertida. En éste trabajo mostramos la forma de utilizar el método con suficientes ejemplos, además de que contamos con un paquete computacional llamado “TERMITA” que nos ayuda a obtener cálculos para el llenado de estas Tablas. Este original método de enseñanza donde los exámenes son a través del llenado de Tablas y análisis de diagramas permiten al profesor una mayor rapidez en la calificación y una mejor evaluación del curso.

Abstract. The teaching of thermodynamics, as traditionally done, has been generally well accepted. However, we have realized that if this teaching is combined with the use of tables to calculate P, V, T, using the ideal gas state equation $PV = nRT$ the student can learn these subjects better. Also, we combine the use of ΔU , Q, W, together with the first law of thermodynamics $\Delta U = Q - W$, the entropy of the system and its surroundings and the second law of the thermodynamics $\Delta S = \Delta Q/T$. In addition, we utilize VP and ST diagrams, where the students visualize the polytropic processes and its interpretation, so they have a best understanding of the thermodynamics in a pleasant and amusing way. We show in this work the way to use the method with many examples. We have a computational program named “TERMITA” that help us to obtain calculations for filling the tables. This original teaching method, where tests are carried out filling tables and analyzing diagrams, allow a faster and better evaluation of the course.

Palabras clave. Educación, 01.40.-d; Física Educativa, 01.40.-d; Ayudas educacionales en Física Educativa, 01.50.-I; Experimentos de laboratorio de Física Educativa, 01.50.Pa.

1 Introducción

Este trabajo es una descripción de la forma en que se imparte el curso de Termodinámica en la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco de la Ciudad de México. D. F. El curso es dirigido a estudiantes de los primeros trimestres de las carreras de ingenie-

ría, no está seriado con otras materias previas, aunque se recomienda tener conocimientos de álgebra cálculo y de física general.

El curso es simple ya que sólo se atacan problemas relacionados a sistemas que utilizan al gas ideal y los diferentes procesos politrópicos que realiza el sistema tales como: isobáricos, isocóricos, isotérmicos y adiabáti-

cos.^{1,2,3}. A los alumnos se les instruye a cerca de las características de éstos procesos y su representación en un diagrama VP y ST así como de series de tres a cinco de éstos procesos que sigue un sistema que pueda generar un ciclo o no, también se les enseña los tipos de interacciones entre el sistema y su medio ambiente, tales como interacciones térmicas e interacciones mecánicas, la deducción de la primera ley de la termodinámica y las variables que se conservan durante los procesos y en sus interacciones. Cuando se ha cubierto esta parte, se hace una primera evaluación parcial que consta de tres problemas, uno relacionado con el uso de la ecuación de estado del gas ideal, dándoles un diagrama VP de la serie de procesos que sigue el sistema, una Tabla donde los alumnos calculan los valores de V, P y T y sus cambios durante cada uno de los procesos involucrados dándoles algunos valores dentro de la Tabla y los alumnos calcularán los demás hasta llenarla.

Un segundo problema está relacionado con el uso de la Primera Ley de la Termodinámica, también llenando una Tabla en la que se calculan los valores de ΔU , Q y W, dándoles algún valor de ellos en la Tabla o en el enunciado del problema, además de que tienen que hacer el diagrama VP de los procesos involucrados. Un tercer problema consiste en interpretar un diagrama VP de una serie de procesos que generalmente forman un ciclo y en la que se tienen que contestar preguntas del tipo cierto o falso a cerca de ciertas relaciones entre las variables termodinámicas y de relaciones de energía. La segunda parte del curso consiste en la deducción de la Segunda Ley de la Termodinámica, explicación del proceso de expansión libre adiabática, Ciclo de Carnot, teoremas de Carnot, procesos politrópicos en diagramas ST, definiciones de eficiencias de una máquina térmica y rendimiento de un refrigerador, almacenes térmicos, determinación de los cambios de entropía del sistema, alrededores y universo. Con esto se cubre el curso y se realiza una segunda evaluación también con el llenado de Tablas e interpretación de los diagramas que representan ciclos ya sean de Carnot o de otro tipo, el examen consiste de dos o tres problemas en los que el alumno tiene que manejar muy bien los conceptos para poder resolverlos.

Los datos que requieren los alumnos los pueden obtener del enunciado, del diagrama o de algún dato que se le proporcione en la Tabla. El uso de Tablas e interpretación de diagramas tiene la ventaja de facilitar el aprendizaje de la Termodinámica, además de que facilita la calificación por parte del maestro. El curso consta de dos clases semanales con duración de 1.5 hrs durante 11 semanas.

2 Metodología

El curso de termodinámica que se imparte en ésta universidad consiste de tres unidades. El contenido de la Unidad I es: Conceptos fundamentales, la Ley Cero de la Termodinámica, la Ecuación de estado del Gas Ideal, la Ecuación de los Procesos Politrópicos y su representa-

ción en el plano VP, calor, trabajo, energía interna y la Primera Ley de la Termodinámica, definición termodinámica de trabajo, capacidades caloríficas a volumen y a presión constantes, se manejan las ecuaciones $PV = nRT$, $PV^\gamma = \text{constante}$ (donde $\gamma = c_p/c_v$) y combinaciones de ambas ecuaciones que dan como resultado nuevas ecuaciones, la primera ley de la termodinámica $\Delta U = Q - W$ y la convención de signos para el calor absorbido y cedido así como trabajo realizado por o sobre el sistema, la ecuación que da la variación de la energía interna $\Delta U = mc_v\Delta T$, que es una función que depende únicamente de la temperatura y que es una variable de estado.

De esta primera unidad se resuelven problemas como el que presentamos a continuación:

- Un sistema que consta de 2 kg de Nitrógeno ($R = 0.297 \text{ kJ/kgK}$) efectúa los cambios politrópicos mostrados en el diagrama VP (figura 1). Llenar los espacios vacíos en la Tabla I.

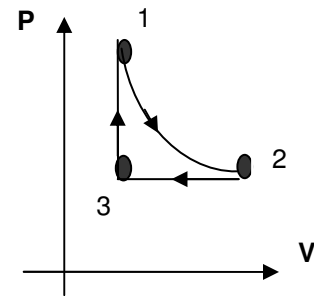


Figura 1. Cambios politrópicos en 2kg de nitrógeno.

Tabla I

Cálculos referidos a los cambios de estado mostrados en la Figura 1

$k =$		P(kPa)	V(m ³)	T(K)
	1	178.2	2	600
1, 1→2	2	89.1	4	600
0, 2→3	3	89.1	2	300
∞ , 3→1	1	178.2	2	600

Tabla II

Llenar los espacios vacíos si un gas ideal pasa del estado uno al dos efectuando un trabajo de 200 kJ sin variar su temperatura; luego pasa del estado dos al tres absorbiendo 150 kJ de calor sin variar su volumen.

	$\Delta U(\text{kJ})$	Q(kJ)	W(kJ)
1→2	0	200	200
2→3	150	150	0
1→3	150	350	200

Los cuadros sombreados son datos dados en el problema, mientras que los no sombreados son llenados con cálculos hechos por los estudiantes. Para resolver este problema se fija uno en el diagrama VP (Figura 1) de los tres procesos politrópicos que conforman el ciclo y también en la Tabla I con los valores proporcionados que aparecen sombreados. Empezamos calculando P_2 por medio de la ecuación de estado del gas ideal

$$P_2 = mRT_2/V_2 = (2)(0.297)(600)/(4) = 89.1 \text{ kPa.}$$

Como el proceso 1→2 es isotérmico debido a que $k=1$, entonces $T_1 = 600$ K, el proceso 3→1 es isocórico entonces $V_3 = V_1 = 2$ m³, volvemos a usar la ecuación de estado del gas ideal para calcular P_1 .

$$P_1 = mRT_1/V_1 = (2)(0.297)(600)/(2) = 178.2 \text{ kPa}$$

El proceso 2→3 es isobárico por lo que $P_2 = P_3 = 89.1$ kPa y calculamos T_3 por medio de la ecuación de estado del gas ideal

$$T_3 = P_3 V_3 / mR = (89.1)(2)/(2)(0.297) = 300 \text{ K}$$

Con esto terminamos de llenar la Tabla.

- Un segundo problema para esta primera unidad es el siguiente: Un gas ideal efectúa los cambios que se describen a continuación: pasa del estado uno al dos efectuando un trabajo de 200 kJ sin variar su temperatura; luego pasa del estado dos al tres absorbiendo 150 kJ de calor sin variar su volumen. Llenar los espacios vacíos en la Tabla II.

Como el proceso 1→2 es isotérmico entonces $\Delta U = 0$, $W = 200$ kJ y utilizando la primera ley de la termodinámica para este proceso $Q = W = 200$ kJ, el proceso 2→3 es isocórico, por lo tanto, $W = 0$, como el sistema absorbe calor este es considerado positivo y utilizando la primera ley de la termodinámica concluimos que $\Delta U = Q$, los totales se obtienen al hacer la suma algebraica de ΔU , Q y W debiéndose cumplir la primera ley de la termodinámica $\Delta U = Q - W$.

- Un tercer problema para esta primera unidad es: Un gas ideal experimenta los cambios politrópicos mostrados en el diagrama VP (Figura 2), decir si son verdaderas (v) o falsas (f) las siguientes relaciones: (ver Tabla III).

La primera es (v) porque el volumen crece de izquierda a derecha, la segunda es (f) porque la presión crece de abajo hacia arriba, la tercera es (v) porque a mayor presión mayor temperatura en una isocórica, la cuarta es (f) porque el estado 1 y el estado 2 pertenecen a la misma isoterma, la quinta es (v) porque del estado 1 al estado 2 hay una expansión del sistema y se realiza trabajo positivo, la sexta es (f) porque al usar la primera ley de la termodinámica siendo $Q = 0$ porque se trata de una adiabática se obtendría $\Delta U_{3→4} = -W_{3→4}$, la séptima es (f) porque como el proceso 2→3 es isocórico el trabajo de 2→3 sería cero, la octava es (v) porque el proceso 1→2 es isotérmico y $\Delta U_{1→2} = 0$, por lo tanto de la primera ley de la termodinámica $Q_{1→2} = W_{1→2}$.

El contenido de la Unidad II es: El concepto de entropía, la definición de calor, ecuaciones para el cálculo de la variación en la entropía, procesos politrópicos y su representación en el plano ST, ciclos reversibles y su representación en los planos VP y ST, el ciclo de Carnot.

El tipo de problemas que se resuelven en esta segunda unidad son como se describen a continuación:

- Un sistema que consta de 3 kg de Helio efectúa el ciclo mostrado en el plano ST (Figura 3) con un rendimiento del 50 %. Sabiendo que absorbe 900 kJ de calor a la temperatura de 600 K, llenar la Tabla IV.

Para llenar la Tabla IV, partimos de los datos y el hecho de saber que es Helio, tenemos $m = 3$ kg, $R = 2.08$ kJ/kgK $c_v = 3.12$ kJ/kgK, de la figura 3 se ve que se trata

de un ciclo de Carnot, nos dan $T_{\max} = T_1 = T_2 = 600$ K que es donde absorbe calor, $Q_{1→2} = Q_{\text{abs}} = 900$ kJ, $\Delta U_{1→2} = 0$ por tratarse de un proceso isotérmico y al utilizar la primera ley de la termodinámica obtenemos $Q_{1→2} = W_{1→2}$, el cambio de entropía en este proceso es $\Delta S_{1→2} = Q_{\text{abs}}/T_{\max} = 900\text{kJ}/600\text{K} = 1.5$ kJ/K, el rendimiento de Carnot es $r_c = 1 - (T_{\min}/T_{\max})$ despejando $T_{\min} = (1 - r_c)T_{\max} = (1 - 0.5)600 = 300$ K, los valores netos $\Delta U = 0$ y $\Delta S = 0$ por ser variables de estado y tratarse de un ciclo, los procesos 2→3 y 4→1 son isoentrópicos.

Por tanto $Q = 0$ y $\Delta S = 0$, $\Delta U = mc_v(T_3 - T_2) = 3(3.12)(-300) = -2808$ kJ y de la primera ley de la termodinámica $W_{2→3} = 2808$ kJ, $\Delta U_{3→4} = 0$ por ser un proceso isotérmico, $Q_{3→4} = Q_{\text{ced}}$ y de la ecuación del rendimiento $r = 1 - (Q_{\text{ced}}/Q_{\text{abs}})$ despejando tenemos $Q_{\text{ced}} = (1 - r)Q_{\text{abs}} = (1 - 0.5)900 = 450$ kJ.

Por la convención de signos este valor se toma como negativo y de la primera ley de la termodinámica $W_{3→4} = Q_{3→4} = -450$ kJ, $\Delta S_{3→4}$ debe ser el negativo de $\Delta S_{1→2}$ $Q_{\text{ced}}/T_{\min} = -450/300 = -1.5$ kJ/K, $\Delta S_{\text{tot}} = 1.5 + 0 - 1.5 + 0 = 0$, ya que su suma debe ser cero en un ciclo, también $\Delta U_{\text{tot}} = 0$ en un ciclo y por tanto $\Delta U_{4→1} = 2808$ kJ $Q_{\text{neto}} = 450$ kJ y por la primera ley $W_{\text{neto}} = 450$ kJ, $W_{4→1} = -2808$ kJ al usarse la primera ley en el cuarto renglón de la Tabla IV.

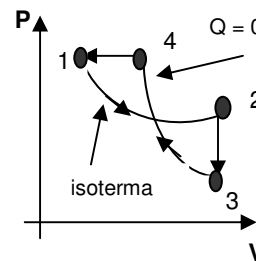


Figura 2. Cambios politrópicos para un gas ideal

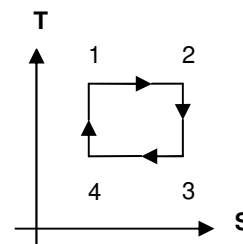


Figura 3. Ciclo recorrido por un sistema formado por 3 kg de He

Tabla III

Resultados para los cambios politrópicos de la Fig. 2.

$V_1 < V_2$ (v)	$W_{1→2} > 0$ (v)
$P_1 < P_2$ (f)	$\Delta U_{3→4} = W_{3→4}$ (f)
$T_2 > T_3$ (v)	$W_{2→3} > 0$ (f)
$T_1 < T_2$ (f)	$Q_{1→2} = W_{1→2}$ (v)

Tabla IV

Completar datos de acuerdo a la figura 3

	T(K)	ΔU (kJ)	Q(kJ)	W(kJ)	ΔS (kJ/K)
1	600				
2	600	0	900	900	1.5
3	300	-2808	0	2808	0
4	300	0	-450	-450	-1.5
1	600	2808	0	-2808	0
Neto		0	450	450	0

El contenido de la Unidad III es el siguiente: Procesos espontáneos, aumento en la entropía del universo, segunda ley de la termodinámica, expansión libre de un gas ideal, intercambio de energía calorífica entre dos ga-

ses ideales aislados de los alrededores. Intercambio de energía calorífica entre un gas ideal y un almacén térmico, máquina térmica y refrigerador. Después de cubrir la teoría correspondiente a éstos temas, se resuelven problemas del siguiente tipo:

- Un sistema opera en ciclos entre dos almacenes térmicos; absorbiendo una cantidad de calor Q_{abs} del almacén a la temperatura de 400 K, cediendo una cantidad de calor Q_{ced} al almacén a la temperatura de 200 K y realizando un trabajo neto W (Figura 4). Determinar en cada uno de los casos propuestos raya continua de cada inciso, si el ciclo es posible (reversible o irreversible) o imposible.

a) El sistema absorbe 400 kJ de calor del almacén a temperatura alta y cede 200 kJ de calor al almacén a baja temperatura.

b) El almacén a temperatura alta cede 600 kJ de calor y el sistema realiza un trabajo neto de 150 kJ.

c) El sistema realiza un ciclo con un rendimiento de 60% y cede 100 kJ de calor al almacén a temperatura menor.

Para resolver éste problema nos ayudaría mucho hacer un dibujo como el de la figura 4.

a) Los datos para éste inciso son: $Q_{abs} = 400$ kJ, $Q_{ced} = 200$ kJ. Dado que la energía se conserva, entonces $W = Q_{abs} - Q_{ced} = (400 - 200)$ kJ = 200 kJ. La variación en la entropía del universo está dada como: $\Delta S_{Univ} = \Delta S_{sist} + \Delta S_{alred}$. En donde $\Delta S_{sist} = 0$ porque el sistema opera cíclicamente, y $\Delta S_{alred} = \Delta S_{alm T_{max}} + \Delta S_{alm T_{min}} = -Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}$; de aquí que $\Delta S_{univ} = 0 + (-Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}) = (-400 \text{ kJ}/400 \text{ K} + 200 \text{ kJ}/200 \text{ K}) = (-1 + 1)$ kJ/K = 0 y como ΔS_{univ} es igual a cero, concluimos que el ciclo es: posible reversible

b) Los datos para éste inciso son: $Q_{abs} = 600$ kJ, $W = 150$ kJ. Dado que la energía se conserva $W = Q_{abs} - Q_{ced}$ de donde: $Q_{ced} = Q_{abs} - W = (600 - 150)$ kJ = 450 kJ. La variación en la entropía del universo esta dada como: $\Delta S_{Univ} = \Delta S_{sist} + \Delta S_{alred}$. En donde $\Delta S_{sist} = 0$ porque el sistema opera cíclicamente, y $\Delta S_{alred} = \Delta S_{alm T_{max}} + \Delta S_{alm T_{min}} = -Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}$; de aquí que $\Delta S_{univ} = 0 + (Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}) = (-600 \text{ kJ}/400 \text{ K} + 450 \text{ kJ}/200 \text{ K}) = (-1.5 + 2.25)$ kJ/K = 0.75 kJ/K y como ΔS_{univ} es positiva, concluimos que el ciclo es: posible irreversible.

c) Los datos para éste inciso son: $Q_{ced} = 100$ kJ, $r = 60\% = 0.6$. De la definición de rendimiento: $r = 1 - (Q_{ced}/Q_{abs})$; se tiene $Q_{abs} = Q_{ced}/(1 - r) = 100 \text{ kJ} / (1 - 0.6) = 250$ kJ. La variación en la entropía del universo está dada como: $\Delta S_{Univ} = \Delta S_{sist} + \Delta S_{alred}$. En donde $\Delta S_{sist} = 0$ porque el sistema opera cíclicamente, y $\Delta S_{alred} = \Delta S_{alm T_{max}} + \Delta S_{alm T_{min}} = -Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}$; de aquí que $\Delta S_{univ} = 0 + (Q_{abs}/T_{max} + Q_{ced}/T_{min}) = (-250 \text{ kJ}/400 \text{ K} + 100 \text{ kJ}/200 \text{ K}) = (-0.625 + 0.5)$ kJ/K = -0.125 kJ/K y como ΔS_{univ} es negativa, concluimos que el ciclo es: imposible.

Otro tipo de problema que se pide resolver en ésta tercera unidad es el siguiente:

- 4 kg de Helio inicialmente a 175 kPa y 200 K expe-

rimentan los siguientes cambios: Pasan del estado 1 al 2 mediante un proceso reversible a presión constante, aumentando su temperatura en 100 K; a continuación por medio de un proceso isoentrópico su presión aumenta hasta 200 kPa; finalmente llega al estado 4 por medio de una expansión libre adiabática, aumentando su volumen en 1.84 m³. Calcular las cantidades pedidas en las Tablas V y VI.

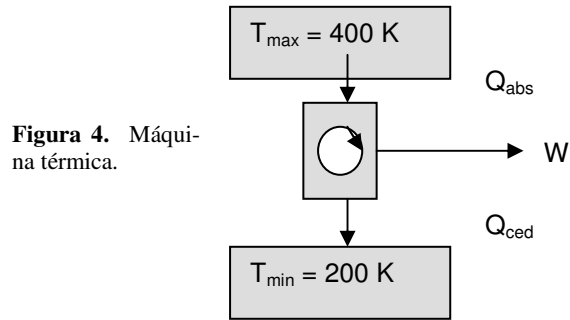


Figura 4. Máquina térmica.

	P(kPa)	V(m ³)	T(K)
1	175	9.51	200
2	175	14.26	300
3	200	13.16	316.35
4	175.47	15.0	316.35

ΔS (kJK ⁻¹)			
	Sistema	Alrededores	Universo
1→2	8.43	-8.43	0
2→3	0	0	0
3→4	1.09	0	1.09

Inicialmente todos los espacios de las Tablas están vacíos y los llenamos con los datos del enunciado y con el uso de fórmulas. Sabemos que para el Helio $c_v = 3.12$ kJ/kgK, $c_p = 5.2$ kJ/kgK, $R = c_p - c_v = 2.08$ kJ/kgK, se conocen la presión y la temperatura en el estado inicial, por lo que de la ecuación de estado del gas ideal, calculamos:

$$V_1 = mRT_1/P_1 = (4)(2.08)200/(175) = 9.51 \text{ m}^3.$$

El sistema pasa del estado 1 al 2 mediante un proceso reversible a presión constante aumentando su temperatura en 100 K, entonces $P_2 = P_1 = 175$ kPa, $\Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{univ}) = 0$ por ser un proceso reversible, $\Delta T_{1 \rightarrow 2} = T_2 - T_1 = 100$ K; de donde: $T_2 = T_1 + \Delta T_{1 \rightarrow 2} = (200 + 100)$ K = 300 K, determinamos la variación en la entropía del sistema mediante la ecuación

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{Sist}) = mc_p \ln(T_2/T_1) - mR \ln(P_2/P_1) = mc_p \ln(T_2/T_1) = (4)(5.2) \ln(300/200) = 8.43 \text{ kJ/K}$$

y como $\Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{univ}) = \Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{sist}) + \Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{alred}) = 0$; entonces $\Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{alred}) = -\Delta S_{1 \rightarrow 2}(\text{sist}) = -8.43$ kJ/K. Determinamos para éste proceso, mediante la ecuación de estado

$$V_2 = mRT_2/P_2 = (4)(2.08)(300)/(175) = 14.26 \text{ m}^3.$$

El sistema pasa del estado 2 al 3 mediante un proceso isoentrópico, en el que su presión aumenta hasta 200 kPa; esto significa que $\Delta S_{2 \rightarrow 3}(\text{sist}) = 0$, $\Delta S_{2 \rightarrow 3}(\text{univ}) = 0$, $\Delta S_{2 \rightarrow 3}(\text{alred}) = 0$, $P_3 = 200$ kPa. De la ecuación de los

procesos adiabáticos $PV^\gamma = \text{const}$ se tiene $P_2V_2^\gamma = P_3V_3^\gamma$ de la cual despejamos V_3 ; $V_3 = (P_2/P_3)^{1/\gamma} V_2$, $\gamma = c_p/c_v = 5.2/3.12 = 1.67$ y $1/\gamma = 0.6$, por tanto $V_3 = (200/175)^{0.6}(14.26) = 13.16 \text{ m}^3$, Usamos la ecuación de estado para calcular T_3 , $T_3 = P_3V_3/mR = (200)(13.16)/(4)(2.08) = 316.35 \text{ K}$

En la expansión libre adiabática la temperatura permanece constante, así que $T_4 = 316.35 \text{ K}$, en este proceso el volumen aumenta en 1.84 m^3 y como $V_3 = 13.16 \text{ m}^3$ entonces $V_4 = 15 \text{ m}^3$, luego calculamos P_4 utilizando la ecuación de estado, $P_4 = mRT_4/V_4 = (4)(2.08)(316.35)/(15) = 175.47 \text{ kPa}$. El cambio de entropía para el proceso $3 \rightarrow 4$ es calculado de la fórmula:

$\Delta S_{3 \rightarrow 4}(\text{sist}) = mc_v \ln(T_4/T_3) + mR \ln(V_4/V_3) = mR \ln(V_4/V_3) = (4)(2.08) \ln(15/13.16) = 1.09 \text{ kJ/K}$, como este es un proceso adiabático $\Delta S_{3 \rightarrow 4}(\text{alred}) = 0$, por tanto, $\Delta S_{3 \rightarrow 4}(\text{univ}) = 1.09 \text{ kJ/K}$. Con esto terminamos de llenar los espacios vacíos de las Tablas V y VI.

3 Conclusiones

Creemos que éste método de impartir el curso de Termodinámica, dando la teoría completa y luego resolviendo problemas como los mostrados con el llenado de Tablas y la interpretación de los procesos politrópicos en los diagramas VP y ST, ayudan a los estudiantes a tener una mejor comprensión y un buen aprendizaje de la materia

y por otro lado los profesores que imparten el curso califican de una manera rápida las tareas y los exámenes ya que a veces se tienen hasta 45 alumnos por grupo por lo que resulta eficiente éste método.

Agradecimientos

Agradecemos a Luz María García Cruz, Héctor Martín Luna García, Tomás David Navarrete González y José Ángel Rocha Martínez compañeros profesores de la materia y autores de los libros “Elementos de Termodinámica” y “Solución de Problemas de Termodinámica” por el apoyo que nos brindaron, así como al profesor Abelardo Rodríguez Soria por proporcionarnos el Software “Termita” del cual es autor.

Referencias

1. L. M. García, H. M. Luna, T. D. Navarrete, J. A. Rocha “Solución de Problemas de Termodinámica” Editorial UAM-A. (2008)
2. L. M. García, H. M. Luna, T. D. Navarrete, J. A. Rocha. “Elementos de termodinámica” Editorial UAM-A (2008)
3. F. Medina, M. E. Espinoza, L. M. García “Termodinámica” Editorial UAM-A (2004) .

Propuesta de uso de software de diseño mecánico como estrategia de enseñanza de la termodinámica

E. López P^a. H. Iturriza.^a R. Maduro.^a H. García.^a G. Castillo.^a B. Sanchez.^b

a) Departamento Física Universidad Pedagógica Experimental Libertador. Instituto Pedagógico “Rafael Alberto Escobar Lara”. República Bolivariana de Venezuela. Estado Aragua. Maracay; nikoclaudia5464@gmail.com[†]

b) Instituto Universitario Experimental de Tecnología de La Victoria. República Bolivariana de Venezuela. Estado Aragua. La Victoria

[†]Autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 23/11/10.

Sumario. Es común encontrar a nivel de especialidades como ingeniería la utilización de software de diseño mecánico para el modelado de fenómenos de flujo de fluidos y transferencia de calor. En la presente investigación se pretende mostrar las potencialidades que tienen el uso y aplicación del software denominado *SolidWork*, en el estudio de la variación de temperatura y las isotermas que se forman en diferentes superficies tales como aletas helicoidales corrugadas y barras macizas, tema correspondiente a la unidad de transferencia de calor del programa o cátedra de termodinámica impartida en el Dpto. de Física de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). Las apreciaciones iniciales de esta aplicación muestran que los alumnos parecen tener una mejor comprensión del fenómeno de transferencia de energía en forma de calor a través del uso de esta herramienta computacional.

Abstract. It is common to find specialties such as engineering, the use of mechanical design software for modeling of phenomena of fluid of flow and heat transfer. In the present investigation is to show the potential of the use and application of software called *SolidWork*, the study of the variation in temperature and the isotherms are formed on different surfaces such as corrugated helical blades and solid bars, co-corresponding item the heat transfer of the course of Thermodynamics imparted in the specialty of Physics of Universidad Pedagógica Experimental Libertador (UPEL). The initial findings of this application show that the students seem to have a better understanding of the phenomenon of energy transfer as heat through the use of this computational tool.

Palabras clave. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, entropy thermodynamics 05.70.-a

1 Introducción

Entre los métodos y técnicas utilizados hoy en día para la enseñanza de la física se encuentran las clases presenciales y el estudio de textos. En estos tiempos es recomendable preguntarse ¿Cómo hacer para que el alumno comprenda mejor los contenidos dictados en cátedras como Termodinámica administradas en institutos y uni-

versidades del mundo? En este sentido el profesor de la asignatura debe entender el compromiso esencial que lo obliga a desarrollar, utilizar y aplicar nuevas técnicas y estrategias didácticas para mejorar y facilitar el aprendizaje del estudiante.

En el estudio de la ciencia y la ingeniería la asignatura de termodinámica es de suma importancia. La resolución y análisis de problemas a través del empleo de las mate-

máticas minimiza la importancia y aplicación práctica de los cálculos obtenidos. Las herramientas virtuales permiten cambiar este enfoque acercando al estudiante al análisis y la aplicación de los conceptos.¹

Uno de los contenidos a estudiar en termodinámica es el fenómeno de transferencia de calor. Para lo cual en unidades precedentes se debe dejar claro conceptos, tales como: Calor (*la formación de energía, a una temperatura dada, se transfiere a través de los límites de un sistema a otro sistema que está a menor temperatura y que sucede en virtud de la diferencia de temperatura entre los dos sistemas*).² Mecanismos de transferencia de calor: conducción (transferencia de calor a través del materia sólida), convección (transferencia de calor entre una superficie y un fluido) y Radiación (transferencia de calor sin la utilización de un medio material como la que ocurre entre el sol y la tierra).³ En el estudio de la conducción, muchas veces se le pide en el laboratorio determinar la conductividad térmica de un material conocido o no, realizar gráficas de variación de temperatura vs longitud de una barra, entre otras, y estos conocimientos pueden ser reforzados a través de herramientas de laboratorios virtuales.

Hoy en día existen muchos software educativos que permiten al docente y alumno un mejor desarrollo y comprensión de los conceptos termodinámicos, contenidos que se dictan en la asignatura Termodinámica del Instituto Universitario Experimental de la Victoria en el Dpto. de Mecánica y en la Universidad Experimental Libertador de Maracay, en el Dpto. de Física, instituciones estas que sirven de referencia.

Los softwares educativos y laboratorios virtuales son productos tecnológicos y constituyen una herramienta computacional, siendo un medio de presentación y desarrollo de contenidos programáticos, como los libros, videos y cualquier otra herramienta que se utilice para tal fin.⁴

El uso o no de estas herramientas didácticas no está en tela de juicio en este trabajo, pues es conocido que las condiciones económicas pueden influir en la obtención y uso de los recursos necesarios. Tampoco se evaluará el por qué del desconocimiento de las herramientas y los factores que inciden sobre ella. Esta es una herramienta de actualidad y muy útil para la enseñanza de la física, lo cual no quiere decir que se esté enseñando lo mismo que antes y de forma más eficiente, sino que se amplía las posibilidades y opciones que propician el proceso de enseñanza.⁵

En este trabajo se pretende mostrar el potencial que tiene el software de diseño mecánico *SolidWork* para el estudio de la Termodinámica, sin embargo, es de saber que todo recurso de aprendizaje que se utilice en el aula debe ser evaluado periódicamente a fin de conocer sus ventajas y desventajas en cuanto fortalezas, aprendizaje y pedagogía.⁶ A continuación se presenta una descripción breve de algunos softwares y sus aplicaciones didácticas en la termodinámica, en especial, el *SolidWork* motivo de este trabajo.

2 Simulación, animación e interacción

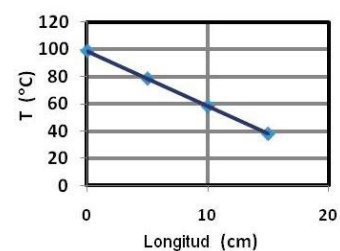
2.1 Flash y el uso de plataforma Moodle. La animación es la técnica cinematográfica que proporciona apariencia de movimiento a dibujos, muñecos, etc, por su parte la simulación es la representación del comportamiento de un proceso por medio de un modelo material cuyos parámetros y cuyas variables son la reproducción de los del proceso estudiado y la interacción es el conjunto de teorías y técnicas relativas al dialogo, a la comunicación entre una persona y una máquina informática o automática.⁷

Por otra parte, existen centros encargados de desarrollar herramientas para facilitar el aprendizaje de la física, estos utilizan plataforma *Moodle*, que le permiten al alumno trabajar de manera activa con el profesor y a distancia (sincrónica y asincrónica). El Grupo de Innovación Educativa,⁸ utiliza esta plataforma para montar en ella la aplicación de los contenidos desarrollados en el área de la física. Las aplicaciones son programadas en formato *flash* que presenta un gran potencial gráfico y de animación. La plataforma *Moodle* es muy amigable y permite montar en página *Web* estos contenidos.

Figura 1. Esquema del montaje de laboratorio mostrando el recipiente contenedor de agua, los termómetros, la barra de cobre con su respectivo aislante térmico.



Figura 2. Gráfica de Temperatura vs longitud de los resultados experimentales. Barra de cobre. Laboratorio. UPEL Maracay.



2.2 Laboratorios virtuales. El estudio de fenómenos termodinámicos puede ser abordado de dos maneras, a través de experiencias de laboratorio sencillas que requieren montajes de bajo costo y por laboratorios virtuales para montajes que son costosos; adicional a esto, el uso de esta herramienta además permite una mejor representación visual del fenómeno en estudio.

El uso de Nuevas Tecnologías de la Formación (NTF), empleando la computadora y dirigido a la modelación y simulación de fenómenos de transporte físicos o de procesos industriales, ha favorecido el desarrollo de hardware y software, incluyéndolos de forma efectiva como recurso didáctico en los procesos educativos.⁹

Tal es el caso del sistema diseñado con *VisualLab* que

aprovechan las bondades que tienen las computadoras para la simulación de prácticas de laboratorio con posibilidades de un gran número de experiencias a realizar, disminuyendo así los costos de equipamiento del laboratorio y haciéndolo más eficaz.¹⁰

3 Software de diseño mecánico Solid-Work

SolidWork es un software de diseño mecánico 3D, de gran rendimiento, facilidad de usos y funciones que permiten ahorrar mucho tiempo en el diseño de piezas individuales y ensamblajes. Esta herramienta es usada en ingeniería para realizar piezas en tres dimensiones, planos de diferentes vistas, simulaciones de movimiento, etc. y con la ayuda del software *COSMOS* se pueden realizar análisis de esfuerzos, térmicos, entre otros, (<http://www.cosmosm.com/pages/products/cosmosdesingnsta.html>).

Además, las simulaciones pueden ser utilizadas para mostrar al estudiante como es la distribución de temperaturas en la superficie de un sólido, en otras palabras, la formación de isotérmicas. El sólido o el conjunto de sólidos que forman un ensamble pueden ser rotados en el espacio de la pantalla para observar, en diferentes ángulos y vistas, la formación de las isoterms, propiciando así una mejor percepción del objeto real y logrando el objetivo didáctico que se pretende.

Se ha utilizado el software para mostrar una experiencia de laboratorio en la cual se estudia el fenómeno de transferencia de calor por conducción y las isoterms que se forman. A continuación podemos observar en la figura 1 un esquema del montaje de laboratorio.

En este montaje, se coloca agua y se lleva al estado de evaporación a presión atmosférica, la temperatura aproximada es de 98 °C, como es de esperar las temperaturas, que registrar los termómetros, van cambiando hasta alcanzar el estado estable. Se le pide al alumno que realice una gráfica de temperatura vs longitud, considerando las temperaturas de los extremos de la barra aislada de cobre. Esta experiencia se repite para barras de aluminio y acero. En figura 2 se muestra un ejemplo.

Esos puntos de temperatura representan las isoterms que se forman en el área transversal o secciones de la barra. Una manera de visualizar esto de mejor forma es a través del uso de *SolidWork*. En la figura 3 se muestran las isoterms que se forman en la barra en estudio, donde el color rojo representa la mayor temperatura que es de 99 °C y el azul la menor temperatura de 38 °C. La degradación de los colores representan las diferentes temperaturas comprendidas entre 99 y 38 °C.

El alumno parece comprender con este análisis térmico que en diferentes secciones del sólido se forman isoterms o temperaturas, que van desde la mayor a la menor en esta geometría sencilla antes mencionada, sin embargo, *SolidWork* permite análisis térmicos a geometrías más complejas como para el caso de los experimen-

tos con aletas helicoidales corrugadas. En la figura 4 se muestra un tubo con aletas helicoidales corrugada. El montaje experimental permite medir la magnitud de calor disipado por los tubos con aleta helicoidal corrugada y con la ayuda del software se puede observar las isotérmicas que se forman en la superficie.

Este software permite diseñar de manera muy sencilla una aleta helicoidal lisa acoplada a un tubo, tal como se puede observar en la figura 5(c).

Figura 3. Análisis térmico de la barra de cobre. (SolidWork, COSMO).

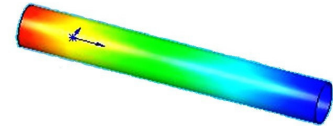


Figura 4. (a) Tubo con aletas helicoidales corrugadas y (b) aleta corrugada si el tubo.

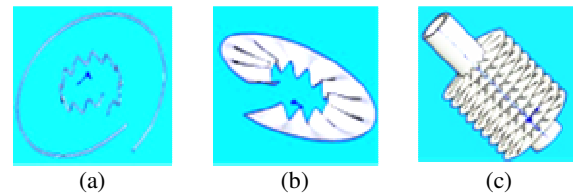
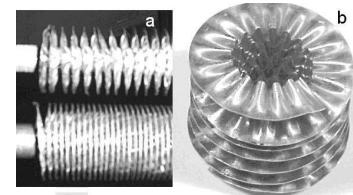


Figura 5. (a) Contorno Interno, externo de la aleta, (b) barrido de la superficie entre los contornos y (c) Tubo con aleta helicoidal corrugada (SolidWork).

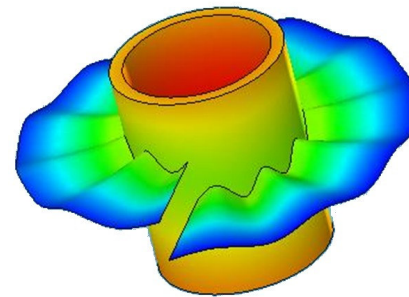


Figura 6. Análisis térmico del conjunto tubo y aleta corrugada (SolidWork, COSMO).

Para poder desarrollar el perfil corrugado de la aleta helicoidal, se debe generar curvas por puntos, tanto para el contorno interna que se encuentra en contacto con el tubo como para el contorno externo. El modelo matemático con el cual se generan los puntos del contorno externo e interno es muy sencillo y se presenta a continuación para un tubo de diámetro externo 15,875 mm y de altura de aleta de 10 mm, despreciando el espesor. Se expresa un vector posición que define el contorno interno y externo:

$$r = xi + yj + zk ; \quad x = R\cos\phi ; \quad y = R\sen\phi$$

Para:

$$R = \frac{1}{2} \phi_{\text{interior}} = 7,9375 \text{ mm}$$

$$R = \frac{1}{2} \phi_{\text{exterior}} = 17,9375 \text{ mm}$$

Para:

$$j=0: j = (nb-1): j++;$$

$$j = a \Rightarrow z = 0,$$

$$z = j \cdot (a) - h \cdot (-1)^j$$

Donde

$$a = \text{Paso}/nb$$

$$h = \text{profundidad}$$

Donde nb representa el número ondulaciones o corrugados en una recorrido de 360° .

$$a = 3/23 = 0,1304 \text{ mm}$$

$$h = 1,2 \text{ mm}$$

Los valores obtenidos a través del uso de software Excel, son importados al programa SolidWork y se generan los contornos internos y externos mostrados en la figura 5(a).

Luego al programa se le solicita el barrido de la superficie obteniendo la pieza deseada, que en este caso es la aleta helicoidal corrugada, figura 6. Posteriormente se ensambla la aleta al tubo correspondiente al diámetro indicado anteriormente, figura 5(b).

Una vez conformado el conjunto tubo y aleta corrugada, se procede a realizar el análisis térmico con la ayuda del *COSMO* incorporado en el software SolidWork. En la figura 6 se puede observar la formación de isoterma considerando que la temperatura interior del tubo es superior a la temperatura del extremo de la aleta.

4 Consideraciones finales

El software educativo, herramienta de avance tecnológico, propician el aprendizaje en búsqueda de unificar las necesidades pedagógicas y didácticas, cambiando los viejos esquemas de enseñanza. Esto se logra a través de la ciencia de diseño de software.

En este trabajo, se pretendió mostrar las potencialidades desde el punto de vista de la didáctica que posee el software de diseño mecánico utilizado en aplicaciones de ingeniería. Se abre un portal o se muestra un camino, el cual puede ser desarrollado y abordado con fines didácticos para propiciar el aprendizaje del estudiante en los cursos de termodinámica

Sin embargo se sabe que todo recurso de aprendizaje

que se utilice en el aula debe ser evaluado periódicamente a fin de conocer sus ventajas y desventajas en cuanto a las fortalezas y debilidades.

