

Sociedad Cubana de Física
y Facultad de Física,
Universidad de la Habana

FÍSICA

REVISTA CUBANA DE FÍSICA

VOL.28 No.1E
DIC., 2011

XII SIMPOSIO Y X CONGRESO DE LA SOCIEDAD CUBANA DE FÍSICA



NÚMERO ESPECIAL

EDITOR

E. ALTSCHULER
Facultad de Física, Universidad de la Habana
10400 La Habana, Cuba
ealtshuler@fisica.uh.cu

EDITORES ASOCIADOS

A. J. BATISTA-LEYVA
Instec, La Habana
abatista@instec.cu

G. DELGADO-BARRIO
IMAFF-CSIC, Madrid
gerardo@imaff.cfmac.csic.es

O. DÍAZ-RIZO
Instec, La Habana
odrizo@instec.cu

V. FAJER-ÁVILA
CEADEN, La Habana
vfajer@ceaden.cu

J.-P. GALAUP
Lab.A. Cotton(CNRS)& Univ. Paris- Sud
jean-pierre.galaup@lac.u-psud.fr

O. DE MELO
Facultad de Física, Universidad de La Habana
omelo@fisica.uh.cu

R. MULET
Facultad de Física, Universidad de La Habana
mulet@fisica.uh.cu

P. MUNÉ
Facultad de Ciencias, Universidad de Oriente
mune@cnt.uo.edu.cu

C. A. ZEN-VASCONCELOS
Univ. Federal Rio Grande do Sul
cesarzen@cesarzen.com

DISEÑADORES

ERNESTO ANTÓN
E. ALTSCHULER

EDICIÓN WEB

A. GONZÁLEZ ARIAS
arnaldo@fisica.uh.cu

R. CUAN
rcuan@fisica.uh.cu

TODOS LOS ARTÍCULOS EN FORMATO
ELECTRÓNICO SE ENCUENTRAN EN:

[www.fisica.uh.cu/biblioteca/
revcubfi/index.htm](http://www.fisica.uh.cu/biblioteca/revcubfi/index.htm)

COORDENADAS

1E4 UN BALANCE DEL SIMPOSIO, Y MI VISIÓN DEL PRESIDENTE SALIENTE / O. De Melo

ARTÍCULOS ORIGINALES

1E7 UTILIZACIÓN DEL MODELO DE ROSE EN EL ANÁLISIS FÍSICO DE RESOLUCIÓN DE CONTRAS-
TE PARA DOS TECNOLOGÍAS DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA/ M. Pérez y col.

1E13 ESCHERICHIA COLI ACTIVITY CHARACTERIZATION USING A LASER DYNAMIC SPECKLE
TECHNIQUE/ E.E. Ramírez Miquet, L. Martí López y R. Contreras Alarcón.

1E18 EFICACIA LUMINOSA EN SUPERFICIES HORIZONTALES EN LA ESTACIÓN DE RADIACIÓN
SOLAR E ILUMINACIÓN DE ALTA CALIDAD DEL IDMP EN MADRID/ M.González Redondo
y col.

1E22 DESARROLLO DE UN ESPECTRÓMETRO ÓPTICO PARA INSTALACIONES DE ESTUDIO DEL
PLASMA POR LÁSER/ Y. Pérez-Moret y col.

1E26 NUEVO HARDWARE PARA LA MODERNIZACIÓN DE LOS POLARÍMETROS DE LA SERIE LA-
SERPOL / E. Arista Romeu, W.Mora Mazorra y V. FajerÁvila

1E32 FLUJOS NO ESTACIONARIOS DE DISOLUCIONES VISCOELÁSTICAS / A. Hernández García y
O. Sotolongo Costa

1E37 DIFUSIÓN DE HIDRÓGENO EN SÓLIDOS NANOPOROSOS CON SITIOS DE ADSORCIÓN FUER-
TEMENTE LOCALIZADOS/ Carlos Rodriguez, E. Reguera y R. Cabrera

1E42 DETECCIÓN AUTOMATIZADA DE CORRIENTES TERMOIÓNICAS EN $KCl:Sr^{+2}$ PARA LA CALI-
BRACIÓN DE UNA SONDA DE MEDICIÓN A BAJAS TEMPERATURAS/ R. Arabolla y col.

1E46 IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS Y OBTENCIÓN DE UN MODELO CUANTITATIVO PARA LA
ATRIBUCIÓN DE PINTURAS ARTÍSTICAS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PORTÁTIL. ES-
TUDIO DE PINTURAS DE SERVANDO CABRERA / A. Mendoza, I. Maqueira y A. Fernández

1E52 APLICACIÓN DE PULSOS MECÁNICOS PARA MEJORAR EL CRECIMIENTO DE CRISTALES EN
SUSPENSIONES/ P. Pérez, A. C. Rodríguez y J. Sarria

1E56 SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UN DISPOSITIVO OPTOELECTRÓNICO MULTI-RESPUESTA A
ESTÍMULOS TÉRMICO, ELÉCTRICO Y ÓPTICO BASADOS EN LÁMINAS DELGADAS DE VO_2 /
L. Benavides, R. Ugarte

1E61 SECCIÓN EFICAZ ELEY-RIDEAL EN LA RECOMBINACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE TUNGSTE-
NO(100) /L. Barrios Herrera y col.

1E66 CELDAS SOLARES DE $GaAsP/InGaAs$ CON CONFINAMIENTO CUÁNTICO Y TENSIONES BA-
LANCEADAS/ C. L. Cabrera, J. C. Rimada y L. Hernández

1E71 CELDAS SOLARES DE $InGaAs/GaAs$ CON MÚLTIPLES POZOS CUÁNTICOS Y SUPERREDES
/ M. Courrel, J. C. Rimada y L. Hernández

1E76 ARC CURRENT CONTROL FOR A CARBON NANOPARTICLE SYNTHESIS STATION / L. Hernán-
dez - Tabares y col.

1E80 SISTEMA DE DESCARGA DE ARCO SUMERGIDA PARA LA SÍNTESIS DE NANOOIONS DE CAR-
BONO MULTICAPAS/ J. Darias y col.

1E85 USANDO UNOS DISPOSITIVOS DE RESPUESTA REMOTA (CLICKERS) PARA LA EVALUACIÓN
ENTRE PARES: UNA EXPERIENCIA DOCENTE EN LA ASIGNATURA DE FÍSICA MÉDICA EN LA
FACULTAD DE MEDICINA EN LA UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA/ E. Arribas y col.

- 1E89 CONTEXTOS SITUADOS DE ENTRENAMIENTO VIRTUAL: FAVORECEN DESEMPEÑO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA INFORMÁTICA EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO/ C. ÁLVAREZ Y R. ORTIZ
- 1E94 ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA HABILIDAD DE MEDIR DESDE LA ASIGNATURA DE FÍSICA EN LOS ESTUDIANTES DE PRIMER AÑO DE LA CARRERA MATEMÁTICA-FÍSICA/ E.Pozo y J. Pérez
- 1E99 TRATAMIENTO METODOLÓGICO A LA UNIDAD DE ESTUDIO TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD EN EL PRE-UNIVERSITARIO/ I. Puente-Serrano, J.R. Morasen, F. Guerrero
- 1E104 UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA/ I. Delgado y col
- 1E108 SISTEMA DE ACTIVIDADES METODOLÓGICAS PARA LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LAS CIENCIAS NATURALES DESDE FÍSICA A PARTIR DEL NODO INTERDISCIPLINARIO ENERGÍA EN OCTAVO GRADO/ M. Corrales, E. Batista y R. Fernández
- 1E112 MOVIMIENTO PLANETARIO E HISTORIA DE LA CIENCIA/ J. R. Arévalo, Y. I Torres y M. H. González
- 1E117 LA ENSEÑANZA DEL CAMPO ELÉCTRICO DESDE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO DE UNA PROFESORA DE SECUNDARIA/ L.Melo y col.
- 1E122 UNA MODELACIÓN DIDÁCTICA PARA PROMOVER LA CULTURA SÍSMICA EN EL CURSO DE FÍSICA GENERAL/ I.M.Méndez Pérez
- 1E126 ¿ QUÉ TAN RÁPIDOS SON LOS SENTIDOS ? / L. R. Morejón-Hernández, A. Rodríguez-Manso, O. Calzadilla
- 1E129 MODELO TEÓRICO PARA CONCEBIR LAS CLASES DE FÍSICA SEGÚN LA ORIENTACIÓN SOCIOCULTURAL DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA/L. H. Sosa y col.
- 1E134 EL ENTRENAMIENTO DE LOS PROFESORES A TIEMPO PARCIAL DE FÍSICA DE LA U.C.P. PARA LA E.T.P. EN EL CONTEXTO DE LA UNIVERSALIZACIÓN/ S. Bahamonde
- 1E139 ENSEÑANZA PRESENCIAL VS. ENSEÑANZA SEMI-PRESENCIAL / L. Villamonte y J. Torres
- 1E144 LA RESONANCIA : UN ÚNICO FENÓMENO, PERO CON MUCHAS MANIFESTACIONES/ F. Martínez-Oliva, S. García-Dally, y M. Navarro-Fernández

Portada: Foto de grupo del XII Simposio y X Congreso de la Sociedad Cubana de Física, tomada frente a la entrada principal del Colegio Mayor de San Gerónimo de La Habana.



UN BALANCE DEL SIMPOSIO, Y MI VISIÓN DEL PRESIDENTE SALIENTE

OSVALDO DE MELO



Entre los días 7 y 11 de Marzo de 2011 se celebraron el XII Simposio y el X Congreso de la Sociedad Cubana de Física (SCF). El programa científico abarcó conferencias plenarias y sesiones de carteles en

los tópicos Biofísica y Física Médica, Protección Radiológica, Enseñanza de la Física, Óptica y Espectroscopia, Agrofísica, Física de la Tierra y el Espacio, Física Teórica, Ciencia de Materiales y Medios Condensados, Energías No Convencionales, Física Nuclear, Atómica y Molecular e Instrumentación. También se realizó una mesa redonda sobre el desarrollo de la Física en Cuba. Paralelamente a estos eventos, el miércoles 9 tuvo lugar el Simposio "Rutherford backscattering and related analytical techniques: from 1911 to 2011" como homenaje al centenario de la publicación del famoso artículo sobre la dispersión de las partículas alfa. Este evento contó con el apoyo del Centro Latinoamericano de Física (CLAF), que financió parte de los gastos de algunos conferencistas extranjeros.