Referencias

1. C. Quiñones, D. Ramirez, Z. Rodriguez, F. Rivera, E. Tovar, G. Vasquez y A. Ramirez. Desarrollo de herramientas virtuales para la enseñanza de la termodinámica básica. Revista Colombiana de Física, vol 38, No. 4, (2006).
2. Van Wylene. Fundamentos de termodinámica. Limusa Wiley. México 2^{da} edición, (2003).
3. Paul G. Hewitt. Física conceptual. Editorial Trillas México, (2005).
4. Morales C., Carmona V., Espiritu S. y González I “Modelo de evaluación de software educativo”. Telemática Vol 7 1/6, (2008).
5. Susana Marchisio, Miguel Plano, Jorge Ronco, Oscar Von Pamel, “Experiencia con el uso de simulaciones en la enseñanza de la física de los dispositivos electrónicos.” Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Argentina (2000).
6. Ángela Cova C. y Xiomara Arrita. “Referente teórico para el diseño y evaluación de software de apoyo a la enseñanza – aprendizaje de la física.” Centro de desarrollo científico humanístico de la Universidad de Carabobo. Valencia. Republica Bolivariana de Venezuela, (2006).
7. El Pequeño Larousse Ilustrativo en color (2006).
8. Rosa M. Benito, M. Encarnación Cámara, Luís Seidel, Juan Carlos Losada y F. Javier Arranz, “Animaciones interactivas como objeto de aprendizaje de la física” GIE. Grupo de innovación educativa Física interactiva y Dpto. De Física y Mecánica. Universidad Politécnica de Madrid, (2007).
9. Jose M^a Cózar Bartos y José Antonio Turégano Romero. Laboratorio interactivo para prácticas de ingeniería térmica via www. Centro Politécnico Superior. Universidad de Zaragoza Javier Sarsa Garrido y Pedro Dominguez. Servicio Multimedia, Universidad de Zaragoza María de Luna, 3 – 50015 Zaragoza (España).
10. García C., Milián I., Perdomo A., Mesa J., Roiz J., Miarí E., Pérez H., Trallero C. Simulación de prácticas de laboratorio (VisualLab). Instituto superior de ciencias y tecnología nucleares. CUBA, <http://www.niee.ufrgs.br/eventos/RIBIE/1996/029.htm>
11. SolidWork 2007 licencia Educativa: FLEXID = 6-3FA52927 / SRB07229 / 0648Y21253A12.

Aspectos termodinámicos de la meteorología y su influencia en la dispersión de los contaminantes atmosféricos

L. Montes de Oca, V. Tricio^a, A. Pierre^b, O. Cuesta^c, E. Sanchez^b, R. Rodríguez^b

Departamento de Física, Instituto Superior Minero Metalúrgico Moa, Cuba; lmontes@ismm.edu.cu†.

a) Departamento de Física, Universidad de Burgos, Burgos, España; vtricio@ubu.es

b) Departamento de Física, Instituto Superior Minero Metalúrgico Moa, Cuba. apierre@ismm.edu.cu

b) Instituto de Meteorología, La Habana, Cuba. Osvaldo.cuesta@insmet.cu

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 12/06/2010.

Sumario. La atmósfera es el medio donde se liberan contaminantes, el transporte y la dispersión de esta descarga depende en gran medida de parámetros meteorológicos. Por lo que para realizar actividades relativas a la planificación de la calidad del aire es imprescindible comprender la meteorología de la contaminación del aire y su influencia en la dispersión de las sustancias contaminantes. Para conocer el destino de dichas sustancias es preciso conocer procesos atmosféricos tales como el movimiento del aire y el flujo de calor. En el presente trabajo, partiendo de los núcleos teóricos fundamentales impartidos en la disciplina Física General, se exponen los principales aspectos termodinámicos que están presentes en estos procesos, así como su implicación en los fenómenos de contaminación atmosférica. Lo que permitirá una integración de la dimensión ambiental en el sistema educativo dirigido a la adquisición de conocimientos, al desarrollo de capacidades y a la formación de valores éticos que favorezcan un comportamiento social y profesional coherente con el concepto de desarrollo sostenible.

Abstract. The atmosphere is the mean where pollutants are delivered, the transportation and dispersion of this discharge depends of meteorological parameters. Thus, it is important to know meteorology of air pollution and its influences to do relative activities to the quality planning of air. For knowing the destination of these substances, it is necessary to know atmospheric processes, such as the air movement and heat flow. In this work, we will use the fundamental theoretical nucleus imparted in the discipline General Physics, the main thermodynamic aspects that are present in these processes are exposed, as well as their implication in the air pollution phenomena. That will allow an integration of the environmental dimension in the educational system oriented to the acquisition of knowledge, to the development of capacities and the formation of ethical value that favor a coherent social and professional behavior with the concept of sustainable development.

Palabras clave. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, Air pollution meteorology 92.60.Sz, Thermodynamics, 05.70.-a

1 Introducción

La contaminación atmosférica ha crecido alarmantemente en los últimos decenios, como consecuencia del verti-

do al aire de cada vez más abundantes cantidades de humos, gases tóxicos y productos químicos.

Los modelos de dispersión atmosférica son una herramienta de gran valor para el control de la calidad

del aire, ya que en su formulación se incorporan los conocimientos más recientes sobre dinámica atmosférica para modelar, con cierto grado de confianza, los patrones de dispersión, transformación química y remoción de los contaminantes.

Para comprender mejor el problema de la contaminación atmosférica, es necesario comenzar indagando sobre lo que es la atmósfera y continuar con un análisis de las condiciones que se presentan favorables o no a la dispersión de los contaminantes, o sea la estabilidad atmosférica.

En las carreras del perfil de Ciencias Técnicas que forman profesionales de acciones contaminadoras directa de la atmósfera, es necesaria una conciencia de conservación del medioambiente. En correspondencia con el rol de la universidad cubana actual, expresado mediante el propósito de integrar la dimensión ambiental en el sistema educativo dirigido a la adquisición de conocimientos, al desarrollo de capacidades y a la formación de valores éticos que favorezcan un comportamiento social y profesional coherente con el concepto de desarrollo sostenible.¹

En este contexto la Física General no puede dedicarse, en exclusivo, al desarrollo de la capacidad de interpretar los fenómenos que ocurren en la naturaleza, sino que a su vez deberá propiciar la posibilidad de conocer a fondo los procesos físicos de estos fenómenos y las variantes de modelación y regulación de los mismos. Lo que posibilite la formación de un profesional dotado de conocimientos, habilidades y valores que les permita ejercer su profesión de manera racional y en completa armonía con el entorno que le rodea.

Para garantizar tal propósito pretendemos enfocar la componente ambiental en la enseñanza de la disciplina Física General, para las carreras de Ciencias Técnicas, en los aspectos termodinámicos que subyacen en el estudio de los procesos meteorológicos que influyen en la dispersión de los contaminantes en la atmósfera.

2 Características de la atmósfera

La atmósfera rodea nuestro planeta rotando con alrededor de su eje imaginario y también alrededor del sol. Como lo señala la Tabla 1, la misma está compuesta por aproximadamente 78 por ciento de nitrógeno, 21 por ciento de oxígeno y uno por ciento de argón; también existen gases traza como el dióxido de carbono, el neón y el helio.

La temperatura varía también con la altitud y ésta permite dividir la atmósfera en capas, que se denominan: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera.

La capa más importante en el estudio de los fenómenos de dispersión es la troposfera, porque esa zona contiene el aire que respiramos y en ella también se producen los fenómenos meteorológicos que determinan el clima y los patrones de dispersión de los contaminantes.

Se caracteriza porque la temperatura desciende con la altura aproximadamente 1°C cada 100 metros, hasta un

nivel en que el gradiente de temperatura negativo cambia, denominándose dicho nivel tropopausa. Sobre este nivel la temperatura comienza a ascender (estratosfera).

Sustancia	Concentración (ppm) ¹
Nitrógeno	780.900
Oxígeno	209.400
Argón	9.300
Dióxido de Carbono	315
Neón	18
Helio	5.2
Metano	2.3
Criptón	0.5
Hidrógeno	0.5
Xenón	0.08
Dióxido de nitrógeno	0.02
Ozono	0.01-0.04

¹ Ver referencia [1].

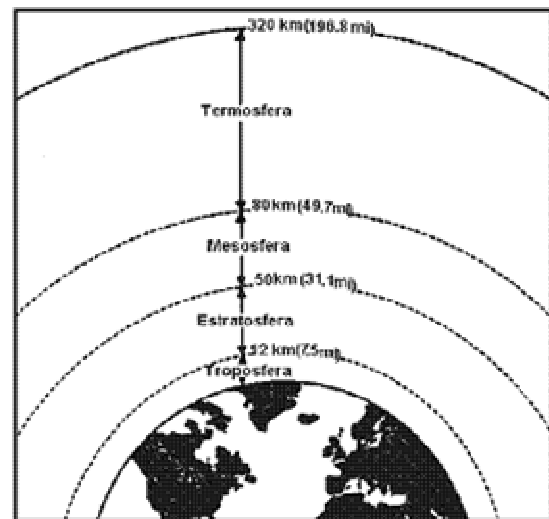


Figura 1. Las cuatro capas atmosféricas. (ver referencia [3])

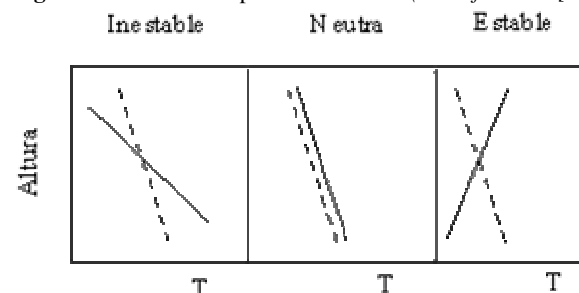


Figura 2. Relación de la estabilidad atmosférica con las tasas de cambio ambiental y adiabática seca (— tasa de cambio ambiental, --- tasa de cambio adiabática seca)

Pero la atmósfera no es una masa de gases en reposo, sino una capa gaseosa fluida y turbulenta que se mueve en el espacio y en el tiempo con intensidad variable, donde son liberados los contaminantes, el transporte y la dispersión de estas descargas depende en gran medida de

parámetros meteorológicos.

Para realizar actividades relativas a la planificación de la calidad del aire es imprescindible comprender la meteorología de la contaminación del aire y su influencia en la dispersión de las sustancias contaminantes. Los planificadores emplean este conocimiento para ayudar a localizar las estaciones de monitoreo de la contaminación del aire y para desarrollar planes de implementación orientados al cumplimiento de los estándares de la calidad del aire en exteriores.

3 Termodinámica y estabilidad atmosférica

Los fenómenos de contaminación atmosférica ocurren en su mayoría en la parte más baja de la atmósfera llamada Capa Límite Planetaria, por sus siglas en inglés PBL, la cual es algunas veces llamada la capa de fricción, ésta se define como la región en la cual la atmósfera experimenta los efectos de la superficie a través de intercambio de momento, calor y humedad.²

La dispersión atmosférica de un contaminante depende en primer lugar, de las condiciones meteorológicas y, después de los parámetros y condiciones en que se produce la emisión en la fuente, o sea de la velocidad y temperatura de los gases, la masa y peso molecular de los diferentes compuestos.³

Una de las características más importante de la atmósfera, en los procesos de dispersión de los contaminantes, es su estabilidad. Esto es su tendencia a resistir el movimiento vertical, o suprimir la turbulencia existente.⁴

Para determinar la estabilidad atmosférica, se utilizan variables de estados básicas como la presión atmosférica (P), la temperatura (T), además de la densidad (ρ). Estando estas variables estrechamente relacionadas unas con otras a través de la ecuación de estado, la ecuación de la hidrostática, la primera ley de la termodinámica y otras relaciones termodinámicas.⁵

- La presión atmosférica puede considerarse como el peso horizontal de la atmósfera por unidad de área horizontal. La unidad meteorológica convencional es el milibar (mb) el cual es equivalente a 100 Pa (pascales).

- Para la temperatura se usa una definición basada en la Teoría Cinética de los gases de acuerdo a la cual la temperatura directamente proporcional a la energía cinética media de las moléculas. Representando así la temperatura absoluta del aire el grado de calentura de la parcela de aire, relativo a un cero absoluto. La temperatura absoluta es expresada en Kelvin (K).

- La densidad del aire se define como la masa de sustancia por unidad de volumen, esta magnitud varía con la presión y la temperatura. Además el aire es una mezcla de aire seco y vapor de agua, variando su densidad con la tasa de vapor de agua o humedad específica. La unidad recomendada por el Sistema Internacional de Unidades (SI) es el kilogramo por metro cúbico, con una densidad típica para el aire seco de 1.29 kg/m^3 a la presión estándar a nivel del mar y a 273.3 K de temperatura.

Cuando un pequeño volumen de aire se desplaza hacia arriba dentro de la atmósfera, encontrará una presión menor y experimentará una expansión a una temperatura menor. Usualmente, la expansión es lo suficientemente rápida como para que se pueda suponer que ésta ocurre sin ninguna transferencia de calor entre dicho volumen de aire y la atmósfera que lo rodea.⁴

Si se considera la atmósfera como una columna estacionaria de aire en un campo gravitacional y se aproxima el aire a un gas ideal seco. La presión para una altura cualquiera z , se da por el peso de la columna de aire superior, la cual se expresa por la ecuación de la hidrostática.

$$dP = -\rho g dz \quad (1)$$

Donde ρ es la densidad del aire, P es la presión atmosférica y z es la altura.

El signo menos resulta del convenio que la altura es positiva cuando se mide hacia arriba y la presión disminuye en esta dirección.

La primera ley de la Termodinámica, que es esencialmente un planteamiento de la conservación de la energía, para un sistema cerrado que contenga un gas ideal en proceso de experimentar un cambio de estado cuasiestático, se escribe como:

$$dQ = dU + dW \quad (2)$$

De ella se pueden derivar diferentes expresiones. Aquí trabajaremos sólo con una que envuelva los cambios de presión y temperatura como sigue, ver referencias [5] y [6].

$$dQ = c_p dT - \frac{dP}{\rho} \quad (3)$$

De la cual se observa que la adición de calor a una parcela de aire debe cambiar su temperatura y/o presión.

Para un proceso adiabático $dQ = 0$, por lo tanto la ecuación anterior se convierte en

$$c_p dT = \frac{dP}{\rho} \quad (4)$$

Al sustituir la ecuación 1 en la ecuación 4 y reagrupar se obtiene

$$\left(-\frac{dT}{dz} \right)_{adiab} = \frac{g}{c_p} \quad (5)$$

El valor numérico de esta tasa de cambio adiabática dependerá del sistema de unidades empleado. En el SI, c_p equivale a $1.005 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ a la temperatura ambiente, y g es 9.8 m/s^2 . Con base a estos datos se determina que para el aire seco

$$\Gamma = \left(\frac{dT}{dz} \right) = -0.0098 \frac{^\circ\text{C}}{\text{m}} \quad (6)$$

La posibilidad de que exista una buena dispersión de los contaminantes en la atmósfera, está estrechamente relacionado con que haya mucho mezclado térmico, lo que depende en primer lugar del gradiente vertical de la temperatura y la turbulencia mecánica debido a la acción cortante del viento. Esto se puede determinar comparando el gradiente actual de temperatura (tasa de cambio ambiental) y con la tasa de cambio adiabática seca. En la

figura 2, se muestran varias posibles tasas de cambio ambientales junto con la tasa cambio adiabática seca, Γ , y su relación con las clases de estabildades de la atmósfera.

A menudo también se utiliza para caracterizar la estabilidad de la atmósfera el gradiente de temperatura potencial. Para determinar este gradiente se parte de la relación entre los cambios relativos en la temperatura y la presión en una parcela que se mueve adiabáticamente dada por [4]:

$$\frac{dT}{T} = \left(\frac{R}{c_p} \right) \frac{dP}{P} \quad (7)$$

Integrándose la ecuación anterior se obtiene

$$T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^k \quad (8)$$

Donde T_0 es la temperatura correspondiente a la presión de referencia P_0 y $k = R/c_p \approx 0.286$, R es la constante específica del gas (para el aire seco $R = 287.04 \text{ JK}^{-1} \text{ kg}^{-1}$).

La temperatura potencial θ es definida como la temperatura de una parcela de aire si se lleva por un proceso adiabático de su presión existente P a una presión de referencia a nivel del mar de 1 000 mb.

Usando la ecuación (8) podemos relacionar la temperatura potencial con la temperatura actual quedando:

$$\theta = T \left(\frac{P_0}{P} \right)^k = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{0.286} \quad (9)$$

La temperatura potencial es una característica propia de la parcela de aire, invariante durante el movimiento adiabático de la misma. Entonces una parcela de aire puede ser identificada por su temperatura potencial. También en una capa adiabática de la atmósfera, la temperatura potencial debe permanecer constante con la altura. Esta capa comúnmente se nombra como la capa de mezcla.⁴

Usando la ecuación nueve, la temperatura potencial puede expresarse en términos del gradiente de la temperatura ambiental y la tasa de cambio adiabático seca^{3,4} con una buena aproximación se obtiene:

$$\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\theta}{T} \left(\frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma \right) \cong \frac{\partial T}{\partial z} + \Gamma \quad (10)$$

Esta aproximación es particularmente útil en la PBL, donde θ y T se diferencian en menos del 10 %.⁵

En base al gradiente de temperatura actual en corres-

pondencia relativo a la tasa de cambio adiabática seca, la PBL puede ser caracterizada como sigue:

1. Superadiabática, cuando $-\partial T / \partial z > \Gamma$
2. Adiabática, cuando $-\partial T / \partial z = \Gamma$
3. Subadiabática, cuando $-\partial T / \partial z < \Gamma$
4. Isotérmica, cuando $-\partial T / \partial z = 0$
5. Inversión, cuando $-\partial T / \partial z > 0$

Esta caracterización está relacionada a la estabilidad atmosférica.⁶

3 Conclusiones

1. El fenómeno de contaminación atmosférica constituye una herramienta idónea para la materialización de los principios de la formación ambiental de los estudiantes de las carreras de ciencias técnicas, para la disciplina de Física General.
2. La Termodinámica de los procesos atmosféricos juega un papel fundamental en los procesos de dispersión de los contaminantes, fundamentalmente en la determinación de la tasa de cambio adiabática y el gradiente de la temperatura potencial, para la determinación de la estabilidad atmosférica.
3. Los conocimientos físicos desarrollados desde la Termodinámica, en la disciplina de la Física Genral, aporta núcleos teórico-prácticos básicos que le permita entender los mecanismos de dispersión de los contaminantes, en la atmósfera.

Referencias

1. Estrategia Ambiental del Ministerio de Educación Superior en Cuba.
2. Handbook of Air Pollution, PHS Publication AP-44 (PB190-247), (1968).
3. P. Zannetti. Air Pollution Modeling. Theories, Computational Methods and Available Software, edited by Van Nostrand Reinhold (1990).
4. Alejandro S. M. Monografía: Difusión de los contaminantes gaseosos en la atmósfera, Universidad Tecnológica Nacional (2000).
5. K. Wark y C. F. Warner. Contaminación del aire: Origen y control, editado por Editorial Limusa, S. A, (1994).
6. S. P. Aray. Air Pollution Meteorology and Dispersion, edited by Oxford University Press, (1999).

Una página web para la enseñanza del concepto entropía

M. Alarcón, A. Gómez^a, R. López^b y Y. Laguna^b

Facultad de Informática, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; margieam@hlg.rimed.cu[†]

a) Facultad de Media Superior, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; agomez@hlg.rimed.cu

b) Facultad de Informática, ISP “José de la Luz y Caballero” Holguín, Cuba; raciel@hlg.rimed.cu,
yurdi@hlg.rimed.cu.

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 12/06/2010.

Sumario. En la enseñanza, en general, y en la Física, en particular, se emplean cada vez más los medios informáticos. Se ha llegado a un punto en que la computadora y los software constituyen medios de enseñanza imprescindibles. Las páginas Web se han popularizado en el ámbito educativo como recurso eficiente para la enseñanza de diferentes materias. El concepto de entropía es calificado, por una considerable cantidad de profesores de física como de difícil de enseñar, en consecuencia se han empleado y emplean variados enfoques, medios y métodos para tal fin, no obstante se continúa considerando un concepto “difícil”. La autora presenta una página Web, elaborada sobre la plataforma Joomla con el objetivo de contribuir a que los estudiantes comprendan el concepto de entropía.

Abstract. The concept of entropy has been considered, by students, scientist and teachers, as a difficult understanding. In accordance with this various ways to teach it have been developed. Some of the most used forms to introduce the concept of entropy are displayed in the web page presented with was performed using Joomla platform. Resources like animations, worked and purposed problems, articles and other instructional materials, web links, etc. about the concept of entropy in order to facilitate its understanding are presented in this page. The page structure propitiates an easy navigation.

Palabras clave. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, computers as educational aids 01.50.H-

1 Introducción

La entropía, desde su descubrimiento a mediados del siglo XIX hasta nuestros días, ha demostrado ser un concepto esencial para el desarrollo de la termodinámica y para la comprensión de muchos fenómenos en nuestro universo, sin embargo, desde el punto de vista didáctico no siempre ha sido tratado con suficiente claridad como para que los estudiantes logren una comprensión clara

del significado físico de la magnitud que el mismo encierra.

Autores, considerados clásicos en la enseñanza de la física se han referido a la dificultad que presenta la comprensión del concepto de entropía. “No existe en todo el campo de la física ningún concepto de tan difícil comprensión que el de entropía, ni hay tampoco ninguno más fundamental” plantea Sears en su libro “Mecánica, Movimiento Ondulatorio y Calor”.

La introducción y desarrollo del concepto, desde el

punto de vista didáctico, ha sido tratado de varias formas por diversos autores^{2,4,5,7,9-11}, y otros, no obstante persisten dificultades para la comprensión del significado físico del mismo.

Teniendo en cuenta las enormes ventajas que ofrecen las nuevas tecnologías de la informática y las comunicaciones para el desarrollo del proceso docente-educativo, se elabora una página Web donde se consideran diferentes formas de tratar el concepto de entropía dando la posibilidad a docentes y estudiantes de acceder en breve tiempo a las variantes más usadas históricamente para el tratamiento de este importante concepto. De este modo se facilita a los estudiantes la selección del modo que más se ajuste a la preparación básica, estilo de aprendizaje y condiciones de cada uno.

2 Descripción de la página

En su diseño se empleó el sistema de gestión de contenidos Joomla!, entre cuyas ventajas está el que puede instalarse sobre cualquier plataforma de sistema operativo. Requiere de un servidor Web (Apache), MySQL 3.27 o superior como servidor de Bases de Datos y PHP versión 4.3.4 o superior.

La creación de menús de navegación en la página Web Entropía proporciona un método potente y flexible para ayudar a los visitantes a navegar con sencillez.

Esta página recoge además de diferentes formas de tratar el concepto de entropía, otras secciones que se detallan a continuación. (Ver figura 1).

En la parte izquierda aparece un menú desde el cual se accede fácilmente a la Sección Entropía, a la Categoría “Concepto de Entropía” y se diseñaron varios ítems del menú en la categoría blog que facilitará al usuario acceder a los diferentes contenidos, según se muestra en la figura 1: Forma 1, Forma 2, Forma 3, Forma 4, Forma 5, Problemas, Animaciones, Biblioteca, Ampliación del tema (Visitas a otras páginas Web).

Dando un clic sobre cada opción del menú aparece en la parte derecha el contenido correspondiente. A continuación se expone una síntesis de los contenidos antes referidos:

Forma 1. Después de hacer un estudio del ciclo reversible de Carnot se obtiene la expresión matemática para el coeficiente de rendimiento del mismo.

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (1)$$

de donde se obtiene que $\frac{Q_2}{T_2} = \frac{Q_1}{T_1}$ y teniendo en cuenta que $Q_1 > 0$ (cantidad de calor absorbida por el gas a la temperatura T_1 y $Q_2 < 0$ (cantidad de calor desprendida por el gas a la temperatura T_2 se puede plantear que:

$$\frac{Q_2}{T_2} + \frac{Q_1}{T_1} = 0$$

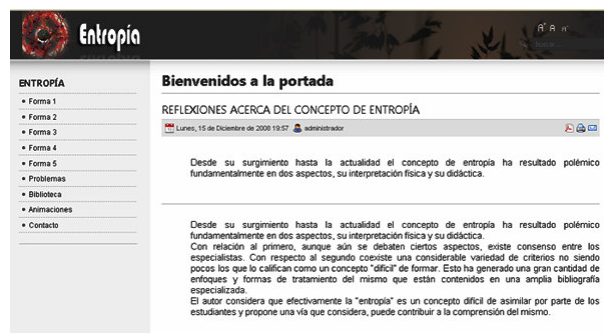


Figura 1. Página Web “Entropía”

Seguidamente se plantea que a la magnitud $\frac{Q}{T}$ se le denomina *entropía* y como en un ciclo reversible su suma es igual a cero es una *función de estado*.

Más adelante se demuestra que para cualquier ciclo de

Carnot, sea o no reversible, $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \geq 0$ (la igualdad es

para el caso reversible. Se continúa argumentando que como cualquier ciclo reversible se puede considerar compuesto por un gran número de ciclos de Carnot se cumple que $\oint \frac{dQ}{T} = 0$ y por tanto donde S es una función de estado denominada *entropía*.

Finalmente se procede a ilustrar la forma de calcular la variación de entropía en casos sencillos como cuando se funde cierta cantidad de hielo o en el caso de alguna transformación isotérmica ocurrida a cierta masa de gas.

En algunos casos se dice que la entropía es una magnitud importante, se plantean algunas de sus propiedades y se hace mención a que expresa la cantidad de *energía degradada*, que pierde capacidad para realizar *trabajo útil*. Cuando se emplea este procedimiento para tratar el concepto generalmente se menciona que para procesos irreversibles la *entropía* siempre aumenta.

Forma 2. El concepto de entropía se introduce por analogía con el de energía interna procediendo aproximadamente del siguiente modo:

“Como ya se dijo, cuando un sistema pasa de un estado a otro, se obtiene experimentalmente que la diferencia entre la cantidad de calor suministrada al sistema y el trabajo realizado por este (Q - W) tiene el mismo valor para todas las “trayectorias”. El hecho de que esta diferencia conserve un valor constante, hace posible introducir el concepto de energía interna, quedando definida y medida su variación por la magnitud Q - W.

De un modo análogo puede definirse la entropía, o más bien un cambio de entropía. Consideremos los estados de un sistema y un cierto número de trayectorias reversibles que los unen. Aunque la cantidad de calor suministrada al sistema es diferente a lo largo de las distintas trayectorias, se encuentra experimentalmente que si se divide la cantidad de calor suministrada en cada punto de la trayectoria por la temperatura absoluta del sistema en dicho punto y se suman los cocientes resultantes a lo largo de toda la trayectoria. Esta suma tiene el mismo valor por todas las trayectorias comprendidas entre los

mismos puntos extremos. En lenguaje matemático:

$\int_1^2 \frac{dQ}{T} = \text{Constante}$ para todas las trayectorias reversibles entre los estados 1 y 2

Es posible, por consiguiente introducir una función cuya diferencia entre dos estados 1 y 2 queda definida por la integral anterior. La función se denomina *entropía* del sistema y se designa por S. entonces,

$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}$ (a lo largo de cualquier trayectoria reversible)

Después de definida la *entropía*, según lo antes expuesto, se pasa al cálculo de su variación en algunos casos sencillos y posteriormente se muestra que para procesos irreversibles la misma aumenta y que dicho aumento significa que la energía se *degrada*.

Forma 3. El concepto de entropía se introduce a través de su relación con el número de microestados que generan un macroestado dado, iniciando el tópico más o menos del siguiente modo: “Como característica de la probabilidad del estado se toma la magnitud S, proporcional al logaritmo del peso estadístico. El coeficiente se elige igual a la constante de Boltzman k,

$$S = k \ln \Omega .$$

A partir de esta definición se exponen las propiedades fundamentales de la *entropía* y se analiza el principio de aumento de la misma.

Forma 4. Después de escribir el primer principio de la termodinámica para un mol de gas ideal como $dQ = C_v dT + p dV$ se divide esta igualdad entre T de

donde se obtiene $\frac{dQ}{T} = C_v \frac{dT}{T} + \frac{p}{T} dV$ y teniendo en

cuenta que $\frac{p}{T} = \frac{R}{V}$, $\frac{dT}{T} = d \ln T$, $\frac{dV}{V} = d \ln V$ con lo

cual se obtiene que $\frac{dQ}{T} = d(C_v \ln T + R \ln V)$.

Como el segundo miembro de la ecuación anterior es una diferencial total el primer debe también serlo, por tanto existirá una función de estado cuya diferencial es

$\frac{dQ}{T}$, a dicha función se le denomina entropía S, así

$dS = \frac{dQ}{T}$. Luego, partiendo de procedimientos típicos

de la física estadística se demuestra que $S = k \ln \Omega$. Más tarde se expone el sentido estadístico de la *entropía* sin hablar de la degradación de la energía.

Forma 5 (propuesta de los autores). Se introduce el concepto de *entropía* y su definición como se hace en la forma 1 hasta llegar a la expresión

$\int_A^B \frac{dQ}{T} = S_B - S_A$ luego se procede del siguiente modo:

Consideremos dos máquinas térmicas que operan según ciclos de Carnot y que funcionan según se describe a continuación.

Máquina 1. Toma la cantidad de calor Q de la fuente de temperatura T_1 , realiza el trabajo W_1 y cede la cantidad de calor $(Q - W_1)$ al receptor de temperatura T_0 (Fig. 1).

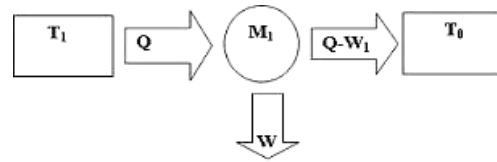


Figura 1

Máquina 2. A través de una barra conductora la cantidad de calor Q se conduce desde la fuente de temperatura T_1 hasta otra de temperatura menor T_2 y luego la máquina toma la cantidad de calor Q desde la fuente a temperatura T_2 , realiza el trabajo W_2 y entrega la cantidad de calor $Q - W_2$ al receptor a la temperatura T_0 (Fig. 2)

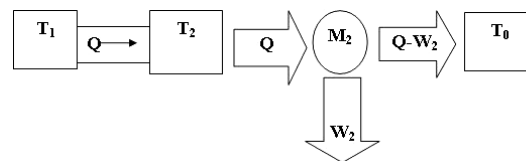


Figura 2

Consideremos que ambas máquinas consiguen el máximo rendimiento posible η teniéndose entonces que:

$$\eta_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) \quad \eta_2 = \left(1 - \frac{T_0}{T_2}\right)$$

Los trabajos máximos posibles a realizar por ciclo en cada una de las máquinas serán:

$$W_1 = Q\eta_1 \quad W_2 = Q\eta_2$$

Los trabajos W_1 y W_2 constituyen las cantidades de energía contenidas en Q que se pueden transformar en trabajo útil con el funcionamiento de las respectivas máquinas térmicas.

La diferencia entre ambos trabajos es:

$$W_1 - W_2 = Q(\eta_1 - \eta_2) = \left(\frac{Q}{T_2} - \frac{Q}{T_1}\right)T_0 = \Delta S T_0$$

Como se observa la cantidad de energía contenida en la cantidad de calor Q que puede ser convertida en trabajo útil en el primer caso es mayor que en el segundo. La diferencia entre ambas es igual a la variación de entropía multiplicada por la temperatura del receptor final (T_0).

Este resultado nos muestra con claridad que en el proceso de conducción de la cantidad de calor Q de la fuente de temperatura T_1 hasta la de temperatura menor T_2 (Proceso irreversible) la energía contenida en Q *perdió* capacidad para realizar trabajo y que la cantidad de energía que experimentó dicha pérdida es igual a $\Delta S T_0$, con lo cual queda claro que la entropía está relacionada cuantitativamente con la *degradación* de la energía.

Este modo de proceder facilita la comprensión del sentido físico de la *entropía* así como el principio de aumento de la misma.

En *Problemas* se presentan tanto problemas resueltos como problemas propuestos que propicien al estudiante una vía para el desarrollo de habilidades. En *Biblioteca* se puede acceder a artículos y otros materiales relacionados con el tema, un glosario, guías de estudio para estudiantes, entre otros. En *Animaciones* se accede a gif didácticos para entender mejor el concepto de entropía. En *Contactos* se mostrarán distintos enlaces con páginas web relacionadas.

3 Conclusiones

Esta página Web elaborada sobre la plataforma Joomla, facilita a los estudiantes el estudio del concepto de entropía y propicia que se motiven a navegar por otros sitios Web que la misma enlaza para profundizar en el tema.

Referencias

1. I. P. Bazárov, "Thermodynamics", Edición Revolucionaria,

C. Habana, (1969).

2. S. Frish y A. Timoreva, "Curso de Física General", T I, editorial Mir, Moscú, (1977).

3. A. García, "Física con Ordenador", Curso Interactivo de Física en INTERNET, (2006).

4. L. Graetz, "La Física y sus Aplicaciones", Gustavo Pili Editors, Barcelona, (1928).

5. D. Halliday, R. Resnick and J. Walter, "Fundamentals of Physics", Fourth Edition, John Wiley and Sons, (1994).

6. A. K. Kikoin y I.K. Kikoin, "Física molecular", Editorial Mir, Moscú, (1979).

7. A.N. Matvéev, "Física Molecular", Editorial Mir, Moscú, (1979).

8. E. Martínez, "Curso de Termodinámica irreversible", (2005).

9. I. V. Saviéliev, "Curso de Física General", T I, Editorial Mir, Moscú, (1984).

10. F. Sears, "Mecánica, movimiento ondulatorio y calor", Edición Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, (1971).

11. B. M. Yavorski, y A. A. Pinski, "Fundamentos de Física", T I, Editorial Mir, Moscú, (1983).

El uso de las TIC's en la enseñanza a distancia: el camino hacia la evaluación continua en red

C. Carreras[†], M. Yuste^a y J.P. Sánchez-Fernández^b

Facultad de Ciencias, UNED, España; ccarreras@ccia.uned.es[†]; a) myuste@ccia.uned.es;
b) jpsanchez@ccia.uned.es

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 12/06/2010.

Sumario. Se presenta un proyecto realizado en el marco de las redes de investigación en innovación educativa financiadas por la UNED para adaptar su proceso de virtualización a las directrices del Espacio Europeo de Educación Superior. El proyecto se ha realizado en la asignatura de Óptica (anual y obligatoria en la titulación de Física) con la pretensión de contribuir a la mejora del sistema de evaluación continua en la red. Se estudió la influencia de: (1) la realización de actividades voluntarias en el aprendizaje a través de la red, (2) la realización voluntaria de prácticas de Laboratorio Virtual de Óptica en la actitud de los estudiantes en el laboratorio presencial, y (3) la repetición (obligatoria) en casa de las pruebas presenciales (una por semestre). La conclusión general más significativa es que casi la totalidad de los estudiantes que realizaron las actividades propuestas, tanto voluntarias como obligatorias, superó la asignatura con éxito y, desde que se dispone del Laboratorio Virtual de Óptica, se ha notado una mayor habilidad experimental de los estudiantes, lo que se ha traducido en un mejor aprovechamiento del tiempo programado para las sesiones prácticas de laboratorio. La valoración del equipo docente ha sido muy positiva por lo que se va a fomentar la participación de estudiantes en estas actividades proponiendo incentivos por su correcta realización en cursos posteriores.

Abstract. We present a project realized in the frame of the networks of educational innovation and financed by the UNED to adapt its process of virtualization to the guidelines of the European Space of Higher Education. The project has been realized in the subject of Optics (annual and obligatory in the Physics qualifications) with the aim to contribute to the progress of the system of on-line continuous evaluation. We studied the influence of: (1) on-line voluntary activities in learning, (2) the voluntary practices of the Optics Virtual Lab in the student's attitude in the real lab, and (3) the mandatory repetition at home of the half-yearly tests at the university. The most relevant conclusion of this work is that almost the totality of the students who did the proposed activities -both voluntary and obligatory- had successful results. Since the Optics Virtual Lab came into operation, there has been evident improvement in the experimental skills of the students. This has meant a remarkable increase of the student's lab performance. The project outcome was very positively appreciated by the faculty. Therefore, in the next years more incentives will be proposed to encourage the students' participation in these activities.

Palabras clave. Computers as educational aids, 01.50.H-; Curricula and evaluation (physics education), 01.40.G-.

1 Introducción

Desde hace más de quince años venimos trabajando en la utilización de diferentes maneras de evaluar el trabajo

del estudiante en la asignatura de Óptica (tercer curso de la licenciatura en Ciencias Físicas). Para ello hemos venido proponiendo diversas actividades, unas obligatorias (pruebas presenciales y prácticas de

laboratorio) y otras voluntarias (cuadernillos, problemas de enunciado abierto, temas monográficos,...). El motivo por el cual se ofrecía un amplio abanico de actividades era la diversidad del alumnado en cuanto a edad, formación previa, ocupación profesional y tiempo dedicado al estudio. Con objeto de que todos los estudiantes alcanzasen un nivel de formación suficiente ofrecíamos diversas vías de estudio para que cada uno eligiese la más adecuada a sus características. En particular, dada la dificultad que entraña el hacer un buen examen de los conocimientos adquiridos en las dos horas de la prueba presencial, proponíamos repetir dicho examen en casa y comparar los resultados.¹

La experiencia de los últimos años ha sido alentadora. Por esta razón, hemos incorporado esta metodología en el curso virtual².

2 Objetivos del proyecto

El objetivo general del proyecto fue contribuir a la mejora del sistema de evaluación continua en red, adaptando la metodología tradicional seguida en la asignatura de Óptica en la UNED a las recomendaciones del Espacio Europeo de Educación Superior.

Los objetivos específicos del proyecto fueron estudiar la influencia de:

1. La realización de actividades voluntarias en el aprendizaje a través de la red.
2. La realización voluntaria de prácticas de Laboratorio Virtual de Óptica en la actitud de los estudiantes en el laboratorio presencial de la Sede Central o de los Centros Asociados.
3. La repetición en casa de las pruebas presenciales (enero/febrero y mayo/junio) en la formación del estudiante.

3 Actividades realizadas

Para lograr los objetivos específicos del proyecto se han llevado a cabo las siguientes acciones:

1. Para estudiar la influencia de la realización de actividades voluntarias en el aprendizaje a través de la red se propusieron las siguientes actividades:

- *Resolución de ejercicios y problemas.* Los ejercicios y problemas propuestos tienen como objetivo orientar a los estudiantes sobre el contenido de las pruebas presenciales. Se distribuyeron a lo largo de cada semestre las propuestas en grupos de tres o cuatro problemas, se les dio un periodo de unas tres semanas para su resolución y unos dos o tres días después se les facilitó las soluciones. Además, debido al grado de dificultad de los problemas, similares a los propuestos en las pruebas presenciales, pusimos a disposición de los estudiantes al inicio de cada semestre varios ejemplos de exámenes de cursos anteriores completamente resueltos y una colección de problemas resueltos en cada semestre.
- *Resolución de problemas de enunciado abierto*

sobre fenómenos naturales relacionados con la asignatura. Se propuso a los estudiantes la interpretación de algunos fenómenos naturales, tales como el arco iris, los halos, los espejismos, la birrefringencia,..., dándoles algunas pautas para ello, pero dejando muy abierta la formulación del problema. Este trabajo se podía realizar a lo largo de todo el curso y su calificación influye en la nota final de la asignatura.

- *Redacción de temas monográficos relacionados con la asignatura.* Se propuso el estudio de algunos temas de Óptica para completar la formación del estudiante en esta materia. El enfoque de los mismos se deja al arbitrio del estudiante. Este trabajo se podía realizar también a lo largo de todo el curso y su calificación influye en la nota final de la asignatura. Los temas propuestos fueron:

- Sistemas microscópicos y telescópicos: historia, descripción y funcionamiento.
- El arco iris: interpretación de Descartes y Newton.
- El ojo, la visión y el color.
- El cuerpo negro y su importancia en el desarrollo de la Física moderna.
- Los fundamentos físicos del LÁSER.
- Los fundamentos de la Espectroscopía y su importancia en el conocimiento de la estructura de la materia.