La Universidad de La Habana facilitó el uso del Colegio Mayor de San Gerónimo de La Habana que fue una sede magnífica para las sesiones orales. Mientras, las sesiones de carteles se llevaron a cabo en los salones del Planetario de La Habana Vieja. La influencia del sol en el clima de la tierra, nuevos métodos para la enseñanza de la física, interesantes problemas relacionados con la física médica y la biofísica, la energía fotovoltaica, la espintrónica y la retrodispersión de Rutherford, fueron sólo algunos de los temas sobre los que se debatió en el salón de conferencias.

Probablemente lo más característico de este evento fue la numerosa participación, tanto nacional como internacional. Junto con los 214 participantes cubanos, se encontraban 10 de México, 7 de Colombia, 8 de España y 2 de Italia, mientras que Argentina, Brasil, Chile, Perú y Uruguay aportaron 1 cada uno.

En lo que a mí respecta, lo más significativo de este congreso fue que dejé de ser el Presidente de la Sociedad después de dos mandatos de tres años cada uno. Antes había sido vicepresidente en la sección de Materia Condensada y Vicepresidente Primero. Es decir que he estado bastante involucrado en la directiva de la SCF desde hace

unos doce años. Tengo que decir que me fue muy grato y, como siempre pasa, al cabo del tiempo prácticamente sólo recuerdo las cosas buenas. La increíble burocracia del banco metropolitano que puso en peligro la realización del simposio, o las incomprensiones que dieron al traste con una importante colaboración internacional, están casi olvidadas. Tengo, sin embargo, mucho que agradecer a mis compañeros de la Junta que me ayudaron a sortear los problemas y a llevar adelante algunos aspectos del trabajo de la Sociedad. Hasta me hubiera gustado quedarme más tiempo, pero en Cuba hay todavía muchos físicos buenos y con entusiasmo, como para que uno sólo y el mismo ocupe más de dos mandatos la presidencia. Uno de ellos es el actual presidente, al cual espero poder ayudar en todo lo que haga falta, y al cual le deseo éxitos –que veo está ya cosechando en apenas unos meses de mandato.

La física en Cuba está mal. Lo estaba hace un decenio y lo sigue estando ahora: no se puede tapar el sol con un dedo. Problemas como la extrema falta de financiamiento para la investigación científica (incluyendo el acceso a la literatura científica), la emigración de profesionales de esta rama y la falta de estimulación adecuada a los científicos y profesores son probablemente los problemas más serios (e interrelacionados, desde luego) que venimos sufriendo. Con eso en mente, fue que decidimos implantar el Premio Nacional de Física "Manuel F. Gran" que se otorgó por primera vez en este Simposio. Fue conferido a cuatro destacadísimos físicos cubanos. Ellos fueron: Carlos Cabal Mirabal, del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (previamente del Centro de Biofísica Médica de Santiago de Cuba); Carlos Trallero Giner y Melquiades de Dios Leyva, de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana y Hugo Pérez Rojas, del Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICIMAF). Por cierto, como se apuntó en el acto de entrega, hay una coincidencia sorprendente: los cuatro premiados son nacidos en la región oriental de Cuba. ¡Esperemos a tener más estadística, antes de sacar conclusiones! También se entregó el premio al Mejor Trabajo de un Físico Joven a Ernesto López Fune, del ICIMAF.

El viernes 11 se llevó a efecto el X Congreso de la Sociedad. En el informe de la Junta Directiva se reflejó el trabajo realizado durante el periodo 2008 - 2011. Se destacó el cumplimiento de los acuerdos del anterior congreso: elaborar una base de datos de los miembros de la SCF (que está alojada en el sitio <http://www.fisica.uh.cu/scf/asociados/>), instaurar el Premio Nacional de Física, y nombrar representantes de la Sociedad en algunas provincias. A pesar de esto, es forzoso decir que el trabajo de la SCF en el interior del país sigue siendo una "asignatura pendiente". Igualmente se alertó sobre la necesidad de reforzar el trabajo de algunas sec-

ciones de la Sociedad y en particular la de Protección Radiológica y la de Energías no Convencionales, que son los casos más críticos.

La junta informó sobre las gestiones que ha hecho la Sociedad Cubana de Física en relación con las instituciones internacionales. Efectivamente, durante este período trabajamos en la estabilidad del pago a las instituciones internacionales, así como en la selección de los representantes a las mismas. Cuba pertenece activamente al Centro Latinoamericano de Física (CLAF), a la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), a la Federación Iberoamericana de Sociedades de Física (FEIASOFI), y a la Federación Latinoamericana de Sociedades de Física (FELASOFI). Hoy prácticamente estamos al día en los pagos de las cuotas, lo cual dentro de la actual situación económica, es bastante meritorio. Hay que decir que estas organizaciones han sido comprensivas y en algunos casos han condonado deudas o admitido cuotas relativamente bajas. También me complace mencionar el apoyo de varias instituciones cubanas que han cooperado para que esto sea posible. Ellas fueron la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, el Instituto de Materiales y Reactivos (IMRE), el Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) y el Instituto de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InsTEC).

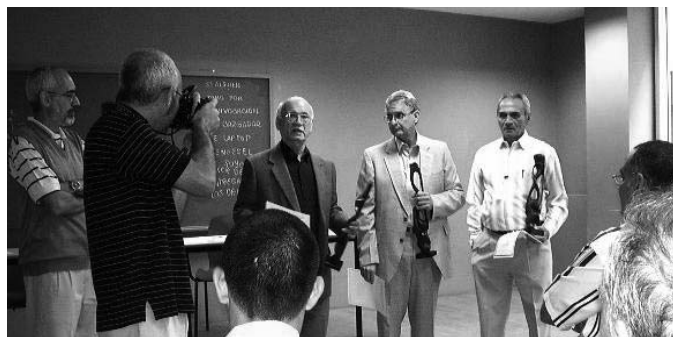
Un punto especial fue dedicado a la Revista Cubana de Física (RCF), que durante los últimos años ha logrado incurrir en varias bases de datos, pero que ha tenido problemas con la impresión. Aprovecho este espacio para explicar un poco más, porque la revista fue una de las primeras metas que me propuse cuando empecé en la presidencia de la sociedad hace 6 años. En aquel momento, algunos colegas pensaban que era mejor deshacerse de ella, para evitar gastos (que en aquel momento eran mucho más difíciles de sufragar que ahora) y darle visibilidad a la Física Cubana sólo a través de las revistas internacionales. Sin embargo, otra línea de pensamiento prevaleciente, sobre todo en la directiva de la sociedad que me precedió, era mantenerla a todo costo. Yo estuve dudando, pero después tomé partido por la revista. Me parecía que si existía desde hacía tanto tiempo, si había estado saliendo contra viento y marea desde 1982, no iba a ser yo quien la eliminara (¡ni me hubieran dejado mis colegas de la Junta Directiva!). Entonces tomamos primero la decisión de “escanear” todos los números (trabajo monumental que fue realizado por estudiantes y profesores voluntarios, y que fue en parte coordinado, debido a uno de esos azares del destino, por el actual Editor de la Revista) y ponerlos en la web. Después se hizo mucho énfasis en la revisión rigurosa de los artículos y en generar un “colchón” editorial. Se cambió un poco el estilo, se hicieron varias memorias de eventos, y así comenzó a “indexarse” la revista en varias bases de datos. Estoy bastante satisfecho con ello, y muy agradecido a la editora de esos años, María Sánchez (Maruchy). También estoy muy satisfecho por el hecho de que las cosas van ahora a todo tren, y que Ernesto Altshuler esté logrando dar un nuevo vuelco –en el sentido positivo– a esta publicación. Un detalle interesante, ahora que está tan de moda el acceso libre como una variante más socializada para acceder a la literatura científica, es que la RCF es una de las pocas revistas en el mundo que no cobra ni a autores ni a subscriptores: libertad total, o si se quiere, socialismo real.

Volviendo al congreso, en el informe se destacaron varios aspectos en que la sociedad ha mantenido una prioridad: el patrocinio de los eventos científicos. De ellos, tal vez los más significativos fueron los eventos seriados de Enseñanza de la Física, de Fotodinámica, TECNOLASER, de Física Nuclear y Física Médica, con una participación muy activa de la Sociedad. Un esfuerzo muy grande y que en mi opinión fue coronado con el éxito, requirieron los dos Simposios que correspondieron a este período, uno de los cuales estoy reseñando aquí. Ya en el periodo anterior, aunque ahora parezca lejano, habíamos celebrado el Año Internacional de la Física, que fue un año lleno de actividades organizadas por la Sociedad o con el apoyo de ella. Visitas de distinguidos visitantes que dieron conferencias y conversatorios, actividades de divulgación científica, exposiciones, actos, conmemoraciones. Hay que decir que pese a los problemas citados más arriba, la comunidad de físicos cubanos se ha mantenido activa y entusiasta en cuanto a la realización de eventos científicos.

En el congreso se debatieron profundamente aspectos fundamentales que afectan el desarrollo de la Física en Cuba. Temas como la necesidad de culminar el arreglo de la Facultad de Física de la Universidad de La Habana, el problema de incrementar la participación de los estudiantes en Olimpiadas internacionales, el estímulo a los profesores e internacionales, el estímulo a la bibliografía, dieron lugar a acuerdos concretos para promover soluciones en cada caso. A propósito de la bibliografía, me gustaría destacar los esfuerzos que hemos hecho por lograr variantes que pudieran ayudar a mejorar el problema del acceso a las revistas internacionales. Un acuerdo con el Institute of Physics (IOP) nos permitió acceder a sus revistas durante un tiempo. Otros acuerdos nos permitieron durante algunos años tener acceso a ciertas revistas. En estos momentos no tenemos nada similar a eso y ese es uno de nuestros más graves problemas, en mi opinión. A él se suma, como nivel de fondo, la lentísima conexión a Internet con que cuenta la mayoría de los físicos en nuestro país.

Por último, se realizaron las elecciones del ejecutivo y se informó del resultado de las elecciones en las secciones. La nueva mesa directiva quedó integrada como sigue: Presidente: Dr. Augusto González; Vicepresidente Primero: Dr. Jesús Rubayo. En otras vicepresidencias fueron elegidos: Aurora Pérez (Finanzas); Juan G. Darias (Organizador); José A. Otero (Física Teórica), Adlín López (Física Médica), Víctor Fajer (Óptica y Espectroscopía), Eduardo Moltó (Enseñanza de la Física), María Elena Ruiz (Agrofísica), Alexander Calzadilla (Física de la Tierra y el espacio), Augusto Iribarren (Materia Condensada), Oscar Díaz-Rizo (Física Nuclear), Lorenzo Hernández (Instrumentación), Alejandro Cabo, Marian Sánchez y Ernesto Altshuler.

Mis más sinceros deseos de éxitos para ellos. Porque merecen tenerlos y porque la física cubana los necesita a toda carrera, para salvar lo que tanto ha costado construir.



Primera entrega de los premios nacionales de Física “Manuel F. Gran”, realizada en el Colegio Mayor de San Gerónimo de La Habana el día 11 de marzo de 2011. De pie, de derecha a izquierda, los homenajeados Melquíades de Dios, Carlos Cabal y Hugo Pérez (el cuarto galardonado, Carlos Trallero, no pudo asistir a la ceremonia). En la extrema izquierda, de pie, Augusto González, recién elegido Presidente de la Sociedad Cubana de Física.

UTILIZACIÓN DEL MODELO DE ROSE EN EL ANÁLISIS FÍSICO DE RESOLUCIÓN DE CONTRASTE PARA DOS TECNOLOGÍAS DE TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

M. PÉREZ^a, O. LATAZA^a, J.V. LORENZO^a, A. TABOADA^a, M. OROZCO^a, A.E. CARVALHO^{b,c}, M. ANDRADE^c, H.J. KHOURY^c

a) Centro de Estudios de Electrónica y Tecnologías de la Información. Universidad Central de las Villas
mperez@uclv.edu.cu

b) Departamento de Ciencias Exactas e Tecnológicas. Universidad Estadual de Santa Cruz. Ilhéus, Brasil

c) Grupo de Dosimetría. Departamento de Energía Nuclear. Universidad Federal de Pernambuco. Brasil

Se realiza un estudio de calidad de imagen utilizando 28 tomografías adquiridas con un maniquí antropomórfico de cráneo. Se utilizan todos los cortes correspondientes a la sección física para el análisis de resolución de contraste del maniquí, adquiridos con dos tomógrafos, un Philips Brilliance 6 y un Siemens Sensation 64. Las variables de escaneo fueron la corriente de tubo (mA), el kVp, el espesor del corte tomográfico y el tiempo de adquisición por vista (s), para encontrar las mejores condiciones de monitoreo que permitan adecuada resolución de contraste con la aplicación de las menores dosis posibles. Se midió además Kerma-aire en aire con una cámara de ionización tipo "lápiz" y se calculó su índice (Ca₁₀₀ [mGy]) como indicador de la dosis. Se estudió la resolución de contraste y los límites de detectabilidad de cada tecnología con la aplicación del Modelo de Rose. Como criterio comparativo de los resultados se utilizaron medidas de calidad de imagen objetivas tradicionales, como la relación contraste ruido (CNR) y la relación señal ruido global (SNR), así como un análisis visual experto simple de los cortes tomográficos. Se demuestra que es posible reducir las dosis reduciendo el mAs principalmente, sin que se afecte la resolución de contraste con ambas tecnologías. Se propone un protocolo de adquisición optimizado para cada una.

A study on image quality was developed using 28 tomographies collected to a head anthropomorphic phantom. The physical region of the phantom was used to analyze contrast resolution by their slices. The technologies used for tomographic acquisitions were a Philips Brilliance 6 and a Siemens Sensation 64. Tube current (mA), kVp, tomographic slice thickness and acquisition time per view were the scan variables changed among tomographies, looking for the best scan conditions which permit correct contrast resolution with the lowest dose for both technologies. Kerma-air in air was also measured and its index Ca₁₀₀ (mGy) was calculated as dose indicator. Contrast resolution and detection limits of both CT machines for brain studies were studied with the Rose Model application. Traditional objective image quality metrics as contrast to noise ratio (CNR) and global signal to noise ratio (SNR) were calculated over the tomographic images and also a visual expert analysis was done to compare both with model results. The study showed that is possible to reduce the dose, reducing mainly the mAs, without affecting contrast resolution in both technologies monitored. An optimized acquisition protocol is then proposed for each one.

Palabras Clave. Tomografía Computarizada 87.57.qh, calidad de imagen 87.57.C, resolución de contraste 87.57.cm, Modelo de Rose 87.57.nf, reducción de dosis 87.53.Jw

INTRODUCCIÓN

La Tomografía Computarizada (en lo adelante TC) es la técnica de imagenología médica que produce las dosis colectivas más altas en los países con un desarrollo importante en radiodiagnóstico en la actualidad, con un aporte mayor al 40 % de la dosis total que reciben los pacientes [1]. A pesar de lo anterior, el rendimiento diagnóstico de la técnica es tan elevado que se suele considerar suficiente para justificar las dosis.

Los esfuerzos tecnológicos y científicos en TC se han concentrado sobre el mejoramiento de la calidad de la imagen y la disminución de los tiempos de exploración. En este sentido, los términos contraste imagen, resolución espa-

cial y ruido aleatorio, han sido bastante abordados en la literatura científica sobre TC [2,3] en relación con variaciones de parámetros de escaneo como son la corriente de tubo multiplicada por el tiempo de adquisición por vista (mAs), el espectro de energías determinado por el kilovoltaje pico (kVp), el espesor de corte tomográfico y el tiempo de rotación y adquisición por vista, dedicándosele mucho menos espacio al tema de la resolución de contraste en esta técnica.

Para determinar límites de detectabilidad de un tomógrafo y resolución de contraste se han publicado y probado no obstante, varios métodos. El primero incluye medidas

subjetivas globales, que dependen de observadores expertos para su realización, como las Curvas de Rendimiento Diagnóstico (ROC) y sus variantes más modernas MROC, LROC, FROC y JAFROC [4] o los test de Contraste-Detalle (TCDD) [5,6]. Estos últimos, por su sencillez en condiciones de rutina clínica, son los más utilizados, pero también llevan implícita la subjetividad del observador. El segundo método incluye medidas objetivas o evaluadores de enlace basados en parámetros físicos de calidad de imagen, que ofrecen una evaluación físico-matemática robusta de los mismos, como son: la relación señal a ruido (SNR), la función de transferencia de la modulación (MTF) y el espectro de potencias de ruido (NPS) [7]. En particular estos dos últimos, por su complejidad analítico-experimental, no han sido bien aceptados en condiciones de rutina clínica. El tercero y menos divulgado, incluye evaluadores globales objetivos como el Modelo de Rose [8], a partir de cálculos matemáticos mucho más sencillos. Este trabajo se enmarca dentro de este último grupo.

MATERIALES Y MÉTODO

Modelo de Rose

El Modelo de Rose para resolución de contraste, expresa la relación entre el número de fotones involucrados en el estudio y la percepción de los detalles sobre las imágenes. Describe la relación señal a ruido (ΔSNR) necesaria para detectar un objeto uniforme sobre un fondo uniforme y se define como:

$$\Delta SNR_{Rose} = \frac{A(q_f - q_0)}{(Aq_f)^{\frac{1}{2}}} = C(Aq_f)^{\frac{1}{2}} \gg 5 \quad (1)$$

Donde:

$$C = \frac{(q_f - q_0)}{q_f} \quad (2)$$

$$\Delta S_{Rose} = (q_f - q_0)A \quad (3)$$

$$\sigma_{Rose} = (Aq_f)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Siendo:

C: contraste en el Modelo de Rose.

q_f : valor medio de fotones por unidad de área del fondo.

q_0 : valor medio de fotones por unidad de área del objeto.

ΔS_{Rose} : señal útil sobre la imagen.

A: área del objeto.

σ_{Rose} : desviación típica del número de fotones.

Secuencia experimental

A fin de analizar la calidad de imagen en términos de resolución de contraste respecto a la dosis de radiación, se procesaron 28 tomografías realizadas a un maniquí OPRAX-MEDICAL 2008, con dos tomógrafos, un Philips Brilliance 6 y un Siemens Sensation 64. Todos los estudios se adqui-

rieron en matrices de 512 x 512 píxeles a 12 bit por pixel de profundidad. Durante la adquisición de las tomografías se varió para ambos tomógrafos el mAs (entre 100 y 350 miliamperes por seg), el espesor de corte (1.5, 2.4 y 3 mm) y en el caso del tomógrafo de 64 cortes se varió también el kVp (100 y 120 kV) y el tiempo de adquisición (0.5 y 1 seg. por vista).

Se midió además la Kerma-aire con una cámara de ionización "tipo lápiz" PTW Freiburg (TW 30009-0666), para cada combinación de parámetros de adquisición utilizada con el maniquí, sustituyendo este por el detector de radiación. Se calculó el índice de Kerma-aire (Ca, 100) en mGy [9] como indicativo de las dosis.

$$C_{a,100} = \frac{1}{nT} \int_{-50}^{+50} K_a(z) dz, \quad (5)$$

Donde:

n, T: representa la colimación total del haz utilizada. :

$\int_{-50}^{+50} K_a(z) dz$ es la integral de la kerma-aire (K_a) a lo largo de una línea paralela al eje z (de rotación del tomógrafo) con 100 mm de longitud. Se entiende por kerma aire la energía cinética liberada (dEk) por todas las partículas cargadas (iones), producidas por la interacción fotónica en una cantidad infinitesimal de aire dividida por su masa (dm) en condiciones de equilibrio electrónico.