Figura 1. Ventana principal del Curso Virtual de Óptica de la UNED.

2. En relación a la influencia de la realización voluntaria de prácticas de Laboratorio Virtual de Óptica en la actitud de los estudiantes en el laboratorio presencial de la Sede Central o de los Centros Asociados, como consideramos que el trabajo experimental es fundamental en la formación del estudiante de Física³⁻⁵, para optimizar su trabajo en el laboratorio y facilitar la comprensión de los fenómenos ópticos, hemos desarrollado el *Laboratorio Virtual de Óptica* (LVO), para que el estudiante realice las prácticas virtuales simultáneamente al estudio teórico de los mismos. El

LVO consiste en una colección de simulaciones de experimentos que forman parte del laboratorio de la Sede Central, que se distribuyen a través del curso virtual de la asignatura en forma de pequeñas aplicaciones independientes, que los estudiantes pueden descargar e instalar en sus propios ordenadores para ejecutarlas cuando lo deseen. Las prácticas son las siguientes:

- La luz en medios isotrópicos.
- Lentes delgadas.
- Polarización de la luz.
- Difracción de la luz I (aproximación de Fraunhofer).

El estudiante debe enviar las memorias de las prácticas realizadas para su corrección y evaluación.

3. Para estudiar la influencia en la formación del estudiante de la repetición de las pruebas presenciales (enero/febrero y mayo/junio) se le propone resolver en casa el mismo examen que ha estado resolviendo en el aula. Para su realización se fija, en el propio enunciado del examen, un plazo de tiempo concreto, que suele ser de unos quince días. El examen resuelto debe ser enviado a la Sede Central para su calificación. (Los mecanismos del curso virtual, tales como el correo, los foros, la guardia virtual, etc., hacen que el envío y recepción de los exámenes de casa sea inmediato.) Si la nota obtenida en el examen del aula es superior a 3 puntos sobre 10, entonces se hace la media entre dicha nota y la obtenida en el examen de casa. Como es natural, estos exámenes son más difíciles que los que se propondrían en el caso de que solo hubiera examen del aula. (Por este motivo se pone a disposición de los estudiantes al inicio de cada semestre ejemplos de exámenes resueltos.)

Durante el periodo en que los estudiantes realizan el examen de casa (las dos o tres semanas posteriores al examen del aula) los foros del curso virtual permanecen bloqueados, para indicarles que el examen de casa deber ser resuelto individualmente.

4 Resultados obtenidos

Las características que hemos analizado de la realización de las diferentes actividades son las siguientes: porcentaje de participación, porcentaje de trabajo llevado a cabo, nota obtenida e influencia de la actividad en la nota final.

Salvo en lo referente al examen del aula, hemos medido la participación de los estudiantes en las actividades en relación con el número de los que se han presentado a alguna de las pruebas presenciales propuestas (enero/febrero, mayo/junio o septiembre). En el curso 2007-08 el número de estudiantes matriculados fue de 137 y sólo participaron en algún examen 67, es decir, casi el 49%. Utilizaremos la cifra de 67 estudiantes para establecer los porcentajes de participación.

Resolución de ejercicios y problemas: Se han propuesto veinte problemas, diez en el primer semestre y otros diez en el segundo. La nota máxima posible en

cada semestre era de 10 puntos. En la Tabla I se indican los datos concernientes a esta actividad.

Nº de problemas propuestos	20
Nº de estudiantes participantes	15
Nº de participantes que han aprobado el curso	14
Nº promedio de problemas resueltos	10,3
Nota media obtenida en la resolución	9,1

Nº de estudiantes que...	De Madrid	De fuera
han realizado las prácticas	24	10
conocían el Laboratorio Virtual	20	10
descargaron las aplicaciones	17	10
trabajaron en las aplicaciones	10	10
aprobaron las prácticas	19	10

Concepto	Nº estudiantes	Nota media	Nota < 5
Primer semestre			
Examen del aula	58	3,7	41
Examen de casa	42	8,4	3
Aprobados	34	7,1	—
Segundo semestre			
Examen del aula	41	4,4	24
Examen de casa	33	8,5	2
Aprobados	30	7,2	—
Exámenes extraordinarios (septiembre)			
Primer semestre	17	3,1	9
Segundo semestre	16	4,4	7

Nº de estudiantes con al menos un examen realizado	67
Nº de aprobados en el curso	37
% de aprobados (37/67)	55,2
% de aprobados solo por el examen del aula (15/37)	40,5
% de aprobados con el examen de casa (22/37)	59,5
Nota media obtenida	7,1

Participación en la actividad (15/67)	22,4%
Participantes aprobados en el curso (14/15)	93,3%
Porcentaje de problemas resueltos (10,3/20)	51,5%
Nota media obtenida en la resolución	9,1
Nota media obtenida en el curso	7,5

Realización de prácticas del Laboratorio Virtual de Óptica: En la Tabla II se indican los datos relativos a la realización de prácticas, tanto del laboratorio presencial en la Sede Central como en el Laboratorio Virtual de Óptica.

En la calificación final obtenida por los alumnos se ha evaluado su aptitud a partir de las habilidades mostradas en el manejo de los dispositivos experimentales

utilizados y en la elaboración de las memorias presentadas sobre las experiencias realizadas.

Repetición de las pruebas presenciales en casa:

En la Tabla III se indican los resultados obtenidos por los estudiantes en las pruebas presenciales correspondientes a los dos semestres, en el aula y en casa, y en la prueba extraordinaria de septiembre, en la que solo se realiza el examen del aula.

En la Tabla IV se indican las calificaciones globales del curso en las que se han tenido en cuenta todas las actividades realizadas por los estudiantes.

5 Conclusiones

Vamos a agrupar las conclusiones según los tres objetivos específicos que nos propusimos en el proyecto.

1. Influencia de la realización de actividades voluntarias en el aprendizaje a través de la red.

De todas las actividades voluntarias propuestas, solamente es significativa la participación en la resolución de ejercicios y problemas, cuyos resultados están indicados en la Tabla I. Del análisis de los mismos se deducen los datos indicados en la Tabla V.

La conclusión más significativa que se deriva de esta tabla es que casi la totalidad de los estudiantes que realizan esta actividad aprueba el curso (93,3%) y que este porcentaje es muy superior al porcentaje global de aprobados (55,2%, ver Tabla V). Esto nos ha llevado a fomentar con incentivos la participación de estudiantes en esta actividad voluntaria en los cursos sucesivos.

2. Influencia de la realización voluntaria de prácticas de Laboratorio Virtual de Óptica en la actitud de los estudiantes en el laboratorio presencial de la Sede Central o de los Centros Asociados.

Lo primero que cabe destacar es que los alumnos (de fuera de Madrid) que realizaron las prácticas en el Taller Experimental⁶ (que se celebra al final del curso) han utilizado el laboratorio virtual y todos ellos han superado las prácticas. Desde nuestro punto de vista, este resultado es consecuencia de que, en su mayoría, ya han aprobado la parte teórica de la asignatura, por lo que sus conocimientos de Óptica son suficientemente amplios. Además, como tras su solicitud de asistencia al Taller se entra en contacto con ellos, se les sugiere utilizar las simulaciones antes de venir al laboratorio. Todos estos factores han influido en que este grupo de estudiantes muestre mayores habilidades experimentales, mejor aprovechamiento del tiempo en el laboratorio y mejores resultados finales.

Sin embargo, no sucede lo mismo con los alumnos matriculados en el Centro Asociado de Madrid-Las Rozas, que pasaron por el laboratorio de la Sede Central en fechas muy tempranas del segundo semestre (febrero/marzo), por lo que sus conocimientos de Óptica eran todavía limitados. No obstante, todos los estudiantes que hicieron las prácticas en el laboratorio de la Sede Central tuvieron la ocasión de conocer y utilizar las simulaciones en mayor profundidad, pues les fue

presentado este material de manera expresa y la valoración que llevaron a cabo sobre las mismas fue bastante positiva.

En general, si comparamos con cursos anteriores, en los que los alumnos no disponían del Laboratorio Virtual de Óptica, se puede afirmar que se ha notado una mayor habilidad experimental de los estudiantes, lo que se ha traducido en un mejor aprovechamiento del tiempo programado para las sesiones prácticas de laboratorio. La valoración del equipo docente es muy positiva.

3. Influencia en la formación del estudiante de la repetición de las pruebas presenciales (enero/febrero y mayo/junio) en casa.

El análisis de los datos de las Tablas III y IV conduce a las siguientes conclusiones:

– El porcentaje de participación en los exámenes del aula es siempre pequeño, situándose en el entorno de la tercera parte de los estudiantes matriculados (aproximadamente entre el 30% y el 42%).

– El porcentaje de participación en los exámenes de casa de los estudiantes que han realizado el examen del aula es alto en ambos semestres. Esto es consecuencia, probablemente, del carácter obligatorio de la actividad.

– El porcentaje de aprobados en el semestre en relación con los estudiantes que se han presentado a los exámenes se sitúa ligeramente por debajo del 60% en el primer semestre y ligeramente por encima del 70% en el segundo. Este aumento puede ser debido a que el desarrollo del curso ha hecho una selección entre los estudiantes que participan en las actividades. Aunque disminuye el número de los participantes, aumenta su grado de preparación y, por lo tanto, de éxito.

– El porcentaje de estudiantes que hubieran aprobado aunque solamente se considerase su examen del aula es del 50% en el primer semestre y casi siete puntos más en el segundo. Este aumento puede ser debido también a la selección a la que aludimos en el párrafo anterior. Globalmente, considerando la convocatoria de septiembre, es del 40% sólo con el examen del aula y del 60% considerando también el de casa.

– Por último, es de destacar que la influencia del examen de casa en la nota final es decisiva, ya que en los dos semestres cerca de la mitad de los estudiantes aprueba la asignatura gracias a dicho examen. Queremos señalar, además, que el evidente valor pedagógico de esta actividad se ve incrementado por la posibilidad de realizarla on-line, con las facilidades de comunicación que ello conlleva.

A pesar de los satisfactorios resultados obtenidos, nos gustaría señalar algunas dificultades que hemos encontrado y que trataremos de superar en los próximos cursos.

Algunas dificultades.

Con carácter general:

1. Es necesario introducir mecanismos de control para saber si toda la información sobre contenidos, metodología, actividades, sistema de evaluación, etc., incluida en el curso virtual de la asignatura, ha llegado a

todos los alumnos matriculados.

2. Aunque la valoración de los estudiantes que han participado en mayor o menor grado en las actividades propuestas es muy positiva, es difícil saber si la nueva metodología virtual y la programación continua de actividades a lo largo de todo el curso (dos semestres) se ajusta mejor o no a la realidad de nuestros estudiantes. Es necesario realizar encuestas específicas para adecuar lo más posible la programación de la asignatura a las características individuales de nuestros estudiantes (formación previa, tiempo dedicado al estudio, compatibilidad con su actividad laboral y cargas familiares, etc.).

Con carácter específico:

1. Respecto al laboratorio virtual, como ha sido ofrecido a los estudiantes con carácter voluntario, tras la experiencia de este curso hemos constatado la necesidad de implantar algún mecanismo de control, como control de descargas o distribución de encuestas a los usuarios de las simulaciones ofrecidas, que nos facilite el seguimiento y valoración de la actividad. Esta deficiencia nos ha impedido poder valorar en qué medida este material ha servido al alumno para comprender mejor los fenómenos ópticos al utilizarlo en el mismo momento en que los estudia teóricamente. No obstante, sí hemos podido valorar su utilidad en lo referente a la actitud de los estudiantes en su paso por el laboratorio presencial.

2. Respecto a la repetición de los exámenes en casa, al ser una actividad obligatoria y llevar muchos años implantada, no ha presentado ninguna dificultad, salvo la necesidad de bloquear los foros durante el periodo en el que los estudiantes han de trabajar el examen en casa, para impedir que se copien las resoluciones eliminando la utilidad pedagógica que su resolución conlleva. No queremos anular la actividad en grupo, que consideramos positiva, todo lo contrario; lo que sí queremos es fomentar el esfuerzo intelectual individual que supone elaborar una resolución correcta, disponiendo de todo el material docente a su alcance, y presentar una memoria aceptable con los medios informáticos de que hoy se dispone. Así fomentamos también la capacitación de nuestros estudiantes en la presentación de trabajos, de gran utilidad en su próximo

futuro profesional.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Vicerrectorado de Investigación de la UNED la financiación del proyecto de Tecnología e Innovación Educativa: “Técnicas experimentales en Física: adaptación de los materiales didácticos a las nuevas tecnologías”, con el que se realizó el Laboratorio Virtual de Óptica, y al Vicerrectorado de Calidad e Innovación Docente por el patrocinio de las redes de investigación en innovación educativa, en cuyo marco se ha desarrollado este proyecto.

Referencias

1. M. Yuste y C. Carreras, “Una experiencia innovadora en la evaluación de la asignatura de Óptica en la UNED. RIED (Revista Iberoamericana de Educación a Distancia), ISSN: 1138-2783, Vol. 1, Núm. 1, 173-185 (IUED, UNED, junio-1998).
2. C. Carreras Béjar, M. Yuste Llandres y J.P. Sánchez Fernández, “El uso de las TIC's en la enseñanza a distancia: el proceso de virtualización de la UNED”, Revista Cubana de Física, ISSN: 0253-9268, Vol. 24, No.1, 97-100, formato electrónico (2007).
3. C. Carreras Béjar, “El trabajo experimental en la enseñanza de la Física”, REF (Revista Española de Física), ISSN: 0213-862X, Vol. 20, Núm. 2, 53-61 (2006).
4. J.P. Sánchez, M. Yuste y C. Carreras, “Experimentos de Óptica para un Laboratorio Virtual”, Libro de Actas del III Taller Iberoamericano de Enseñanza de la Física Universitaria (Universidad de La Habana, Cuba, 27-31 de enero de 2003), ISBN: 84-7801-743-3, 183-188 (Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba (España), 2005).
5. J.P. Sánchez Fernández, “Nuevos métodos para las prácticas de laboratorio: simulaciones, laboratorios virtuales,... El laboratorio de Óptica del Departamento de Física de los Materiales”, Revista 100cias@uned, ISSN: 1137-9537, Núm. 8, 166-169 (UNED, 2005).
6. J.T. Mora, C. Carreras & M. Yuste, “Residential Physics Workshops for students attending 'distance' universities”, Journal of College Science Teaching, ISSN: 0047-231X, Vol. XVI, No. 3, 168-171 (Dec. 1986/Jan. 1987).

Uso de una hoja de cálculo en la enseñanza de una disciplina no experimental

I. Gómez Ayala, L.A. Vega González, F. García Reguera

Departamento de Física, Universidad de Burgos, España; isagomez@ubu.es[†]; verga@ubu.es; ferman@ubu.es

[†] Autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. Este trabajo muestra algunas de las posibilidades del uso de la hoja de cálculo Excel en la enseñanza de una asignatura no experimental en el primer curso de universidad. Se muestra en una doble vertiente: por una parte como herramienta del profesor y de los alumnos para resolver problemas sistemáticos y, por otra, como herramienta para la comprensión de problemas interesantes que comúnmente no se tratan por no disponer de los conocimientos matemáticos adecuados. Así se consigue generalizar los resultados rápidamente de manera clara e interactiva a gran cantidad de condiciones iniciales diferentes. Se ha escogido Excel por su gran difusión y su facilidad de manejo.

Abstract. We present in this work some possible uses of an Excel worksheet for teaching a non-experimental subject to freshmen university students. We show two different kinds of applications: On the one hand we use the program as an aid for teachers and students in solving systematic exercises and, on the other hand, as a tool for understanding interesting problems that are usually not considered because the students lack the mathematical skills needed. With our approach, we are able to generalize results from a great variety of initial conditions in a fast, clear and interactive way. We have selected Excel because of its widespread presence and its ease of use.

Palabras clave. Computational methods in classical mechanics, 45.10-b, Computational techniques in mathematical methods in physics, 02.70-c, Learning theory and science teaching, 01.40.Ha, Research in physics education, 01.40.Fk, Teaching methods and strategies, 01.40.gb, Computers in education, 01.50.H, Numerical simulation; solution of equations, 02.60.Cb.

1 Introducción

Una dificultad muy habitual en la enseñanza de la Física en los primeros cursos de Universidad es que en ellos se tratan temas demasiados simplificados, idealizados y un tanto alejados de la realidad debido a la falta de herramientas matemáticas para el tratamiento de problemas reales normalmente más complejos. Es habitual que los casos más interesantes queden emboscados bajo un planteamiento matemático, si no muy complicado en sí mismo, sí inadecuado para los conocimientos simultáneos de

los alumnos. En este trabajo se muestra cómo con el uso de una hoja de cálculo como Excel se consigue que, una vez que el alumno ha comprendido y, consecuentemente, ha planteado correctamente las ecuaciones necesarias para la resolución del problema, obtenga soluciones e interprete los resultados independientemente de la dificultad intrínseca de la resolución de dichas ecuaciones. De esta manera se consigue el objetivo de la asignatura: planteamiento correcto de las situaciones e interpretación de los resultados obtenidos.

2 Resolución de problemas sistemáticos

Como ejemplo se ha elegido la reducción de sistemas de vectores deslizantes que, en nuestro caso, se aplicará al manejo de fuerzas aplicadas a sólidos rígidos. El programa diseñado permite calcular los invariantes de sistemas formados por doce vectores como máximo. Este límite se puede ampliar fácilmente habilitando un número mayor de filas, pero no es necesario hacerlo puesto que el número de vectores de que consta el sistema no añade ningún interés especial al ejercicio. Permite también cambiar el centro de reducción del sistema de vectores para, por ejemplo, comprobar la propiedad de los puntos del eje central. El procedimiento es absolutamente sistemático por lo que se adecua perfectamente a un proceso programado.

La resultante es la suma de los vectores, el momento resultante respecto de un punto, en este caso respecto del origen del sistema de coordenadas, es la suma de los momentos de los vectores individuales y el invariante escalar y el momento mínimo son, respectivamente el producto escalar de la resultante por el momento resultante y la proyección del momento resultante en la dirección de la resultante. El eje central es la recta, paralela a la resultante, respecto de cuyos puntos el momento resultante es mínimo y su determinación viene de imponer la condición de paralelismo entre resultante y momento resultante.

Una vez obtenidos los resultados el alumno está en disposición de interpretarlos contestando a preguntas del tipo:

-¿Es el sistema nulo? Es decir ¿está el sólido en equilibrio en el caso de que los vectores representen el sistema de fuerzas a él aplicadas? Ello será cierto solo en el caso de que ambos invariantes del sistema, resultante y momento mínimo, sean nulos.

- ¿Puede el sistema sustituirse por un solo vector? Solo si el invariante escalar es nulo. El vector equivalente al sistema es su resultante.

- ¿Dónde debe aplicarse este vector equivalente, es decir, la resultante? En cualquier punto del eje central

- ¿Puede sustituirse el sistema por un par, es decir por un momento? Solo si la resultante del sistema es nula, siendo el momento equivalente el momento resultante.

En la interpretación de estos resultados es donde realmente reside el interés del tema.

Otra posibilidad que en casos especiales se puede utilizar es, dado que entender el procedimiento es en sí mismo saber el tema, proponer a ciertos alumnos despiertos y con un conocimiento básico de la hoja de cálculo que sean ellos mismos los que diseñen el programa. Realmente si lo consiguen, el análisis del tema ha sido exhaustivo y el objetivo de la lección está conseguido.

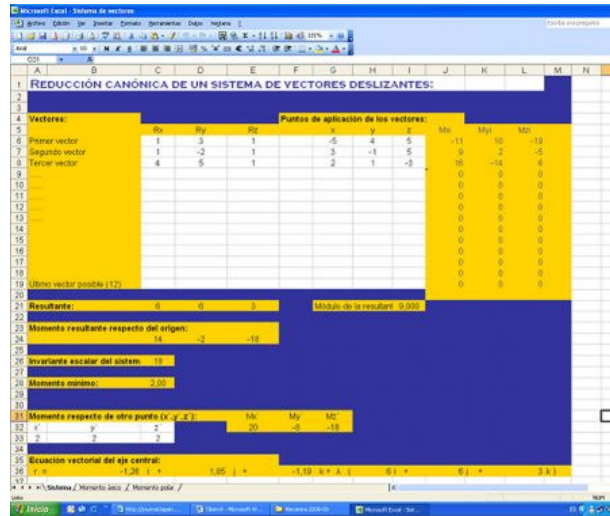


Figura 1. Ejemplo de reducción de sistemas de vectores deslizantes.

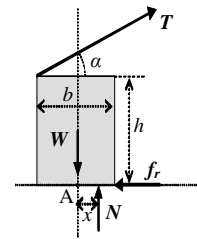


Figura 2. Diagrama de sólido libre.

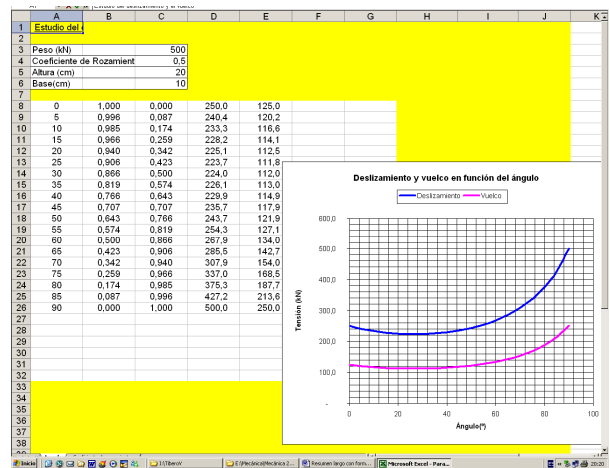


Figura 3. Deslizamiento y vuelco de un prisma esbelto.

3 Interpretación de problemas complejos

Como ejemplos se han elegido el estudio del deslizamiento y vuelco de un bloque prismático apoyado sobre una superficie horizontal plana rugosa al aplicársele una fuerza genérica y la estabilidad del equilibrio de un bloque prismático apoyado sobre una superficie semiesférica.

Deslizamiento y vuelco de un bloque prismático. Se estudia el equilibrio de un bloque prismático apoyado sobre una superficie horizontal plana cuando se le aplica una fuerza genérica, analizando las distintas posibilidades de deslizamiento y vuelco en función de su geometría y del rozamiento con la superficie de apoyo. Si el bloque es de altura h , base b y peso W y el plano horizontal presenta con él un coeficiente de fricción μ , al tirar del bloque mediante una cuerda que ejerce una fuerza T , éste deslizará o volcará en función de los valores de T , α , μ y de la relación entre b y h .

Para resolver el ejercicio el alumno debe saber plantear las ecuaciones de equilibrio a partir del diagrama de sólido libre del bloque, mostrado en la figura 2, e imponer las condiciones de deslizamiento y vuelco:

$$f_r = T \cos \alpha \quad (1)$$

$$N + T \sin \alpha = W \quad (2)$$

$$N x = b/2 T \sin \alpha + h T \cos \alpha \quad (3)$$

Condición de deslizamiento: $f_r = \mu N \quad (4)$

Condición de vuelco: $x = b/2 \quad (5)$

A partir de (1), (2) y (4) se obtiene el valor de T necesario para el deslizamiento:

$$T = \frac{\mu W}{\cos \alpha + \mu \sin \alpha} \quad (6)$$

Y a partir de (2), (3) y (5), el necesario para el vuelco:

$$T = \frac{b/2 W}{h \cos \alpha + b \sin \alpha} \quad (7)$$

Representando las ecuaciones (6) y (7), en función del ángulo o del coeficiente de rozamiento, para distintos valores de W , b y h se puede entender la influencia de cada parámetro en el equilibrio del bloque.

Como ejemplo, en la figura 3 se puede ver el resultado para un prisma esbelto (20x10cm) con un coeficiente de fricción de 0,5. En las columnas que aquí se han dejado a la vista se observa en (A8-A26) el rango de valores del ángulo de 5 en 5 grados, en (D8-D269) los valores de T que producen deslizamiento procedentes de la ecuación (6) y en (E8-E269) los valores de T necesarios para el vuelco. De modo que, a la vista de las graficas respectivas, es evidente que para este caso, se producirá siempre vuelco antes que deslizamiento, para tensiones de la cuerda comprendidas entre 10 y 15N.

En la pantalla mostrada en la figura 4, que presenta el aspecto habitual de uso, se puede ver la misma situación en función del coeficiente de rozamiento. Evidentemente el vuelco no depende de la fricción, solamente depende de la forma del cuerpo.

Estabilidad del equilibrio de un bloque prismático apoyado sobre una superficie semiesférica o semicilíndrica. Se estudia la estabilidad de un cubo de arista h y peso W apoyado sobre una superficie semiesférica rugosa. La posición inicial con el bloque horizontal es una posición de equilibrio, cuya estabilidad dependerá

de la evolución del prisma una vez desplazado ligeramente de ella. Para resolver el ejercicio el alumno debe saber plantear las ecuaciones de equilibrio a partir del diagrama de sólido libre del bloque, mostrado en la figura 5, e interpretar los resultados:

$$N = W \cos \theta \quad (8)$$

$$f_r = W \sin \theta \quad (9)$$

$$M_A = R \theta \cos \theta - h/2 \sin \theta \quad (10)$$

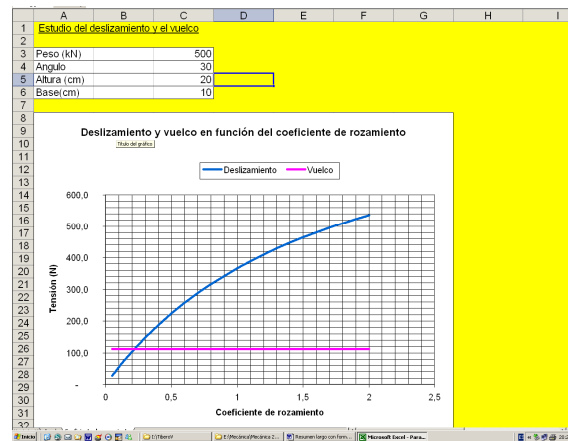


Figura 4. Deslizamiento y vuelco de un prisma esbelto.

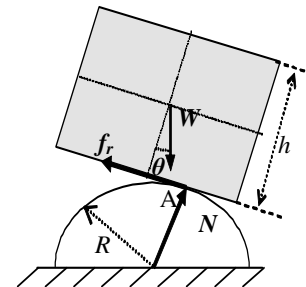


Figura 5. Diagrama de sólido libre.

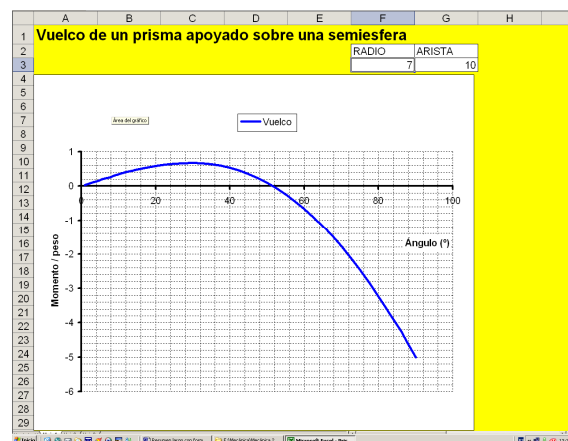


Figura 6. Estabilidad de un cubo apoyado en una semiesfera.

De las ecuaciones (8) y (9) se obtiene la condición de no deslizamiento:

$$\mu \geq \operatorname{tg} \theta .$$

Y del signo del momento dado en la ecuación (10), se establece la estabilidad, que depende de la relación entre la altura del bloque y el radio de la semiesfera: Si M_A es mayor que cero, sentido antihorario, el equilibrio será estable, mientras que en el caso contrario será inestable. Representando M_A en función del ángulo θ para distintos valores de h y R , se interpreta fácilmente el comportamiento de la situación. En la figura 6 se muestra el resultado para una relación R/h de 0,7: el equilibrio del cubo será estable para ángulos menores de unos 52° e inestable para ángulos mayores, siempre que el coeficiente de fricción entre cubo y semiesfera sea $\mu \geq \operatorname{tg} 52^\circ$.

4 Conclusiones

Avalados por los buenos resultados obtenidos con la aplicación de este procedimiento en las clases de resolu-

ción de problemas en la asignatura de Mecánica Aplicada a la Ingeniería consideramos el sistema indicado para facilitar la comprensión, generalización e interpretación de los resultados de problemas interesantes sin necesidad de unas habilidades matemáticas que los alumnos aún no poseen.

Referencias

1. R. Buzzo Garrao, "Estrategia EE (Excel-Euler) en la enseñanza de la Física", *Lat.Am.J. Phys. Educ.* Vol.1, No.1, 1870-9095 (Sept 2007).
2. F. Herrero; L.R. Rodríguez; L.A.Vega, "Problemas de estática resueltos", Ed. Reverté (1996).
3. I.H. Shames, "Mecánica para ingenieros. Estática", Ed. Prentice Hall (1998).
4. Talízina, N. "Psicología de la Enseñanza", Ed. Progreso (1988).

Experimentos de ondas usando transductores de ultrasonido

H. Aya

Facultad de Ingeniería, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia;
haya@udistrital.edu.co

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. La enseñanza de los fenómenos ondulatorios en las facultades de las universidades e incluso en los centros de enseñanza media, siempre ha estado limitada por la falta de equipos de laboratorio adecuados. Por esta razón, el número de prácticas se reduce a uno o dos experimentos que se realizan con ayuda de la cubeta de ondas. Por varios años, hemos experimentado el uso de transductores de ultrasonido de bajo costo para realizar todo tipo de experimentos de ondas en cursos de Física dirigidos a estudiantes de Ingeniería. Se realizaron experimentos con excelentes resultados, como la medición de la velocidad del sonido en el aire; experimentos de interferencia y difracción de ondas como: el experimento de Young, el espejo de Lloyd, difracción de borde de cuchillo y zonas de Fresnel, entre otras. Los resultados de los experimentos se ajustan a los desarrollos teóricos. El objetivo de este trabajo es animar a los demás colegas a poner en práctica estas sencillas pero útiles ideas.

Abstract. Ultrasonic piezoelectric transducers, operating at 40 KHz, have been used to study wave phenomena. We discuss how these transducers can be used in many experiments to teach waves behavior. The aim of this work is to motivate colleagues to practice these simply but useful ideas.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, laboratory experiments, 01.50.Pa

1 Introducción

Los dispositivos ultrasónicos han encontrado muchas aplicaciones en el hogar, la industria, la medicina y la oceanografía. Uno de los dispositivos inventados hace algunas décadas fue el transductor piezoeléctrico de ultrasonido de 40 kHz. Los transductores de ultrasonido han sido usados en los controles remoto, dispositivos anti-irrobó, y recientemente como sensores de proximidad para el parqueo de carros y en la medicina se usan en imágenes ecográficas y en terapias musculares.

Figura 1. Generador de señales.



En 1994, Greenslade [1] propuso el uso de transductores de ultrasonido para desarrollar experiencias tales como: caracterización de los transductores de ultrasonido (resonancia), medición de la velocidad de las ondas sónicas, reflexión, interferencia, difracción, ondas estacio-

narias en tubos cerrados y zonas de Fresnel. En el 2003, Se-yuen [2] también realizó algunas de estas experiencias en la Universidad China de Honk Kong. Desde hace algunos años en Colombia hemos experimentado algunas de esas ideas en el desarrollo de nuestro quehacer pedagógico.

Aquí se describirán algunos experimentos elaborados con la ayuda de transductores, cuya reproducción es sencilla y permite ver el comportamiento de las ondas en diferentes escenarios.

2 Materiales y experimentos

Velocidad del sonido. (Figuras 1 a 6). Se conecta el generador de señales al emisor y a uno de los dos canales del osciloscopio. El generador se ajusta a una frecuencia de 40 KHz aproximadamente. El receptor se conecta al otro canal del osciloscopio. Se colocan los transductores uno en frente del otro a una pequeña distancia de tal forma que en el osciloscopio las dos señales estén completamente superpuestas. El receptor se va separando poco a poco observando que en el osciloscopio una de las dos señales se va corriendo con respecto a la otra. El receptor se desplaza hasta que se vuelvan a superponer las dos señales. Tomamos la lectura de la distancia recorrida por el receptor entre los dos momentos de superposición de las dos ondas. Asumimos que esa distancia es la longitud de onda. Se sigue aumentando la distancia entre los transductores hasta obtener unas 8-10 longitudes de onda. Con esa información se puede obtener la longitud de onda promedio y con la frecuencia conocida se obtiene la velocidad del sonido en el aire. El valor promedio de la longitud de onda es de 8.39 mm y la velocidad del sonido está en el orden de 335 m/s.

Se colocan dos transductores emisores paralelos con una separación entre ellos de 8-9 cm ($2d$). Se conectan los dos transductores al generador de señales, lo que nos garantiza que las dos señales transmitidas están en fase. El receptor se ubica a 60 cm (L) del punto medio de los dos transmisores, se conecta al osciloscopio y se va desplazando paralelamente a la línea que une los dos emisores. Se va registrando la posición de los máximos y los mínimos de la amplitud de la señal resultante de la superposición de las dos ondas. Además se observa que a medida que el receptor se aleja del punto medio la señal se va desvaneciendo poco a poco creando picos cada vez menos intensos.

Experimento de Young. Figuras 7 y 8.

Espejo de Lloyd. Figuras 9 y 10. En este experimento se coloca una lámina paralela a la línea que une el emisor con el receptor y poco a poco la lámina se va separando de esa línea. La interferencia resulta de la superposición entre el frente de onda que se propaga directamente desde el emisor al receptor y el que se refleja en la lámina. Se registran los valores de la amplitud de la onda resultante en el receptor para diferentes posiciones

de la lámina.

Figura 2. Osciloscopio.

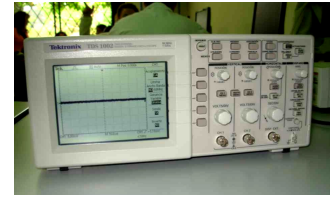


Figura 3. Transductores de ultrasonido. (Transmisor y receptor).



Figura 4. Montaje para la medición de la velocidad del sonido



Figura 5. Detalle del corrimiento entre la señal del emisor y la del receptor.

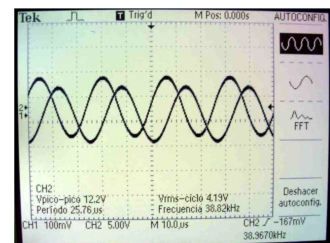


Figura 6. Distancia contra el número de longitudes de onda

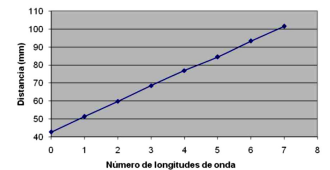


Figura 7. Esquema del montaje del experimento de Young.

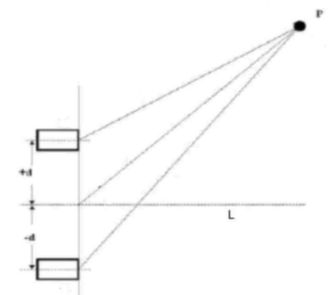
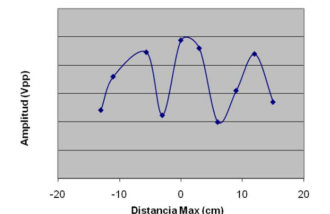


Figura 8. Amplitud de la onda como resultado de la interferencia de las dos señales en la posición del receptor.



Difracción de borde de cuchillo. Figuras 11 y 12.

En este experimento se coloca una lámina perpendicular a la línea que une el emisor con el receptor y poco a poco la lámina se va moviendo.

Primero: tapando la vista directa que hay entre el emisor y el receptor. Segundo: alejándose de la línea que une al emisor del receptor. El fenómeno de difracción de borde de cuchillo se produce por los aportes de los diferentes puntos del frente de onda resultante en cada configuración.

Conclusiones

El uso de transductores de ultrasonido permite realizar todo tipo de experimentos de ondas. Todos los conceptos y leyes de la propagación de ondas en espacios abiertos pueden ser corroborados experimentalmente de esta manera, con excepción de la polarización de ondas. Se sugiere otros montajes como por ejemplo: Zonas de Fresnel, Efecto Doppler, interferómetro de Michelson, difracción por un orificio circular, difracción por una y múltiples rendijas; y medición de la velocidad por ondas pulsadas.

Referencias

1. T. B. Greenslade, Jr. Experiments with ultrasonic transducers. *The Physics Teacher*, Vol. 32, Oct. (1994).
2. M. Se-yuen. Wave experiments using low-cost 40 KHz ultrasonic transducers. *Physics Education*, 0031-9120/03/050441+06\$30.00, (2003).
3. P. A. Tipler y G Mosca. *Física para la Ciencia y la Tecnología*. 5ª edición. Editorial Reverté. S. A. Barcelona (2005).
4. R. A. Serway y R. J. Beichner. *Física para Ciencias e Ingeniería*. 5ª edición. Editorial Mc GrawHill. México D.F. (2002).

Figura 9. Montaje del espejo de Lloyd.

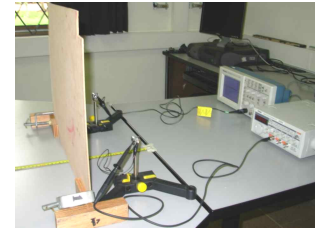


Figura 10. Amplitud de la onda como resultado de la interferencia de la onda directa y la onda reflejada en la lámina.

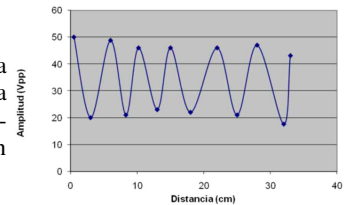


Figura 11. Montaje del experimento de difracción de borde de cuchillo.

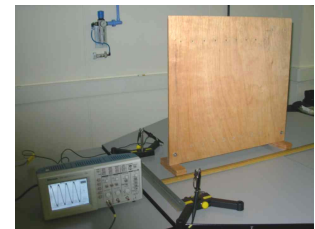
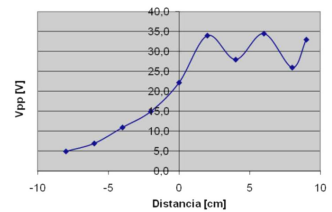


Figura 12. Amplitud de la onda en el receptor del experimento de difracción de borde de cuchillo.



Sistema de prácticas de laboratorio para la asignatura física III de ingeniería mecánica; evaluación de su impacto en la calidad y formación del profesional

A. Hernández F., A. Hernández G., S. Tsering

Departamento de Física-Química, Universidad de Cienfuegos, Cuba; archdez@ucf.edu.cu

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. Se exponen las tareas tanto técnicas como didácticas que se llevaron a cabo para posibilitar la incorporación del nuevo equipamiento recibido para el laboratorio de Física al sistema de prácticas de laboratorio de la disciplina. Como resultado del mismo quedó implementado un sistema de prácticas de laboratorio para la asignatura Física III con sus correspondientes guías las cuales tienen relación directa con los contenidos de 4 de los 6 temas de la asignatura. De igual manera se realizó una evaluación del impacto en la calidad de las prácticas de laboratorio durante su realización por los estudiantes. Se pudo determinar cuánto se ganó en precisión en la determinación de las magnitudes previstas en las prácticas, el aumento en la confiabilidad y el grado de repetibilidad.

Abstract. Didactic and experimental tasks done to allow the incorporation of new received Physics laboratory equipment to laboratory works system of discipline are shown. As result of these tasks, a laboratory work system for the subject Physic III with its corresponding guides for the students was set up. These laboratory works are close related with 4 of the 6 themes of the subject. In the same way, an evaluation of the impact in quality of laboratory works during its performance by the students was done. It was possible to determine how much won in precision in the determination of physics magnitudes during the laboratory works, the increasing of trusting and the degree of repeatability.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d., Laboratory course design, organization and evaluation 01.50.Qb, Laboratory experiments and apparatus 10.50.Pa, Physics Laboratory manual 01.30.L-

1 Introducción

Las prácticas de laboratorio ocupan un lugar cada vez más importante en el proceso de enseñanza de las asignaturas, motivado en primer lugar por el carácter activo que le confieren al proceso de aprendizaje y porque contribuyen a objetivizar el conocimiento, a hacerlo más consolidado y duradero. En segundo lugar, son, de las formas de enseñanza, las que más acercan al estudiante de forma natural al trabajo científico-investigativo; de esta manera, contribuyen al desarrollo de las habilidades para el trabajo científico y a que, cada vez más, predomine

la lógica del mismo en su actividad profesional. Por último, la realización de las prácticas de laboratorio desarrolla las habilidades experimentales exclusivas de esta forma de enseñanza, las cuales no pueden lograrse por ninguna de las restantes.^{1,2}

La contribución de la Física en la formación del ingeniero no se agota con la formación del cuadro físico del universo que presupone la comprensión de diversos fenómenos que se dan en la naturaleza o la fundamentación de la tecnología del mundo contemporáneo sino que debe incidir al mismo tiempo en el desarrollo de las habilidades profesionales que tipifican los modos de ac-

tuación del ingeniero. Esto se ha venido manifestando como tendencia desde hace dos décadas en la formación de los ingenieros.³⁻⁶

Consciente de lo anterior y con el propósito de elevar la calidad de la docencia universitaria, el Ministerio de Educación Superior destinó un monto de un millón de dólares para la compra de equipos de laboratorio para la disciplina de Física de las carreras de Ciencias Técnicas y Ciencias Exactas. Este monto se ejecutó a través de un crédito por dicho valor otorgado por la República Popular China y varias firmas de dicho país ofertaron los productos que poseían para estos fines. Desde el segundo semestre del curso 2006-2007 empezaron a recibirse los equipos en las universidades. Durante el segundo semestre del curso 2007-2008 y de manera simultánea con la docencia de las asignaturas que se impartieron, se llevó a cabo el trabajo que tenía como propósito incorporar los nuevos equipos adquiridos en las asignaturas de la disciplina de Física y cuyos resultados se exponen en el presente trabajo.

Antes del arribo de los equipos la asignatura de mejor cobertura del contenido por las prácticas de laboratorio era la Física I en que se alcanzaba un por ciento elevado. Un análisis preliminar del equipamiento recibido nos indicó que la presencia de equipos llevaría el grado de cobertura de los aspectos del sistema de conocimientos para los temas de la asignatura Física I al 100% y elevaría las condiciones con que se hacen en la actualidad. Es por ello que nos dedicamos entonces a la Física III, que era la otra asignatura que se venía desarrollando en el segundo semestre y en la cual la situación no era tan favorable. En este caso el trabajo fue completo hasta el desarrollo de las prácticas por los estudiantes y la evaluación del impacto en la calidad.

2 Materiales y métodos

Durante la realización del trabajo se llevaron a cabo las siguientes tareas de tipos didácticas y técnico-experimentales:

- 1) Selección de aquellos equipos dedicados a temas de la Física III.
- 2) Estudio de la documentación técnica (en todos los casos en idioma inglés) que brindaban los fabricantes y que acompañaba al equipo.
- 3) Montaje del equipo y verificación del modo de funcionamiento del mismo de acuerdo a la documentación técnica.
- 4) Realización de corridas experimentales para la comprobación de la exactitud con que se determinan las magnitudes previstas a determinar con el equipo.
- 5) Elaboración de las guías de las prácticas de laboratorio adaptadas a las condiciones de los nuevos equipos.
- 6) Implementación de los sistemas de prácticas con los estudiantes.
- 7) Evaluación del impacto en la calidad de las prácticas (y por ende en la formación del estudiante).

A continuación algunos comentarios sobre cada una

de las anteriores tareas.

1) **Selección de aquellos equipos dedicados a temas de Física III.** Teniendo en cuenta los programas de las asignaturas se realizó un análisis de la cobertura que se podía lograr con el ingreso del nuevo equipamiento en los aspectos del sistema de conocimientos por temas de la asignatura y en el sistema de habilidades.^{7,8} Vimos que excepto en algunos temas, la cobertura era ahora muy favorable. En las tabla 1 se muestran los por cientos que se pueden alcanzar y los ya alcanzados en este momento con los montajes efectuados.

Tabla I

Cobertura de los aspectos del sistema de conocimientos por temas de la asignatura Física III.

Temas	%
1	50/100
2	100
3	0
4	0/20
5	90
6	10/30

Tabla II

Cobertura de las habilidades de la asignatura Física III

Habilidades	%
1	0/60
2	100
3	100
4	100
5	0
6	15/60
7	100
8	100

En Física III solamente el tema 3, Propiedades ondulatorias de las partículas. Principios de Mecánica Cuántica (que tiene carácter muy teórico, el equipamiento necesario para ello es muy específico y no se adquirió) y el tema 4 Átomos multielectrónicos, quedaban con pobre vínculo. El tema 1 Propiedades corpusculares de la luz no alcanza el 100% por no disponer de equipamiento relacionado con el estudio de la radiación térmica y precisa de elaborar algún montaje. El tema 6 Física del Núcleo puede ampliarse algo la cobertura pero queda limitada a los fenómenos de la interacción de la radiación con las sustancias.

En lo relativo al sistema de habilidades, como se observa de la tabla II, hay mejor cobertura y se ampliará con los montajes planteados que incrementan la cobertura del sistema de contenido.

Partiendo del listado de los equipos recibidos y del programa de la asignatura se seleccionaron 7 equipos, de los cuales 4 correspondían a instalaciones experimentales de propósito específico y 3 a equipos de propósito general. Los equipos en cuestión fueron:

- Instrumento experimental de Franck y Hertz.
- Instrumento de medición del ciclo de histéresis y la

curva de magnetización de un material magnético.

- Instrumento experimental para el estudio del efecto Hall.

- Instrumento experimental para la determinación de la constante de Planck a partir del efecto fotoeléctrico.

- Espectrómetro (o goniómetro).

- Baño térmico con regulación de temperatura.

- Medidor digital multipropósito de formato grande.

2) Estudio de la documentación técnica (en todos los casos en idioma inglés) que brindaban los fabricantes y que acompañaba al equipo. Ante todo el idioma inglés usado por los especialistas chinos es bastante complicado porque se emplean términos y expresiones no adecuadas lo que en ocasiones hacía difícil la comprensión del material y exigía la lectura reiterada de un mismo párrafo hasta lograr captarle el sentido. Se garantizó que en ningún caso se montaba el equipo ni se energizaba si antes no se tenía plena comprensión de sus características. Esto resulta vital para evitar roturas y daños a los equipos que son costosos.

3) Montaje del equipo y verificación del modo de funcionamiento del mismo de acuerdo a la documentación técnica.

En este caso se procedió a desembalar con cuidado los equipos, montarlos de acuerdo a los requerimientos de la documentación, conectarlos y verificar su modo de funcionamiento.

4) Realización de corridas experimentales para la comprobación de la exactitud con que se determinan las magnitudes previstas a determinar con el equipo. Se efectuaron para cada uno de ellos un grupo de corridas experimentales durante las cuales se obtuvieron juegos de datos de las magnitudes necesarias para su procesamiento estadístico conforme al fundamento teórico del experimento. Los resultados obtenidos al procesar los datos experimentales nos permitían calcular los errores cometidos y comprobar si estaban en los límites que establecía el fabricante para la magnitud objeto de estudio. En todos los casos los resultados fueron satisfactorios.

5) Elaboración de las guías de las prácticas de laboratorio adaptadas a las condiciones de los nuevos equipos. Se elaboraron las guías de 6 prácticas de laboratorio las cuales tenían la siguiente estructura:

- Título de la práctica. - Objetivos. - Fundamentación teórica. - Descripción de la instalación experimental. - Técnica operatoria. - Elaboración de los resultados. - Anexos con fotos de los equipos.

Se procuró que no fueran muy extensas y se colocaron en versión digital en los Materiales de las asignaturas en la plataforma Microcampus.

6) Implementación del sistema de prácticas para Física III con los estudiantes. Se estableció un ciclo de 6 prácticas de acuerdo al fondo de tiempo para esta forma de docencia que aparecían en el Plan Calendario de la Asignatura. Se organizaron los subgrupos para el laboratorio con los equipos conformados previa-

mente y a cada uno se le programó las sesiones en que iba a trabajar en el laboratorio y en qué orden iba a realizar las prácticas del ciclo. Se le entregó la guía de la primera práctica antes de empezar. Esta se recogía durante la práctica y se le entregaba la de la siguiente. Dos estudiantes que tuvieron buen aprovechamiento en la asignatura realizaron todas las prácticas antes que el resto del grupo y luego ayudaron al profesor cuando la realizó el grupo. En este caso precisaban las características de las instalaciones experimentales, la técnica operatoria y los cuidados a tener en cada caso.

7) Evaluación del impacto en la calidad de las prácticas en Física III (y por ende en la formación del estudiante).

El primer elemento que se tuvo en cuenta durante la evaluación del impacto se obtuvo a partir de un análisis pormenorizado de las características del nuevo equipamiento y de cuáles ventajas que traía consigo su empleo respecto al equipamiento anterior. A continuación aparecen las consideraciones equipo por equipo.

Espectrómetro (goniómetro). Con el uso del nuevo goniómetro se ganó en la precisión al determinar los ángulos bajos los cuales se observaban las líneas espectrales. En el goniómetro anterior la precisión era de una décima de grado (6 minutos) mientras que en este es de 1 minuto. Esto reduce el error en la determinación de la longitud de onda de las líneas espectrales seleccionadas ($\Delta\lambda/\lambda$) y con ello, a su vez, en la determinación de la constante de Rydberg ($\Delta R/R$). La red de difracción nueva es más transparente y de menor período d que la que anteriormente se usaba y esto permite ver las líneas espectrales con mejor nitidez y bajo un ángulo mayor con lo que también se reduce el error relativo en la determinación de la longitud de onda.

Instrumento experimental para la determinación de la constante de Planck a partir del efecto fotoeléctrico. El equipo de efecto fotoeléctrico posee un amplificador con sensibilidad de pico Ampere lo cual hace que la determinación del voltaje de corte a partir del hecho de que la corriente por la fotocelda sea cero, es más exacta. Por otra parte, el valor de dicho voltaje se registra mediante un voltímetro digital con una exactitud de una milésima de volt (0,001 V). Estos dos hechos hacen que, con respecto al montaje anterior, el error en la determinación de la constante de Planck se haya reducido.

Baño térmico con regulación de temperatura. El uso del baño térmico con control de temperatura permitió efectuar el calentamiento de la muestra a velocidades bajas, de cerca de un grado por minuto en las etapas más rápidas. Se podía apreciar el cambio de valor cada una décima de grado lo cual permitía al estudiante prepararse de antemano para registrar la medición cuando arribara a un valor exacto.

Medidor digital multipropósito de formato grande. El multímetro de gran formato permitía visualizar con comodidad los valores de la resistencia eléctrica del termistor y poseía una precisión en la escala empleada (hasta 200 Ω) con 0,1 Ω . El mismo detectaba de forma pal-

pable las variaciones que experimentaba la resistencia eléctrica al variar la temperatura incluso en una décima de grado.

Instrumento experimental para el estudio del efecto Hall. El equipo de efecto Hall posibilita el estudio de las principales características del mismo y en particular obtener las dependencias del voltaje Hall con la intensidad del campo magnético a corriente constante y con la corriente a campo magnético constante. Dado el fondo de tiempo disponible para las prácticas y tomando en cuenta que este efecto se empleaba en el equipo para la medición del ciclo de histéresis y la curva de magnetización se decidió no incorporar esta como una práctica independiente, que puede ser vinculada de forma tal vez más directa en el tema de interacción del campo magnético con partículas cargadas en movimiento de la asignatura Física II.

Instrumento experimental de Franck y Hertz. El instrumento experimental de Franck y Hertz presenta una versión para reproducir un experimento clásico directamente tratado en clases teóricas. El equipo de que disponíamos anteriormente (de la firma Leybold) constaba de 5 elementos en el montaje, separados y que como reproducía el experimento original de Franck y Hertz usaba vapores de mercurio en la válvula o tubo. Esto traía consigo una dificultad adicional de calentar el tubo para lograr la obtención de vapores de mercurio en su interior a partir de mercurio líquido. Este equipo resulta mucho

más compacto y de mayor grado de simplicidad para su operación por los estudiantes. El actual montaje emplea gas argón dentro del tubo lo cual ilustra de manera similar la presencia de niveles discretos de energía para los electrones en los átomos y permite determinar los valores del primer potencial de excitación de los átomos de argón. Los valores de la corriente de placa se brindan con una precisión de 1 nA y el potencial acelerador principal de los electrones con 0,1 V.

Instrumento de medición del ciclo de histéresis y la curva de magnetización de un material magnético. El instrumento de medición del ciclo de histéresis y la curva de magnetización de un material magnético está concebido para mostrar la dependencia directa de la inducción magnética B en el interior de un material con la intensidad del campo magnético H. El mismo hace uso de un teslámetro digital a base de un sensor de efecto Hall para medir B en una ranura practicada en el núcleo ferromagnético. Aquí se presenta la oportunidad de ilustrar el uso de las condiciones de frontera para el vector inducción magnética B. También permite mostrar la variación de B a lo largo de la sección del núcleo ferromagnético. La precisión en la determinación de B era de 0,1 mT y la corriente para generar la excitación magnética H se podía establecer con una precisión de 0,1 mA. Este equipo brinda la posibilidad de investigar características magnéticas de materiales. Para ello basta confeccionar un núcleo con la geometría adecuada.

Tabla III						
Resultados obtenidos por los equipos de estudiantes en las prácticas de Física III						
Parámetros considerados en las práctica	Equipos de estudiantes					
	1	2	3	4	5	6
Error relativo en la constante de Planck (%)	0.59	0.62	0.39	0.36	0.57	0.57
Coefficiente correlación lineal R^2 fotoefecto	0.9954	0.9979	0.9992	0.9996	0.9958	0.9968
Error relativo en la constante de Rydberg (%)	1.39	0.53	0.62	0.470	0.546	0.470
Coefficiente correlación lineal R^2 semiconductor	0.9914	0.9992	0.9990	0.9990	0.9990	0.9990
Error relativo en la distancia interplanar (%)	1.34	1.44	1.23	1.66	1.05	1.44
Coefficiente correlación lineal R^2 efecto Hall	0.9999	0.9998	0.9997	--	--	--
Error relativo en primer potencial de excitación del Ar						

Tabla IV																		
Resultados de la encuesta aplicada a los estudiantes																		
Calificación	Práctica No.																	
	1			2			3			4			5			6		
	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3	5	4	3
Pregunta 1	6	5	0	7	4	0	6	5	0	9	2	0	7	4	0	5	5	1
Pregunta 2	7	4	0	8	3	0	8	3	0	8	3	0	8	3	0	6	5	0
Pregunta 3	8	3	0	4	7	0	8	3	0	6	5	0	6	5	0	6	5	0
Pregunta 4	4	7	0	6	5	0	6	5	0	6	5	0	5	6	0	6	5	0
Pregunta 5	7	4	0	7	4	0	9	2	0	8	3	0	6	5	0	7	3	1
Pregunta 6	5	5	0	6	4	0	5	5	0	6	4	0	6	4	0	5	5	0

3 Resultados y discusión

Todas las características antes mencionadas hacen que la calidad de las prácticas de laboratorio de Física III se haya elevado ostensiblemente. Destacamos los siguientes elementos que lo determinan:

1) **Aumento en la precisión al determinar las diferentes magnitudes.** Como ya anotamos, en todos los casos se eleva la precisión con que se determinan las magnitudes necesarias para obtener los resultados previstos en las prácticas. A manera de ilustración presentamos en la tabla III los resultados obtenidos por varios

grupos de estudiantes de Física III, en los cuales los errores relativos de las magnitudes a determinar experimentalmente resultan bajos comparados con los valores teóricos reportados en la literatura. De igual manera, en los casos en que las magnitudes tenían dependencias lineales los valores de los coeficientes de correlación siempre eran muy cercanos a 1.

2) Aumento del grado de reproducibilidad y de la confiabilidad. La realización de las prácticas de laboratorio por los primeros grupos de estudiantes puso de relieve el grado de reproducibilidad de los resultados, lo cual hace que los mismos resulten muy confiables y aseguran, que con un trabajo cuidadoso por los estudiantes, les permitirá obtener los resultados previstos. Una manera de evidenciar lo anterior fue la comparación de los resultados obtenidos por varios grupos de estudiantes con los resultados en las corridas experimentales durante la puesta a punto de los equipos, en los informes confeccionados por los estudiantes de alto aprovechamiento y en los brindados por los fabricantes en los manuales de los equipos. A manera de ilustración sirve la figura 1.

3) Opiniones de los estudiantes.

Al concluir el ciclo de prácticas se evaluó, con la aplicación de una encuesta anónima, el grado de satisfacción de los estudiantes con las mismas, cómo vieron el cumplimiento de los objetivos previstos para cada una, el grado de vinculación con el contenido de la asignatura, el aporte a la comprensión, consolidación e integración de los conocimientos, las habilidades experimentales adquiridas y la evaluación integral que le otorgarían tomando en cuenta todos los aspectos. En el anexo I aparece el modelo empleado. La calificación de cada aspecto se expresó en una escala de 1 a 5. Los resultados se muestran en la tabla IV.

Como se observa ningún aspecto recibió calificación inferior a 3 puntos y solo en dos oportunidades se otorgó esta calificación. La mayoría evalúa con valores de 4 y 5. Un análisis riguroso de estas opiniones apunta a que las prácticas 1 y 5 el orden de calificación se invierte siendo mayoritaria la de 4 por encima de la de 5. Esto se corresponde con el hecho de que en las mismas existe menos manipulación por parte de los estudiantes y nos indica que hubo objetividad en sus respuestas.⁹

4 Conclusiones

1. La incorporación de los nuevos equipos eleva ostensiblemente el grado de cobertura en los aspectos del sistema de conocimientos para los temas de las asignaturas de la disciplina, al igual que la calidad de las prácticas de laboratorio, lo cual se manifiesta en el aumento de la precisión con que se determinan las magnitudes a medir, el grado de reproducibilidad de los resultados y el resto de los aspectos que fueron evaluados por parte de los estudiantes.

2. Se diseñó, implementó y aplicó un sistema de nuevas prácticas de laboratorio para la asignatura Física III dotadas de sus correspondientes guías para la prepa-

ración de los estudiantes.

3. Las tareas realizadas para la incorporación del nuevo equipamiento a las prácticas de laboratorio de la asignatura Física III son las adecuadas para que el trabajo tenga integralidad.

4. El trabajo hasta ahora realizado tiene muchas posibilidades de generalización de forma inmediata en todas las universidades por cuanto el equipamiento está tipificado. Ya se han iniciado gestiones en este sentido.

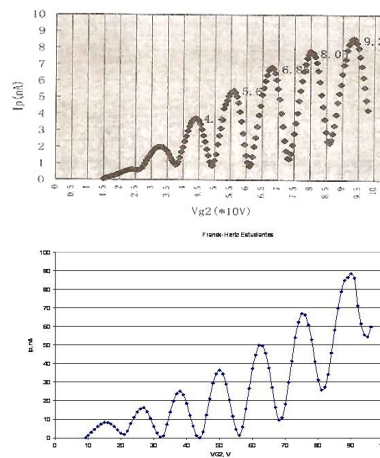


Figura 1. Gráfica brindada por el fabricante (arr.) y obtenida por los estudiantes (ab.)

Anexo 1

ENCUESTA SOBRE LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FÍSICA III

Estimados estudiantes:

Con el propósito de continuar mejorando la calidad de las prácticas de laboratorio les estamos solicitando nos respondan con la mayor objetividad posible las seis preguntas y reflejen las respuestas en la tabla. Usen como criterio de calificación la escala de 1 a 5.

- 1) ¿Cómo evalúa usted el cumplimiento de los objetivos previstos en cada práctica?
- 2) ¿Cómo evalúa usted el vínculo de las prácticas con los contenidos de la asignatura?
- 3) ¿Cómo evalúa usted el aporte que pueden haber hecho las prácticas a la comprensión, consolidación e integración de los conocimientos?
- 4) ¿Cómo evalúa usted la contribución al desarrollo de las habilidades experimentales?
- 5) ¿Cómo evalúa usted la calidad del equipamiento a partir de su precisión, repetibilidad, presentación, etc.?
- 6) ¿Cómo evalúa usted de forma integral (teniendo en cuenta todos los factores) las prácticas realizadas en este semestre?

Referencias

1. Hernández Ferreira Arcelio, Jiménez Chappotin Giraldo, Arévalo Velosa Zósimo: "Las prácticas laboratorio por proyecto y su impacto en el desarrollo de las habilidades en los estudiantes". Anuario Científico Universidad de Cienfuegos. Sección de Ciencias Técnicas (2002).
2. Hernández Ferreira Arcelio: "Los niveles de asimilación del contenido: una pauta para la organización de las prácticas de laboratorio." Revista ACTAS PEDAGOGICAS. Universi-

dad de Ibagué, Colombia. Año 5. No 5. Junio (2001).

3. L. del Risco, A. Hernández. Propuesta metodológica para interrelacionar las habilidades de la disciplina Física con las profesionales del Ingeniero Mecánico. Anuario Científico Universidad de Cienfuegos. Sección de Ciencias Técnicas (2002).

4. C. Alvarez. Nuevas tendencias en la enseñanza de la ingeniería. Revista Cubana de la Educación Superior (La Habana) (3), (1994).

5. Informe Technion sobre la enseñanza de la ingeniería. Revista Cubana de la Educación Superior (La Habana) 10 (1), (1990).

6. C. Alvarez. Tendencias en la enseñanza de la Física para ingenieros en Cuba. Revista Cubana de Educación Superior (La Habana) 6 (1), (1986).

7. P. Horrutinier. El perfeccionamiento del sistema de conocimientos de la disciplina Física para estudiantes de ingeniería. La Habana: Ediciones ISPJAM, (1988).

8. G. Fariñas. Una estrategia para el futuro: El proceso docente orientado a la formación de habilidades. Revista Cubana de Educación Superior (La Habana) 7 (3) (1988).

9. A. Hernández, A. Hernández, S. Tsering. Implementación de un sistema de prácticas de laboratorio para la asignatura Física III de la carrera de Ingeniería Mecánica y evaluación de su impacto en la calidad de las mismas y en la formación del profesional. En CD de trabajos presentados en la Conferencia Científica Internacional de Ingeniería Mecánica COMEC 2000. Universidad Central de Las Villas. ISBN-978-959-250-404-2 (2000).

Uso de las funciones de ajuste en el laboratorio teniendo en cuenta la correlación entre sus parámetros

T. Molina y O. Calzadilla

Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; tmolina@fisica.uh.cu[†], calza@fisica.uh.cu.
[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. El objetivo fundamental cuando se realiza el ajuste de los datos obtenidos mediante medición es encontrar una función matemática que permita obtener valores de la variable dependiente que no están contenidos en los datos experimentales, es decir poder realizar interpolaciones y extrapolaciones. El valor de la variable dependiente encontrado mediante la función de ajuste deberá ser reportado conjuntamente con su incertidumbre. Los programas de cálculo comercial para ajustar curvas, reportan de forma directa la incertidumbre en cada uno de los parámetros del ajuste, pero no reportan la covarianza entre ellos, por lo que realizan una sobre estimación de la incertidumbre asociada a la magnitud determinada. En este trabajo se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio docente en la que se manifiesta las diferencias entre las incertidumbres encontradas de la magnitud determinada cuando se calcula ésta teniendo en cuenta solamente las incertidumbres de cada uno de los parámetros de la curva de ajuste utilizada y cuando además se aplica el método matricial para el cálculo de las covarianzas entre los parámetros de la curva de ajuste.

Abstract. An adjustment is carried out to obtain the adjustment parameters that define a mathematical function that is used to obtain interpolated and extrapolated values. The calculated value obtained by means of the adjustment function will be reported as the uncertainty of this value. The commercial calculus programs can be used to adjust curves they reporting directly the value of parameters and their uncertainties, but they don't report the covariance among their parameters, for this reason the estimation of the uncertainties associated to these calculated magnitudes are not successful. In this work are presented the results obtained in the educational laboratory when calculating the uncertainties using the matrix method and keeping in mind the covariances among the adjustment parameters..

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, teacher training, 01.40.J-.

1 Introducción

En el laboratorio docente de Óptica se utiliza un monocromador de prisma (tipo YM-2) de fabricación soviética para la realización de las prácticas que están relacionadas con la transmisión y absorción de la luz:

- Determinación de la longitud de onda transmitida y el ancho de banda de un filtro óptico y de uno interferencial.
- Estudio de la absorción de la luz.

En ambas prácticas se mide la transmisión luminosa en

la región espectral que permite el monocromador (380 – 1000) nm.

En la primera, se mide la transmisión luminosa de un filtro óptico y de uno interferencial, con el objetivo de determinar la longitud de onda λ que corresponde a la máxima intensidad transmitida, así como, los anchos de bandas $\Delta\lambda$ de los filtros. Posteriormente se comparan las cualidades de ambos filtros.

En la segunda se mide la transmisión luminosa de una solución acuosa de Sulfato de Cobre (SO_4Cu) a una concentración conocida y la del agua pura (H_2O) contenida

ambas en cubetas de igual espesor, con el objetivo de determinar la zona espectral de máxima absorción del Sulfato de Cobre. Se obtienen las curvas de la transmitancia del filtro interferencial (I_{fi} vs UT) y del filtro óptico (I_{fo} vs UT) y la de absorción del Sulfato de Cobre (I_o / I_{SCu} vs UT), siendo I_{fi} e I_{fo} las intensidades de la luz transmitida por los filtros, I_o e I_{SCu} las transmitidas por las cubetas con las sustancias líquidas y UT las unidades de la escala del monocromador, las que están referidas a las posiciones angulares del prisma con respecto al haz luminoso incidente en el mismo, después de haber atravesado los filtros o las cubetas. La función del prisma es dispersar la luz incidente en sus longitudes de onda (fig 1), por lo que a la salida del monocromador se tendrá haces luminosos cuasi-monocromáticos cuyas longitudes de onda dependerá de la posición angular del prisma. Para poder conocer las longitudes de onda transmitida por los filtros o las absorbidas por el Sulfato de Cobre es necesario calibrar la escala del monocromador, para lo cual se mide las posiciones (UT) correspondientes a las líneas espectrales emitidas por una lámpara espectral o un láser, cuyas longitudes de onda son conocidas (fig 2). Se determina la función de ajuste (λ vs UT) para la que se utilizó el programa Origin 7.0. La función de ajuste obtenida es un polinomio de segundo grado, con tres parámetros según:

$$\lambda = A + Bx + Cx^2 \quad (1)$$

En la tabla 1 se dan los valores de los tres parámetros de la curva de ajuste (1) y de sus incertidumbres, reportados por el programa utilizado.

La función de ajuste para el prisma del monocromador será entonces:

$$\lambda = 396,28 + 0,014x + 0,00003x^2 \quad (2)$$

donde la x representa el valor de la posición relativa del prisma a la que se le quiere determinar su correspondiente λ .

2 Desarrollo

Una primera evaluación de las incertidumbres de las longitudes de onda determinadas por la expresión (1), para el caso de los filtros, se realizó utilizando la expresión para la incertidumbre combinada según el GUM¹:

$$u_{sc}^2(\lambda) = u_A^2 + u_B^2 x^2 + u_C^2 x^4 \quad (3)$$

En la que solamente se tiene en cuenta las incertidumbres de los parámetros reportados por el programa utilizado (tabla 1).

Los valores de las incertidumbres de las longitudes de onda de la luz transmitida por los filtros obtenidas según (3) resultaron muy altos; comparables a los valores de los semianchos de banda de los correspondientes filtros. Una discusión del efecto de la covarianza entre en los parámetros de ajuste fue realizada por Taylor², cuestión que nos hizo sospechar que los resultados obtenidos estaban sobrevalorados, por lo que nos dimos a la tarea de hacer una segunda evaluación de las incertidumbres, teniendo en cuenta la correlación entre los parámetros de

ajuste, utilizando la expresión:

$$u_{cc}^2(\lambda) = u_{sc}^2 + 2(u_{(A,B)}^2 x + u_{(A,C)}^2 x^2 + u_{(B,C)}^2 x^3) \quad (4)$$

Figura 1. Trayectoria del rayo luminoso a través de un prisma.

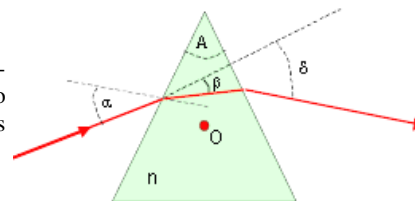


Tabla I

Valores de los parámetros del ajuste y sus incertidumbres.

Parámetro	Incertidumbre
A = 396,28	$u_A = 5,7$
B = 0,014	$u_B = 0,007$
C = 0,00003	$u_C = 0,000002$

Tabla II

Dependencia de los valores de la incertidumbre con la covarianza para los filtros.

Filtro	λ transmitido con máxima intensidad (nm)	Semiancho de banda (nm)	Incertidumbre de la longitud de onda u (λ) según (3) (nm)	Incertidumbre de la longitud de onda u (λ) según (4) (nm)
Óptico	547,3	41,3	23,2	1,13
Interferencial	632,2	20,1	17,8	1,24

Tabla III

Dependencia de los valores de la incertidumbre con la covarianza para la absorción.

λ correspondiente a la zona máxima absorción del SO_4Cu (nm)	Incertidumbre de la longitud de onda u (λ) según (3) (nm)	Incertidumbre de la longitud de onda u (λ) según (4) (nm)
733,9	23,7	3,62

Como el programa Origin 7.0 no reporta los valores de las covarianzas entre los parámetros de la función de ajuste (1), fue necesario elaborar un programa en Excel

7.0 basado en el método matricial³ para realizar el ajuste a la función dada en (2) y sus incertidumbres según la expresión (4), obteniéndose los nuevos resultados de las incertidumbres de las longitudes de onda de la luz transmitida por los filtros.

En la tabla 2 se reportan los valores encontrados de las longitudes de onda λ que transmiten los filtros con la máxima intensidad; sus semianchos de banda y las incertidumbres de las longitudes de onda determinadas según la expresión (3) y (4) en la que se observa que los valores de las incertidumbres encontrados según (4) son más aceptables.

Como la función de ajuste (2) es válida para cualquier práctica que se realice en el monocromador, se aplicó a la de absorción del Sulfato de Cobre. En la tabla 3 se reportan los valores encontrados según la expresiones (1), (2) y (3) para este caso.

3 Conclusiones

Se observa que las incertidumbres de las longitudes de onda determinadas mediante una función para ajustar un conjunto de puntos experimentales, calculadas sin tener en cuenta las covarianzas entre los parámetros de la función de ajuste están sobre estimados, siendo los valores encontrados para el caso de los filtros comparables con sus semi-anchos de banda. Mediante la aplicación del programa elaborado en Excel 7.0 utilizando el método matricial, el que tenía en cuenta las covarianzas entre los parámetros de la función de ajuste, se encontraron valores de las incertidumbres de las longitudes de onda

transmitidas por los filtros y absorbidas por el sulfato de cobre más aceptables.

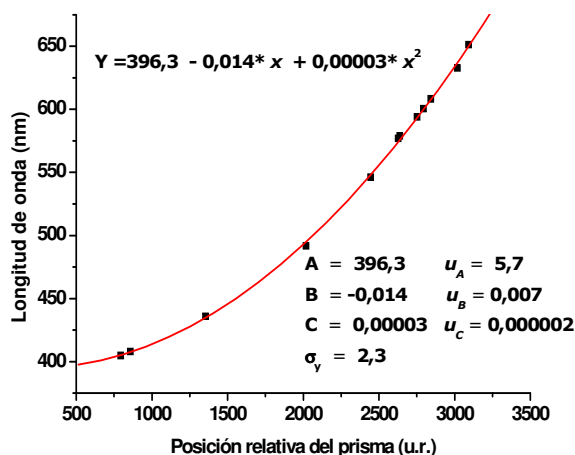


Figura 2. Curva de calibración del prisma

Referencias

1. BIPM, IEC, IFCC, USO, IUPAC, IUPAP AND OIML Guide for the Expression of Uncertainty Measurement (1995).
2. J. R. Taylor, Simple examples of correlations in error propagation. Am. J. Phys., 53, 663-667 (1985).
3. P.R. Bevington and D.K. Robinson Data Reduction and Error Analysis for the Physical Sciences. Second Edition. McGraw-Hill Companies, Inc. 115- 140. (1992).

Un modelo pedagógico para la enseñanza y aprendizaje de física experimental básica

L.Rodríguez J.^{†a}, I.Aguirre N.^a, J. Granados S.^b, O. Valdez V.^a

a) Centro de Investigación Educativa, México; liroju_edu@yahoo.com

b) CB, CBI, Universidad Autónoma Metropolitana, México; jgs3112@yahoo.com

†autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. Con el fin de analizar el modelo pedagógico utilizado en las actividades de enseñanza de la física experimental en el tronco general de las licenciaturas de Ingeniería impartidas en la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, realizamos una investigación de campo en una muestra representativa de los alumnos de la materia de Laboratorio de Física II del tercer trimestre. Aplicamos una entrevista al docente y un cuestionario a los alumnos y así mismo una observación a la práctica educativa. Realizamos también un análisis comparativo de los modelos pedagógicos heteroestructurante, autoestructurante e interestructurante. Con base en el modelo de estilos de aprendizaje y el cuestionario CHAEA Honey Alonso proponemos un conjunto de estrategias para la aplicación de la Pedagogía Dialogante las cuales mejorarán los resultados de enseñanza y aprendizaje en las actividades de la física experimental.

Abstract. With the aim to analyze Pedagogic model used in experimental Physics teaching activities at common part in Engineering careers imparted at Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco at Mexico City, we did an field educative research in a representative group of pupils of Laboratorio de Física Básica II at third trimester. Also, we applied an interview to the Teacher and a questionnaire to pupils and we did an observation of docent practical. We realized comparative analysis of heteroestructurante, autoestructurante and interestructurante pedagogic models. Based on Learning Styles and the CHAEA Honey Alonso questionnaire we propose a set of educative strategies for the application of Dialogant Pedagogic model that which will give better results of teaching and learning in experimental physics activities.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, teacher training, 01.40.J.-.

1 Introducción

La educación es un proceso continuo y sistemático de construcción de conocimientos que en el transcurso de los años permite al individuo formar estados superiores de pensamiento. En este contexto, con estudios medio superiores o superiores ya cursados o al término de éstos, todos los estudiantes universitarios deberían manifestar suficientes conocimientos, habilidades mentales y capacidades técnicas para transferir en competencia lo que han aprendido en nuestras aulas a situaciones reales del trabajo cotidiano. Sin embargo, muchas dudas de que esto se cumpla nos quedan ya que no podemos asegu-

rar que los contenidos dentro del currículo que enseñamos hayan sido totalmente asimilados para responder a esta demanda o bien para que sirvan en forma óptima para nuevos estudios o conocimientos que formen este nivel de pensamiento superior del que hablamos. En una primera instancia este problema se presenta debido a que la práctica docente se ubica en los límites del aula o del laboratorio por lo que no se abre la posibilidad de que los maestros hagamos un análisis que contemple otros aspectos como pueden ser los esquemas referenciales de los alumnos, la importancia en la participación de los alumnos en la dinámica interna del grupo o por que no hagamos un cambio de modelo educativo por otro

más eficaz que considere en el alumno antes del aprendizaje su propio desarrollo: de estructuras mentales, de afectividad, y del estado cinestésico. Al respecto, estudios realizados en las aulas y laboratorios universitarios han demostrado en una comparación de la teoría y la práctica que prevalecen en la universidad las prácticas docentes heteroestructurantes o muy tradicionales donde el maestro es el principal sujeto de la acción y el alumno es un ser receptivo y pasivo. Si bien algunos docentes han introducido ciertos cambios en sus prácticas, la función autoestructurante ha comprobado que no cambian los índices de reprobación de sus alumnos, porque la función del maestro ha decaído y la responsabilidad de aprender ha quedado totalmente en sus alumnos. En un afán de búsqueda para mejorar el aprendizaje, algunos

docentes de la UAM-A adoptaron en su práctica de enseñanza, un modelo pedagógico interestructurante o dialogante que si bien reconoce el papel activo del estudiante en todo el proceso de aprendizaje; reconoce también el rol esencial de los mediadores en este proceso: discente-conocimiento-docente y recupera de los modelos pedagógicos constructivistas y activos la finalidad de la comprensión intelectual y humana. La pedagogía dialogante interestructurante, se basa en el desarrollo humano como principal objetivo de la educación, considerando que los niveles superiores de pensamiento, se cumplen bajo un proceso de formación de estructuras mentales en interacción con el medio; en la comunicación lingüística y en la interacción social dentro del escenario educativo.¹⁻⁶

Tabla I	
Heteroestructuración, autoestructuración, interestructuración	
Heteroestructuración	Autoestructuración
Finalidad educativa: <i>Enseñanza</i> de conocimientos específicos. Privilegia la enseñanza basada en el maestro: clases magistrales, uso de métodos receptivos. Considera a la universidad como transmisora de cultura. Considera el conocimiento externo al estudiante y a la enseñanza como aseguradora del conocimiento.	Finalidad educativa Construcción del conocimiento. <i>Aprendizaje</i> Considera a que el estudiante tiene todas las condiciones necesarias para su desarrollo. Consideran que el estudiante debe convertirse en el centro de todo proceso educativo. Privilegian los métodos que favorecen el descubrimiento y la invención.
Pedagogía Dialogante - Interestructuración	
El fin de la educación es el <i>desarrollo</i> . <i>Enseñanza y aprendizaje</i> Educación integral: La educación reestructura todas las funciones de la conducta (Vygotsky). Es necesario el completo desarrollo de las estructuras mentales, la asimilación y la adaptación (Piaget) . Dominar el lenguaje como medio de comunicación verbal y escrito Principio pedagógico: La educación se entiende como un proceso interestructurante reconociendo el papel activo tanto del mediador (maestro) como del estudiante Los estudiantes llegan a niveles más altos cuando contamos con mediadores de calidad. Internalización Aprendizaje significativo (Ausubel) Papel central de los conocimientos previos: Metacognición Aborda las tres condiciones humanas Enseñanza y aprendizaje por competencias mediadas por la formación de niveles superiores de pensamiento.	

2 Desarrollo

Realizamos una investigación cualitativa fenomenológica en aulas y laboratorios de Física en la UAM-A correspondientes al tronco común de las carreras de Ingeniería, observando tanto la cotidianidad de las clases teóricas y prácticas como el modelo pedagógico que subyace en la práctica docente; observamos también la relación docente-discente respecto a la comunicación lingüística e interacción afectiva y social y la relación e interacción entre los propios compañeros. Compartiendo la idea de que aprender es un proceso natural que se favorece por el desarrollo del individuo y se trata de algo interno de la persona, que afecta y es afectado por cambios biológicos, físicos y psíquicos, de personalidad y

de valores. En forma cuantitativa aplicamos a la muestra representativa de alumnos el cuestionario Honey-Alonso sobre estilos de aprendizaje y a los docentes el cuestionario Zubiria Samper para conocer los modelos pedagógicos que subyacen en sus práctica docente. El cuestionario Honey-Alonso responde a la pregunta que algunos docentes nos hacemos acerca del porqué, algunos de nuestros alumnos aprenden y otros parece que no y es que aunado a nuestro modelo de enseñanza, en estrecho vínculo, se encuentran la forma de aprender de nuestros estudiantes y nuestra propia forma de enseñanza. Las bases fundamentales en que se apoya el Cuestionario Honey Alonso son los enfoques cognitivos de Piaget, Vigotsky, y Ausubel; los enfoques de la tipología de Gagné; la teoría humanística de Roger; las

teorías neurofisiológicas; las teorías de la elaboración y proceso de la información. Todas estas teorías que sustentan a la pedagogía dialogante, apuntan tanto a la necesidad de prestar atención a las diferencias individuales de desarrollo entre los alumnos y de orientar de manera más individualizada su aprendizaje de modo que se reconstruya el conocimiento en forma interestructurada a partir del diálogo pedagógico entre el discente, el saber y el docente. El cuestionario Zubiria Sámpser aplicado a los docentes fue evaluado por el Instituto Merani de Colombia respecto a los principios pedagógicos que sustentan las teorías tradicionales, activistas, constructivistas y dialogantes. Para su análisis, los enfoques constructivistas se dividieron en los niveles epistemológico y pedagógico.¹⁻⁶

3 Resultados obtenidos

Los modelos pedagógicos le asignan funciones distintas a la educación porque tienen percepciones del ser humano y del tipo de hombre y sociedad que forman, en este contexto encontramos que los modelos pedagógicos que subyacen en la UAM-A son los modelos heteroestructurantes y los autoestructurantes. En la tabla 1 se muestran tanto las características de estos dos modelos como las del modelo interestructurante correspondiente a la pedagogía dialogante.