Se aplicó el modelo de Rose y se calculó la SNR de Rose [8] para las cuatro secciones de interés de la región física del maniquí (Figura 1) sobre los cortes tomográficos, para cada condición de adquisición, ubicando ventanas de 3 x 3 píxeles dentro de cada sección. Se tomó además una sección en el centro de cada imagen como fondo. Se compararon los resultados contra un análisis visual experto simple de los cortes tomográficos y contra medidas objetivas tradicionales como la relación contraste ruido (CNR) y la SNR [2,3] calculadas sobre las propias ventanas. El Modelo de Rose fue implementado sobre el software Matlab 7.0, al igual que el resto de las medidas objetivas de comparación. El análisis de resolución de contraste visual se hizo con el software MxLiteView versión 1.24.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las figuras 1 y 2 muestran el comportamiento de la calidad de imagen en términos de ruido y contraste imagen al variar el mAs,

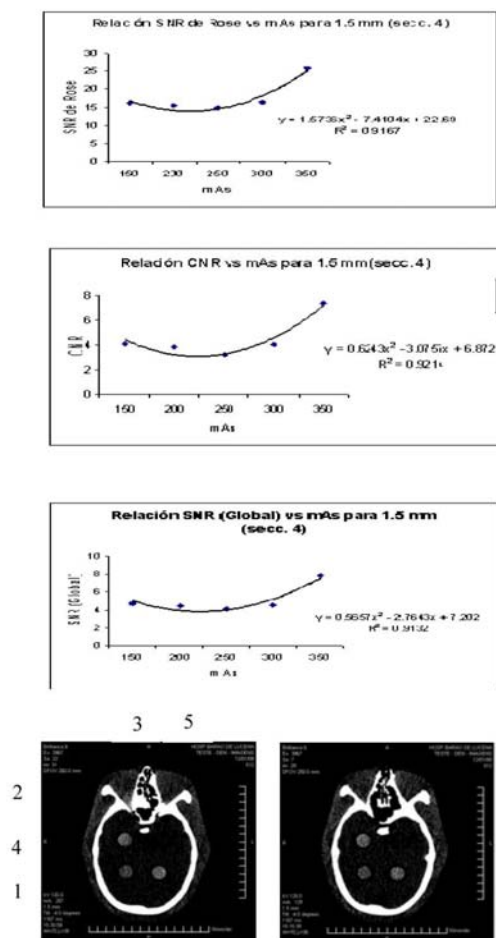


Figura 1. Influencia del mAs sobre la calidad de imagen en el Philips Brilliance 6 (Se señalan además las secciones de evaluación)

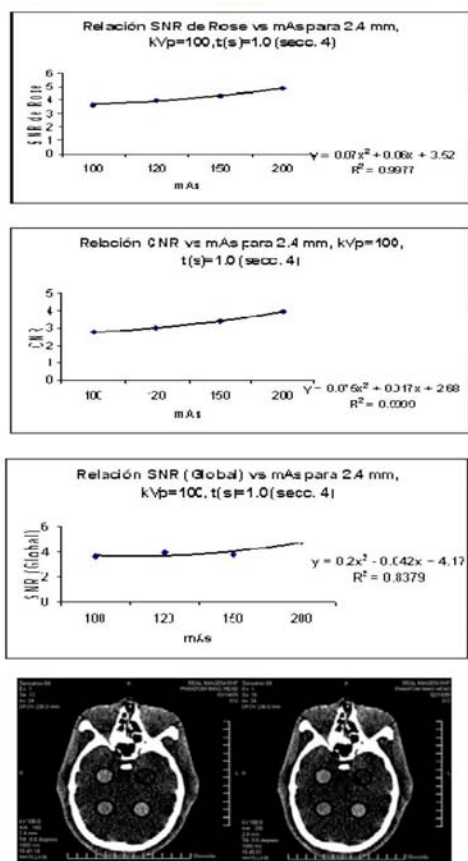


Figura 2. Influencia del mAs sobre la calidad de imagen en el Siemens Sensation 64

De las figuras anteriores debemos de resaltar que el comportamiento de todas las medidas objetivas, incluyendo la SNR de Rose, ajusta a polinomios de segundo orden y evidencia el incremento del ruido aleatorio con la disminución del mAs. Se eligieron resultados para la sección 4 del maniquí, por mostrar la señal útil más alta para cada valor de mAs, pero los resultados se reproducen para el resto de las secciones, excepto para la sección 3, con un comportamiento aleatorio y valor de la SNR de Rose $\ll 5$ para ambos tomógrafos. Esto implica que la señal no es detectable por el sistema visual humano [2,8], lo cual se corrobora visualmente.

Las siguientes tablas (I y II) y figuras (3 y 4) muestran el análisis de calidad de imagen realizado a partir de variar el espesor de corte y fijando el resto de los parámetros de escaneo. Se puede apreciar que la SNR de Ro-se mejora apreciablemente con el incremento del espesor de corte para todos los mAs, a partir de la disminución de los niveles de ruido aleatorio que esto implica; (se aprecia que aumenta casi al doble, al pasar por ej. de 1.5 a 3.0 mm). Este aspecto debe de ser tenido muy en cuenta para poder detectar lesiones de bajo contraste (SNR de Rose entre 5 y un valor por debajo de la mínima señal detectada en nuestro experimento con una SNR de Rose = 10) [8].

Tabla I					
Influencia del espesor de corte sobre la calidad de imagen (SNR de Rose) para Philips Brilliance 6					
Espesor de corte (mm)	Secciones	mAs			
		150	200	300	350
1.5	Secc. 2	23.69	23.26	25.77	38.53
	Secc. 4	16.09	15.58	16.37	25.85
	Secc. 5	26.13	24.91	26.20	40.27
3.0	Secc. 2	40.79	40.44	65.33	77.07
	Secc. 4	23.38	23.64	39.66	45.35
	Secc. 5	38.41	39.61	58.76	72.85

Se tomó el kVp = 100

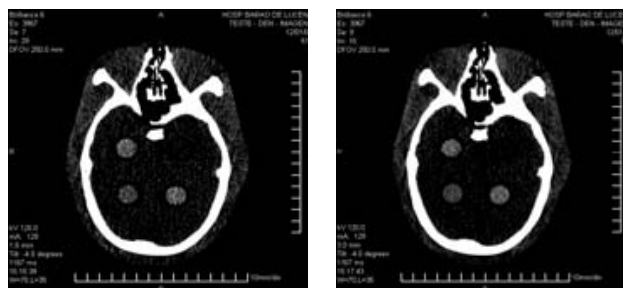


Figura 3. Influencia del espesor de corte sobre la calidad de imagen visual en el Philips Brilliance 6

Tabla II Influencia del espesor de corte sobre la calidad de imagen (SNR de Rose) para Siemens Sensations 64					
Espesor de corte (mm)	Secciones	mAs			
		100	150	200	250
2.4	Secc. 2	17.15	19.24	17.58	20.30
	Secc. 4	13.13	12.26	15.53	14.20
	Secc. 5	16.96	20.05	20.41	23.79
3.0	Secc. 2	19.75	21.19	21.08	21.23
	Secc. 4	15.95	15.25	14.64	14.82
	Secc. 5	20.55	20.58	19.94	21.21

Se tomaron kVp = 100 y tiempos de 1.0 seg de adquisición por vista

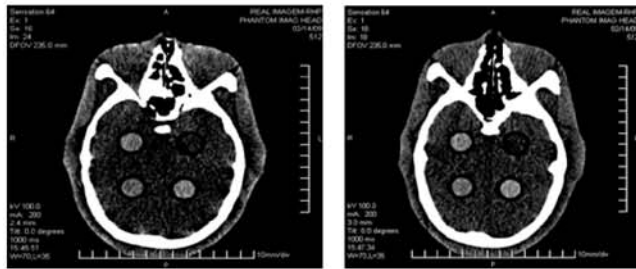


Figura 4. Influencia del espesor de corte sobre la calidad de imagen visual en el *Siemens Sensation 64*

Si comparamos los resultados de las tablas 1 y 2 podemos apreciar que para el valor de mAs=200, KVp=100 y espesor de corte 3 mm, (que son condiciones de adquisición que tuvimos como comunes en ambas tecnologías) los resultados del *Siemens Sensation 64* en términos de SNR de Rose son aproximadamente la mitad de los del *Philips Brilliance 6*. De aquí se deduce que utilizando los protocolos habituales de ambas instituciones para tomografía cerebral, es más sensible el *Philips Brilliance 6* en términos de contraste y menores niveles de ruido aleatorio que el *Siemens Sensation 64*. Este aspecto se debe a factores dependientes del diseño de los detectores como son: las dimensiones de estos, el número de filas activadas, las dimensiones de barreras enfocadas, así como las distancias foco-isocentro y foco-detectores, la geometría de filtros y colimadores a la salida del tubo, la geometría del haz, el blindaje del tubo, el filtrado del espectro y el material del ánodo, los cuales generan diferencias espectrales marcadas entre haces de rayos X de un equipo a otro [3,10].

La tabla III y figura 5 muestran los resultados de la SNR de Rose ante variaciones del espectro de energías.

Tabla III Influencia del kVp sobre la calidad de imagen (SNR Rose) en el Siemens Sensation 64		
kVp	Secciones	
100	Secc. 2	17.15
	Secc. 4	13.13
	Secc. 5	16.96
120	Secc. 2	25.41
	Secc. 4	20.24
	Secc. 5	26.25

Se tomaron espesores de cortes fijos de 2.4 mm, mAs=100 y tiempos de 1.0seg. de adquisición por vista

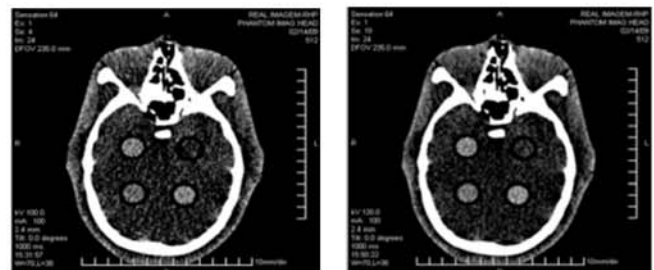


Figura 5. Influencia del kVp sobre la calidad de imagen visual en el *Siemens Sensation 64*

Podemos apreciar que el ruido aleatorio de Poisson disminuye sustancialmente con elevar el kVp de 100 a 120 y en consecuencia mejoran las SNR de Rose. Lo mismo sucede con aumentar el mAs a kVp fijo. Esto es importante ya que kVp bajos elevan las dosis en los pacientes como una consecuencia de la disminución espectral de la energía y de la mayor atenuación de los rayos X en los diversos tejidos del cuerpo del paciente. Miller y cols. hicieron un análisis del tema [10], llegando a la conclusión de que la reducción del kVp no solo aumenta la dosis, sino que incrementa el contraste imagen entre tejidos y también aumenta la presencia de artefactos por endurecimiento del haz. Este hecho no puede ser pasado por alto para propósitos de optimización de calidad de imagen contra dosis. Nuestros resultados sugieren que parece ser equivalente subir el kVp que el mAs para los rangos estudiados, en términos de disminuir los niveles de ruido. Sin embargo, subir el mAs, se conoce que aumenta mucho más la dosis en pacientes [11-15], por tanto desde el punto de vista de la protección radiológica, la variante de aumentar el kVp es más favorable que la de aumentar el mAs, siempre y cuando se analice numéricamente la pérdida de contraste imagen que esto implique para los objetivos del estudio médico orientado.

El análisis de resolución de contraste, a partir de los resultados del Modelo de Rose, puede ser apreciado en la tabla IV

Tabla I V Valor de algunas medidas objetivas para iguales condiciones de adquisición (150mAs, 120 kVp, 3 mm espesor de corte)				
Tomógrafo	SNR de Rose		CNR	
	sección 2	sección 5	sección 2	sección 5
P h i l i p s Brilliance	40 ±2.	35 ±2.	10 ±0.5	11±1.
S i e m e n s Sensation 64	21 ±1	18±1.5	10 ±0.5	11±1.