La evaluación de los cuestionarios aplicados a los alumnos, fueron medidos bajo los baremos ya formados por Honey Alonso. Se muestran en la tabla 2.

El porcentaje de las preferencias de los Estilos de Aprendizaje obtenidos por los alumnos en la aplicación del cuestionario Honey Alonso se muestran en la tabla 3. La tabla 4 muestra el porcentaje de los resultados obtenidos. Algunos alumnos tienen preferencia por dos o tres Estilos de Aprendizaje. La tabla 5 muestra los resultados del cuestionario Zubiria Zamper aplicado a los docentes.

4 Discusión

De acuerdo a los resultados obtenidos en la aplicación del cuestionario Honey-Alonso se puede observar que los estilos de aprendizaje que prefieren los alumnos son el teórico y el pragmático, sin embargo, los estilos activo y reflexivo que permiten la aplicación del conocimiento adquirido por medio de la experimentación dentro del laboratorio manifestó escasa preferencia en los estilos de aprender de los alumnos. Cabe enfatizar que ninguno de los alumnos tiene preferencia de estilo reflexivo lo cual debería alertar nuestra atención ya que las características principales de este estilo son la observación, el análisis, el registro de datos, el juicio y la elaboración de argumentos entre otros. En el cuestionario aplicado a los docentes, encontramos que existe la epistemología activa, constructivista y dialogante, no así la pedagogía de estos mismos enfoques debido a que los docentes son profesionales que provienen del campo disciplinario de la Fí-

sica pero incursionan en la enseñanza, tanto por una inclinación personal a este quehacer como por la opción laboral que se les presenta. Por consiguiente no han sido enseñados a “enseñar” y enfrentan los retos de la docencia reproduciendo los modelos que conocieron en sus maestros cuando éstos fueron estudiantes.

Tabla II

Indicadores o Baremos de Estilos de Aprendizaje Honey y Alonso: Preferencias: MB=MUY BAJA; B=BAJA; M=MODERADA; A=ALTA; MA=MUY ALTA

ESTILOS	MB	B	M	A	MA
ACTIVO	0-6	7-8	9-12	13-14	15-20
REFLEXIVO	0-10	11-13	14-17	18-19	20
TEÓRICO	0-6	7-9	10-13	14-15	16-20
PRAGMÁTICO	0-8	9-10	11-13	14-15	16-20

Tabla III

Estilos de Aprendizaje de los alumnos

Activo	Reflexivo	Teórico	Pragmático
16.12%	0%	22.58%	9.67%

Tabla IV

Estilos de aprendizaje combinados.

ACTIVO-PRAGMÁTICO	16.12%
TEÓRICO REFLEXIVO	3.22%
TEÓRICO PRAGMÁTICO	12.9%
PRAGMÁTICO ACTIVO	9.67%
PRAGMÁTICO TEÓRICO	3.22%
ACTIVO TEÓRICO PRAGMÁTICO	3.22%

Tabla V

Porcentajes obtenidos del cuestionario Subiria Zamper.

	Muy Alto	Alto	Medio	Bajo	Muy Bajo
Escuela Tradicional	66.6				16.6
Escuela Activa		50	50		
Constructivismo Epistemológico	33.3	33.3	33.3		
Constructivismo Pedagógico	33.3	50	16.6		
Pedagogía Dialogante	50	33.3	16.6		

5 Conclusiones

La pedagogía dialogante exige cambios no sólo epistemológicos sino que también obliga a transformar los principios pedagógicos y praxiológicos, las relaciones docente-discente y las estrategias metodológicas en el salón de clase.

En el trabajo científico la investigación suele ser una opción y una cima ideal por alcanzar. Sin embargo, esto solo es posible con muy altos niveles de mediación sobre el tema, comenzando en la formulación de las preguntas,

y siguiendo en orden, la selección de las variables, el diseño, el marco conceptual y en la revisión de antecedentes, evaluando cada paso hasta llegar a la evaluación tasativa.

La enseñanza dialogada exige que el que aprende comprenda lo que hace, sepa porqué lo hace, conozca las razones que justifican la acción de las actividades seleccionadas para conseguir las metas y comprenda la organización de su desenvolvimiento.

El objeto de estudio de la física experimental desde la concepción de la pedagogía dialogante sería: utilizar todas las combinaciones posibles entre una serie de variables para lograr un determinado efecto; comprobar las relaciones entre diferentes temas obtenidos a partir de las combinaciones entre variables; comprender que en todas las situaciones en las que exista más de un sistema de referencia que pueda determinar el efecto observado no hay cambio en las leyes físicas que lo rigen; determinar cuándo es necesario hallar la existencia de una relación causal ante una situación aparentemente probabilística. Además fomentar la formulación de hipótesis validándolas o invalidándolas por medio de argumentos hipotético deductivos en contextos alejados de su realidad; experimentar un principio de la física deduciendo las aplicaciones que tendrán en la realidad.

Todas las actividades experimentales deben ser abordadas simultáneamente por el docente y el discente, es decir, el discente reflexiona sobre lo que oye, sobre lo que observa, sobre lo que hace en el experimento en tanto que el docente sugiere, retroalimenta y orienta el pensamiento del estudiante, crea un clima de reflexión y toma de conciencia y genera en el discente procesos de metacognición; sin utilizar abstracciones ni fenómenos ajenos al ámbito de percepción, comprensión o conocimiento del alumno, el maestro explorará los conocimientos previos de la física con el fin de que el alumno los pueda aplicar en el nuevo contexto.

Mediación en física experimental. La mediación debe orientarse a comprender la física experimental y establecer conexiones con la realidad; desarrollar los procesos de pensamiento de los alumnos, propiciar situaciones de trabajo en equipo formados de ser posible con alumnos que tengan los cuatro estilos de aprendizaje y procurar la existencia de la mutua aceptación de los diversos puntos de vista de cada uno de los alumnos.

Tanto el modelo heteroestructurante de la educación masiva que ha dominado en las aulas universitarias como el autoestructuralismo mal entendido y aplicado, han impedido que los docentes planifiquen sus actividades teóricas y prácticas y que tracen objetivos de aprendizaje en relación de actos mentales o de pensamiento. El conocimiento así, por lo tanto tiene escaso valor como tal al no ser aplicado eficazmente en otras situaciones o en otros escenarios. Es así que después de una instrucción teórica los resultados en la práctica de laboratorio pueden ser tales como que el estudiante no muestre la habilidad y conocimientos deseados en el manejo de equipo y herramientas.

Referencias

1. Alonso M Catalina y Honey Peter. Los Estilos de Aprendizaje. Procedimientos de Diagnóstico y Mejora. Ediciones Mensajero. Bilbao, (2006).
2. De Zubiría Zamper Julian. Los Modelos Pedagógicos. Hacia Una Pedagogía Dialogante Cooperativa Editorial Magisterio. Bogotá, Colombia (2006).
3. Días Barriga arceo Frida et al. Estrategias Docentes Para un Aprendizaje significativo. Mac Graw Hill. México. 2006.
4. Meece Judith. Desarrollo del Niño y del Adolescente para Educadores. Mac Graw Hill. México (2000)
5. Rodríguez Gómez Gregorio et al. Metodología de la Investigación Educativa. Ediciones Aljibe. Málaga (1999)
6. Sola Ayape Carlos. Aprendizaje Basado en Problemas. Editorial Trillas. México (2006)

Montaje experimental para la medición de las curvas resonantes del modo radial a altas temperaturas

J. Portelles^{a,c}, J. Fuentes^{a,c}, E. L. Rodríguez^{a,c}, L. Soto^{a,c}, O. Raymond^b, V. García^b, J. Heiras^b y J.M. Siqueiros^b.

a) Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba; portell@fisica.uh.cu[†],

b) Centro de Nanociencias y Nanotecnología, Ensenada, B.C, México;

c) Instituto Cibernética, Matemáticas y Física, Ciudad de La Habana

[†]autor para la correspondencia portell@fisica.uh.cu

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. La caracterización de los materiales piezoeléctricos con la temperatura es de gran importancia pues permite ajustar los parámetros tecnológicos para obtener cerámicas de alta calidad. Las constantes electromecánicas de los materiales piezoeléctricos son determinadas por la medición de la admitancia ó impedancia de transductores a partir de las curvas de resonancia. En el trabajo se presenta el equipo construido, que permite medir de forma automatizada las curvas de resonancia en cerámicas piezoeléctricas en el rango de 25 a 150°C y 4Hz a 4 MHz. Esta práctica fue incluida en la asignatura Métodos Experimentales de la Física, que cursan los estudiantes de la carrera de Física en el quinto año. Esta práctica les permite a los alumnos familiarizarse con técnicas modernas así como conocer los fundamentos de la piezoelectricidad y sus aplicaciones. Se calculan a partir de curvas medidas, los parámetros electromecánicos desde 25-150° C con paso de 5° C de las frecuencias resonantes de las curvas Z vs Frec correspondientes al modo radial en cerámicas PZT 53/47: Gd.

Abstract. The characterization of piezoelectric materials with the temperature is of great importance since it allows adjusting the technological parameters to obtain high quality ceramic. The electromechanical constants of piezoelectric materials are determined by the measurement of the admittance or impedance of transducers starting from the curves of resonance. In this work an equipment is presented that allows to measure in an automated way the resonance curves of piezoelectric ceramic in the range of 25 at 150°C and between 4Hz to 4 MHz. A new experimental work was included in the subject Experimental Methods of the Physics that the students of the career of Physics study in the fifth year. This practice allows the students to familiarize with a modern technique as well as to know the foundations of the piezoelectricity and its applications. The electromechanical parameters are calculated from the measured curves, from 25-150° C with step of 5° C from the resonant frequencies in Z vs Frec curves corresponding to the radial mode in PZT 53/47: Gd ceramic.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d; Physics education laboratory experiments, 01.50.Pa; Piezoelectricity, 77.65.-j; piezoelectric devices, 85.50.-n

1 Introducción

La caracterización de los materiales piezoeléctricos con la temperatura es de gran importancia pues permite ajustar

los parámetros tecnológicos para obtener cerámicas de alta calidad. Las constantes electromecánicas de los materiales piezoeléctricos son determinadas por la medición de la admitancia ó impedancia de transductores a partir de las curvas de resonancia. Esta práctica fue in-

cluida en la asignatura Métodos Experimentales de la Física, que cursan los estudiantes de la carrera de Física en el quinto año.

A partir del espectro resonante medido experimentalmente se determinan las frecuencias de resonancia (f_r) y antiresonancia (f_a) así como la frecuencia de resonancia del primer armónico (f_{r1}), las que son las utilizadas para evaluar el efecto piezoeléctrico. Este efecto es tal que promueve ondas mecánicas por la excitación de una señal eléctrica de corriente alterna, que en las frecuencias propias de la piezocerámica ocurre la resonancia electromecánica.

El método de transmisión o método resonante paralelo es nombrado al método para la determinación de la frecuencia de resonancia (f_r) en el mínimo de impedancia (Z_{\min}) y la frecuencia de antiresonancia (f_a) en el máximo de impedancia (Z_{\max}), fue establecido por el estándar de la IEEE de Cristales Piezoeléctricos en 1958 [página 289 de 1]. El procedimiento es descrito en los Standard on Piezoelectric Crystals, en 1957 y en [2].

Es el objetivo del trabajo describir un sistema para la caracterización de los parámetros electromecánicos en función de la temperatura, basado en el método de transmisión y los estándar de piezoelectricidad antes mencionados y los resultados obtenidos con el mismo en la caracterización de cerámicas piezoeléctricas PZT dopadas con Gd.

2 Descripción del analizador termo-espectral automatizado

2.1 Principio de funcionamiento. El circuito para la medición de la respuesta de la resonancia electromecánica, consiste de un generador de señales con frecuencia y voltaje ajustables. La señal del generador se aplica a un circuito resonante en el que se encuentra la muestra de interés, la respuesta es medida con un detector de RMS y fase (ver figura 1). El experimento consiste en un barrido en la frecuencia del circuito con amplitud de voltaje constante, previamente definida por el investigador, midiendo la respuesta del circuito a la salida en RMS y su desfase respecto a la señal de entrada. Este barrido muestra la respuesta en frecuencia del circuito, que no es más que la respuesta de la muestra. En caso de cerámicas y capas piezoeléctricas polarizadas, se obtienen picos de resonancia de donde proviene el nombre de la técnica.

2.1.2 Generador de Señales. La sección del generador de señales está dividida de la siguiente manera (figura 2). La frecuencia y el voltaje deseados se transmiten de manera digital a través del puerto IDE de una computadora. Esta orden es descifrada por medio de una circuitería lógica y después de esto es enviada al convertidor D/A 1, el que ajusta la amplitud de la señal. La circuitería lógica también maneja al convertidor D/A 2 y al selector de capacitores, los que a su vez alimentan al generador de señales ajustando la frecuencia y escala de frecuencias respectivamente. El generador produce una señal periódica de amplitud constante y formas de onda

cuadrada o sinusoidal. Esta señal es aplicada a un multiplicador, el que a partir de esta señal y el voltaje del convertidor D/A1, produce una onda periódica con amplitud ajustable, obteniéndose así la señal de interés.

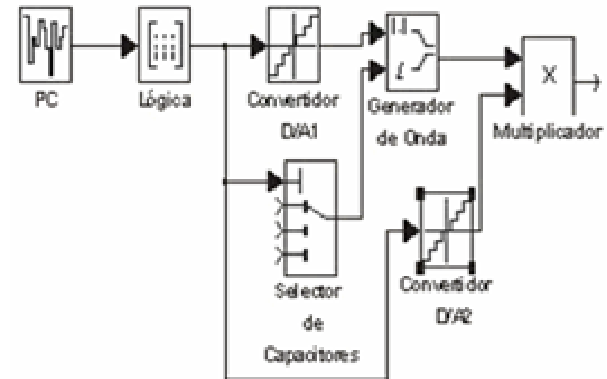
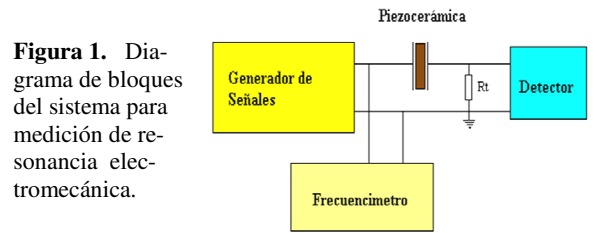


Figura 2. Diagrama de bloques del circuito generador de señales.

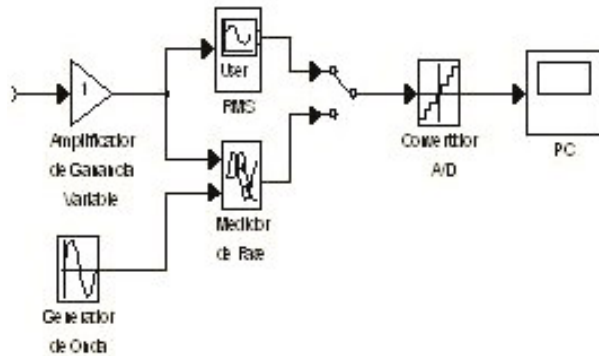


Figura 3. Medición de RMS y Fase.

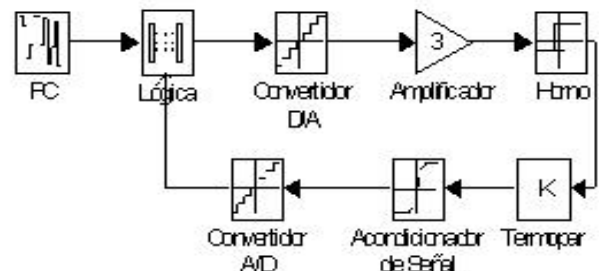


Figura 4. Control de temperatura.

El generador de señales debe tener una impedancia de salida menor que la impedancia mínima de la piezocerámica a medir. La resistencia R_t , de valor conocido, también debe ser inferior a la impedancia mínima ($R_t < Z_{\min}$) de la muestra a medir. En la determinación de la frecuencia f_a correspondiente al máximo de impedan-

cia ($Z_{m\acute{a}x}$) debe ser utilizada una resistencia R_t de mayor valor ($R_t > Z_{m\acute{a}x}$). Generalmente en cerámicas de altos valores de constante dieléctrica no existen problemas, solo en la determinación del factor de acoplamiento transversal k_{33} en cilindros muy largos.

2.1.3 Medición de RMS y Fase. La sección de medición de RMS y fase (ver Figura 3) empieza con la etapa de amplificación de la señal de respuesta del circuito resonante. La señal amplificada es subdividida en dos sistemas: el medidor de RMS que produce un voltaje constante equivalente al RMS de la señal periódica, luego es convertida en señal digital utilizando el convertidor A/D y finalmente leída y almacenada en la PC.

La otra subdivisión es el medidor de fase, el cual compara la fase de la respuesta del circuito resonante, con la fase del generador local de la sección anterior. Esta diferencia de fase es transformada a un voltaje constante, el que es convertido a señal digital con el convertidor A/D y almacenado en la computadora.

2.1.4 Control de temperatura. Es muy importante hacer las mediciones de resonancia a diferentes temperaturas, para determinar la estabilidad de los parámetros electromecánicos con la temperatura, es por ello que se incorporó un circuito controlador de temperatura y un horno-portamuestra al sistema. En la figura 4 se puede apreciar el diagrama de bloques del control de temperatura, ésta consta de una PC que hace el control digital del horno por medio de un algoritmo PID (proporcional integral derivativo), ésta ordena a través de su puerto IDE el voltaje necesario para el control y lee la medición de temperatura para hacer correcciones. La lógica canaliza los órdenes de la PC al convertidor D/A, el que convierte el dato binario recibido en una señal de voltaje, la que es amplificada y enviada al horno donde es colocada la muestra de interés. La temperatura es tomada por un sensor de temperatura tipo K y amplificada por un circuito acondicionador de señal, el que entrega una señal de voltaje proporcional a la temperatura al convertidor A/D, que se encarga de transformar esta diferencia de potencial en un código binario que posteriormente será canalizada por la circuitería lógica hacia la PC, la que hará correcciones y controlará la temperatura del horno con un algoritmo PID.

3. Resultados de la calibración del equipo

Las mediciones electromecánicas con la temperatura fueron realizadas mediante el analizador termo-espectral automatizado descrito. Su rango de medición comprende valores de tensión ajustables, desde 1-10V, garantizando la tensión escogida constante en el tiempo, y con un rango de variación en la frecuencia de 4 Hz- 4MHz. La precisión de los datos es de hasta 2000 puntos por década de la frecuencia. La temperatura se puede escoger en el rango de 25-200°C y es controlada automatizadamente con un error de $\pm 1^\circ\text{C}$. Para verificar la estabilidad de la técnica de medición con la temperatura se realizaron varias

mediciones a una misma temperatura. El sistema es controlado por una PC mediante un software destinado para este fin. El análisis de los datos fue realizado mediante un programa elaborado al efecto, teniendo en cuenta las expresiones de las diferentes constantes dieléctricas, piezoeléctricas y de elasticidad para el modo radial, así como los requerimientos adoptados por el estándar de Piezoelectricidad [3].

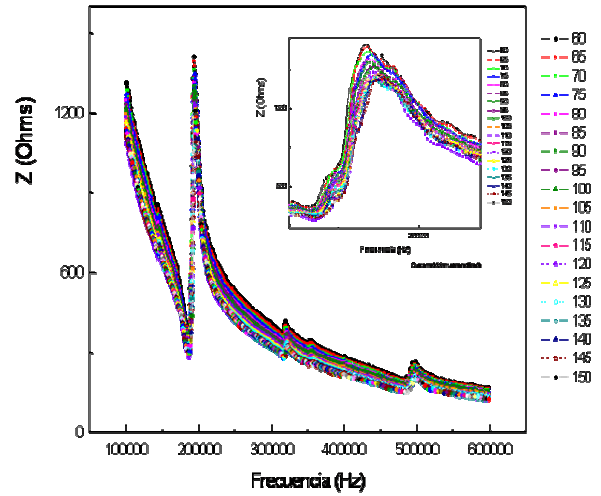


Figura 5. Z vs. T en el modo radial a diferentes temperaturas, para piezocerámicas PZT57/43:Gd.

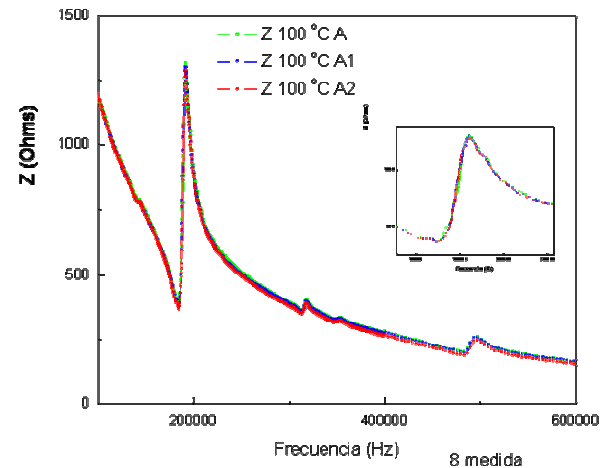


Figura 6. Z vs. T realizada con tres repeticiones a 100°C.

Para la caracterización de una cerámica PZT53/47:Gd [4] fueron escogidas señales de ac tipo sinusoidal de 1 V en el rango de 100 kHz-4 MHz, y a temperaturas constantes como parámetro en el rango de 25-150 °C con un paso de 2 y 5 °C, se caracterizó la piezocerámica PZT53/47:Gd polarizada a 20kV/cm. Se realizaron 8 mediciones y en algunos casos se efectuaron hasta 10 medidas a temperatura constante, para comprobar la estabilidad de la medición con la temperatura, así como posibles efectos de envejecimiento y fátiga en las muestras analizadas. En la Fig. 5, se muestra la resonancia electromecánica en el modo radial y sus

armónicos en piezocerámicas sinterizadas con un diámetro de 11.3 mm y 0.6 mm de espesor. Se inserta en la figura de forma ampliada como el desplazamiento de la frecuencia de resonancia (f_r) y de la antiresonancia (f_a) con la temperatura, en este caso con variaciones cada 5 °C.

La Fig. 6, muestra como las mediciones no se encuentran afectadas por la fatiga o envejecimiento ferroeléctrico, así como la estabilidad de la técnica. Se escogieron solo 3 medidas a 100 °C de 10 realizadas, para facilitar la visualización del gráfico, en este se observa que no hay variaciones en la respuesta con la temperatura. Este comportamiento es similar al observado a otras temperaturas.

La determinación de las frecuencias de resonancia (f_r), antiresonancia (f_a), en la impedancia mínima (Z_{min}) y máxima (Z_{max}) respectivamente, fue realizada de las curvas experimentales. A partir de estos datos se obtuvieron todos los parámetros electromecánicos en el rango de temperaturas desde 25-200 °C. En la fig. 7 se muestran la curva experimental y la del cálculo teórico a partir de la fórmula para la impedancia tomada de [5] y usando el método de cálculo para obtener constantes complejas en cerámicas con pérdidas. Como puede apreciarse hay un buen acuerdo en la posición del primer armónico o modo fundamental y el segundo armónico.

4 Realización de la práctica

Se elaboró un folleto [6] para preparación y elaboración del informe por parte de los estudiantes, donde se describe la teoría de la piezoelectricidad partiendo de la termodinámica, las expresiones básicas piezoeléctricas, así como la descripción del coeficiente electromecánico, y sus formas de cálculo y una descripción del montaje experimental.

Los estudiantes con esta práctica pueden caracterizar diversos dispositivos piezoeléctricos, desde un simple disco, un filtro, hasta un sensor ultrasónico. Con esta práctica el estudiante observa experimentalmente los fenómenos de resonancia, específicamente el de resonancia electromecánica, verifica como se altera las curvas resonantes cuando se calienta el piezo-resonador, y es capaz de calcular los coeficientes electromecánicos.

El informe es discutido individualmente con los estudiantes.

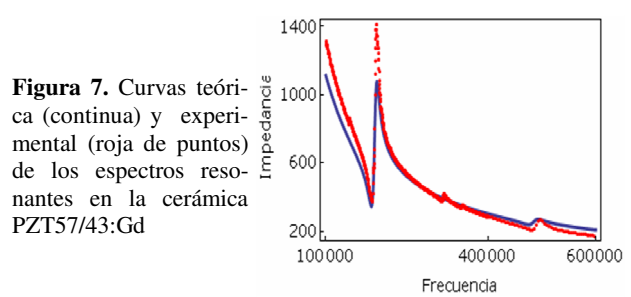


Figura 7. Curvas teórica (continua) y experimental (roja de puntos) de los espectros resonantes en la cerámica PZT57/43:Gd

5 Conclusiones

Esta práctica da una adecuada introducción a los piezoeléctricos, que tienen un sin número de aplicaciones en estos momentos, tanto desde el punto experimental con los métodos de preparación de los mismos, como teórico mediante el cálculo de las constantes electromecánicas de materiales piezoeléctricos.

Esta práctica ha sido probada durante varios cursos, con los estudiantes de la carrera de Física, y continúa su perfeccionamiento. Por parte de los estudiantes se ha mostrando un marcado interés tanto por el desarrollo de la práctica como por el cálculo de las constantes electromecánicas.

Referencias

1. Y. Xu, Ferroelectric Materials and their Applications, North-Holland, (1991).
2. ANSI/IEEE Standard on Piezoelectricity, Std. 176-1987, IEEE, New York, (1988)
3. H.Meitzler, H.M.O'Bryam Jr, H.F. Tiersten, "Definition and Measurement of Radial Mode Coupling Factors in Piezoelectric Ceramic Materials with Large Variations in Poisson's Ratio". IEEE. Trans. Sonics. Ultrason. S.U-20(3), 233 (1973).
4. Raisia Ledesma, "Estudio de las propiedades electromecánicas con la temperatura en piezocerámicas PZT 53/47 dopadas con 0.06% de Gd₂O₃", Tesis de diploma, Facultad de Física, Universidad de la Habana, Cuba(2008).
5. C. Alemany, A M Gonzalez, L Pardot, B Jimenez, F Carmona and J Mendiola, "Automatic determination of complex constants of piezoelectric lossy materials in the radial mode" J. Phys. D: Appl. Phys. 28, 945-956, (1995).
6. J. Portelles, F. Calderón, A. Peláiz, R. Font, S. García, A. Fundora, "Método resonante y resonancia electromecánica", Folleto de Laboratorio, Facultad de Física, Universidad de La Habana, Cuba(2003).

Elaboración de material didáctico para la enseñanza del funcionamiento de motores de combustión interna

N. Álvarez, W. Giraldo, G. López y N. Arias Ávila.

Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia; nuna273@hotmail.com[†];
betogiraldo1@hotmail.com

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 15/06/10.

Sumario. Dentro de las últimas corrientes en la enseñanza de las ciencias se ha destacado el papel de materiales didácticos sistémicos, que incluyan dispositivos que permitan al estudiante interactuar en el proceso de construcción del conocimiento. En éste trabajo se presenta el resultado de la elaboración de material didáctico integral de bajo costo, como apoyo en el proceso de enseñanza-aprendizaje del funcionamiento de motores de combustión interna tipo Otto, orientado a estudiantes de educación superior. El material didáctico elaborado está conformado por tres elementos integrales dependientes entre sí: Una unidad didáctica enfocada a la práctica experimental, un modelo de pistón, diseñado para tal efecto, y un soporte teórico virtual (página Web). Los elementos mencionados brindan una herramienta que puede ser empleada de diferentes formas y en diferentes tiempos dependiendo de la programación específica de cada asignatura. Al final del trabajo se presentan los resultados obtenidos en pruebas piloto con el material elaborado, haciendo un breve análisis de los mismos.

Abstract. Within the latest in teaching of science has highlighted the role of systemic educational materials, including devices that allow the student to interact in the process of constructing knowledge. In this paper presents the result of the development of educational materials of low cost, as a support for the teaching-learning operation of internal combustion engines Otto kind, aimed at students in higher education. The educational materials developed consists of three elements integral to each other dependents: A teaching unit focused on the practical experimental model of a piston, designed for that purpose, and a virtual media theorist (website). The above items provide a tool that can be used in different ways and at different times depending on the specific programming for each subject.

Palabras clave. Education, 01.40.-d, Motors, 84.50.+d, Thermodynamic properties of gases, 51.30.+i

1 Introducción

En la docencia se ponen en juego las habilidades del profesorado en el proceso de enseñanza-aprendizaje, como sus conocimientos científicos y didácticos al igual que su experiencia, por ésta razón se hace necesario preparar y personalizar el tema que se quiere exponer teniendo en cuenta el grupo al cual va dirigido. Este trabajo surge de la necesidad de optimizar el proce-

so de enseñanza aprendizaje del funcionamiento de motores de combustión interna tipo Otto, para lo cual se planteó diseñar y construir material educativo de bajo costo, como un conjunto sistémico conformado por una unidad didáctica (UD), con un pistón didáctico (PD) y una presentación virtual (página web) que incluye una guía de operación del pistón.

La unidad didáctica explica los principales fenómenos físicos que intervienen en el funcionamiento del pistón de un motor de combustión interna de cuatro tiem-

pos, para ello se formularon algunas situaciones problema las cuales se fueron planteando a medida que se desarrollaba y construía el pistón didáctico, haciendo énfasis en el comportamiento de la presión y el volumen del gas al interior del cilindro.

En la unidad didáctica se proponen actividades a nivel teórico y práctico, que buscan mejorar la comprensión de los conceptos empleados en asignaturas tales como: motores de combustión interna, termodinámica, máquinas térmicas, que se cursan actualmente en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

El pistón didáctico fue elaborado pensando en que el proceso mecánico fuese visible, de tal forma que se elaboró el cilindro o camisa un material transparente (resina translúcida) y las piezas restantes en materiales convencionales que permiten mostrar el funcionamiento del mismo.

La página web es netamente informativa, contiene los aspectos necesarios para desarrollar la unidad didáctica, como son teoría, guía de manejo del pistón didáctico, la UD en archivo pdf para quienes quieran tener ésta en físico, y una animación del pistón didáctico que recrea su funcionamiento.

2 Estructura del material didáctico

El pistón didáctico se diseñó con ayuda de un software llamado Solid Edge, el cual permitió visualizarlo en tres dimensiones (3D) antes de elaborarlo realmente; gracias a esta herramienta se realizaron los planos de cada pieza y posteriormente se dio paso a la fabricación, para finalmente realizar el ensamble de todo el pistón.

El modelo de PD permite observar los tiempos de un motor de combustión interna, excepto la etapa de explosión, ya que éste está pensado para ser manipulado por estudiantes dentro de un aula de clase y por precaución no es conveniente usar combustibles; además la explosión produce gases que son contaminantes además impiden la clara visualización del proceso.

El modelo cuenta con un manómetro y una escala de volumen en el exterior, que permiten medir las variables presión (p) y volumen (V) en los cuatro tiempos que se desarrollan en todo el proceso en el pistón de un motor de combustión interna.

Para cumplir los objetivos propuestos se elaboraron dos camisas (o cilindros), una de ellas fabricada en resina traslucida que permite observar el desplazamiento del pistón a lo largo del cilindro y la variación del volumen; y otra fabricada en aluminio, material que se utiliza comúnmente para la fabricación de cilindros neumáticos ya que brinda una mayor hermeticidad por el acabado de superficie, lo cual permite realizar las mediciones de " p ". Además los dos materiales utilizados son livianos facilitando así el desplazamiento entre aulas si fuese necesario.

La toma de datos p y V se realiza con el cilindro de aluminio, teniendo en cuenta las indicaciones de la guía de funcionamiento, las cuales explican el movimiento

del cigüeñal con sus "puntos muertos" extremos superior e inferior.



Figura 1. Fotografía del modelo de pistón didáctico con cilindro de resina.



Figura 2. Fotografía del modelo de pistón didáctico con cilindro de aluminio.

El costo de la fabricación del modelo de pistón es una de las ventajas de ésta herramienta didáctica, ya que en comparación con sistemas similares que se encuentran en el mercado colombiano es notablemente más bajo.

Para la elaboración de la unidad didáctica se realizaron y aplicaron una serie de cuestionarios con el fin de detectar preconcepciones en los alumnos hacia los cuales van dirigidas las actividades propuestas. Lo mismo se propone hacer en los diferentes cursos donde se emplee el material didáctico, con el fin de personalizar el enfoque de las actividades y situaciones problema a desarrollar dentro del proceso de enseñanza aprendizaje del tema.

Se considera importante fusionar la teoría y la práctica permitiendo que sean los mismos estudiantes quienes propongan soluciones y conclusiones.

La unidad didáctica es la programación del proceso de enseñanza-aprendizaje del funcionamiento de un pistón en un motor de combustión interna tipo Otto, que se convierte en eje integrador del proceso, cuenta con objetivos, teoría resumida que da

pautas para la comprensión del tema, situaciones problema relacionadas con la vida diaria que buscan que el

Tabla I
Recreación para el tiempo de admisión.

Volumen cm ³	Presión kPa
94	100
115	100
135	100
156	100
177	100
199	100
218	100
239	100
260	100
282	100

estudiante relacione conceptos teóricos con la realidad, actividades para desarrollar a nivel individual y en grupo, con el fin de complementar el conocimiento enriqueciéndolo con todos los aportes que salen de la práctica.

En la educación no existe una receta o forma específica para enseñar, en ese sentido se elaboró el material didáctico pensando en que ayudara en la comprensión del tema del funcionamiento de un pistón de un motor de combustión interna pero no solo a un grupo determinado, la idea es que quien esté interesado en el tema pueda hacer uso del material.

La página web se elaboró en flash, algunos elementos importantes que se tuvieron en cuenta en su elaboración siguen los lineamientos relacionados en el libro: “Experimento y Simulación (Opciones didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Física)”¹.

Para tener una fácil navegación, se cuenta con un menú de contenidos de forma que se puede ir justo al tema de interés. Los enlaces e hipervínculos permiten saltar de tema en tema, retroceder o adelantar según sea necesario; se procuró proporcionar información precisa, con un lenguaje claro, siguiendo un patrón para que el usuario no distraiga su atención del tema de estudio.

De todos los textos utilizados que son muy extensos, se hizo un resumen, pero además se creó un hipervínculo que conduce al texto completo. Se utilizaron dos tipos de fuente, un fondo que contrasta con el color de la fuente, y renglones de no más de 40 letras, para no cansar al lector.

3 Resultados

El diseño y construcción del material didáctico es el principal resultado que se quiere presentar, sin embargo también se mostrarán los datos representativos de la prueba piloto realizada.

Es importante recalcar que el modelo construido no refleja en su totalidad el comportamiento de un pistón de un motor de combustión interna, puesto que no cuenta con materiales que soporten altas temperaturas, y no se recrea la etapa de explosión.

Las pruebas piloto iniciales fueron realizadas con compañeros de clase de los estudiantes autores del presente trabajo; posteriormente se realizará la implementación de todo el material didáctico con estudiantes de las diferentes asignaturas afines al tema.

Los resultados de estas pruebas permitirán hacer algunos correctivos y mejoras al material didáctico elaborado.

Prueba piloto con modelo de pistón didáctico. A continuación se presentan las tablas de medición de p y V para cada uno de los cuatro tiempos que se recrean en el pistón didáctico.

En el caso de la presión se usó un manómetro y a todos los valores se le sumó la presión atmosférica para expresarla en valores absolutos.

Volumen cm^3	Presión kPa
94	307
115	266
135	252
156	210
177	169
199	148
218	138
239	121
260	114
282	100

Volumen cm^3	Presión kPa
94	376
115	251
135	210
156	170
177	135
199	120
218	100
239	100
260	100
282	100

Volumen cm^3	Presión kPa
94	100
115	100
135	100
156	100
177	100
199	100
218	100
239	100
260	100
282	100

Volumen cm^3	Presión kPa
94	426
115	301
135	260
156	220
177	185
199	170
218	150
239	150
260	150
282	150

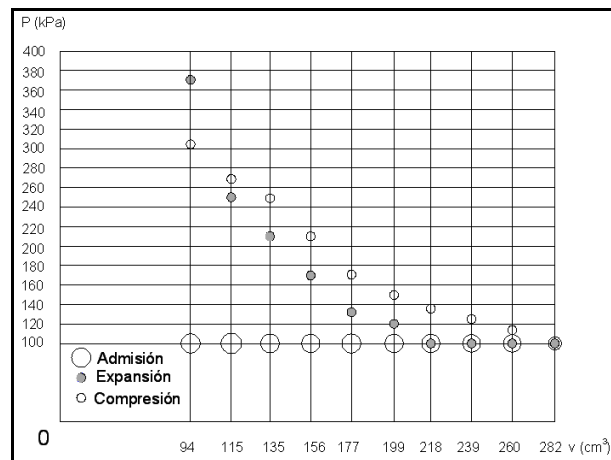


Figura 3. Gráfica típica de presión vs. volumen, obtenida en las pruebas piloto sin el ajuste de datos en el tiempo de expansión.

En la Figura 3 se aprecia la variación de presión y volumen en los cuatro tiempos tal como se obtienen con el pistón didáctico; aquí la curva del tiempo de expansión registra valores inferiores a los del tiempo de compresión, esto se debe a la ausencia de la etapa de explosión como ya se dijo, además de pequeñas pérdidas de presión por no lograrse una hermeticidad perfecta.

Debido a que la etapa de explosión no se desarrolla, por las razones de seguridad ya expuestas, es necesario hacer algunos ajustes a los datos que se obtienen en el tiempo de expansión (Tabla V), “simulando” la etapa omitida por medio del aumento de 50 kPa a los datos de presión obtenidos en el tiempo de expansión (Tabla III); este valor es preliminar, mientras se hacen más pruebas que permitan determinar el valor más apropiado para recrear de mejor forma el ciclo teórico.

En la Figura 4 se muestra el ciclo en donde el tiempo de expansión fue ajustado para que se asemeje al ciclo Otto teórico.

4 Conclusiones

Se diseñó y construyó un material didáctico sistémico para la enseñanza del funcionamiento motores de combustión interna. El material didáctico posibilita la interacción directa con los alumnos, permite visualizar el funcionamiento del pistón, cuyo tamaño y masa hacen que sea fácil de movilizar. Los instrumentos de medición instalados hacen sencilla la toma de datos, y su costo permite su construcción o adquisición.

La página web del pistón, estará vinculada al portal de la Universidad Distrital, en el sitio de los estudiantes, de tal forma que cualquier persona interesada en el tema podrá visitarla; los estudiantes de las asignaturas afines a la temática en referencia podrán consultar e informarse previamente al desarrollo de la unidad didáctica, de tal forma que se tengan nociones para la realización de todas y cada una de las actividades propuestas.

Los ajustes necesarios en el tiempo de expansión aún son materia de estudio, estos serán definidos después de realizar más pruebas con el modelo construido.

El material didáctico presentado es útil, no se conoce en el país algo que reúna características similares, con ese nivel de costos.