Para el rango dinámico utilizado, correspondiente a estudios de cerebro (entre 35 y 70 Unidades de Hunsfield, UH) las secciones tejido equivalentes donde se ubicaron las ROI se corresponden con: Sección 2, materia blanca, entre 30 y 35 UH, la sección 3 se corresponde con agua (0 UH), la sección 4 se corresponde con líquido céfalo- raquídeo con una variación entre 17 y 22 UH y por último la sección 5 se corresponde con materia gris, con valores entre 40 y 45 UH. Se aprecia que las secciones 2 y 5 son muy semejantes en cuanto a su densidad de tejido equivalente, incluso desde el punto de vista visual no son visibles las diferencias sobre las imágenes. Numéricamente, sin embargo, para la mayoría de los valores de mAs, kVp y espesor de corte muestreados para ambos tomógrafos, la SNR de Rose detecta esas pequeñas diferencias y lo hace de un modo más sensible que otras medidas tradicionales, ya que el diseño propio de la medida está hecho específicamente en función de la resolución de contraste [8].

Merece la pena resaltar que a partir de la utilización del Modelo de Rose detectamos que mientras que la resolución de contraste fue prácticamente independiente de las condiciones de adquisición, el límite de detectabilidad sí se puede afectar en ambos tomógrafos (y principalmente en el Siemens Sensation 64) a bajos valores de mAs, por incremento del ruido aleatorio. Aunque en nuestro experimento la sección de señal más débil (sección 4) siempre fue observada, el contraste imagen empeora apreciablemente con la disminución del mAs por incremento del ruido y la SNR de Rose también es sensible a este hecho. El elemento ruido aleatorio debe ser tenido en cuenta al optimizar dosis vs. calidad de imagen, porque en condiciones reales de práctica de rutina hospitalaria con pacientes, lesiones pequeñas cerebrales de muy bajo contraste que se adquieran con muy bajos mAs podrían perderse [5,10,11] con estas tecnologías.

La siguiente tabla muestra la variación del Índice de Kermaire (Ca 100 (mGy)) para diversas condiciones de adquisición con ambos tomógrafos.

Tabla V Índice de Kerma-aire en aire para diversas condiciones de adquisición.			
Tecnología	mAs	kVp	Ca 100 (mGy)
P h i l i p s Brilliance	150	120	38.62
	200		51.07
	250		66.00
	300		77.85
	350		89.10
S i e m e n s Sensation 64	100	100	8.22
	150		12.33
	200		16.44
	200	120	27.52

Se aprecia que similares condiciones de adquisición dan lugar a dosis muy diferentes con ambos tomógrafos, siendo menores con el Siemens Sensation 64. Esto se deriva principalmente de la colimación, que es diferente en ambas tecnologías, así como de las características constructivas y de diseño del tubo de rayos X [3,10], por lo que comparativamente sugerimos esta tecnología para estudios pediátricos preferentemente, en aras de disminuir en mayor medida el riesgo radiológico del paciente.

A partir del análisis realizado de calidad de imagen y dosis aportada por cada tecnología para diversas condiciones de adquisición con un mismo maniquí en su región física de resolución de contraste, encontramos como mejores relaciones de compromiso entre ambos factores que conducen a la optimización de los protocolos de escaneo cerebral las siguientes:

Para el Tomógrafo *Philips Brillante 6*: el mAs=250, espesor de corte de 3.0 mm, kVp=120 y t=1.167 seg.

Para el Tomógrafo *Siemens Sensation 64*: mAs=150, kVp=120, espesor de corte 3.0 mm y tiempo de adquisición de 0.5 segundos.

Bajo estas condiciones se logra, con ambas tecnologías, adecuada resolución de contraste con la menor dosis posible. Observamos que para ambos tomógrafos en las condiciones propuestas, la menor SNR de Rose obtenida para la señal más débil del experimento es mucho mayor que el límite de detección visual humano, la resolución de contraste matemáticamente es buena entre tejidos de similar densidad, y visualmente, los niveles de ruido son bastante similares a otras combinaciones que aportan mayores dosis.

La relación entre la dosis y el mAs se ha observado en la práctica investigativa que es lineal [11,13]. Esto implica que una reducción en un 50 % del mAs reduce en igual proporción la dosis, pero incrementa en un 40 % aproximadamente el ruido [10-12]. Como hemos apreciado, el ruido es el principal elemento que afecta la resolución de contraste y sus niveles son

muy diferentes entre tecnologías diversas, por lo que debe ser estudiado para cada tomógrafo como parte de su control de calidad. En este sentido, el modelo aplicado en este trabajo se sugiere como una valiosa herramienta objetiva sencilla para estudiar cada tecnología y obtener condiciones optimizadas de adquisición / procesamiento para cada centro. Este estudio, no obstante, debe extenderse a análisis de calidad de imagen con pacientes, donde otras variables morfo-fisiológicas pueden aportar otras complejidades al análisis de resolución de contraste y optimización de dosis en condiciones de rutina clínica.

CONCLUSIONES

La SNR de Rose reproduce el comportamiento de medidas objetivas tradicionales como CNR y SNR global, así como el análisis visual en la TC cerebral.

Ambos tomógrafos presentaron buena resolución de contraste, al ser capaces de detectar señales numéricamente diferentes para tejidos equivalentes que se diferencian solo en alrededor de 5 UH. De todas las medidas probadas la SNR de Rose fue la más sensible para cuantificar lo anterior.

A partir de los estudios realizados a estos tomógrafos (Philips Brillante 6 y Siemens Sensation 64) se determinaron protocolos optimizados para tomografía cerebral en términos de resolución de contraste vs. dosis.

AGRADECIMIENTOS

Al Proyecto CAPES-MES 44/08 y la Fundación Amparo a la Pesquisa (FAPESB) por facilitar el desarrollo experimental de esta investigación.

- [1] Huda W., Chamberlain C., Rosebaum. "Radiation doses to infants and adults undergoing head CT examinations". *Med. Phys* 28, 343-349 (2001)
- [2] J. M. Boone "Image quality" in *The Essential Physics of Medical Imaging*, 2nd Edition. Edited by Lippincott Williams & Wilkins, pp 367-372 (2002)
- [3] W. A. Kalender. "Computed Tomography Fundamentals Systems Technology, Image Quality, Applications": Publicis Corporate Publishing. Erlangen, pp 255-263 (2005)
- [4] Metz Ch. Metodologic Issues. Conference Proceedings. IV National Forum on Biomedical Imaging in Oncology. Chicago (2003)
- [5] R. C. Warren, "Detectability of low-contrast features in computed tomography," *Phy. Med. Biol.*, 29, 1215-1224 (1984)
- [6] D. M. Marsh and J. F. Malone, "Methods and materials for the measurement of subjective and objective measurements of image quality," *Rad. Prot. Dosim.* 94, pp. 37-42 (2001)
- [7] Boedeker K., Cooper V., McNitt M. Applications of the noise power spectrum in Modern diagnostic MDCT: Part I. *Phys. Med Biol.* 52, 4027-4046 (2007)
- [8] J. Beutel, "Image quality" in *Handbook of Medical imaging, Physics and Psychophysics vol. 1*. Edited by The international society for optical engineering, pp 1123-1146 (2000)
- [9] International Commission on Radiation Units. , "Patient Dosimetry of X Rays used in Medical Imaging," ICRP report (2005)
- [10] R. A. Miller Clemente , M. Pérez, M. Manso, "Estrategias de optimización de la dosis al paciente en Tomografía Computarizada: un enfoque sistémico," Monografía. Universidad de Oriente, ISBN 959-207-191-8, (2006)
- [11] M. F. McNitt-Gray, "Tradeoffs in CT Image Quality and Dose," *Report of Radiology*, (2003)
- [12] H. G. Menzel, "European Guidelines on Quality Criteria for Computer Tomography," in *Quality Criteria for Computed Tomography*, Edited by E. C. S. R. P. Actions (1997)
- [13] D. Brenner and E. Hall, "Computed Tomography: an increasing Source of Radiation exposure.," *N Engl J. Med*, 357, 2277-2284 (2007)
- [14] E. Hatziouiriannou. "A contribution to the establishment of diagnostic reference levels in CT.," *Br. Journal of Radiology* 76, 541-545 (2003)
- [15] G. Brigg, "Radiation exposure in multi-slice vs. single slice CT. Results of a nationwide survey.," *Radiology*, 13, 546-552 (2003)

ESCHERICHIA COLI ACTIVITY CHARACTERIZATION USING A LASER DYNAMIC SPECKLE TECHNIQUE

EVELIO E. RAMÍREZ-MIQUET†, LUIS MARTÍ-LÓPEZ AND ORESTES R. CONTRERAS-ALARCÓN.

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN). Calle 30, No. 502, Miramar, Playa, La Habana, Cuba; ermiquet@ceaden.edu.cu†
†corresponding author

Se presentan los resultados de la aplicación de la técnica de speckle dinámico a la caracterización de actividad bacteriana. La actividad de los patrones de speckle fue detectada en placas Petri de dos compartimientos. Un compartimiento fue inoculado y el otro se utilizó como muestra de control. Las imágenes de speckle fueron procesadas por el método de las diferencias temporales recientemente propuesto. Se realizaron dos pruebas experimentales con tres concentraciones de inóculo diferentes de 0.3, 0.5 y 0.7 McFarland para un total de seis experimentos. Se calcularon las dependencias en el tiempo de la media, la desviación estándar y otros descriptores de la actividad de la evolución de los patrones de speckle correspondientes a la actividad bacteriana y a la actividad del medio de control. En conclusión, la técnica de speckle dinámico propuesta permite caracterizar la actividad de bacterias *Escherichia coli* en medio de cultivo sólido.

The results of applying a laser dynamic speckle technique to characterize bacterial activity are presented. The speckle activity was detected in two-compartment Petri dishes. One compartment was inoculated and the other one was left as a control blank. The speckled images were processed by the recently reported temporal difference method. Three inoculums of 0.3, 0.5, and 0.7 McFarland units of cell concentration were tested; each inoculum was tested twice for a total of six experiments. The dependences on time of the mean activity, the standard deviation of activity and other descriptors of the speckle pattern evolution were calculated for both the inoculated compartment and the blank. In conclusion the proposed dynamic speckle technique allows characterizing the activity of *Escherichia coli* bacteria in solid medium.

Keywords. Dynamic speckle, bacterial activity, image processing, temporal difference.

INTRODUCTION

Microbiological media such as semen, parasites and bacteria may vary their surface roughness, refractive index, scattering and absorption coefficients and other optical properties in time. If one of such systems is illuminated with coherent light, the speckle pattern of the scattered light also varies in time. The so-called dynamic speckle method exploits the just described causal link to reveal and to follow up such kind of changes. [1-7]

There are several reports on the application of the laser dynamic speckle to characterize biological media dynamics.[4-7] Other methods like infrared thermography,[8-9] microcalorimetry,[10] flow cytometry[11] and optical coherence tomography,[12] have also been employed to describe bacterial activity in liquid and solid media. However, those techniques require expensive equipment and also a well-trained personal to carry out the experimental work. The dynamic speckle technique is simple and practical and the assays based on its principles require minimal resources. Therefore, this technique has many advantages over previously mentioned ones.

To investigate this sort of biological media the recently reported temporal difference method suitable for speckle pattern change detection was employed.[6] In this method, two digi-

talized speckle images separated by a time interval are subtracted one from the other to detect whether the speckle pattern has changed or not. Therefore, from a sequence of K speckle images a new sequence of $K-1$ difference images is obtained as shown in Equation 1.

$$D(m, n, k) = |E(m, n, k+1) - E(m, n, k)| \quad (1)$$

Here, $E(m, n, k)$ is the captured irradiance distribution of each image and $D(m, n, k)$ the modulus of the difference of the irradiance of two consecutive images, m and n represent the spatial indices of every pixel and k represents the temporal component of the image sequence.

To describe the evolution in time of the speckle images several descriptors are used.

Equations 2 and 3 show the expressions for the mean (D_{MEAN}) and the standard deviation (D_{STD}) of $D(m, n, k)$, where N and M are the detector length and width in terms of pixels.

$$D_{MEAN}(k) = \frac{1}{MN} \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M D(m, n, k) \quad (2)$$

$$D_{STD}(k) = \left(\frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M [D(m,n,k) - D_{MEAN}(m,n,k)]^2}{(N-1)(M-1)} \right)^{1/2} \quad (3)$$

The mean consists on summing the irradiance values and dividing them by the amount of pixels. The D_{STD} has a derivative meaning represented in finite difference form. Using the relation between the derivate and the changes in the speckle pattern, the activity can be characterized.

Another descriptor that can be employed is the cumulative activity D_{CUM} represented in Equation 4. It is a temporal representation of the sum of the mean values of the activity. It permits analyzing the integral of the mean activity in time.

$$D_{CUM}(m,n,k) = \sum_{k=1}^K D_{MEAN}(m,n,k) \quad (4)$$

The present work is aimed to a) test a laser dynamic speckle technique combined with the above described temporal difference method for characterizing bacterial activity, b) to verify that the speckle activity of a medium inoculated with bacterial strains clearly differentiates from the activity of a non-inoculated medium, c) to test if different concentrations of the inoculum present different onset times and the phases of growth as Monod[13] defined.

The structure of the work is as follows. In section 2 the setup and the experimental procedure are described. In section 3 the results are analyzed. Afterwards the conclusions, the acknowledgments and the references are presented.

MATERIALS AND METHODS

The proposed dynamic speckle technique and the temporal difference method were tested for the characterization of *Escherichia coli* (*E. coli*) activity in time. This bacteria is typically located inside mammalian intestine and therefore in the sewage, and it is related to some hetero-pathogenic, hetero-toxicogenic, hetero-invasive and hemorrhagic diseases.[14-15] Therefore, colony forming unit (CFU) counting of *E. coli* is used as a contamination index of water and food.[15] Additionally, *E. coli* bacteria are a good model for studying bacterial growth dynamics under different conditions.

In the experimental series two-compartment Petri dishes were employed. Both compartments were prepared with the same nutrient medium (Mueller Hinton Agar), but *E. coli* strains were seeded only in one of them. The other one was left as a control blank. Three different inoculum concentrations were tested: 0.3 McFarland, 0.5 McFarland and 0.7 McFarland equivalents to 8.9×10^7 CFU/mL, 1.5×10^8 CFU/mL and 2.1×10^8 CFU/mL of the strain *E. coli* ATCC (25922). The experiment

with each concentration was repeated twice for a total of six experiments. The strains, at different inoculum concentration, were plated using the calibrated swab technique and incubated to give confluent growth, according to the standard procedure.[16]

Figure 1 shows a scheme of the setup. The 90mm two compartment Petri dish (1) is illuminated by the laser diode (2) (Sanyo DL3147-060, wavelength 650 nm, 7 mW output power) which is coupled to a convex lens to form a $40\text{mm} \times 30\text{mm}$ spot on the Petri dish. The photographic objective (3) (Krasnogorsky factory S. A. Sverev, Industar 61 L/D) has a 50 mm focal distance and is coupled to the detector array (4) of a Vi-micro USB CMOS camera ZC0301PLH. The foregoing described device is placed in an incubator (5) that has been stabilized at $(37 \pm 0.5)^\circ\text{C}$, which is reported to be the optimum temperature for *E. coli* growth to be produced.[17-18] The signal coming from the CMOS camera is introduced in the computer (6) through an USB port. The computer controls the speckle images capture and also process the information using codes programmed in MATLAB™ R2008a.

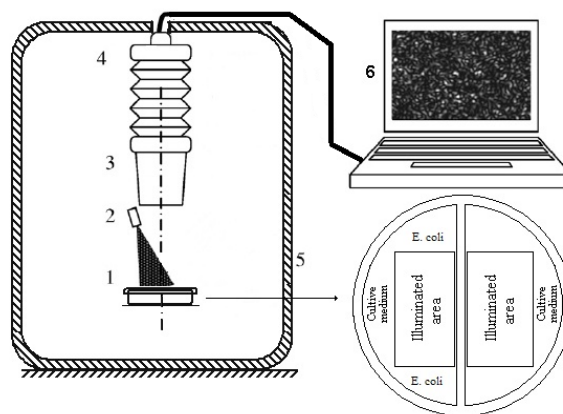


Figure 1. Scheme of the set-up. Petri dish illuminated by the laser light. *E. coli* strains are seeded in one of the compartments.

The experimental procedure can be summarized as follows:

1. The Petri dish with the culture medium is prepared.
2. The incubator and the laser diode are energized. The system reaches the steady state.
3. The strains are seeded in one of the Petri dish compartments.
4. The Petri dish is properly placed in a way that both compartments are illuminated. The CMOS camera is adjusted so that a fully developed speckle pattern can be observed in the computer screen.
5. The incubator is hermetically closed.
6. The captures program is executed and during 24 hours a speckled image is captured every 15 minutes for a total of 96 images.
7. The obtained images are processed.

RESULTS

Figure 2 shows a 24-hours sequence of speckle images of the Petri dish. It can be clearly observed the evolution of the speckle pattern of the compartment labeled B sown with a strain of E. coli with 0.5 McFarland, while the image of the control compartment, labeled as A, does not present changes of its speckle pattern. The effect of the bacterial activity on the speckle pattern is evident.

Figure 3-4 show the D_{MEAN} and D_{STD} descriptors of the speckle pattern activity for every tested inoculum concentration. The activities for the compartment with strains onset and the culture medium did not onset and its activity values remained quite similar when the experiment was repeated. The cumulative activities in Figure 5 also make evident the difference between the activities of the medium and that one corresponding to the E. coli.

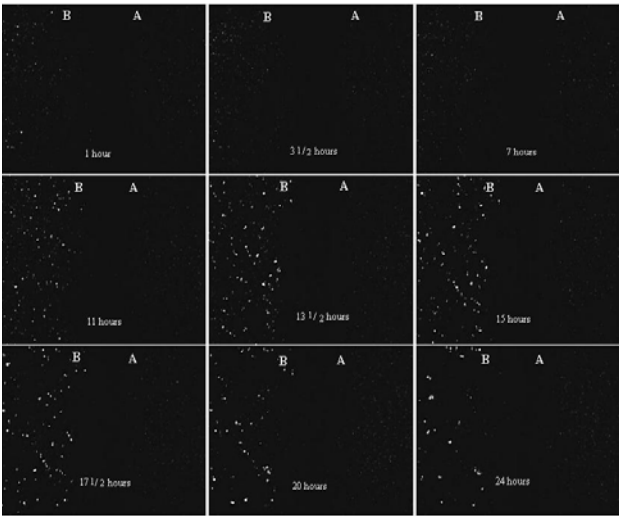


Figure 2. Temporal sequence of the speckle images of a Petri dish where the strains were sown with 0.5 McFarland.

The results obtained with descriptors D_{MEAN} and D_{STD} find analogies with the bacterial growth cycle defined by Monod.[13] Activities represent a lag phase during the first hours. Afterwards, the onset of the E. coli activity takes place and it produces in an exponential way, resembling the so-called exponential phase. A stationary phase comes next and in the end, a death phase can be observed. Figure 6 shows that if the contribution of the solid medium to the cumulative activity is subtracted from the E. coli cumulative activity, it resembles the first three bacterial growth phases.

This means that the bacterial growth has the greater contribution to the activity. However, during the lag phase and the stationary phase in Figures 3-4, the activities values also vary. This occurs due to the contribution the other processes have to the system dynamics. These other processes are the movement inherent to the bacteria, the bacterial metabolism expressed mostly in the excretion and the culture medium water evaporation.

Table I contains the results of the fitting for the exponential phase for every experiment. The activity was fitted in the interval [tonset ; tmax]. The results yielded that an expression like Equation 5 is adequate to describe the behavioral activity of the biological system in this phase.

$$y = e^{a+bt+ct^2} \tag{5}$$

In Equation 5, y represents the activity and t represents time.

Table I Results for the fitting of activity in the exponential phase.				
Inoculum Concentration (McFarland)	a	b	c	R ²
0.7 Exp 1	-1.99699±0.5509	0.65668±0.1416	-0.02202±0.0089	0,9784
0.7 Exp 2	-6.30007±0.8272	1.7224±0.19626	-0.08345±0.0115	0.9776
0.5 Exp 1	-12.69155±1.1659	3.37399±0.2873	-0.18763±0.0175	0.9845
0.5 Exp 2	-13.23182±0.7695	3.81738±0.21346	-0.23278±0.0147	0,9968
0.3 Exp 1	-4.97215±0.7343	1.43203±0.18421	-0.07276±0.0114	0.9830
0.3 Exp 2	-7.66466±0.8647	1.89003±0.2022	-0.08881±0.0117	0.9904

The criterion employed for the determination of the onset time of the bacterial activity is based on the following consideration. The medium activity is subtracted from bacterial activity. When activity values increase and the relative difference between two consecutive values is higher than 10% then it will be considered that the activity due to bacteria has onset.