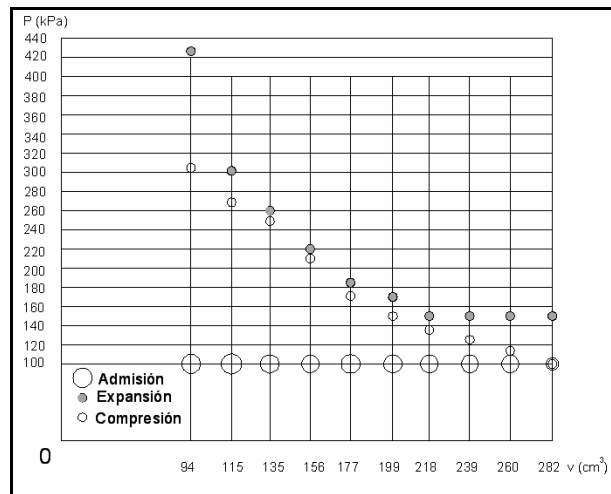


Figura 4. Gráfica de presión vs. volumen, obtenida en las pruebas piloto con el ajuste de datos en el tiempo de expansión.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Distrital Francisco José de Caldas por brindar el apoyo para la realización del mismo, y poder socializarlo en este evento.

Referencias

1. A. Hurtado, C. Lombana, M. Fonseca y O. Ocaña, “Experimento y Simulación (Opciones didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Física)”. Bogotá. Fondo de publicaciones Universidad Distrital Francisco José de Caldas, 202 p. (2006).
2. D. Couso, “Unidades didácticas en ciencias y matemáticas”, Cooperativa Editorial Magisterio, pp. 16-55 (2005).
3. I. Granet, “Termodinámica”, México, Prentice-Hall Hispanoamérica S.A., pp. 458-460 (1995).



Enseñanza tradicional vs aprendizaje activo para alumnos de ingeniería

Y. Benítez^{†,a}, César Mora^b

a) Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México; ybenitez@unam.mx

b) Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación en Ciencia y Tecnología Avanzada, Ciudad de México; cmoral@ipn.mx

[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 15/06/10.

Sumario. Se describen las deficiencias de la enseñanza tradicional investigadas por otros autores, seguidas de una explicación y aplicación de la estrategia de Aprendizaje Activo de la Física (AAF), estrategia basada fundamentalmente en considerar los conocimientos previos del alumno alrededor de los fenómenos de la Física y se les hace pensar sobre ellos durante la clase, posteriormente se pide a los estudiantes que efectúen Predicciones, Observaciones, Discusiones y Síntesis (PODS), a fin de que actúen y reporten sus propias conclusiones y resoluciones a las situaciones que se les presentan. Se comienza haciendo preguntas que les ayuden a pensar con mayor profundidad en los fenómenos físicos que ven y escuchan. Después se proporcionan ejemplos prácticos de la aplicación de esta estrategia para una clase modelo que contempla diferentes metodologías de instrucción a saber y la aplicación de otras investigaciones alrededor de los errores conceptuales de la caída de los cuerpos y el movimiento de los proyectiles, se contemplan: motivación del estudiante, análisis y solución de problemas, discusión en grupo, experimentación y ejemplos de aplicaciones en la ingeniería, entre otras actividades. Se efectúa la evaluación de la estrategia llegando a las conclusiones pertinentes y por último, se proponen las recomendaciones para la investigación futura usando este método educativo.

Abstract. The deficiencies of traditional education are described investigated by other authors, followed of an explanation and application of the strategy of Active Learning on Physics (ALP), strategy based essentially on considering the previous knowledge of the student around the phenomena of the Physics and we engaged them during the class, later it is asked the students who carry out Predictions, Observations, Discussions and Synthesis (PODS), in order that they act and they report his own conclusions and resolutions to the situations that appear to them. We start making questions that help them to think with greater depth about the physical phenomena that they see and listen. Later practical examples of the application of this strategy for a model class are provided that contemplates different methodologies from instruction and the application of other investigations around the misconceptions of the fall of the bodies and the movement of projectiles, are contemplated: motivation of the student, analysis and solution of problems, discussion in group, experimentation and examples of applications in engineering, among others activities. The evaluation of the strategy takes place reaching the pertinent conclusions and finally, the recommendations for the future investigation set out using these educative methods.

Palabras clave. Educación, 01.40.-d; Física Educativa, 01.40.-d; Ayudas educacionales en Física Educativa, 01.50.-I; Experimentos de laboratorio de Física Educativa, 01.50.Pa.

1 Introducción

Diversos investigadores educativos (Hake, 1998; Athanassios y Komis, 2001; Hänze y Berger 2007; Gita y Carr, 2008)^{1,2,3,4} han encontrado que la enseñanza tradicional tiene escasa efectividad en lograr un cambio conceptual aceptable de los conceptos de la Física, estas deficiencias han promovido la necesidad de un cambio en el tipo de enseñanza de la misma y se han propuesto diversas metodologías de enseñanza para incrementar la ganancia conceptual en el aprendizaje. Como resultado, varios autores a lo largo del tiempo han realizado investigación educativa de la Física (Halloun y Hestenes, 1985)⁵ y han podido comprobar la eficiencia de diferentes estrategias de enseñanza, de allí se deriva la necesidad de desarrollar materiales que apoyen la enseñanza de la Física e incrementen la calidad de la educación, aprovechando los resultados de investigación.

La trayectoria del movimiento de los cuerpos es la parte principal de los conceptos esenciales en el estudio de la Cinemática, así como de otras áreas de las ingenierías, las leyes y principios que describen el movimiento de los cuerpos forman parte del marco teórico fundamental de la Mecánica Clásica y sus aplicaciones en la ingeniería (Niño y Herrera 2006)⁶. Sin embargo; a pesar de la importancia que tal conocimiento tiene, diversas investigaciones (Van, 1988; Sierra, 2004; Stathopoulou y Vosniadou, 2007)^{7,8,9} muestran que el aprendizaje correcto de la trayectoria de los cuerpos puede contribuir a asimilar los contenidos de la mecánica en diversos niveles y en otras áreas de las ciencias, pues los alumnos llegan al nivel superior con un gran número de errores conceptuales acerca de las características del movimiento de los cuerpos y de los conceptos relacionados con ella (Santos y Gras, 2003; Giorgi y Pozzo, 2005)^{10,11}, para intentar solucionar estas deficiencias se diseñaron materiales educativos para este tipo de movimiento y se aplicaron la Investigación Educativa de la Física para evaluar los resultados obtenidos.

2 Ganancia de Hake

Para lograr una medición de la ganancia conceptual, primero se debe tener una medida estandarizada del entendimiento conceptual de los estudiantes alrededor del material educativo evaluando los resultados de exámenes resueltos antes y después de la instrucción; posteriormente, se valoran los resultados con la *ganancia normalizada* (Hake, 1998)¹², ésta permite medir y comparar la ganancia conceptual desarrollada entre la en cursos de una misma índole; o bien, comparar entre cursos desarrollados con enseñanza tradicional y los métodos de enseñanza interactivos usados en las escuelas. Es importante mencionar que los estudiantes que ingresan a enseñanza a nivel superior tienen diversos niveles en el conocimiento de la Física, ésta forma de evaluar permite una comparación real entre ellos. Los resultados de las

dos evaluaciones (pre y postest) se reportan como un número llamado *ganancia normalizada* que es la razón del aumento entre el pretest aplicado al inicio del curso y el postest aplicado al final del mismo, con respecto al máximo aumento posible, tiene valores que cubren el intervalo de [0,1] y se calcula como:

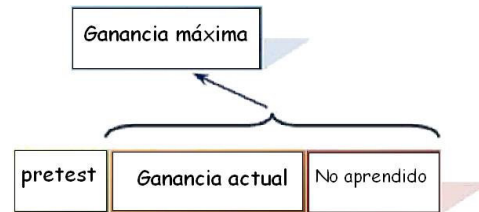


Figura 1. Estimación de la Ganancia Máxima.

$$\text{pretest efectivo} = \% \text{ pretest} - 20\% \quad (1)$$

$$g_{corr} = \frac{(\text{postest}\%) - (\text{pretest efectivo}\%)}{100\% - (\text{pretest efectivo}\%)} \quad (2)$$

donde:

g_{corr} = Ganancia Normalizada de Hake corregida.

pretest efectivo % = Resultados correctos en el examen antes del curso.

postest % = Resultados correctos en el examen posterior al curso.

La *máxima ganancia posible* se calcula mediante la expresión:

$$g_{m\acute{a}x} = 100 - \text{pretest efectivo}\% \quad (3)$$

La *ganancia normalizada promedio g* para el grupo se calcula determinando la ganancia para cada alumno y evaluando el promedio:

$$g_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i \quad (4)$$

$$g_{prom} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i \left[\frac{\text{post}_i - \text{pre}_i}{100\% - \text{pre}_i} \right] \quad (5)$$

Donde n es el número de estudiantes que resuelven el pre y el postest y la sumatoria se efectúa sobre los n estudiantes. Se obtiene así el aumento real llamado ganancia normalizada promedio para el grupo.

3 Aprendizaje activo de la física

El *Aprendizaje Activo de la Física* (AAF) es un conjunto de estrategias y metodologías para la enseñanza-aprendizaje de la Física, en donde “los alumnos son guiados a construir su conocimiento (...) mediante observaciones directas del mundo físico” (Mora, 2008)¹³. Mediante estas estrategias los alumnos logran aprender haciendo. Exige que los estudiantes efectúen predicciones, observaciones, discusiones y síntesis (PODS) (Sokoloff *et al.* 2006)¹⁴ a fin de que actúen y reporten sus propios enfoques y resoluciones a las situaciones que se les presentan. La estrategia se basa en el aprendizaje cooperativo, el cual ha demostrado ser muy eficaz como herramienta de formación. En la tabla I se dan algunas

características comparativas entre el aprendizaje pasivo y el aprendizaje activo.

4 Metodología

Se aplican los criterios de la Investigación Educativa de la Física (IEF) para elaborar materiales de aprendizaje para la enseñanza de la Cinemática basados en el Aprendizaje Activo de la Física y en estudios precedentes sobre ideas previas de los alumnos sobre el movimiento de los cuerpos. Se incrementó la ganancia en el aprendizaje y se midió a través de test de evaluación antes y después del curso. Se encuestaron 50 alumnos, a los cuales se les impartió una clase basada en los materiales educativos diseñados de acuerdo a la técnica de Aprendizaje Activo de la Física.

En nuestra investigación se aplican el pre y el pos test de acuerdo a las sugerencias reportadas (Hake 2001)^{15,16} con la finalidad de facilitar la aplicación, el análisis y la comparación de resultados. El pretest se aplicó durante la primera semana de clases en un tiempo de aproximadamente 35 minutos, mayor cantidad de tiempo tiene escasa efectividad en los resultados promedio. No se dio ningún crédito al curso en el pretest; de esta forma, se evitó fraude en su solución proporcionando un resultado real, éste fue de carácter confidencial y devuelto con la instrucción necesaria para cubrir las deficiencias en entendimiento conceptual. En éste caso, los resultados obtenidos del pretest se tomaron en consideración para efectuar la instrucción. No se mencionó a los alumnos la aplicación de otra prueba (pos test) al final del curso. El análisis de 'comparación' pre-postest de los datos obtenidos mediante el promedio de clase se realizó considerando solamente a aquellos alumnos que resolvieron am-

bos exámenes, esto permitió un cálculo más riguroso de la ganancia normalizada promedio.

5 Diseño de unidades de aprendizaje activo

Es frecuente encontrar profesores que se han formado con aprendizaje tradicional y les es difícil enseñar de una manera con la que no han experimentado anteriormente. Por decir algo, en la metodología de tutoriales, el profesor no debe dejar trabajando a sus alumnos en la actividad sin ninguna guía, necesita que el profesor tenga un papel activo en el salón de clases, visitando los grupos de trabajo y discutiendo con ellos. Esto significa que el profesor debe conocer no sólo los conceptos que enseña (Redish, 2003)¹⁷, sino también las ideas previas y las dificultades que podrían tener sus estudiantes para saber cómo interactuar con ellos y proporcionar la guía adecuada, pues es sabido que los estudiantes van a clase con ideas previas, formadas por años de experiencia y de aprendizajes anteriores, esto afecta sus interpretaciones.

Para que un profesor esté preparado para enseñar con métodos de Aprendizaje Activo, debe haber experimentado el aprendizaje tal como sus estudiantes lo experimentarán, deberá participar en grupos cooperativos con otros profesores, y aprovechar la experiencia que ellos tienen, e identificar cómo la actividad aborda las ideas previas, errores conceptuales y dificultades en el aprendizaje. También es importante que los profesores conozcan los estudios que hay detrás de cada una de las actividades desarrolladas basadas en investigación. Se debe considerar pues:

Transmitir contenidos	Enseñar a aprender
Formación técnica	Formación integral
El profesor y/o los libros de texto son la autoridad y la única fuente de conocimiento.	El profesor y/o los libros de texto son una guía en el proceso de aprendizaje. Las observaciones del mundo físico real son la autoridad.
Las concepciones de los estudiantes son raramente analizadas y comprendidas.	El Aprendizaje Activo de la Física permite el cambio conceptual a través del compromiso y la participación.
Las asignaturas son el eje principal del proceso enseñanza-aprendizaje	El alumno es el centro del proceso de enseñanza-aprendizaje.
No existe un cambio conceptual de forma abierta.	Se generan cambios conceptuales cuando los estudiantes confrontan las diferencias entre sus predicciones y lo observado.
Los estudiantes pueden nunca reconocer las diferencias entre sus concepciones y lo que se dijo en clase.	Los estudiantes reconocen las diferencias entre sus ideas previas y lo observado.
El profesor construye el conocimiento del alumno, asume la responsabilidad del aprendizaje.	Los estudiantes construyen su propio conocimiento y asumen la responsabilidad de su aprendizaje.
No es posible el trabajo colaborativo.	El trabajo colaborativo permite realizar el análisis conceptual de forma cuidadosa.
Las lecturas presentan frecuentemente preguntas de Física con una pequeña referencia al experimento.	Los resultados experimentales reales son entendibles de forma clara en diversas formas.
El trabajo de laboratorio, es utilizado para confirmar las teorías leídas.	El trabajo de laboratorio se usa para aprender conceptos básicos.

1. *Manejo de los recursos didácticos.* Es necesario efectuar capacitación docente por medio de talleres que permitan a los profesores conocer la estrategia y materiales. En éstos talleres los profesores colaboran con otros profesores, tal como lo harán sus estudiantes en el salón de clase, el profesor deberá aprender a conducir las discusiones de manera apropiada.

2. *Capacitación de profesores y alumnos.* En cada una de las actividades que se llevan a cabo en el salón de clases o en los laboratorios.

En la estrategia se recomienda tener un instructor para grupos pequeños (3 ó 4 estudiantes como máximo); con la finalidad de que el aprovechamiento se incremente, también se capacita a los asistentes para el aprendizaje activo. La actividad deberá ser monitoreada con diagnósticos estandarizados que permitan evaluar la efectividad de la implementación, mediante exámenes pretest y postest diseñados para el efecto con anticipación.

4 Resultados

Se muestra la ganancia de Hake corregida (Hake, 1988, 1998)^{18,19} en la Tabla II.

Con los resultados anteriores podemos mostrar los siguientes rendimientos: Ningún alumno logró el 100% en el pretest, por lo no hubo necesidad de descartarlos, evitando una ganancia infinita. El promedio de clase del pretest efectivo (Cohen, 1988)²⁰ fue de 0.1267 con una desviación estándar de 0.0447, el promedio de clase del postest fue de 0.7155 con una desviación estándar de 0.0722 y la ganancia normalizada promedio de clase fue de 0.7155 de un valor máximo de uno, con una desviación estándar de 0.0787, de una máxima ganancia posible de $g_{\text{máx}}=0.8733$.

4 Conclusiones

Los estudiantes adquirieron una mayor comprensión y habilidad en la adquisición de conocimientos, los resultados obtenidos por Hake para cursos con enseñanza tradicional (conferencia) señalan que normalmente aumentan los resultados pre y pos en un 20%, mientras que los cursos que usan métodos interactivos de enseñanza aumentan la ganancia normalizada es de hasta un 70%, con los materiales que se diseñaron se obtuvo una ganancia promedio del grupo del 71.55%, y recordando que es nuestra primera aproximación al diseño de materiales educativos basados en el AAF e ideas previas del estudiante, se puede ver que a futuro podremos obtener mejores resultados. Consideramos que se debe efectuar *Investigación educativa* sobre las ideas previas, y dificultades en el aprendizaje de la Física, esto permitirá desarrollar actividades propias para crear, diseñar e implementar materiales adecuados que involucren el Aprendizaje Activo.

El aprendizaje resultó profundo y duradero, pues se aplicaron los exámenes al final del curso con los resulta-

dos obtenidos, el alumno se vio implicado activamente en su aprendizaje y pudo efectuar el ciclo PODS, generando conocimiento. El aprendizaje cooperativo se presentó como un proceso necesario para alcanzar la máxima eficiencia en el aprendizaje, se promovió la discusión mediante la tormenta o lluvia de ideas, uso de mapas conceptuales y de las tecnologías de la información y de la comunicación, por mencionar algunas estrategias, aprovechado las características de aprendizaje de cada estudiante (kinestésico, auditivo o visual). Se promovió el descubrimiento de los principios y aplicaciones de la ciencia a partir de lo conocido; es decir, la transferencia a situaciones y soluciones semejantes. Los materiales diseñados permitieron a docentes y estudiantes aprender correctamente superando las concepciones equivocadas, y para conocer las ideas previas y dificultades en el aprendizaje se requiere continuar con la investigación presente y ampliando la cantidad de elementos educativos.

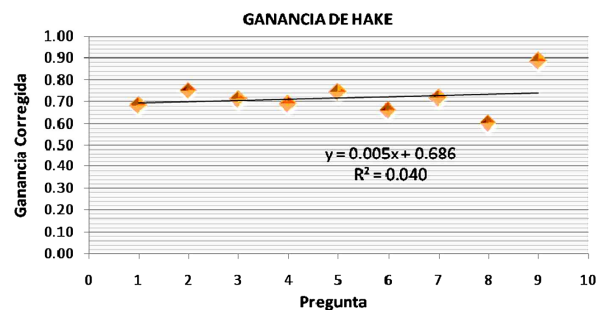


Figura 2. Gráfico de la Ganancia de Hake.

Pregunta	Pretest efectivo % aciertos	Postest % aciertos	Ganancia de Hake Corregida
1	18.0	74.0	0.6829
2	12.0	78.0	0.7500
3	10.0	74.0	0.7111
4	10.0	72.0	0.6869
5	22.0	80.0	0.7436
6	12.0	70.0	0.6591
7	8.0	74.0	0.7174
8	10.0	64.0	0.6000
9	12.0	90.0	0.8864
Promedios	12.67	75.11	0.7155

Actualmente se cuenta herramientas para conocer las ideas previas de los estudiantes, y se considera necesario trabajar para conocer las mismas en otras áreas de la enseñanza de la Física pues los elementos con los que se cuenta son insuficientes y es necesario diseñar materiales educativos, sugiriendo que sean métodos activos.

Agradecimientos

Y. Benítez agradece el apoyo de la Cátedra de Investiga-

ción IN3-09 Tecnología Informática para la Investigación Educativa y la Enseñanza de la Mecánica en la Facultad de Estudios Superiores de la Universidad Nacional Autónoma de México. C. Mora agradece el apoyo otorgado por el Instituto Politécnico Nacional mediante el proyecto de investigación SIP-20082788 y CONACYT-91335.

Referencias

1. R. R. Hake, "Interactive engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses", Consultado el 30 de enero de 2008 disponible en <http://physics.ius.edu/~kyle/Argentina/Apuntos/Hake.htm>, Am. J. Phys. Vol. 66 (1). pp. 64-74. (1998).
2. A. Jimoyiannis, V. Komis, "Computer simulations in physics teaching and learning: a case study on students' understanding of trajectory motion", Computers & Education. Vol. 36 pp. 183-204 (2001).
3. M. Hänze, R. Berger, "Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: An experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes", Learning and Instruction Vol. 17, pp. 29-41 (2007).
4. G. Taasoobshirazi, M. Carr, "A review and critique of context-based physics instruction and assessment", doi:10.1016/j.edurev.2008.01.002, Educ Res Rev (2008),
5. I. A. Halloun and D. Hestenes, "Common sense concepts about motion", Am. J. Phys. Vol. 53, p. 11 (1985).
6. J. Virgilio Niño, W. J. Herrera y Sh. Gómez, "Acerca de la Enseñanza de la Física en las Carreras de Ingeniería", Revista Colombiana de Física. Vol. 38, p. 4 (2006).
7. Y. Van, "Student Misconceptions in Mechanics: An International Problem?", The Physics Teachers Vol. 35, pp. 498-502 (1988).
8. J. Sierra, "Estudio de la influencia de un entorno de simulación en el aprendizaje por investigación de la física en el bachillerato", Tesis doctoral. Ministerio de Educación y Ciencia Secretaría General de Educación. Dirección General de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa. Centro de Investigación y Documentación Educativa (CIDE). (2004).
9. C. Stathopoulou, S. Vosniadou, "Exploring the relationship between physics-related epistemological beliefs and physics understanding", Contemporary Educational Psychology Vol. 32, pp. 255-281 (2007).
10. J. V. Santos Benito, Albert Gras-Martí, Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol.2, p. 2 (2003).
11. G. R. Pozzo, "Cuerpos en Movimiento: Un estudio de investigaciones publicadas y de las representaciones de los estudiantes universitarios. Investigación Ciencias Exactas y Naturales - Ingenierías y Tecnologías", Ciencia, Docencia y Tecnología N° 31, Año XVI. pp. 199-218 (2005).
12. R. R. Hake, "Interactive-engagement methods in introductory mechanics courses". Consulted on 14 October 2008, available online at <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/>, Physics Education Research Supplement to AJP (PERS). (1998).
13. C. Mora, "Fundamentos del aprendizaje activo de la Física", Memorias del V Congreso Internacional Didáctica de las Ciencias y X Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física. La Habana, Cuba. Marzo 17-21 (2008).
14. D. Sokoloff et. al., "Active Learning in Optics and Photonics", 1th edition. UNESCO. Paris, France. (2006).
15. R. R. Hake, "Suggestions for Administering and Reporting Pre/Post Diagnostic Tests", available online at <http://www.physics.indiana.edu/~hake/TestingSuggestions051801.pdf>. Consulted on 21 October (2008).
16. R. R. Hake, "Lessons from the Physics Education Reform Effort". Consulted on 21 October 2008, available on <http://www.ecologyandsociety.org/vol5/iss2/art28/>, Conservation Ecology (2001).
17. E. F. Redish, "Teaching Physics. A Theoretical Framework for Physics Education Research: Consulted 31 January 2008 on <http://arxiv.org/abs/physics/0411149>. Modeling Student Thinking", (2003).
18. R. R. Hake. available as [Errors-g.pdf, 32K] by request, "Errors in the Normalized Gain," (2001).
19. R. R. Hake, "Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses", available online at <http://www.physics.indiana.edu/~sdi/>. Consulted on 14 October 2008, Am. J. Phys. Vol. 66, pp. 64-74 (1998).
20. J. Cohen, "Statistical power analysis for the behavioral sciences", available on <http://www.questia.com/library/book/statistical-power-analysis-for-the-behavioral-sciences-by-jacob-cohen.jsp>, Consulted on 21 October (2008). Lawrence Erlbaum, 2nd ed. (1988).

Problemas cualitativos en el curso de física para diseñadores industriales

A. Berazaín

Depto. Diseño Industrial, Instituto Superior de Diseño (ISDi), Cuba; antoniob@isdi.co.cu,
mar@cubarte.cult.cu

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 15/06/10.

Sumario. La enseñanza de la Física resulta esencial en la formación del diseñador industrial, toda vez que los objetos que él debe proyectar basan su funcionamiento en principios físicos. En tal sentido, la práctica ha demostrado la pertinencia de los problemas cualitativos, en particular aquellos destinados a explicar cómo funciona un determinado producto o al diseño de un posible equipo o dispositivo que resuelva una necesidad planteada. El presente trabajo aborda la experiencia acumulada en el Instituto Superior de Diseño de La Habana en la utilización de este tipo de problemas.

Abstract. Physics teaching are essential in the formation of the industrial designer because the objetos that him have to project are based on physical principles. In that sense, practices shows that qualitative problems are appropriate, particularly those related with explain how products works or with the design of a device to solve a given necessity. This paper is about the experience acquired at the Havana's Higher Institute of Design with this kind of problems.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d; Physics education laboratory experiments, 01.50.Pa

1 Introducción

La asignatura Física de los Productos se imparte en el primer semestre del tercer año de la carrera de Diseño Industrial del Instituto Superior de Diseño de La Habana. Cuenta con 64 horas lectivas y debe desarrollarse sobre la base de un nivel matemático elemental, pues no existe un curso previo de Matemática Superior.

El propósito fundamental es brindar al diseñador industrial los conceptos y principios físicos que permitan comprender el funcionamiento de los productos y la explicación de fenómenos naturales de interés, así como contribuir a desarrollar habilidades, actitudes y valores de importancia para la profesión¹.

Entre estas habilidades están las relacionadas con la resolución de problemas. Dado el tiempo que dispone el programa, la preparación matemática de los estudiantes y el propio perfil de la carrera, se han seleccionado pro-

blemas de tipo cualitativo. El presente trabajo aborda la experiencia acumulada en el Instituto Superior de Diseño de La Habana en la utilización de este tipo de problemas.



Figura 1. Además del tirabuzón, existen otros tipos de sacacorchos, todos basados en las leyes de la Física.

2 Física y diseño

El Diseño es una actividad proyectual que se ocupa de la concepción de los mensajes, objetos, procesos y servicios para que estos cumplan eficientemente su finalidad útil y puedan ser producidos garantizando su circulación y consumo².

En particular, el diseñador industrial se relaciona con el proyecto de productos, maquinarias, mobiliario y espacios interiores. De manera que tiene ante sí la tarea de proyectar objetos cuyo funcionamiento se basa en principios físicos.

Un ejemplo sencillo permite ilustrar esto. Tomemos el caso del diseño de un sacacorchos, cuya función es justamente permitir al usuario extraer el corcho de una botella. ¿Cómo podría lograrse esto?

Podemos encontrar tres soluciones. El tirabuzón, que una vez introducido en el corcho sus espiras permiten empujarlo; o mediante dos lengüetas metálicas que se colocan entre el vidrio y el corcho y al girarlas permiten extraerlo por ser la fricción entre el corcho y el metal mayor que entre este y el vidrio; o introduciendo aire en el interior de la botella, entre el líquido y el corcho para que por diferencia de presión sea removido. Los tres sacacorchos se basan en tres puntos de vista físicos diferentes.

Pero el aporte no se reduce a los conocimientos físicos, hay habilidades como la resolución de problemas que pueden contribuir significativamente a su formación.

En efecto, de acuerdo a diferentes autores: *el proceso de diseño es un proceso de solución de problemas. El conocimiento de un problema es el supuesto sobre el que se asienta toda la actividad de un diseñador industrial*³. *Un problema puede ser la deficiente o inadecuada relación entre el ser humano y el medio en el cual se desempeña. Un problema de diseño es una tensión, una diferencia entre lo observado y lo óptimo*⁴. Los pasos del proceso de diseño son análogos a los pasos para la solución de problemas de Física⁵.

Por tanto, destacamos dos aportaciones importantes del curso de Física en la formación de diseñadores industriales: el sistema de conocimientos y la habilidad de resolución de problemas. Esto no descarta la importancia de otras contribuciones⁵.

Como se señaló anteriormente, en la asignatura Física de los Productos se utilizan problemas cualitativos.

3 Los problemas cualitativos

Los problemas cualitativos son aquellos que se resuelven mediante deducciones lógicas, apoyadas en las leyes, principios, conceptos y modelos de la Física, con una utilización referencial de las expresiones matemáticas, y en los que la solución no se reduce a un valor numérico sino a una determinada explicación⁶.

La resolución de los problemas cualitativos conlleva a la realización de acciones propias de la actividad científico-investigadora, como son: el acotamiento de las con-

diciones de solución, la formulación de hipótesis, diseño de estrategias de solución, elaboración de informes, la comunicación de conclusiones, etc.⁷.

Algunos son problemas de enunciado “abierto”, lo cual resulta muy conveniente ya que en definitiva los problemas que se presentan en la vida profesional son abiertos⁸.

En muchos textos aparece este tipo de problema, en ocasiones bajo el rótulo de “preguntas” para diferenciarlo de la sección de “problemas”, que serían los de carácter cuantitativo, llamados por algunos autores de “lápiz y papel”⁹.

Sin embargo, lo acostumbrado es que esta clase de problemas se relacione con situaciones físicas muy concretas, pero no siempre asociados al funcionamiento de un objeto o la sugerencia de desarrollar un equipo, tal y como se hace en el curso de Física de los Productos.



Figura 2. ¿Cómo funciona el patito bebedor? Excelente ejemplo de aplicación de la Mecánica y la Termodinámica.

3 Problemas relativos al funcionamiento de un producto

A partir de que el diseñador debe incorporar la Física para comprender mejor el funcionamiento de las cosas que debe diseñar, se comprende la importancia que cobra la que la ejercitación.

Para ello en el curso de Física para diseñadores se explica el funcionamiento de determinados productos conocidos, como forma de concretar las aplicaciones de la Física^{10, 11, 12, 13}.

Pero quizás lo novedoso sea que dentro de las tareas propuestas al estudiante se encuentren algunas relacionadas con el funcionamiento de objetos no vistos en clases, pero que tanto por los principios físicos que conoce, como por el conocimiento de cómo funcionan otros equipos, está en condiciones de resolver el problema.

En las evaluaciones que se realizan se incluye un problema de este tipo. Veamos algunos ejemplos:

-Explique el funcionamiento del conmutador inercial. Este dispositivo se acopla a los ejes de aquellos motores que utilizan un circuito para el arranque y otro para la marcha.

-Explique el funcionamiento del termómetro de Galileo. Tenga en cuenta que, en la medida que la temperatu-

ra ambiente disminuye, las esferas con los valores de distintas temperaturas comienzan a ascender.

-Explique el funcionamiento de la chimenea solar.

-Fundamente el funcionamiento del velocímetro de auto.

-Explique el funcionamiento del sensor de lluvia que se coloca en los parabrisas y automatiza el trabajo del limpiaparabrisas.

En cada caso se muestra un esquema o se presenta el producto real, a fin de que el alumno pueda realizar una mejor observación y cuente con los elementos necesarios para esta especie de “tecnología inversa”.

En entrevistas a los estudiantes, conocedores de que deben enfrentarse a ese tipo de problema, plantean que se entrenan cuestionándose el funcionamiento de diferentes objetos del entorno, a la vez que aprueban este tipo de evaluación por considerarla útil a su modo de actuación profesional.

4 Problemas relativos a una necesidad planteada

Otro tipo de problema cualitativo ha sido incorporado a la enseñanza de la Física en la carrera de Diseño Industrial, y son aquellos en los que se le pide al alumno resolver a través de un equipo o dispositivo una necesidad determinada.

Aquí el estudiante debe considerar los principios con los que cuenta o con los que se le prohíbe contar, amén de su conocimiento del funcionamiento de otros productos. Este tipo de transferencia o extrapolación de soluciones es importante para el trabajo del diseñador.

Hay que señalar que cuando se pide “diseñar” se refiere a explicar el funcionamiento físico del producto solución, sin llegar, por supuesto, a tener en consideración otras valoraciones como pueden ser aspectos formales, tecnológicos o económicos que forman parte del proceso de diseño³.

De hecho, esto constituye la primera fase de dicho proceso que los diseñadores llaman de conceptualización. Así, cuando en la asignatura de Diseño indican un proyecto de clase como puede ser el de un sistema para recoger polvo o virutas; un dispositivo para mantener la temperatura de líquidos o un esterilizador, el punto de partida son los principios físicos en los que se ha de basar el producto. Esto establece un vínculo muy estrecho entre los cursos de Física y Diseño.

Además de ser utilizados en las clases prácticas de la asignatura, son también aplicados de las evaluaciones. Ejemplo de ellos han sido:

-Proponga un sistema para coleccionar el polvo que entra junto con el aire succionado en una aspiradora sin utilizar un tamiz.

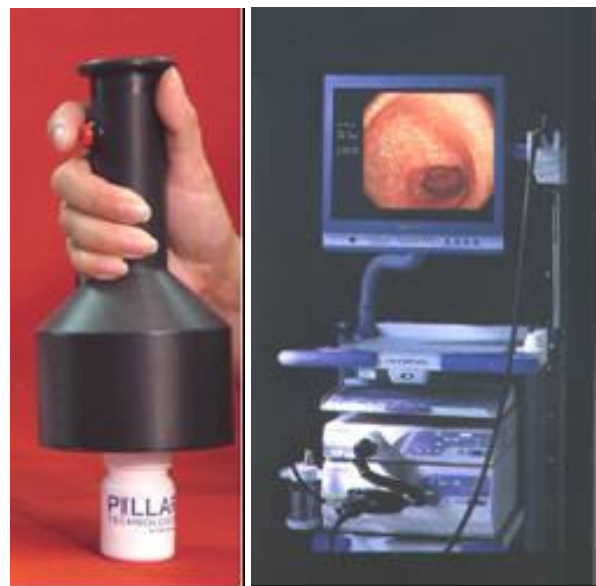
-Diseñe una secadora de ropa que funcione a temperatura ambiente y que no se base en alguna acción mecánica sobre la misma (planchado, exprimido, golpeo, etc).

-El casco de acero de los barcos está sometido a un continuo proceso de corrosión por lo que conocer su es-

pesor resulta de gran importancia. Proponga un sistema para medirlo sin perforar el casco.



Figura 3. El flotarium, producto comercial para que los usuarios se relajen flotando, basado en la Hidrostática.



Figuras 4 y 5. ¿Cómo se realiza el sellaje de seguridad de los envases? La respuesta está en la inducción electromagnética (izq.) El endoscopio, instrumento médico que utiliza la fibra óptica, una aplicación de la reflexión total interna (der.).

Figura 6. ThermoScan, termómetro basado en las leyes de la radiación térmica, mide la temperatura corporal al aplicarse al oído.



-El cable de la plancha eléctrica es fuente de molestia al usar este equipo. Diseñe una plancha eléctrica inalámbrica teniendo en cuenta el gasto de energía.

-Diseñe una balanza basada en el concepto de la polarización de la luz.

Nótese que en todos los casos es posible encontrar una solución desde el punto de vista físico y en algunos son productos que se han desarrollado, como es el caso del sistema de recogida de polvo de las aspiradoras modernas, los transductores ultrasónicos para medir el espesor de los cascos de los barcos y las planchas que se calientan por inducción electromagnética. Una secadora de ropa con un sistema de vacío que permita evaporar el agua a temperatura ambiente es físicamente plausible, aunque en la práctica su producción no sea factible económicamente.

El estudiante, junto a los principios físicos, ha estudiado cómo funcionan otros equipos que pueden servir de referencia, al contextualizarlos en estas nuevas situaciones. Tal es el caso de la centrífuga de una lavadora de ropa, la olla de presión, el sonar, la cocina de inducción o los filtros polarizadores para fotografía, que respectivamente guían hacia la solución de los problemas aquí expuestos.

Los resultados del empleo de estos problemas han sido positivos, puesto que permiten medir los objetivos de la asignatura en cuanto a la aplicación de los conocimientos y creatividad por parte del estudiante. Las respuestas a los mismos han resultado interesantes, pues en ocasiones desborda la idea inicial para la que fueron proyectadas.

Ese es el caso del problema de la balanza, que fue pensado para que la respuesta consistiera en un sistema de dos polarizadores colocados entre una fuente de luz y un detector, de modo que uno de ellos pudiera rotar en la medida que el cuerpo colocado en la balanza pesara más o menos, dejando así pasar más o menos luz lo cual sería la medida del peso.

Sin embargo, algunos estudiantes propusieron otra solución, colocando el plato de la balanza sobre un pistón en un cilindro lleno de un líquido ópticamente activo. Bajo el pistón ubicaron una fuente de luz y un polarizador; en el fondo del cilindro otro polarizador y un detector. Solidario a esto un sistema hidráulico de modo que la carga sobre el pistón, al hundirlo, variara la longitud del recorrido de la luz a lo largo de la sustancia ópticamente activa, y por tanto la desviación del ángulo de polarización y el nivel de detección de luz

Hay que decir que esta clase de problema resulta muy adecuado para el estudiante del ISDi pues está en correspondencia con el tipo de ejercicio que se utiliza en la propia asignatura de Diseño, donde los proyectos evaluativos son problemas abiertos, como pueden ser el diseño de un expendedor de líquidos para la gastronomía sin conexión eléctrica o un equipo rodante para trasladar las compras de un supermercado.

5 Conclusiones

Se ha incorporado al sistema de tareas de la asignatura Física de los productos dos tipos de problemas cualitativos que se adecuan al perfil profesional del diseñador industrial, relativos al funcionamiento de un producto establecido y a la propuesta de un producto que resuelva una necesidad determinada.

Estos problemas, en consideración de los resultados obtenidos son pertinentes y congruentes con el propósito de la asignatura. A pesar de que no es frecuente el uso de esta clase de problemas en otros cursos, es posible su aplicación en otros contextos, si se tiene en cuenta que refuerza la aplicación de la Física en la vida y desarrolla la creatividad en quien lo ejercita.

Referencias

1. Berazaín A., Enfoque profesional de la enseñanza de la Física en la carrera de Diseño Industrial, Memorias del II Taller Iberoamericano de enseñanza de la Física Universitaria. Universidad de La Habana, La Habana, (2000).
2. Peña S., La formación de diseñadores en Cuba. Tesis de Maestría, Instituto Superior de Diseño, La Habana, (2008).
3. Löbach B., Diseño industrial. Bases para la configuración de productos industriales, Editorial G. Gili, Barcelona, (1981).
4. Montellano C., Didáctica proyectual, Ediciones Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago de Chile, (1999).
5. Berazaín A., Enfoque profesional de la asignatura Física de los Productos para la carrera de Diseño Industrial, Tesis de Maestría, Instituto Superior Pedagógico Enrique J. Varona, La Habana, (2000).
6. Sifredo C., La resolución de problemas en el proceso de enseñanza aprendizaje de la Física, en: El proceso enseñanza-aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas, Editorial Academia, La Habana, (1999).
7. Valdés P. y Valdés R., Tres ideas básicas de la enseñanza-aprendizaje de la ciencia, En El proceso enseñanza-aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas, Editorial Academia, La Habana, (1999).
8. Gil D. et al.: La resolución de problemas en Física: de los ejercicios de aplicación al tratamiento de las situaciones problemáticas. En: Temas Escogidos de la Didáctica de la Física, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, (1996).
9. Halliday D. et al, Física, Editorial Félix Varela, La Habana, (2003).
10. Cutnell J. y Johnson K., Physics, John Wiley and sons, New York, (1995)
11. Giancoli D., Physics, principles with applications, Prentice Hill, N. Jersey, (1991)
12. Fishbane T., Physics for scientist and engineers, Prentice Hill, N. Jersey, (1993).
13. Tappan P., Física, conceptos y aplicaciones, Mac Graw Hill, México, (1993).

Conceitos microscópicos como necessidade do nonhecimento macroscópico na termologia

Braga, Marcel B.P. y Kalhil, J.B.

Universidade do Estado do Amazonas – UEA, Brasil; marcelbruno79@hotmail.com[†], josefinabk@yahoo.com
[†]autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 02/11/2010.

Sumario. Com análise nas dificuldades de aprendizagem dos conceitos da termologia, nas escolas públicas do ensino médio de Manaus (Brasil), este trabalho visa expor diagnósticos que contribuam a inibir essas dificuldades e melhore o processo de ensino-aprendizagem através da elaboração de modelos físicos. O fato é que os conceitos da termologia são expostos muitas vezes de forma que não há uma correlação significativa entre causa e efeito dos fenômenos térmicos, por estarem em perspectivas diferentes, entretanto, é necessária uma exposição conceitual dialética e científica entre os dois pontos de vista, pois são complementares para uma aprendizagem significativa. A hipótese é de que os conceitos de termologia são absorvidos pelos alunos de forma superficial, sem critérios científicos das causas naturais, sustentada pela primeira experiência dos sentidos, ou seja, pelo senso comum. A proposta metodológica baseia-se em modelos físicos demonstrados na prática utilizando materiais alternativos, com isso, buscar expor a fragilidade de sustentar conceitos científicos da termologia baseados nos sentidos, ressaltando a sua contribuição no processo de assimilação, utilizar os fundamentos e princípios da racionalidade e logicidade, e proporcionar as condições favoráveis para a manifestação da intuição heurística ou criativa.

Abstract. Considering the difficulties in learning termology concepts in the Public High Schools of Manaus (Brazil), this study's purpose is to show diagnostic experiences with the intent of minimize those learning difficulties and improve the teaching-learning process through the elaboration of physical models. Termology concepts are taught frequently in a way in which the relationship between cause and effect of the thermal phenomena are not pointed out, presumably because they are based on different perspectives. Thus, it is necessary a conceptual and dialectical review of the different perspectives, given that they complement each other and are necessary for meaningful learning. We hypothesize that termology concepts are understood by the students in a superficial way, without scientific criteria of natural causes, and supported by their first experience of the senses, that is, by common sense. The methodological proposal is based on the use of physical models that incorporate alternative materials. In this way, we are looking to expose the fragility of using the senses as a way to understand termology concepts by showing their contribution in the process of assimilation; using the principles of logic and rationality; and providing favorable conditions for the manifestation of intuitive heuristics and creativity.

Palavras chaves: teaching methods, 01.40.gb, teacher training, 01.40.J-

1 Introdução

Este artigo busca justificar a necessidade e relevância de elaborar modelos físicos que representem os aspectos microscópicos de modo que facilite o processo de ensino-aprendizagem da termologia no contexto amazônico. Diante da hipótese de prévios obstáculos epistemológi-

cos na compreensão dos conceitos básicos da termologia por 10 alunos, são realizados questionários como instrumento para obtenção de dados, antes e depois da realização de cinco experimentos. É voltado para professores e pesquisadores que buscam justificar e elaborar recursos pedagógicos apropriados que representem o comportamento das moléculas, e assim que facilitar o ensino da

termologia, da eletricidade e outras áreas dentro do ensino de ciências.

O que justifica o processo de ensino da termofísica é a necessidade de conhecimentos científicos, relativamente concretos, que sejam válidos e satisfatórios na compreensão dos fenômenos relacionados com a temperatura e calor, por parte do aprendiz. Deve-se investigar as dificuldades de aprendizagem desses conceitos na essência, saber quais os fatores psicológicos que desviam o conhecimento científico e filosófico da realidade para um conhecimento vulgar e aparentemente aceitável, porém sem sustentação teórica, fraco, insatisfatório, parcialmente consistente, capaz de sucumbir nos primeiros critérios científicos de validação. É necessário repensar que, por mais claro que se ensine, ainda assim, podem surgir dúvidas, dificuldades no meio de comunicação, o sujeito educador pode acreditar que suas estratégias e metodologias são eficazes, no entanto as formas de como se estruturam os conhecimentos e a logicidade são fatores subjetivos de cada ser, e devem ser levados em consideração. Segundo Bachelard (1996), a esse respeito ele diz: “acho surpreendente que os professores de ciências, mais do que os outros se possível fosse, não compreendam que alguém não compreenda” [1].

2 Fundamentação teórica

Há uma dificuldade de definir alguns conceitos como temperatura e pressão exercida por um gás, geralmente a pressão dos gases são medidos a partir do equilíbrio dessa pressão com a pressão exercida por sólidos e líquidos em amostras de gases confinados [6]. Com o objetivo de saber como é um gás e como se comportam as moléculas, foi elaborado a Teoria Cinética dos Gases, e assim, um conjunto de hipóteses tenta explicar as propriedades e as leis dos gases com base nas leis da mecânica de Newton. Esse modelo dá uma idéia bem razoável do que é um gás e torna possível exprimir em termos matemáticos o valor de sua pressão e de sua temperatura. A observação direta do comportamento dessas moléculas é inviável, com isso, a Termologia se divide em dois aspectos de análise: o macroscópico e o microscópico. O estudo macroscópico só se preocupa com aspectos globais do sistema: o volume que ocupa sua temperatura e outras propriedades que podemos perceber pelos nossos sentidos. Em geral do ponto de vista Macroscópico, analisando as propriedades globais do corpo: energia, posição, velocidade etc.

Porém muitas vezes, para uma compreensão mais profunda do fenômeno, adotamos o ponto de vista microscópico, onde são consideradas grandezas indiretamente medidas, não sugeridas pelos nossos sentidos. Nos fenômenos térmicos, Microscopicamente consideramos a energia

Porém muitas vezes, para uma compreensão mais profunda do fenômeno, adotamos o ponto de vista microscópico, onde são consideradas grandezas indiretamente medidas, não sugeridas pelos nossos sentidos. Nos fe-

nômenos térmicos, Microscopicamente consideramos a energia das moléculas, suas velocidades, interações etc. Entretanto, os resultados obtidos microscopicamente devem ser compatíveis com o estudo feito por meio de grandezas macroscópicas.

Os dois pontos de vista se completam na Termologia, fornecendo de um mesmo fenômeno uma compreensão mais profunda. Por exemplo, a noção de temperatura a partir da sensação de quente e frio sugerida pelos nossos sentidos (ponto de vista macroscópico) se aprofunda quando consideramos o movimento molecular e entendemos a temperatura a partir desse movimento (ponto de vista macroscópico). Outro exemplo é o conceito de energia térmica de um sistema analisada pela sensação térmica, nada mais é do que a soma da energia cinética de todas as moléculas no aspecto microscópico. Esse entrelaçamento de métodos é característico do estudo atual da física, portanto, os conceitos microscópicos são relevantes na investigação das causas dos fenômenos térmicos, pois devem corresponder com a percepção no aspecto macroscópico, e essa aproximação fatalmente contribuirá no processo de ensino-aprendizagem dentro da termologia.

Um modelo é uma representação ou interpretação simplificada da realidade, ou uma interpretação de um fragmento de um sistema segundo uma estrutura de conceitos. Um modelo apresenta apenas uma visão ou cenário de um fragmento do todo. Normalmente, para estudar um determinado fenômeno complexo, criam-se vários modelos.

É necessário partir do pressuposto que os alunos já tragam um conhecimento empírico sobre a termofísica, baseados na sensação térmica, noções de frio e calor. É frequente frases no dia-a-dia como: “estou com calor” ou “hoje o clima está frio”, apesar de transpassar uma “idéia” aceitável do seu significado popular, estão conceitualmente equivocadas, e assim, os conhecimentos se instalam de forma desconexa em forma de emaranhado, tornando-se posteriormente dificuldades na aprendizagem, bloqueando o pensamento do conhecimento científico. Idéias, opiniões, conhecimentos gerais, ideologias, baseados em experiências empíricas são fatalmente conhecimentos vagos e devem ser trabalhados no processo de mudança conceitual, na reconstrução dos conhecimentos. Segundo Bachelard (1996), estes são alguns dos muitos obstáculos epistemológicos, e significam estagnação ou regresso da cognoscibilidade do mundo no processo de aquisição do conhecimento.

As dificuldades do conhecimento prévio sobre os conceitos básicos da termologia estão relacionados com uma suposta desconexão entre os fenômenos observáveis e as causas em escala microscópica, obstáculo esse que deve ser superado com uma sustentação teórica plausível e com construções de modelos físicos que representem uma aproximação do comportamento das partículas, e assim fazer com que facilite a compreensão do fenômeno que se observa. Há uma limitação humana de caráter fisiológico com relação à observação da realidade, nossa visão e nossos sentidos são incapazes perceber

as interações infinitesimais das moléculas, apenas nos traz uma informação subjetiva do que provavelmente esteja acontecendo. Atualmente o homem é capaz de observar imagens de átomos e moléculas através do *microscópio de tunelamento*, no entanto é inviável financeiramente para adquirir com fins educacionais, se assim fosse, contribuiria significativamente no avanço do espírito científico das massas empiristas predominantes. A investigação no processo de ensino-aprendizagem deve concentrar nos critérios de se validar as teorias da termologia em práticas, comprovando experimentalmente de forma dialética, tendo em vista que a verdade é histórica e dinâmica, ou seja, esta interdependente das condições e limitações do andamento da produção moderna.

3 Proposta metodológica

A metodologia da abordagem experimental será fundamentada na *aprendizagem significativa de Ausubel*, onde é caracterizada pela interação entre componentes de nossa estrutura cognitiva e a novas informações (Ausubel, 1978). Nesse contexto, a aprendizagem não é somente a indução de novos conhecimentos, mas é principalmente a remodelação daquilo que já estava presente na estrutura cognitiva que será reprocessado pela associação e interação com a nova proposição ancorada em uma estrutura de conhecimento específica (subsunçor), modificando todo o conhecimento que o aprendente possui (Ausubel, 1968). No entanto, é viável processar a aprendizagem significativa na ausência de subsunçores com a utilização de organizadores prévios que atuarão como elo entre o que o aprendente precisa saber, e o que ele já sabe, apresentados antes do conteúdo a ser trabalhado, constituídos em um nível mais alto de abstração e inclusividade que atuam como metodologia diferenciada a manipular a estrutura cognitiva e servindo de ancora para o novo conteúdo [4]. A pesquisa científica foi realizada com os dados obtidos de um pré-teste aplicados em 10 alunos, onde foram identificadas suas preconcepções sobre a termologia, contribuindo na elaboração de organizadores prévios de ensino. Em seguida, foram realizados 5 experimentos de termologia, de forma ordenada e sistematizada, com o objetivo de confronto do senso comum com o conhecimento científico, acrescentando gradativamente subsunçores, visando a reconstrução dos conhecimentos e uma mudança conceitual fundamentada cientificamente. De acordo com os dados levantados na considerado apenas uma pequena amostra de um contexto, porém significativo. Constatou-se que todos os alunos acreditam na existência dos átomos de forma irrefutável, no entanto, alguns demonstraram que se sustentam no *critério da autoridade* [3], isso é um fator subjetivo negativo que deve ser levado em consideração. Apesar de acreditarem na existência dos átomos, surgiram alguns dados interessantes. Quanto ao conceito de calor, foi levantado um questionamento com relação à sensação térmica ao adentrar em um ambiente quente, tipo um porão abafado, a maioria foi capaz de compreender que

este fato esta relacionado à agitação térmica das moléculas que permeiam o meio externo em contato com as moléculas do nosso corpo, menos agitadas em comparação. No entanto, houve uma pequena parcela que acreditaram que essa sensação está no fato de que, as moléculas estão em repouso, e a causa está no atrito entre moléculas do corpo e do meio que possuem tamanhos diferentes. Em outra situação semelhante, as idéias sobre o calor ficaram divididas entre duas concepções antagônicas, a de condição adquirida pelo ambiente e a de energia térmica em movimento onde um ganha e outro perde quando postos em contato. Segundo os alunos, a temperatura é uma sensação térmica, ou seja, um conhecimento formulado pelo tato, através do contato físico entre os corpos. Observa-se que esse conhecimento é construído com fundamentos empíricos, pois é natural buscar explicações dos fenômenos de forma imediata pelos sentidos. Alguns tentaram fugir da pergunta, enquanto outros conceberam uma idéia semelhante a do *flogístico* [2], ou seja, de que a temperatura é uma espécie de fluido, invisível, impalpável, porém detectável, considerado uma propriedade dos corpos, podendo transpassar de um corpo para outro.

A última pergunta estava relacionada com o aquecimento causado por aparelhos elétricos do dia-a-dia como o ferro elétrico, chuveiro elétrico, forno de microondas, estufa de pães etc. Confirma-se o desconhecimento sobre as causas do aquecimento, a grande maioria confirma a existência de partículas em movimento, porém não associa esse movimento ao calor percebido. Alguns afirmaram corretamente as causas científicas, outros apresentaram um conflito dialético negando a existência dos átomos confirmados anteriormente.

Diante dos pré-conceitos identificados, o teste experimental tem como objetivo submetê-los aos critérios teóricos e práticos de validação para a ciência, e assim possibilitar vias de uma aprendizagem significativa, e ainda, constatar a necessidade de elaborar modelos físicos mais apropriados na possível presença de resíduos de incompreensão, considerando os obstáculos epistemológicos (dificuldades de aprendizagem) como parâmetros direcionadores nessa elaboração.

Na experiência dos três baldes de Locke [2], os alunos buscaram tentar explicar o aparente paradoxo das sensações térmicas quando colocadas em um único balde. Constatou-se que a idéia de temperatura é aquela baseada na experiência primeira [1] através do tato, seja colocando a mão na testa de uma criança para verificar se ela esta febril, ou tocando ligeiramente a ponta do dedo no ferro de passar para conferir se ele esta aquecendo, ou ainda verificando se a garrafa de água na geladeira já está gelada. Após a realização do experimento, todos conceberam a existência das moléculas, porém distinguiu-se sobre seu comportamento, uns afirmaram que estavam sempre agitadas, mas outros acreditavam que algumas delas estavam “paradas”, contrariando o modelo cinético das moléculas. Quanto ao paradoxo das sensações térmicas dentro do balde com água morna, na mão aquecida o frio foi associado a “alívio”, enquanto outros defendiam

que “as sensações térmicas são diferentes devido a existência de dois tipos de temperatura na água morna”, uma contradição dialética de conceitos entre si, afinal, quando se diz água morna, acreditasse que esta possui “uma” determinada temperatura e não duas temperaturas. Após algumas explicações sobre a teoria cinética molecular, as respostas começaram a seguir para um outro rumo, com mais clareza, aderindo aos critérios de racionalidade do conhecimento científico, assim, começaram a refutar sobre suas concepções prévias por contradizerem com a lógica da realidade física. Na observação de uma bexiga sendo inflada ao ser aquecida por água fervente e murchada com água solidificante, constatou-se as seguintes afirmações: “enche por causa da agitação das moléculas e murcha pela diminuição dessa agitação”; outras mais vagas, “enche porque muda de temperatura”, no entanto, através do confronto cognitivo, observa-se uma gradual mudança conceitual na medida em que afirmam que a causa está nas diferentes agitações térmicas do ar existente no interior da bexiga.

Ao realizar o experimento Anel de Gravezande, foi indagado aos alunos o porquê da ocorrência da dilatação térmica, as respostas foram diversas, entre elas: “a causa está no fato de que o aquecimento faz desprender as moléculas”, outro; “pelo aumento de temperatura”. Tem-se a idéia de que quando aquecido um corpo ele se dilata, possivelmente é mencionado por intuição, e todos acreditam que a causa está relacionada com a temperatura. Segundo Morin (1999), a elaboração da percepção realiza-se por analogia de identificação das formas percebidas a modelos, *patterns*, esquemas que nos permitem reconhecer. O exame de uma situação relaciona as mais diversas semelhanças entre objetos, seres, fenômenos percebidos e de nossa memória, interroga-as, busca uma mensagem, e o espírito, nas suas estratégias de elucidção, pratica estimulações a partir de analogias, porém, a lógica quebra a analogia ou submete-a para os fins do raciocínio [5]. Assim, quando perguntado aos alunos o que aconteceria se ao invés de aquecer a esfera, resfriar o anel colocando-o no congelador durante certo tempo, e depois tentar passar a esfera pelo anel, alguns responderam da seguinte forma: “as moléculas do anel se concentrariam”, ou; “iria se contrair”, ou ainda; “ele se comprime”. As respostas foram idealizadas e sustentadas na razão do inverso da sensação térmica, tipo, o inverso do quente é o frio, então, o inverso da dilatação é a contração.

Na experiência em que se coloca um canudo de papel em um orifício de uma garrafa *pet* (garrafa de plástico de 2 L), a fumaça do lado externo sobe por empuxo devido leveza provocado pelo aquecimento, e no lado oposto do canudo a fumaça desce por ser mais fria e pesada. No entanto, as respostas sobre a compreensão desse fenômeno voltam a negar a agitação térmica, afirmando o movimento molecular em um caso e negando em outra observação, fato esse preocupante, evidenciando que o experimento por si só ainda causa equívocos, necessitando de subsunções norteadores para a compreensão.

Na última experiência, sopra-se uma bexiga no interior de uma garrafa *pet*, ora enche e ora não enche, fato esse explicado pela comunicação do meio externo com o interno da garrafa por um pequeno orifício. Pareceu evidente entre os alunos que a causa estava na pressão, no entanto, o conceito de pressão estava confuso, associado com a compressão do ar, e novamente com relação ao comportamento das moléculas, alguns afirmaram que estariam paradas, e assim explicavam o porquê da bexiga não encher. Com isso, reforça a necessidade de elaborar novos modelos físicos que representem o aspecto microscópico do comportamento molecular, e assim, auxiliar no processo de ensino e aprendizagem.

4 Considerações finais

Os estudos dos fenômenos da terminologia baseado apenas em modelos teóricos, torna-se limitado e demasiado no processo de ensino-aprendizagem. A metodologia na abordagem de conceitos complexos realizados em aulas expositivas já chegou a exaustão, apesar de ser satisfatório e válidos cientificamente, não é capaz de estimular o interesse pelo aprendizado. Tornam-se necessárias abordagens mais criativas, aproximando a percepção sensorial, simbólica e teórica de uma abordagem mais próxima da realidade do conhecimento, com isso, elaboração de modelos físicos como recurso pedagógico facilitador na aprendizagem torna-se uma alternativa apropriada. Deve ser considerado que os aspectos macroscópicos e microscópicos pertencem a concepções epistemológicas distintas, ou seja, seus domínios estão em campos diferentes da física, no entanto, se completam numa unidade dialética dos conceitos. O abismo epistemológico que bloqueia a compreensão está no processo entre o sujeito cognoscente e o objeto a ser conhecido na sua essência, com isso, as investigações para uma melhoria na estratégia didática é necessária.

Agradecimentos

A universidade do Estado do Amazonas, UEA e a FAPEAM

Referências

- 1 G. Bachelard, “A formação do espírito científico”, Ed. Delta, (1996).
- 2 A. Zylbersztajn, N. Arden & Studart, , “Coleção explorando o ensino: Física; volume 7”, Brasília: Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica, (2006).
- 3 J. Bazarian, “O problema da verdade”, Ed. Alfa e Omega, (1994).
- 4 E. Ghedin, e outros. “Perspectivas teóricas da aprendizagem no ensino de ciências”, UEA edições, (2008).
- 5 E. Morin, . “O método 3: o conhecimento do conhecimento”, Ed. Sulina, (2005).
- 6 A. Gaspar “Física: Volume único”, Ed. Ática, SP, (2008).

Experiencias de un curso introductorio de física para los estudiantes de la carrera de ingeniería civil en la UMCC

T. Espinosa[†], y J. Mazorra^a

Departamento de Física, Universidad de Matanzas, Cuba; tomas.espinosa@umcc.cu.

a) Departamento de Física, Universidad de Matanzas; jorge.mazorra@umcc.cu.

[†] autor para la correspondencia.

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 16/06/2010.

Sumario. El nivel de partida de los estudiantes de nuevo ingreso es uno de los factores que más incide en los bajos índices de eficiencia en la disciplina Física General en la UMCC. Un aspecto que tiene que ver con este problema es el relacionado con las diferencias existentes entre el nivel real con que acceden los estudiantes a los estudios universitarios y el que se prevé en los planes de estudio. Hasta hace poco tiempo no se tenía en cuenta el dominio que tienen los estudiantes, de los contenidos que aseguran el tránsito adecuado por la carrera, asumiéndose que lo dominan. Se ha comprendido la necesidad de un tratamiento diferenciado a los estudiantes, en correspondencia con los conocimientos, y sus habilidades con que cada uno de ellos arriba a la educación superior. En este trabajo se exponen los antecedentes, fundamentos metodológicos y experiencias un Curso Introductorio de Física en la Carrera de Ingeniería Civil que tiene como fin convertirse en una orientación para el estudio en la disciplina a partir del desarrollo de habilidades para el aprendizaje, así como de la lógica y el lenguaje de esta ciencia.

Abstract. The start-up level of the fresh man students is one of the main factors that influences the low-results of efficiency in General Physics in the University in Matanzas "Camilo Cienfuegos". One of the aspects that has to do with this problem is the current differences between the real levels of the students with which they access higher education and the one expected in their curricula. Until very recently the real mastering of the students' knowledge that will ensure their successful performance within the program was not taken into account, assuming that they master that knowledge in the required level. The need of a differentiated treatment for the students has been understood, as compulsory, corresponding with their skills and knowledge. In this research paper the antecedents, methodological foundation and experiences of a syllabus for a Physics Introductory Course for the Civil Engineering major are presented. This course intends to become an orientation of the study of the discipline based on the development of their learning skills, the logic and language of this science.

Palabras clave. Curricula and evaluation (physics education), 01.40.G-, Physics education, 01.40.-d, curricula and evaluation, 01.40.G-, educational aids, 01.50.-I, teaching methods, 01.40.gb

1 Introducción

En la UMCC la Ingeniería Civil. Tiene una extensión de cinco años y cuenta entre sus disciplinas de Ciencias Bási-

cas con un curso de Física. El curso de Física para esta carrera consta de las asignaturas Física I y Física II y Física III. La Física I, ubicada en el segundo semestre del primer año, incluye en sus contenidos la cinemática y dinámica de la partícula, el movimiento oscilatorio y, el

ondulatorio, la física molecular y la termodinámica. Para la enseñanza de la Física debemos tener en cuenta como algo más que importante el nivel de partida de los estudiantes, determinante para la efectividad de la enseñanza.

Esto es conocer, la disponibilidad de conocimientos básicos, el nivel de desarrollo de capacidades, habilidades así como el dominio de importantes operaciones mentales, procedimientos de trabajo, hábitos y técnicas para el contenido concreto de la enseñanza.

El nivel de partida de los estudiantes de nuevo ingreso es uno de los factores que más incide en los bajos índices de eficiencia en la disciplina Física General la universidad.

Uno de los problemas más complejo que enfrenta la enseñanza universitaria contemporánea y en particular las disciplinas que como la Física General forma parte del ciclo básico de diferentes carreras, es la no correspondencia entre el nivel de partida o exigencia que se le plantea a los estudiantes de nuevo ingreso y el nivel de conocimientos y de formación de competencias que realmente poseen.

Al respecto se han instrumentado los cursos introductorios, cuya tendencia fundamental ha sido tratar de resolver las insuficiencias que el alumno arrastra del nivel, precedente, cuyo fin es garantizar el tránsito paulatino de las asignaturas de la enseñanza media superior a las disciplinas universitarias. *En este trabajo se exponen los antecedentes y fundamentos metodológicos de un programa para la asignatura Introducción a la Física en la UMCC*, destinado a asegurar el nivel de partida del alumno para el estudio de la disciplina, en el que se hará énfasis en el desarrollo de habilidades para el aprendizaje de esta ciencia, el mismo tiene como fin convertirse en una orientación para el estudio en la disciplina a partir del desarrollo de habilidades para el aprendizaje, así como de la lógica y el lenguaje de la ciencia.

2 Preliminares

La Psicología Educativa actual considera al nivel de partida del estudiante como un componente fundamental en la estructura del contenido de la actividad cognoscitiva en el nivel superior, entendido este no solo como las posibilidades intelectuales, sino también como su esfera de motivos, intereses, posibilidades volitivas, así como el desarrollo de estrategias cognitivas y meta cognitivas (González Pacheco 1994).

A partir de los diagnósticos realizados para constatar el nivel de desarrollo de habilidades generales para el estudio en los nuevos ingresos (González Pacheco 1994, 1991, 1987, Sanz 1989, Santos 1988, Hernández 1988), el CEPES ha realizado de forma experimental y posteriormente generalizado a la práctica educativa, programas estructurados encaminados a iniciar a los estudiantes en la formación de las acciones para la aclaración, el procesamiento y la fijación de contenidos científicos; la planificación, organización y control del tiempo, así co-

mo la búsqueda y procesamiento de la información científica.

El sistema educativo cubano se encuentra hoy inmerso en profundas transformaciones, desde la Enseñanza Primaria hasta la Universidad, lo que se evidencia en los documentos consultados (MES 2001, MES 2005, Vecino, F. 2002, MINED 2004). Se producen, por tanto, cambios radicales en su modelo educativo, "...partiendo de ideas y conceptos enteramente nuevos" (Castro, F. 2002:5-6) para el logro de una cultura general integral, lo que demuestra la constante preocupación por resolver los problemas en el aprendizaje, entre los que se señalan: una tendencia a reproducir contenidos y a no razonar sus respuestas (Zilberstein, J. 2001); en el tránsito por los grados, tienen limitaciones en la generalización y aplicación de los contenidos (Zilberstein, J. 2004), muy pocos elaboran preguntas, argumentan y valoran; es limitada la búsqueda de procedimientos para aprender y planificar sus acciones (Zilberstein, J. 2001), no se percatan de los errores que cometen, poseen pocas posibilidades para la reflexión crítica y autocrítica de lo que aprende, lo que provoca una limitada inclusión consciente en su aprendizaje (Zilberstein, J. 2004), no asocian cuáles son los contenidos a utilizar para resolver un problema de Física determinado, olvidando con rapidez los contenidos que se consideraban vencidos de un grado a otro y más aún de un nivel a otro, hasta llegar a las aulas universitarias.

Numerosos autores han coincidido en el papel relevante que posee la experiencia previa del estudiante en la adquisición de nuevos conocimientos. Dentro de ellos se destacan C. Coll (1993), N. Talízina (1985), E. Ander Egg (1995), O. Castro (1999) No obstante, en la mayoría de las ocasiones los docentes no explotan esta posibilidad. De igual manera sucede con diversos elementos de la esfera afectiva: valores, actitudes, sentimientos, etc. No siempre se investiga acerca de estas cualidades de forma individual en los estudiantes con el propósito de trazar estrategias para el trabajo educativo.

Una de las exigencias del programa vigente de la disciplina en la universidad es la coincidencia de la lógica del proceso docente educativo en la Física en los niveles medio superior y superior, el cual está determinado por dos ideas básicas respecto a la organización y estructuración del contenido: considerar a la teoría como el nivel de sistematización del conocimiento fundamental en la organización del contenido y desarrollar el proceso según el ciclo de la creación científica.

Ambos criterios se enmarcan entre las vías establecidas por la Metodología de la Enseñanza de la Física para la activación de la actuación cognoscitiva del estudiante (Valdés Castro 1983, García 1990) y con ello se pretende acercar al estudiante al modo de actuación del científico. La Historia de la Física enseña que una de las premisas para el desarrollo con éxito de la actividad científica y por tanto de cualquier enseñanza que pretenda reproducir los elementos fundamentales de la investigación, es el dominio por parte del sujeto de los métodos y regularidades del conocimiento científico, así como del lenguaje de la Física.

En contraposición a este requisito se ha podido constatar que los estudiantes no siempre toman consciencia de cómo se estructuran y producen los distintos niveles de sistematización del conocimiento en la Física (González Bello 1994, Ramírez 1992). En una encuesta aplicada a estudiantes del primer año de la Carrera de ingeniería Civil de la Universidad de Matanzas se reportaron bajos niveles de asimilación de contenidos elementales y de la Metodología del Conocimiento Científico aplicados a la Física.

La idea metodológica fundamental de este trabajo es convertir a la asignatura Introducción a la Física en un elemento fundamental en la motivación de los estudiantes y en una base orientadora para la actividad de estudio y en fin el desarrollo y perfeccionamiento de habilidades, en correspondencia con la teoría de formación por etapas de las acciones mentales (Talizina 1988). Luego, su tarea principal consiste en preparar los cimientos para el ulterior trabajo permanente y cada vez de forma más independiente de los alumnos a lo largo de la Física General, a fin de perfeccionar la elaboración y uso de estrategias de aprendizaje para esta ciencia.

El carácter general del contenido de la base orientadora se desprende de su propio propósito, su generalidad no radica en ser portadora de las ideas y principios más profundos y esenciales que sustentan y explican el comportamiento de los diferentes objetos y fenómenos físico en el mundo de hoy, sino en abordar a los conceptos, leyes y regularidades que caracterizan el modo de actuación del investigador en la construcción del sistema de conocimiento de la Física, quiere decir, que la búsqueda y revelación de lo general está dirigido no tanto a los resultados como a la dinámica del proceso de obtención de los conocimientos.

La elaboración de forma independiente de la base orientadora se logra a través de tres estrategias fundamentales:

1. Se asume una alternativa diferente en la concepción de la asignatura, la misma radica en centrar la atención en los conocimientos y habilidades que posee el estudiante de nuevo ingreso, en vez de hacer énfasis en las carencias que manifiestan de los mismos, quiere decir, es preciso aprovechar esa experiencia adquirida durante el estudio de la asignatura en el preuniversitario con vista a estructurarla, reorganizarla y dar una visión lógica e integral del contenido de la ciencia. De tal forma que el estudiante, a partir del conocimiento general de la estructura de la ciencia, el sistema categorial jerarquizado y los métodos de investigación, pueda en cada caso particular identificar estas regularidades y establecer sus propias estrategias de aprendizaje para la asimilación, dominio y sistematización del contenido de la disciplina.

2. En su contenido se incluyen elementos relativos a la meta cognición que contribuye a la toma de conciencia por parte de los estudiantes de los procesos y estados cognitivos.

3. Uso de técnicas grupales que crean un clima de confianza y seguridad en el estudiante y los motivan a la participación consciente y activa en el proceso docente

educativo, lográndose de esta forma, la activación de la actuación cognoscitiva y creando las condiciones propicia para un aprendizaje duradero; se trabaja colectivamente en la búsqueda, procesamiento y elaboración de la información, lo cual permite pensar conjuntamente para encontrar soluciones y modificar criterios.

4. Uso de las TICs.

El programa diseñado para los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Civil de la UMCC *está concebido para el curso introductorio que se imparte durante seis semanas en el primer semestre de esta carrera*. La asignatura se impartirá en 40 horas con una frecuencia de 8 horas semanales. El método para el desarrollo de las clases escogido se basa fundamentalmente en clases semipresenciales, conferencias, clases prácticas y se utilizará técnicas aportada por la dinámica de grupo.

Se planifican además, la proyección de videos y el uso de software educativo. Los contenidos fundamentales están relacionados con los temas siguientes.

Magnitudes físicas. . Fuerzas en la Naturaleza. Leyes de conservación y la Física Molecular y Termodinámica. El Sistema Internacional se estudia en relación con el papel que juega la unidad en la definición de las magnitudes físicas y la importancia del análisis dimensional en la solución de problemas.

3 Temas del curso

El curso ha sido estructurado con un marcado énfasis didáctico en cinco temas:

Tema 1 Introducción al curso. ¿Para qué estudiar Física? ¿Cómo estudiar Física? ¿Qué estudia la mecánica? ¿Por qué es importante el estudio de la mecánica? Leyes físicas ¿Qué es una ley? ¿Qué es una teoría?

Tema 2 Magnitudes físicas. Magnitudes físicas. Magnitudes fundamentales y derivadas. Sistema Internacional de Unidades. Precisión y exactitud. ¿Qué es medir?; Múltiplos y submúltiplos de las magnitudes fundamentales

Tema 3. Magnitudes escalares y vectoriales. Vector. Representación gráfica. Suma de vectores. Propiedades de la suma de vectores (sin demostración). Resta de vectores. Componentes de un vector. Vectores unitarios. Suma y resta en cartesianas. Producto escalar de dos vectores. Producto vectorial de dos vectores

Tema 4. Fuerzas en la Naturaleza. Movimiento rectilíneo uniforme y variado. Movimiento curvilíneo. Leyes fundamentales del movimiento. Leyes de fuerza. Fuerza de gravitación universal. Fuerza electromagnética. Fuerza elástica. Fuerza de fricción. Fuerzas nucleares.

Tema 5. Leyes de conservación. Introducción. Método de trabajo con las leyes de conservación . Ley de conservación de la cantidad de movimiento lineal. Ley de conservación de la energía mecánica. Conservación de la energía.

Tema 6. Física Molecular y Termodinámica. Ideas principales de la teoría cinético-molecular. Movi-

miento caótico de las moléculas. Explicación del movimiento browniano. Masa de las moléculas. Cantidad de sustancia. Número de Avogadro. Tamaño de las moléculas. Gas ideal. Cálculo de la presión con ayuda de la teoría cinético-molecular (sin demostración). Concepto de temperatura. Temperatura absoluta. Escala de temperatura. Relación de la temperatura con la velocidad de las moléculas. Ecuación de estado del gas ideal. Introducción a la termodinámica. Equilibrio termodinámica. Procesos reversibles e irreversibles. El trabajo en la termodinámica. Equivalencia entre cantidad de calor y trabajo. Energía interna. Primera ley de la termodinámica.

Debe exigirse y controlarse la realización de los ejercicios que se orienten para el estudio individual, para lograr que se alcance el objetivo pedagógico de consolidar los conocimientos y las habilidades.

El tema # 1: Introducción al curso. ¿Para qué estudiar Física?, constituye una introducción general donde se pretende caracterizar al proceso de enseñanza-aprendizaje en el marco de la Física, tomando como punto de referencia elementos de la teoría psicológica de la actividad.

La categoría objetivo se presenta marcando los propósitos de la Física como ciencia y como disciplina, en este momento se revela la evolución histórica hasta nuestros días del objeto de estudio, tareas y problemas, destacándose el aporte al perfil de la carrera. ¿Qué es una magnitud física?; ¿Qué es medir?; ¿Qué es una ley? y ¿Qué es una teoría?, se continua profundizando en el contenido, en particular se hace énfasis en el concepto de magnitud física, ley y teoría como forma fundamental de organizar el conocimiento científico, la lógica general de la formación de conceptos, leyes y teorías, revelándose la función de los hechos, hipótesis, así como sus aplicaciones técnicas y prácticas, para lo cual es preciso abordar de forma general los métodos de investigación. El contenido abordado se apoya esencialmente en la experiencia que los estudiantes poseen de la asignatura en el nivel medio superior.

Temas # 2 y 3: Respecto al concepto de magnitud se revelan sus propiedades esenciales: cuantificación de una cualidad, modo de medición y unidad, se establecen diferentes criterios de clasificación y se profundiza en la habilidad de medir con determinados instrumentos relacionados con la carrera, Los conceptos y reglas del sistema internacional de unidades también son abordados con detalles, en tal sentido se hace énfasis en la conversión de unidades y el análisis dimensional.

Temas # 4, 5, 6: están destinados al estudio Fuerzas en la Naturaleza, Leyes de conservación, Física Molecular y Termodinámica, en ellos se profundiza los elementos estructurales y lógicos de los conceptos, clasificándolos y aplicándolos en la solución de problemas de Física del nivel medio superior.

Al abordar la teoría en cada tema se hace desde dos enfoques: epistemológico y estructural, retomando las ideas generales desarrolladas en el primer tema acerca de este sistema de conocimiento e integrándolas con la pro-

fundización hecha en los temas siguientes acerca de los conceptos y leyes, lo cual permite reflejar en todo detalle a los hechos, el núcleo y las consecuencias o derivaciones. Se dimensiona el método hipotético deductivo y se destaca el valor gnoseológico y metodológico de la hipótesis y el modelo. Retomando la experiencia adquirida por el estudiante en la enseñanza media se ejemplifica y argumentan los procesos de elaboración de hipótesis, y deducción de consecuencias.

Se hace necesario destacar las acciones que deben realizar el profesor y los estudiantes para que estos asimilen el contenido, se establecen las formas de organizar el proceso a partir de la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales y se refuerza el concepto de estrategias de aprendizaje, las cuales deben ajustarse a la fase del proceso que transcurre: comprensión, dominio, evaluación o sistematización del conocimiento, así como a las condiciones en que se desarrolla. Se declaran los objetivos que debe alcanzar en cada fase y las técnicas o herramientas que puede utilizar. En la etapa de dominio y asimilación se discute la metodología general de solución de problemas. El conocimiento de sus propias posibilidades cognoscitiva se aborda a la luz del concepto de Meta cognición. Por último se revelan las acciones fundamentales para la preparación del estudiante con vista a las evaluaciones.

Este programa ha sido concebido sobre la base de las ideas siguientes:

- La orientación sociocultural de la enseñanza – aprendizaje. (Valdés y Valdés, 1999).
- La orientación investigadora de la educación científica. (Valdés y Valdés, 1999).
- La consideración de las características distintivas de la actividad psíquica humana durante el proceso de enseñanza – aprendizaje. (Valdés y Valdés, 1999)
- La consideración del carácter de sistema natural, social, abierto, dirigido y autorregulado del proceso de enseñanza aprendizaje.
- Los elementos fundamentales de las transformaciones del PEA en la Enseñanza Media Superior.

Las ideas didácticas mencionadas demandan que el contenido de la asignatura incluya, como elementos fundamentales, situaciones problemáticas abiertas que los alumnos acotan y solucionan bajo la dirección del profesor. Es indispensable que los problemas se presenten a los estudiantes en contextos donde resulten necesarios y significativos, relacionados con el contenido de la profesión y de las diversas asignaturas que componen la carrera.

Dado el número de estudiantes que tenga el grupo, los profesores confeccionarán sistemas de tareas para dirigir la resolución de los problemas planteados. En general, los alumnos solucionarán dichos problemas y las tareas correspondientes, organizados en equipos de 4 – 5 personas (si es posible dada la matrícula). Tales equipos se forman atendiendo a las preferencias de los estudiantes, luego se elige un representante por cada uno de los equipos y son seleccionados también 2 – 3 monitores en el grupo. Semejante forma de trabajo se aproxima al modo

de actuar de los alumnos en el grado precedente, favorece el análisis colectivo y, con este, la utilización del lenguaje externo al comenzar el aprendizaje de aplicación de los contenidos.

La asignatura también contribuye al *componente investigativo* de la carrera al aproximar el proceso de enseñanza aprendizaje en ella a la forma de trabajar en la ciencia y propiciar por tanto, el uso de las computadoras, el planteamiento de problemas e hipótesis, el acotamiento de situaciones abiertas, el trabajo en equipo, la búsqueda bibliográfica.

Dentro de las tareas que el profesor puede desarrollar vinculadas al componente laboral son:

1. Inventario de las magnitudes físicas relacionadas con su carrera, clasificándolas de acuerdo a la variable matemática, revelando la definición utilizada, las unidades en que se reporta su medición y los instrumentos posibles para su medición (directa o indirecta), describiendo sus características técnicas: rango, apreciación, etc. Lo cual se debe presentar en forma de tabla atendiendo a la clasificación realizada, incluyendo el nombre de la magnitud en español e inglés.

2. Inventario de los modelos físicos fundamentales en los programas de la enseñanza media, destacando su definición y las limitaciones.

3. Inventario de las leyes y principios contenidos en el programa de física de la enseñanza media, revelando su enunciado, representación matemática y límites de aplicación.

4. Informe valorativo acerca del uso del SI en empresas del territorio.

5. Mesa redonda con los profesores del departamento acerca de la metodología para la solución de problemas.

Otro aspecto importante a destacar en la asignatura es lo concerniente a su contribución a la formación política e ideológica de los estudiantes. Esta contribución se hace en la asignatura fundamentalmente a partir del desarrollo del propio contenido. Las vías fundamentales para este desarrollo son las siguientes:

- Al desarrollar el contenido de la asignatura se estudian las biografías de los principales físicos, recalcando el carácter humanista de estos.

- Se analiza la relación entre la Física y la sociedad destacándose la contribución que hace esta al desarrollo social y la que este desarrollo social hace a esta ciencia.

- Otro aspecto importante es la contribución a la formación de la concepción científica del mundo y a la formación de valores morales tales como: disciplina, honradez, solidaridad, laboriosidad, responsabilidad, entre otros. Al final del curso se hace un análisis del mismo, teniendo en cuenta los aspectos siguientes:

- Resumen de la actividad realizada a lo largo del curso.

- Logros y limitaciones en la formación adquirida por los estudiantes y en la organización del curso.

- Perspectivas para mejorar el trabajo de la asignatura y avanzar en la formación de los estudiantes para enfrentar con éxito el curso de Física General.

La evaluación en la asignatura. La evaluación de los estudiantes será sistemática y un examen final.

Con el propósito de valorar no solo el resultado final del proceso, sino también cómo transcurre el mismo, los profesores deben realizar cortes evaluativos, además de la determinación del nivel de entrada de los estudiantes. Se propone de la siguiente forma:

1. *Corte:* Se realizar de forma sorpresiva al comenzar a desarrollar el tema de cinemática y dinámica.