Table II contains the results of the onset time for every experiment with different inoculum concentrations.

Table II Results for the fitting of activity in the exponential phase.				
Concentration	Exp	Onset time	Mean Activity	Relative Difference
0.7 McFarland	1	4.75 hours	1.2408 a.u	11%
0.7 McFarland	2	4.75 hours	1.1114 a.u	15%
0.5 McFarland	1	5.75 hours	1.1346 a.u	18%
0.5 McFarland	2	5. 5 hours	1.5109 a.u	39%
0.3 McFarland	1	6 hours	1.6375 a.u	41%
0.3 McFarland	2	6.25 hours	1.3830 a.u	23%

The onset time for the higher and medium concentration are

similar to those reported by Hans et al.[8] and Hernández-Eugenio et al.[9] using thermal images. They detected *E. coli* presence in five hours. Therefore the dynamic speckle based method is able to obtain the same result using a low-cost configuration.

An order of difference in the amount of cells that were sown was significant to the onset time. The difference in the activity onset time for those experiments using 0.3 and 0.7 McFarland was almost two hours.

These experimental results make evident that the laser dynamic speckle technique detects *E. coli* activity and the temporal difference method permits its characterization.

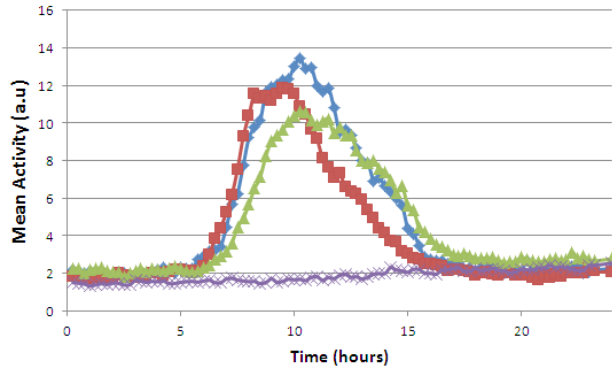


Figure 3. Mean Activities for 0.7 McFarland (blue), for 0.5 McFarland (red) and for 0.3 McFarland (green) and for Culture Medium (violet).

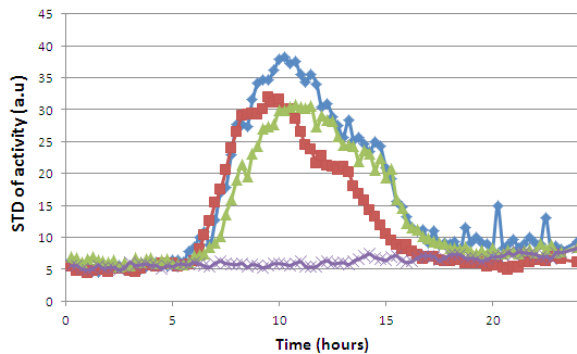


Figure 4. STD Activities for 0.7 McFarland (blue), for 0.5 McFarland (red) and for 0.3 McFarland (green) and for Culture Medium (violet).

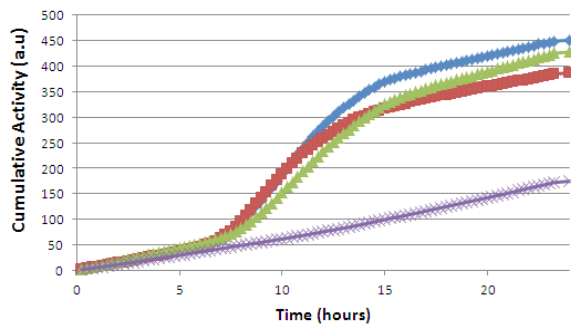


Figure 5. Cumulative Activities for 0.7 McFarland (blue), for 0.5 McFarland (red) for 0.3 McFarland (green) and for Culture Medium (violet).

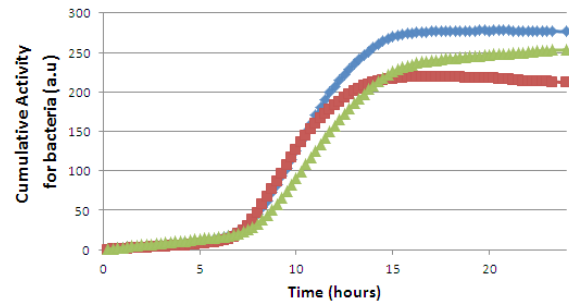


Figure 6. Cumulative Activities due to bacteria for 0.7 McFarland (blue), for 0.5 McFarland (red) and for 0.3 McFarland (green).

CONCLUSIONS

The dynamic speckle method combined with the temporal difference processing permits the characterization of the *E. coli* activity in Petri dishes. It not only differentiate the activity of the inoculated compartment from the non-inoculated one but also was able to detect differences in the onset time of bacteria growth for three inoculums of 0.3 McFarland, 0.5 McFarland and 0.7 McFarland. Furthermore, the speckle descriptors D_{MEAN} and D_{STD} presented analogies with all bacterial growth phases, while the accumulated activity D_{CUM} reproduces three of them.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was carried out in the frame of the project “Fase” (Phase) of AENTA (CITMA, Cuba) with support of CEADEN. Special thanks to the staff of the DIRAMIC Microbiology Laboratory at CNIC for support and collaboration. Also thanks to Dr. Luz Marina Miquet, Dr. Efrén Andrades, Lic. Grether Barrera and Dr. Dinorah Hernández for their help.

- [1] R. Arizaga, M. Trivi, H. Rabal, “Speckle time evolution characterization by the co-occurrence matrix analysis,” *Optics & Laser Technologies* 31 163-169 (1999).
- [2] R. Arizaga, N. L. Cap, H. Rabal, M. Trivi, “Display of local activity using speckle patterns,” *Opt. Eng.* 41(2) 287-294 (2002).
- [3] A. Mavilio, M. Fernández, M. Trivi, H. Rabal, R. Arizaga, “Uso de la granulometría para el estudio de patrones de speckles dinámicos,” *Rev. Cub. Física* vol. 27 No. 1 p.34-41 ISSN: 0253-9268 (2010).
- [4] C. M. Waterman-Storer, A. Desai, J. C. Bulinski, E.D. Salmon, “Fluorescent speckle microscopy, a method to visualize the dynamics of protein assemblies in living cells,” *Current Biology* 8, 1227-1230 (1998).
- [5] C. I. Cabello, G. Bertolini, S. Amaya, R. Arizaga, M. Trivi, “Hydrophilic character study of silica-gel by a laser dynamic speckle method,” *Rev. Cub. Física* vol.25 No.2-A p.67-69 ISSN: 0253-9268 (2008).
- [6] L. Martí-López, H. Cabrera H, R. A. Martínez-Celorio, R. González-Peña, “Temporal difference method for processing dynamic speckle patterns,” *Opt. Com.* 283 4972-4977 (2010).
- [7] H. J. Rabal, R. A. Braga, “Dynamic laser speckle and Applications” in: Chapter 1; page 1, 22. Rochester, New York: Brian J. Thompson, (2009).
- [8] F. Hahn, G. Hernández, E. Echevarría, E. Romanchick, “*Escherichia coli* detection using thermal images,” *Canadian Biosystems Engineering* vol. 48 (4), 7-13 (2006).

- [9] G. Hernández-Eugenio, E. Echevarría-Landín, F. Hahn-Schlam, "Detección del crecimiento de *Escherichia coli* con termografía infrarroja," *Agrociencia, Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* vol. 41 No. 5 ISSN 1405-3095 (2007).
- [10] P. L. Volpe, "Flow microcalorimetric measurements of the antibacterial activity of the homologous series m-alkoxyphenols and p-hydroxybenzoates on *Escherichia coli*," *J. Braz. Chem. Soc.* vol.8 no.4 (1997).
- [11] K. Skarstad, H.B. Steen, E. Boye, "Cell cycle parameters of slowly growing *Escherichia coli* B/r studied by flow cytometry," *J. Bacteriol.* 154 (2), 656-62 (1983).
- [12] W. Tan, A. L. Oldenburg, J. J. Norman, T. A. Desai, and S. A. Boppart, "Optical coherence tomography of cell dynamics in three dimensional tissue models," *Opt. Exp.* 14, 7159-7171 (2006).
- [13] J. Monod, "The growth of bacterial cultures," *Annu. Rev. Microbiol.* 3, 371-394 (1949).
- [14] F. S. Colwell, E. R. Leadbetter, "Prokaryotic diversity form, ecophysiology, and habitat," in *Manual of Environmental Microbiology*. pp. 20-34. American Society for Microbiology Press (2007).
- [15] A. P. Dufour, "Escherichia coli: The fecal coliform. Bacterial Indicators/Health Hazards Associated with Water," page 48-58. Philadelphia, USA. American Society for Testing and Materials (1977).
- [16] A. J. Salle, "Bacteriología" 4ta Edición in: Cap 7: Técnica de los cultivos puros; pág 159-75. Edit. Gustavo Gili S.A.,(1960).
- [17] J. A. Mongold, A. F. Bennett, R. E. Lenski, "Evolutionary Adaptation to temperature. IV. Adaptation of *Escherichia coli* at a niche boundary," *Evolution*, 50 (1), pp. 35-43 ISBN 978-1-55581-379-6 (1996).
- [18] A. A. Hajna, C. A. Perry, "Optimum temperature for the differentiation of *Escherichia coli* from other coliform bacteria," *J. Bacteriol.* 38 (3), 275-283 (1939).

EFICACIA LUMINOSA EN SUPERFICIES HORIZONTALES EN LA ESTACIÓN DE RADIACIÓN SOLAR E ILUMINACIÓN DE ALTA CALIDAD DEL IDMP EN MADRID

M. GONZÁLEZ REDONDO^A, A. SOLER^A, C. MORÓN^B Y A. GARCÍA^B

Grupo de Sensores y Actuadores, Universidad Politécnica de Madrid

a) Dpto. de Física e Instalaciones Aplicadas a la Edificación. ETS Arquitectura; mer.gonzalez@upm.es†

b) Dpto. de Tecnología de la Edificación. EU Arquitectura Técnica

†autor para la correspondencia

En la estación de radiación solar e iluminación de alta calidad del International Daylight Measurement Program (IDMP) en Madrid, ubicada en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid (40° 25' N, 3° 41' W) se ha realizado un estudio detallado sobre la eficacia luminosa de la radiación global, difusa y directa en superficies horizontales para todo tipo de cielos (despejados, cubiertos y parcialmente cubiertos). La parte experimental ha consistido en tomar medidas durante 5 segundos cada 15 minutos, diariamente, de iluminancias e irradiancias globales y difusas durante 15 meses, a partir de las cuales se han deducido modelos para determinar iluminancias, irradiancias y eficacias luminosas de la radiación solar para todo tipo de cielos en función de la altitud solar, considerando pequeños intervalos de 2,5°. El principal resultado obtenido es constatar que es posible deducir un modelo de eficacia luminosa a partir de modelos de iluminancia e irradiancia obtenidos previamente, muy útiles para estimar los niveles de iluminación en la edificación.