2. *Corte:* Se realizará al concluir los contenidos correspondientes a cinemática y la dinámica. El mismo se podrá incorporar al sistema de evaluación de la asignatura.

3. *Corte:* Se desarrollará al concluir la asignatura. La medición en cada corte se realizará de dos formas:

- I). *Cuantitativa:* A través del resultado alcanzado por cada uno de los estudiantes en puntos

- II). *Cualitativa:* Atendiendo a los resultados en los exámenes y las entrevistas complementarias se evalúan la asimilación del contenido según una escala (Alvarez de Zayas, 1992) que comprende cuatro niveles.

Para nuestro cuestionario del nivel de partida se formularon preguntas sobre mecánica por tratarse de un tema de importancia para la Física.

Referencias

1. Alvarez de Zayas, C. La Escuela en la Vida. Editorial Félix Varela.

La Habana (1992)

2. Fuentes González, H. C. Perfeccionamiento del sistema de habilidades en la disciplina Física General para estudiantes de Ciencias Técnicas. Tesis en opción al grado de Doctor en Ciencias Pedagógicas (1989).

3. García Ramis, L. y otros. Metodología de la Enseñanza de la Física en Preuniversitario. Pueblo y Educación. Holguín (1990).

4. González Bello, S. Perfeccionamiento de la Metodología de la Enseñanza de la Física Moderna en la Escuela Media Cubana. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Pedagógicas. (1994).

5. González Pacheco, O. y otros. El enfoque histórico cultural como fundamentación de una concepción pedagógica. En: Tendencias Pedagógicas Contemporáneas. MES, La Habana. (1991).

6. González Pacheco, O. y otros. La formación de habilidades para la actividad de estudio. CEPES. La Habana. (1987).

7. Pérez Martínez, L. La formación de habilidades lógicas a través del proceso docente educativo de la Física General en Carreras de Ciencias Técnicas. Tesis en opción al título de Doctor en Ciencias Pedagógicas (1993).

8. Sanz, T. Estudios de los procedimientos lógicos identificación y clasificación. Tesis de doctorado. La Habana. (1989).

Propiedades circulares, elípticas y parabólicas en el lanzamiento de proyectiles

J. L. Fernández Chapou^a, L. C. de la Portilla Maldonado^b, C. A. Vargas^c, J. Granados Samaniego[†] y J. M. Velázquez Arcos^d.

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Azcapotzalco. División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Departamento de Ciencias Básicas; a) jlfc@correo.azc.uam.mx; b) lcpm@correo.azc.uam.mx; c) cvargas@correo.azc.uam.mx; d) jmva@correo.azc.uam.mx; jgs3112@yahoo.com [†]

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 13/06/2010.

Sumario. Al analizar la familia de las trayectorias parabólicas que siguen los proyectiles lanzados con distintos ángulos de tiro pero igual rapidez inicial, encontramos que existen tres miembros de las secciones cónicas que corresponden con dos propiedades circulares, una elíptica con dos significados físicos y otra parabólica. Obtenemos cada una de las secciones cónicas, discutimos su significado físico y propiedades universales en el problema de lanzamiento de proyectiles. Con una de las propiedades circulares presentamos un método para determinar la parábola de seguridad y la elipse que une las posiciones de altura máxima.

Abstract. By analyzing the parabolic trajectories that follows the missiles shuttled with different angles but same velocity, we find there are three groups of conical sections that bellows to a pair of circular properties, one elliptic with two physical meaning, and other parabolic. We obtain each one from the conical sections, discussing his physical meaning and universal properties. Using one of such properties we show a method to obtain the safety parabola and the ellipse that joint the maximum height positions.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, teacher training, 01.40.J-.

1 Introducción

El problema del movimiento de proyectiles es parte de los cursos introductorios de la mecánica clásica. La física moderna comienza con las investigaciones de Galileo del movimiento de proyectiles en un medio sin resistencia. Ingeniosamente Galileo representa el movimiento en dos componentes, una en dirección vertical con aceleración uniforme (de acuerdo con su ley de la caída libre de los cuerpos) y la otra es el movimiento horizontal con velocidad constante. DE esta forma concluye que la trayectoria de los proyectiles es una parábola.

En este trabajo describimos propiedades interesantes que se encuentran cuando se analiza a la familia de trayectorias de proyectiles que son lanzados desde un mis-

mo punto con la misma velocidad inicial pero con diferentes ángulos de tiro respecto a la horizontal desde 0° hasta 180°. Mostramos que existen que existen propiedades parabólicas (aparte de la trayectoria parabólica), elípticas y circulares. Ilustramos de qué manera el estudiante puede “descubrir” y demostrar que la curva (elipse) que une los puntos donde la velocidad radial es cero coincide con la que une las posiciones de máxima altura. Con la propiedad circular damos un método alternativo para encontrar la parábola de seguridad y la elipse crítica.

2 Parábola de seguridad

Este es un problema antiguo que aún ha sido reconside-

rado por varios autores. Consiste en hallar la envolvente de la familia de todas las trayectorias correspondientes a proyectiles que son lanzados desde el origen de coordenadas en todas direcciones con la misma velocidad inicial.

Aquí indicaremos un método para obtenerla que es particularmente simple^{1,2,3}. Mas adelante vemos otro método usando una propiedad circular del tiro parabólico.

La ecuación de la trayectoria parabólica de un proyectil lanzado desde el origen con velocidad v_0 y ángulo de tiro α es:

$$y = xu - \frac{gx^2}{2v_0^2}(1+u^2) \quad (1)$$

con $u = \tan \alpha$.

La figura 1 muestra dos trayectorias de esta familia correspondientes a dos valores del parámetro u , junto con la porción derecha de la envolvente buscada.

Dado un punto de coordenadas (x, y) los valores de u para los cuales este es alcanzado son las raíces reales de la ecuación (1) que al describirse en la forma canónica: $au^2 + bu + c = 0$, es

$$u^2 - \frac{2v_0^2}{gx}u + \left(1 + \frac{2v_0^2y}{gx^2}\right) = 0 \quad (2)$$

dependiendo de los valores del discriminante $D = b^2 - 4ac$, la Ec. (2) puede:

- i) No tener soluciones reales si $D < 0$,
- ii) Tener dos soluciones reales si $D > 0$,
- iii) Tener una raíz real si $D = 0$.

Físicamente significa que un punto A para el que $D > 0$ puede ser alcanzado por dos ángulos de tiro distintos. Ningún punto B para el que $D < 0$ puede ser alcanzado por un proyectil lanzado con velocidad v_0 en cualquier dirección. El caso $D = 0$ corresponde al conjunto de puntos C que solo pueden ser alcanzados al lanzar el proyectil en una dirección. La condición $D = 0$ nos permite encontrar la envolvente buscada o línea de seguridad y que divide al plano en dos regiones: Una donde los puntos pueden ser alcanzados por dos proyectiles y la otra donde ningún punto puede ser alcanzado por algún proyectil.

De la relación

$$D = \left(\frac{2v_0^2}{gx}\right)^2 - 4\left(\frac{2v_0^2y}{gx^2}\right) = 0$$

se obtiene la ecuación de la envolvente:

$$y = \frac{v_0^2}{2g} - \frac{gx^2}{2v_0^2}, \text{ que corresponde a una parábola.}$$

3 Elipse crítica

En el artículo [4] se demuestra que la curva que une las posiciones de los puntos de altura máxima de las trayectorias de los proyectiles lanzados desde el origen con velocidad v_0 en distintas direcciones corresponde a una elipse.

Para encontrar esta curva recordemos que las ecuaciones de las trayectorias de los proyectiles lanzados desde el origen con velocidad v_0 y ángulo de tiro α son

el tiempo t_m en alcanzar la altura máxima es $t_m = \frac{v_0 \text{sen} \alpha}{g}$ (para el que $y' = 0$). Así entonces las coordenadas del proyectil al tiempo t_m son

$$x = v_0 t \cos \alpha, \quad y = v_0 t \text{sen} \alpha - \frac{1}{2} g t^2 \quad (3)$$

usando las identidades trigonométricas $2 \cos \alpha \text{sen} \alpha = \text{sen} 2\alpha$ y $2 \text{sen}^2 \alpha = 1 - \cos 2\alpha$ las ecuaciones (4) se pueden describir como

$$x_m = \frac{v_0^2}{g} \cos \alpha \text{sen} \alpha, \quad y_m = \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{g} \text{sen}^2 \alpha \quad (4)$$

eliminando el ángulo α de las ecuaciones (5) obtenemos el lugar geométrico de los puntos de altura máxima

$$x_m = \frac{v_0^2}{2g} \text{sen} 2\alpha, \quad y_m = \frac{v_0^2}{4g} (1 - \cos 2\alpha) \quad (5)$$

donde $a = \frac{v_0^2}{2g}$ y $b = \frac{v_0^2}{4g}$, esto es $a = 2b$. La Ec. (6) representa una elipse centrada en el punto $(0, b)$ con ejes menor y mayor dados por $2b$ y $2a$, respectivamente. La excentricidad es $e = \frac{\sqrt{3}}{2}$ y no depende de ningún detalle del movimiento, en ese sentido, decimos que es universal.

$$\frac{x_m^2}{a^2} + \frac{(y_m - b)^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

del movimiento, en ese sentido, decimos que es universal.

Figura 1. Trayectorias de dos proyectiles lanzados desde el origen con velocidades iguales y el lado derecho de la parábola de seguridad. Los puntos A, B y C, corresponden a los casos $D < 0$, $D > 0$ y $D = 0$, respectivamente.

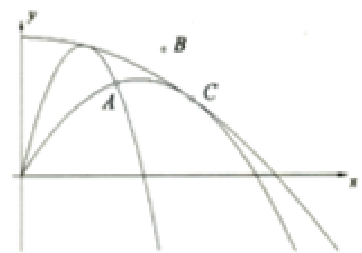
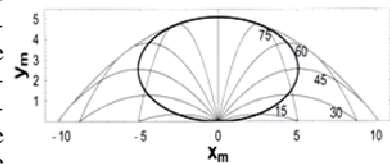


Figura 2. Trayectorias de varios proyectiles lanzados desde el origen con velocidades iguales a diferentes ángulos, elipse crítica y parábola de seguridad.



Como se observa en la figura (2), el vértice derecho de la elipse corresponde al caso de un proyectil con alcance máximo. Las coordenadas de estos puntos son $x_m = a$ y $y_m = b$. Como las trayectorias son simétricas con respecto a los puntos sobre la elipse el alcance de cualquier proyectil es

$$R = 2x_m = \frac{v_0^2}{g} \text{sen}2\alpha \quad (7)$$

por lo tanto el alcance máximo esta dado por

$$R_{\max} = 2a = \frac{v_0^2}{g} \quad (8)$$

Para obtener el ángulo correspondiente a la trayectoria de alcance máximo, de acuerdo con (7) y (8): $\text{sen}(2\alpha_{\max}) = 1$, i.e. el máximo alcance se obtiene cuando $\alpha_{\max} = \frac{\pi}{4}$. De esta forma hemos maximizado el alcance del proyectil sin usar el cálculo diferencial.

4 Elipse de retorno

Si nos preguntamos ¿Qué parte de la trayectoria del proyectil se aproxima o se aleja del punto de lanzamiento? Tendremos que calcular la velocidad radial

$\dot{r} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ y verificar en que parte $\dot{r} < 0$, $\dot{r} > 0$ o $\dot{r} = 0$. Lo mas natural es ver primero si es posible encontrar el lugar geométrico de todos los puntos (x,y) de la familia de trayectorias para los cuales $\dot{r} = 0$. Lo primero que podemos ver es que para los puntos de la elipse de coordenadas $(0,0)$ y $(0,2b)$, $\dot{r} = 0$. Esto lleva a sospechar que la elipse podría contener a todos los demás puntos para los cuales $\dot{r} = 0$. Para resolver este problema procedemos como sigue: usando las ecuaciones de la trayectoria, la velocidad radial \dot{r} se anula para los valores de t que son raíces de la ecuación

$$\frac{1}{2} \frac{d(r^2)}{dt} = r\dot{r} = x\dot{x} + y\dot{y} = 0, \text{ que se reduce a}$$

$$2v_0^2 t - 3v_0 g t^2 \text{sen}\alpha + g^2 t^3 = 0.$$

La raíz cero (no-relevante) corresponde al punto de lanzamiento. Así \dot{r} se anula en los instantes

$$t_{\pm} = \frac{3v_0}{2g} \text{sen}\alpha \pm \frac{3v_0}{2g} \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \quad (9)$$

con $\alpha \in (0, 180^\circ)$. Los puntos $A_{\pm} = (x_{\pm}, y_{\pm})$ (ver figura) corresponden a estas dos raíces si, y solo si, ellas son reales. En ese caso la distancia radial $r(t)$ del proyectil, primero se incrementa para tiempos comprendidos entre el punto de lanzamiento y A_- . En el punto A_- la distancia $r(t)$ alcanza un máximo local, y entre A_- y A_+ la distancia radial $r(t)$ decrece con el tiempo hasta que el proyectil alcanza un mínimo local en A_+ . Finalmente, después de A_+ la distancia radial $r(t)$ se vuelve monótona creciente. Entonces entre A_- y A_+ el proyectil se está acercando al origen y únicamente lo hace así entre estos dos puntos. Los puntos $A_{\pm} = (x_{\pm}, y_{\pm})$ se calculan con (9) en (3)

$$x_{\pm} = \frac{3v_0^2}{2g} \cos\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right)$$

$$y_{\pm} = -\frac{3v_0^2}{4g} \text{sen}\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right) + \frac{v_0^2}{g}$$

En términos de de los semiejes de la elipse a y b estas se pueden describir de la forma

$$x_{\pm} = 2b \cos\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right)$$

$$y_{\pm} = -b \text{sen}\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right) + 4b \quad (10)$$

para que los puntos A_{\pm} existan se requiere que $\text{sen}\alpha > 8/9$. Nótese que los dos puntos A_{\pm} coinciden en $A_- = A_+ = A_c$ para el ángulo $\alpha_c = \arcsen(\sqrt{8}/3) \approx 70.53^\circ$. La figura (3) muestra tres trayectorias, una para $\alpha > 70.53^\circ$, otra para $\alpha < 70.53^\circ$ y la de $\alpha = 70.53^\circ$.

De las Ecs (10) obtenemos para $\alpha = 70.53^\circ$

$$A_c = \frac{4b}{3} (\sqrt{2}, 1).$$

Si sustituimos los valores de las coordenadas de A_c directamente en la ecuación de la elipse vemos que también este punto pertenece a ella.

La trayectoria del proyectil lanzado con el ángulo $\alpha = 70.53^\circ$ toca tangencialmente a la elipse en A_c .

Para encontrar el lugar geométrico de todos los puntos A_{\pm} de las trayectorias de los proyectiles lanzados con velocidad v_0 en todas las direcciones eliminamos α de las Ecs (10). Como se sospecha que seguramente ha de coincidir con la elipse crítica procedemos a eliminar α de la forma siguiente: Dividimos a x_{\pm} entre 2 y restamos b de y_{\pm} para obtener

$$\frac{x_{\pm}}{2} = 3b \cos\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right),$$

$$y_{\pm} - b = 3b \left[1 - \text{sen}\alpha \left(\text{sen}\alpha \pm \sqrt{\text{sen}^2\alpha - \frac{8}{9}} \right) \right]$$

elevando al cuadrado estas últimas ecuaciones y sumando los resultados obtenemos después de algunos cálculos elementales que

$$\frac{(y_{\pm} - b)^2}{b^2} + \frac{x_{\pm}^2}{a^2} = 1$$

ésta es la misma elipse que une a los puntos de altura máxima. Los puntos de altura máxima y los puntos donde la velocidad radial es cero comparten el mismo lugar geométrico pero evidentemente no coinciden punto por punto a excepción de los puntos de coordenadas $(0,0)$ y $(0,2b)$.

Con estos resultados podemos ver que, de la misma forma que la parábola de seguridad divide al plano en dos regiones, una donde los puntos pueden ser alcanzados por dos proyectiles y otra donde los puntos no pueden ser alcanzados por ningún proyectil, la elipse también divide al plano en dos regiones. En todos los puntos

que se encuentran en los segmentos de trayectoria que estén fuera de la elipse el proyectil se aleja del punto de lanzamiento; mientras que en todos los puntos que se encuentren en la porción descendente de la trayectoria y que este dentro de la región encerrada por la elipse el proyectil se acerca hacia al punto de lanzamiento.

La figura 3 muestra un segmento de la elipse de retorno, tres segmentos de trayectorias de proyectiles y sus intersecciones con la elipse, para los tres casos: I): $\alpha = 75^\circ > \alpha_c$ con tres intersecciones, el punto de crítico M; A_+ y A_- . II): $\alpha = \alpha_c = \arcsen\sqrt{8/3} \approx 70.53^\circ$, mostrando la intersección con el punto de crítico M y las dos intersecciones coincidentes con el doble punto de contacto tangencial en A_c . III): $\alpha = 60^\circ < \alpha_c$, para el cual $r(t)$ siempre se incrementa, y la única intersección en el punto crítico M. Exceptuando este último, todas las intersecciones i. e. A_+ , A_- ó A_c , tienen la propiedad de que $\dot{r} = 0$.

5 Propiedades circulares

Supongamos que ocurre una explosión en el origen de coordenadas al tiempo $t = 0$, después todos los fragmentos son dispersados en todas direcciones con velocidad v_0 . ¿Dónde se encuentran localizados todos los fragmentos después de un tiempo $t > 0$? Podemos responder fácilmente esta pregunta si nos imaginamos que los fragmentos se mueven en ausencia de gravedad: en cualquier instante t ellos se localizan en una esfera que se expande con un radio $r = v_0 t$ y cuyo centro se localiza en el origen. Con gravedad esta esfera expandiéndose uniformemente, cae libremente (3) como un todo con la aceleración de la gravedad. Esto es, la coordenada y del centro de esta esfera en un instante t es $y = -gt^2/2$, y el plano xy interseca la esfera a lo largo del círculo cuya ecuación es

$$x^2 + \left(y + \frac{1}{2}gt^2 \right)^2 = v_0^2 t^2 \quad (11)$$

esta ecuación define una familia de círculos en donde se localizan los fragmentos en un tiempo t .

La figura 4 muestra algunos de estos círculos, obviamente la envolvente de esta familia de círculos nos determina la frontera del alcance de los fragmentos disparados en la explosión con la misma velocidad v_0 . Puesto que esta frontera es también la envolvente de las trayectorias parabólicas de los proyectiles podemos encontrar la parábola de seguridad determinando la envolvente de los círculos dados por la Ec. (11) en lugar de la envolvente de las trayectorias parabólicas.

Otra forma de obtener la elipse crítica. Si sustituimos t por el tiempo t_m que tarda en alcanzar la altura máxima, podemos ver que las coordenadas (x_m, y_m) de de los proyectiles se localizan en

$$x_m^2 + \left(y_m + \frac{v_0^2}{2g} \sen^2 \alpha \right)^2 = \frac{v_0^4}{g^2} \sen^2 \alpha$$

para eliminar $\sen^2 \alpha$ de esta ecuación usamos la segunda ecuación de las Ecs (4) de esta forma volvemos obte-

ner fácilmente la ecuación (6) de la elipse crítica.

Lugar geométrico de los focos de las trayectorias parabólicas. De la ecuación de la trayectoria parabólica del proyectil lanzado desde el origen de coordenadas con ángulo de tiro α , es fácil ver que las coordenadas del foco son

$$x_f = \frac{v_0^2}{2g} \sen 2\alpha, \quad y_f = -\frac{v_0^2}{2g} \cos 2\alpha.$$

Eliminando el parámetro α de estas ecuaciones podemos ver que el lugar geométrico de los focos de las trayectorias es una circunferencia de radio $v_0^2/2g$ centrada en el origen. Esta es otra propiedad circular del problema del tiro parabólico.

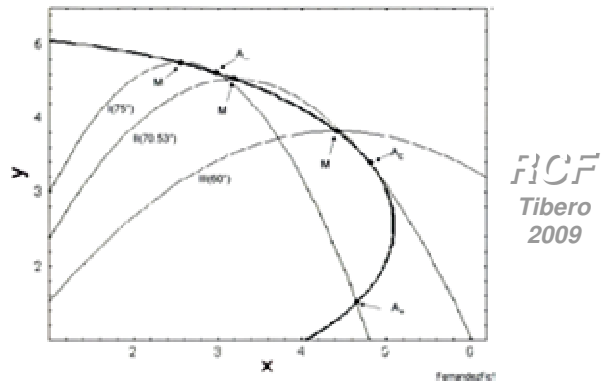
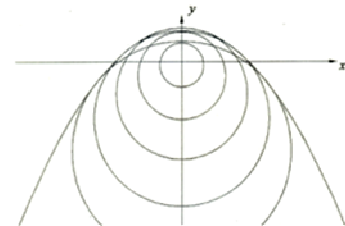


Figura 3. Un segmento de la elipse de retorno.

Figura 4. Los círculos corresponden a las posiciones momentáneas de los fragmentos que se expanden en todas direcciones con velocidades iguales y en caída libre y parábola de seguridad.



6 Conclusiones

En el problema de lanzamiento de proyectiles hemos encontrado propiedades que involucran a tres miembros de las secciones cónicas, esto es un ejercicio interesante y elegante para impartirse en cursos introductorios de mecánica clásica. Sería interesante ver si el cuarto miembro de la familia de las cónicas, la hipérbola, existe en este interesante problema.

Referencias

1. M. Bacé, S. Iljić, Z. Narancić, and L. Bitrić, "The envelope of projectile trajectories", Eur. J. Phys. **23**, 637-642 (2002).
2. E. I. Butikov, "Comment on 'Comment on 'The envelope of projectile trajectories',", Eur. J. Phys. **24**, L5-L9 (2003).
3. Denis Donnelly, "The parabolic envelope of constant initial speed trajectories", Am. J. Phys. **60**, 1149-1151 (1992).
4. J. L. Fernández-Chapou, A. L. Salas and C. A. Vargas, Am. J. Phys. **72**, 1109 (2004).

¿Es útil aún el modelo del átomo de Thomson para la enseñanza de la física general en las carreras de ingeniería?

Faustino Repilado[†], Bonifacio Rey Norma^a y Lic. Dania Cuenca^b

a) Departamento Docente Metodológico, Universidad de Oriente; bony@rect.uo.edu.cu

b) Departamento de Física, Universidad de Holguín; dcuenca@facing.uho.edu.cu

Departamento de Física Aplicada, Universidad de Oriente, Cuba; flrepila@fa.uo.edu.cu[†]

[†] Autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/09. Aprobado en versión final el 20/11/10.

Sumario. Se estudia el modelo de Thomson, y su relación con los contenidos de Física I y II, particularmente con las oscilaciones, la ley de Gauss, el concepto de densidad volumétrica de carga, e indirectamente con la teoría cinético – molecular de la materia, lo que permite ir formándolo bajo el criterio de complejidad creciente en las clases prácticas. Allí se proponen ejercicios y situaciones físicas que coadyuvan diversas aristas del modelo. Aunque en la actualidad el modelo tiene para la ciencia un valor histórico, para la docencia es útil por su innegable valor heurístico “intrínseco” así como por la posibilidad que ofrece como elemento integrador de conocimientos. Sobre la base del análisis de la literatura sobre el tema sumado a la experiencia de los autores se ofrece una variante metodológica y las orientaciones estratégicas de formación correspondientes que permiten no dedicar demasiado tiempo para abordar el modelo de Thomson en Física III - aunque sí aprovechando los elementos heurísticos que posee – a partir del criterio de “formación escalonada”.

Abstract. It is studied the Thomson's model and his relation with the contents of Physical I and II, particularly with the oscillations, the Gauss's law, the concept of volumetric density of charge, and indirectly with the kinetic - molecular theory of the matter, what allows to form it with a growing complexity approach in the practical classes. There are proposed exercises and physical situations that cooperate with diverse edges of the model. Although at the present time that model has a historical value for the science, for teaching it is still useful so much for their undeniable "intrinsic" heuristic value as well as for the possibility to offer as integrated knowledge. On the base of the analysis of the literature on the topic added to the experience of the authors it is offered a methodological variant and the corresponding strategic orientations of formation that allow not to dedicate too much time to approach the Thomson's model in Physics III - although taking advantage of the heuristic elements that it possesses - starting from the approach of “formation for stages”.

Palabras clave. Physics education, 01.40.-d, teacher training, 01.40.J.-.

1 Introducción

La ciencia física opera con modelos - más o menos aceptables – de la realidad y no con la realidad misma. Esos modelos tienen carácter histórico y reflejan el desarrollo

de la propia ciencia, sustituyéndose incesantemente cuando no están en condiciones de explicar los fenómenos de la realidad. La sustitución de un modelo obsoleto

-porque ha perdido capacidad explicativa- es un proceso natural y permanente.¹⁻⁹

La docencia de la Física General para ingenieros también debería basarse en el empleo de modelos aunque infelizmente en la práctica no ocurre de esa manera.

Entre los modelos que crea y emplea la ciencia física y aquellos que utiliza la docencia de la Física General se manifiestan relaciones verdaderamente interesantes.

1. El modelo de la ciencia precisa de una fundamentación física – matemática rigurosa

2. Los modelos en la ciencia manifiestan sobre todo capacidad predictiva

3. Los modelos de la ciencia son base de la teoría científica

4. La comprobación experimental de ciertos modelos físicos o sus inferencias en la ciencia exigen de un instrumental experimental de mucha exactitud y precisión; así como experimentadores con un enorme desarrollo de habilidades.

5. Cuando ocurre la sustitución de un modelo por otro más completo, una de las exigencias que debe cumplir es que todo lo que explicaba el modelo viejo debe ser explicado por el modelo nuevo y, además, este último estar en capacidad de predecir nuevos fenómenos.

6. En la docencia los modelos deberían jugar el papel de núcleo de las explicaciones -infelizmente eso no se lleva a cabo, pues apenas se mencionan en sus aplicaciones- y no como elemento constructivo de la teoría.

De manera comparativa se puede afirmar que en la docencia:

1. La capacidad predictiva se emplea más como motivación en la medida que la teoría y los ejemplos que se utilizarán ya se conocen y no son el objeto de la estudio en la clase.

2. La profundidad y el rigor con que se fundamenta o trata un modelo responde más a necesidades docentes que científicas, entre las que se incluyen: a) el papel del modelo en la disciplina, b) la riqueza de las explicaciones que deben darse en función de dicho modelo y c) las necesidades del modelo en la disciplina y la carrera, etc.

El modelo en la docencia, a diferencia del modelo en la teoría, no pierde su vigencia tan espectacularmente, sino que persiste en la medida que su uso lo avalan propósitos y alcances diversos de la formación.

Es cierto también que determinados modelos van progresivamente perdiendo vigencia, incluso en la docencia y son relegados a un último plano. Tal es el caso del modelo de Thomson.

2 El modelo de Thomson

La inmensa mayoría de los textos modernos le confieren al modelo de Thomson apenas un valor histórico y sólo le dedican algunas líneas para esbozar ciertas ideas de utilidad para introducir el modelo de Rutherford. Otros ni siquiera lo mencionan.

Somos del criterio que efectivamente ese modelo no debe ser objeto de excesiva atención en la docencia de la

Física III, el no sólo es obsoleto por los resultados negativos que se obtienen sobre su base, sino que es uno de los representantes más notables del enfoque mecanicista a fenómenos cuya naturaleza no es mecánica.

Sin embargo, hay otras aristas importantes del problema que, en el plano didáctico, deben ser consideradas. Entre ellas se encuentran:

- La relación historia de la ciencia – docencia.
- Los elementos heurísticos que dicho modelo ofrece para el desarrollo del pensamiento.
- La relación ciencia sociedad.

El primer aspecto permite ubicarse en la época y el desarrollo que la ciencia había alcanzado en la misma, las ideas precedentes que permitieron la aparición de tal modelo, qué representó ese modelo en el concierto de las ideas predominantes en esa época, etcétera.

El segundo, muy vinculado con el primero, revela el movimiento del pensamiento en la concepción del modelo, los presupuestos teóricos y experimentales que se adoptaron para construirlo y, sobre todo, las inferencias que sobre esa base eran posible realizar.

Finalmente el tercer aspecto refiere a que todo el andamiaje teórico relacionado con el modelo debe comprobarse en la práctica la que lo afianzará o refutará en la medida que exista correspondencia entre los resultados predichos por dicho modelo y lo realmente obtenido

Todo lo expresado no inclina aún la balanza a su favor. Con esos argumentos no se puede aún afirmar que en el curso sea necesario tratarlo con detalle o incluso tratarlo.

El argumento de peso que se opone a tal tratamiento es la escasez de tiempo de la disciplina para abordar cuestiones obsoletas o secundarias a costa de otras que son actuales, que tienen implicaciones relevantes en el presente.

Sin embargo, en el presente trabajo no se está abogando por convertir al modelo de Thomson en el ombligo del mundo, sino en darle un tratamiento que, por una parte, satisfaga todas las aristas antes mencionadas, mientras que por otra no requiera de tiempo extra.

2.1 ¿Qué se conocía sobre el átomo en la época en que Thomson propone el modelo?

Al pasar inventario de lo que se conocía respecto al electrón en el siglo XIX, Pierre Morel en su libro “Física Cuántica y Térmica” escribe:

“El descubrimiento del electrón, constituyente de los rayos catódicos de descarga de un gas enrarecido (J.J. Thomson 1897), renovó para los físicos el interés por el problema de la estructura interna de los átomos”.

Se sabía que el átomo contenía a la vez de electricidad negativa (electrones) y positiva. Se había también realizado el análisis espectral de la luz emitida por diferentes átomos convenientemente excitados. Se sabía, por ejemplo, que los átomos de sodio calentados a la llama emitían una luz de color amarillo intenso constituida principalmente por dos radiaciones monocromática de longitudes de ondas próximas (rayas D1 y D2, $\lambda=5890$ y $\lambda=5896 \text{ \AA}$ respectivamente).⁴

Por otro lado, eran también conocidas la presencia de espectros de rayas en la emisión de determinados átomos, la neutralidad eléctrica de los átomos, el tamaño de las partículas del orden del Angström, etcétera, por lo que cualquier teoría que se elaborara sobre el mismo debía coincidir con esos resultados.

2.2 ¿En qué consiste el modelo del átomo de Thomson? El primer modelo de la estructura atómica propuesto por Thomson consistía en una distribución más o menos regular de cargas negativas (electrones) y positivas en el interior del volumen atómico (Ver figura). En una estructura de esta índole, una carga positiva está rodeada principalmente de cargas negativas y viceversa, los lugares próximos a una carga negativa los ocupan principalmente las cargas positivas: de esta forma las fuerzas de atracción electrostática superan a las de repulsión y aseguran así la cohesión. La estructura interna imaginada por Thomson es, pues, estable e inmóvil a la manera de un cristal: cada partícula del sistema se mantiene en su lugar por la acción conjunta de sus vecinas.

Los electrones pueden oscilar alrededor de su posición de equilibrio cuando el sistema recibe un impulso exterior, según las leyes clásicas del electromagnetismo. Estas oscilaciones de los electrones equivalen a corrientes alternas de muy alta frecuencia y producen una radiación de ondas electromagnéticas en el espacio. Se tenía de esa forma una explicación bastante razonable de las propiedades conocidas de la materia. Pero ocurre que el modelo propuesto por J.J. Thomson no es aplicable a la estructura atómica. La observación de la difusión de las partículas α (átomo de Helio totalmente ionizado) por una lámina muy fina de metal indica, en efecto, como demostró Rutherford, la existencia en el seno de la materia de *núcleos* enormemente densos, de radio inferior a 1/10 000 del radio del átomo, que contiene las cargas positivas y prácticamente toda la masa del átomo".⁴

2.3 Principales aspectos físicos en el modelo.

1. El átomo de Hidrógeno –el más simple de todos – representa una esfera cargada uniforme y positivamente en cuyo interior se encuentra el electrón

2. Existe una interacción elástica entre el electrón negativo y la carga positiva de la esfera, del tipo

$$f = -kr,$$

donde r es la desviación del electrón de su posición de equilibrio.

3. El campo en el interior de la esfera cargada viene expresado de la forma

$$E(r) = \frac{e}{R^2} r; \quad (0 \leq r \leq R).$$

Aquí e es la carga del electrón y R el radio atómico.

4. Sobre el electrón que se encuentra a una distancia r del centro del átomo actuará una fuerza

$$f = (-e)E = -\frac{e^2}{R^3} r = -kr$$

5. En tales condiciones el electrón que por alguna manera es sacado de la posición de equilibrio realiza oscilaciones armónicas con frecuencia $\omega = (k/m)^{1/2} = (e^2/mR^3)^{1/2}$. Aquí m es la masa de 1 electrón

6. Considerando que $\lambda = 6000 \text{ \AA}$ entonces

$$R = \left(\frac{e^2}{m\omega^2} \right)^{1/3} = 3 \cdot 10^{-8} \text{ cm.}$$

2.4 Algunas inferencias metodológicas. Como se ha visto, en el modelo de Thomson convergen varios aspectos que son abordados en las diferentes asignaturas de la disciplina Física General, entre los que sobresalen: la densidad volumétrica de carga, el teorema de Gauss, las oscilaciones armónicas, el radio de las partículas, etcétera. La cuestión principal para dar respuesta a la pregunta que encabeza este trabajo se reduce a cómo tratar el modelo, sin que ello implique, entre otras cosas:

a) Gasto excesivo del limitado tiempo disponible en Física III al abordar un tema que actualmente tiene, en lo esencial, apenas interés histórico

b) Relegar a un segundo plano su verdadero valor heurístico en el desarrollo del pensamiento de los estudiantes

c) Menospreciar la trascendencia de los modelos en el establecimiento de conceptos, leyes y teorías de la Física

d) Menospreciar los resultados experimentales obtenidos, no sólo en la confirmación o refutación de determinada posición física que sustente el científico, sino como reflejo de su manera de pensar, de sus recursos heurísticos para elaborar conclusiones físicas.

Sobre esa base, se considera que la mejor opción para abordar el modelo de Thomson es hacerlo a partir de tres criterios fundamentales:

1. Formación escalonada; 2. Intencionalidad del enfoque; 3. Criterio de integración.

El primero supone que no es exclusivamente la Física III la que ofrece información o forma dicho modelo, sino que desde la Física I y II es posible hacerlo dando un tratamiento progresivo y gradual al mismo cuando los contenidos antes mencionados se aborden en sus marcos.

El segundo implica que cuando en determinada asignatura se aborden aspectos físicos relacionados con el modelo de Thomson, deben ser tratados como aristas de dicho modelo, alcanzándose con ello, por una parte, la articulación necesaria entre esos contenidos y, por otra, introduciendo al estudiante en facetas del modelo

El tercer aspecto se refiere a que será en la Física III donde se integren y, por tanto, converjan, articulándose de manera armoniosa, los diversos aspectos indicados.

A partir de esos criterios, es posible conformar un enfoque metodológico que sea una alternativa para colocar en el lugar que le corresponde la docencia universitaria al modelo de Thomson.

2.5 Algunas indicaciones metodológicas. Es posible conjugar las indicaciones que se ofrecen en las conferencias con aquellas que se ofrecerán en las clases prácticas a partir de las siguientes alternativas:

I- Oscilaciones armónicas (Física I). Cuando se aborden las oscilaciones mecánicas es prudente indicar que las ecuaciones $\ddot{x} + \omega^2 x = 0$ y $f = -kx$ son ecuaciones típicas que se cumplen en cualquier región de la física

donde estén presentes oscilaciones armónicas, sea en la Mecánica, el Electromagnetismo como en la Física Atómica (según el modelo de Thomson, señalando que el átomo, según este modelo representaba una esfera cargada con carga pasivita uniformemente distribuida en la cual se insertaban electrones que oscilaban armónicamente).

Se puede indicar que se realice un problema en el cual se ofrece la expresión de las oscilaciones armónicas del electrón del átomo de Hidrógeno (como se ofrece abajo) indicando que $R = 3 \cdot 10^{-8}$ cm y e , m son la carga y la masa del electrón respectivamente;

$$w = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{e^2}{mR^3}} .$$

De modo análogo, al abordar los fenómenos de transporte, particularmente el recorrido libre medio, ese posible calcular el radio R de una partícula a partir de la ecuación

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2} \pi R^2 n} ,$$

donde n es el número de partículas por unidad de volumen y λ el valor medio de la longitud de recorrido libre medio.

Si se asume el valor que Thomson propuso para R es posible calcular λ o, asumiendo λ como valor de tabla es posible calcular R . En cualquier caso, lo que importa es destacar la coincidencia de R , valor que posteriormente se empleará en el modelo de Thomson.

II. *Ley de Gauss (Física III)*. Es conveniente resolver el problema sobre el cálculo del vector intensidad de campo electrostático para puntos interiores de una esfera maciza, no conductora, cargada positivamente.

Aquí se debe hacer énfasis en:

a) Que éste caso es similar al modelo que propuso Thomson sobre la estructura del átomo de Hidrógeno.

b) La expresión $E(r) = \frac{e}{R^3} r$ ($0 \leq r \leq R$) fue obtenida a partir de la ley de Gauss, considerando que $q_n = \rho \frac{4\pi r^3}{3}$,

donde q_n es la carga neta encerrada en la superficie gaussiana.

c) Se puede proponer además un inciso en que se pida calcular el carácter de la fuerza que obra sobre el electrón.

A partir de la ecuación anterior, y conociendo que $\vec{F} = e\vec{E}$, no es difícil comprobar que dicha fuerza es del

$$\text{tipo } f = (-e)E = -\frac{e^2}{R^3} r = -kr .$$

Esto, innegablemente puede servir no sólo para entender el modelo de Thomson, sino también para el modelo del dipolo eléctrico.

Obviamente, con ese enfoque se establece un puente entre los contenidos que se reciben durante el curso de Física General I y II con aquellos que son objeto de estudio de la Física III, además se reafirma la manera como se establecen los modelos en física y se refleja, en esencia, el pensamiento de los propios científicos cuando en el modelo, por ejemplo, se calcula el radio del átomo R y se comprueba que es idéntico en orden a aquel que se alcanzó por otras vías. Eso, indudablemente es un asidero importante para el científico para considerar que su modelo es válido.

Es tarea del docente organizar lo expresado de la forma que considere idónea para su grupo concreto de clases. Estos apenas son criterios metodológicos que consideramos pueden ser tenidos en cuentas en las clases.

3 Conclusiones

Se mostró que el modelo de Thomson puede ser rescatado para la docencia y cumplir un verdadero papel de modelo heurístico, representativo de la manera de pensar de los científicos repensando la manera de abordarlo.

Su tratamiento puede ser más efectivo e integral si se consideran los criterios de formación escalonada, intencionalidad del enfoque e integración a partir de los cuales es posible articular todo el sistema de conocimientos relacionados con ese modelo presentes en las demás asignaturas de la disciplina Física General, de manera que gradualmente se vayan tratando las diferentes aristas del modelo y se integren en la Física III.

Referencias

1. Burov V. A, Experimentos demostrativos de Física (en ruso). (Ilustración. Moscú 1976).
2. Godzhaev H. M. Óptica (en ruso) (Escuela Superior. Moscú 1977).
3. Halliday D., Resnick R. Krane K. Física (V. II T.II Cuarta Edición. 1992).
4. Morel P. "Física cuántica y térmica. Curso de Física. Ediciones Omega S.A. Barcelona 1974. España
5. León H. Y Díaz R. Óptica ondulatoria (Ministerio de Educación Superior. La Habana 1985).
6. Repilado F. "Algunas reflexiones en torno a la enseñanza de la Física General en las Carreras de Ingeniería . Evento Internacional FIE 2008. Santiago de Cuba
7. Rey B., Repilado F. "El modelo de la onda electromagnética plana, linealmente polarizada, armónica y monocromática en la Física General para ingenieros." Evento internacional FIE 2008 Santiago de Cuba
8. Shachmaev. N.m. Experimentos demostrativos de oscilaciones y ondas (en ruso). (Ilustración. Moscú 1974).
9. Spasskii B. I. Historia de la Física (T I Editorial Pueblo y Educación 1996. La Habana. Cuba).