At the solar radiation and daylighting Spanish station of the International Daylight Measurement Program (IDMP) located at the Technical School of Architecture in Madrid (40° 25' N, 3° 41' W) we have studied the luminous efficacy of global, diffuse and direct solar radiation on a horizontal surface for all sky conditions (clear, overcast and intermediate). The experimental data used are mean hourly values of global and diffuse illuminances and irradiances measured on a horizontal surface during 15 months. We have used these data to develop the empirical models for illuminance, irradiance and luminous efficacy of global, diffuse and direct solar radiation, for all sky conditions as a function of the solar altitude α at every 2,5° interval. The main result is verify that is possible to develop a luminous efficacy model from illuminance and irradiance models developed previously, that is very useful to estimate daylighting levels in building.

Palabras Clave. Eficacia luminosa 88.05.Tg, iluminación natural 88.40. mx , radiación solar 88.40.fc.

INTRODUCCIÓN

El proyecto del Internacional Daylight Measurement Program (IDMP) de la Comisión Internacional de la Iluminación con sede en Viena (Austria) comenzó en el año 1991 y dispone actualmente de 48 estaciones especializadas en todo el mundo en medidas de radiación solar e iluminación de alta calidad, lo que le hace ser una buena fuente de información climática para muchos campos de investigación distintos. Una de ellas es la estación española de Madrid, ubicada en la terraza de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de la Universidad Politécnica de Madrid (40° 25' N, 3° 41' W) que entró en este programa IDMP en el año 1993. Dentro de la clasificación de los climas de Köppen el símbolo para la parte central de España donde está localizada esta estación es Csb, que corresponde a clima lluvioso con estación seca en verano.

Desde entonces en esta estación se han realizado medidas con los distintos tipos de cielo (despejados, cubiertos y parcialmente cubiertos): de iluminancias globales y difusas, irradiancias globales y

difusas, luminancias y luminancias cenitales, obteniéndose a partir de éstas muchos trabajos y resultados, algunos de los cuales se exponen a continuación.

Conocer el flujo luminoso incidente en una superficie exterior es necesario para diferentes objetivos entre los que destacan poder estimar los niveles de iluminación en recintos y obtener distribuciones de iluminancias para cuantificar ahorros energéticos con el uso adecuado de controles fotoeléctricos.

EFICACIAS LUMINOSAS DE RADIACIÓN SOLAR EN SUPERFICIES HORIZONTALES

La magnitud física que mide la parte de energía electromagnética de la radiación solar que se usa para iluminar se denomina eficacia luminosa (K) y se obtiene dividiendo la iluminancia L (lux = lm/m²) entre la irradiancia E (W/m²).

$$K = \frac{L}{E} \text{ (lm/W)} \quad (1)$$

Tanto la iluminancia como la irradiancia son magnitudes que se pueden medir directamente en nuestra estación IDMP en Madrid. Para este estudio se han tomado medidas durante 5 segundos cada 15 minutos, diariamente, de iluminancias global (Lg) y difusa (Ld) y de irradiancias global (Eg) y difusa (Ed) en superficies horizontales, durante 15 meses, en función de la altitud solar (α) considerando pequeños intervalos de 2,5°.

A partir de estas medidas se han obtenido modelos empíricos para determinar iluminancias e irradiancias globales y difusas en función de la altitud solar (α) para los distintos tipos de cielo, que posteriormente se han utilizado para deducir los valores de las eficacias luminosas correspondientes.

El modelo general propuesto para la iluminancia y la irradiancia, así como la posterior eficacia luminosa de la radiación solar en superficies horizontales es de la forma:

$$K = A (\text{sen } \alpha)^B e^{-C\alpha} \Delta^{-D} \quad (2)$$

siendo A, B, C y D coeficientes empíricos locales relativos a las condiciones de cielo. Para cielos despejados, por ejemplo, el término Δ desaparece dado que D es aproximadamente nulo, pero cuando aumenta la nubosidad D empieza a ser más relevante.

EFICACIA LUMINOSA GLOBAL

A partir de los datos experimentales registrados de iluminancias globales (Lg) e irradiancias globales (Eg) para distintos valores de la altitud solar (α) con cielos despejados y utilizando la ecuación (1) para la eficacia luminosa global (Kg):

$$K_g = \frac{L_g}{E_g} \quad (3)$$

se calculan los valores de ésta en función de la altitud solar cada 2,5°.

De las medidas de iluminancias e irradiancias globales para cielos despejados se han deducido los modelos con las expresiones siguientes[1,2,3]:

$$L_g = 150,07 \cdot 10^3 (\text{sen } \alpha)^{1,301} e^{-0,005\alpha} \text{ (lux)} \quad (4)$$

$$E_g = 1159,24 (\text{sen } \alpha)^{1,179} e^{-0,0019\alpha} \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (5)$$

que tras introducirlas en la ecuación (3) se deduce el modelo para calcular la eficacia luminosa de la radiación solar global en cielos despejados en función de la altitud solar:

$$K_g = 129,46 (\text{sen } \alpha)^{0,122} e^{-0,0029\alpha} \text{ (lm/W)} \quad (6)$$

Para comprobar la exactitud del modelo se han calculado los valores de eficacia luminosa a partir de los datos experimentales registrados de iluminancias e irradiancias para distintos valores de α y se han representado en la figura 1, donde también se representa la curva que responde al modelo propuesto.

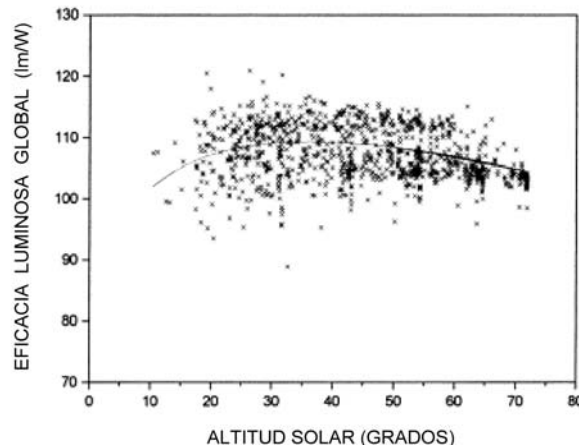


Figura 1. Eficacia luminosa global para cielos despejados: datos experimentales y resultado del modelo.

Para cielos cubiertos o parcialmente cubiertos[4] hay que añadir en la ecuación (6) el factor $\varphi_L(\Delta)$ correspondiente al índice de brillo.

De los datos experimentales de iluminancias para todo tipo de cielos se obtiene el factor $\varphi_L(\Delta)$ como el cociente entre la iluminancia global en cielos cubiertos (Lgc) y la iluminancia global en cielos despejados (Lg) [4]:

$$\varphi_L(\Delta) = \frac{L_{gc}}{L_g} = 1,620 \Delta^{0,930} \quad (7)$$

Análogamente para los valores de irradiancias globales se obtiene $\varphi_E(\Delta)$ como el cociente entre la irradiancia global con cielos cubiertos y la correspondiente a cielos despejados:

$$\varphi_E(\Delta) = \frac{E_{gc}}{E_g} = 1,636 \Delta^{1,035} \quad (8)$$

De donde se deduce el factor correspondiente al índice de brillo de la eficacia luminosa global, $\varphi_K(\Delta)$:

$$\varphi_K(\Delta) = \frac{\varphi_L(\Delta)}{\varphi_E(\Delta)} = 0,990 \Delta^{-0,105} \quad (9)$$

Por tanto, el modelo para determinar la eficacia luminosa global en cielos cubiertos, utilizando las ecuaciones (6) y (9) es:

$$K_{gc} = K_g \cdot \varphi_K(\Delta)$$

$$K_{gc} = [129,46 (\sin \alpha)^{0,122} e^{-0,0029 \alpha}] 0,990 \Delta^{-0,105}$$

$$K_{gc} = 128,16 (\sin \alpha)^{0,122} e^{-0,0029 \alpha} \Delta^{-0,105} \quad (lm/W) \quad (10)$$

EFICACIA LUMINOSA DIFUSA

Los estudios de eficacia luminosa de radiación difusa son menos usuales que los de radiación global pero su cálculo es similar al anterior.

A partir de los datos experimentales de iluminancias e irradiancias difusas en superficies horizontales para cielos despejados y aplicando la ecuación (1) se han calculado los valores de la eficacia luminosa difusa en función de la altitud solar, α , que se representa en la figura 2.

Para cielos despejados se considera como única variable la altitud solar (α), y partiendo de las medidas experimentales se obtienen, en función de $\alpha^{4,5,6}$, los modelos matemáticos siguientes para determinar la iluminancia difusa (L_d):

$$L_d = 16,48 \cdot 10^3 (\sin \alpha)^{0,578} \quad (lux) \quad (11)$$

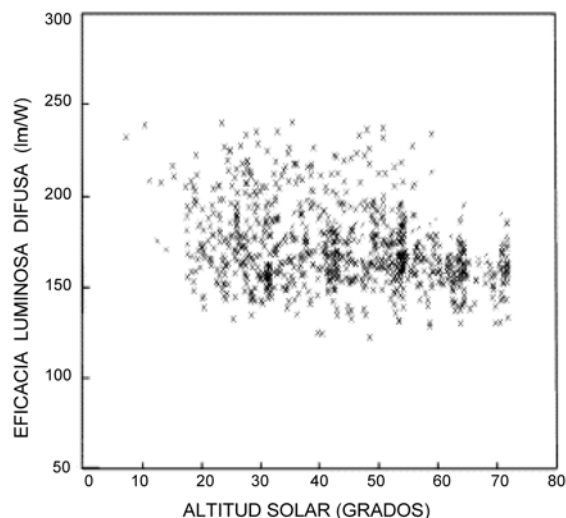


Figura 2. Eficacia luminosa difusa en función de la altitud solar para cielos despejados.

Y la irradiancia difusa (E_d):

$$E_d = 102,57 (\sin \alpha)^{0,692} \quad (W/m^2) \quad (12)$$

Aplicando la ecuación (1) a la radiación solar difusa:

$$K_d = \frac{L_d}{E_d} \quad (13)$$

se deduce el modelo para determinar la eficacia luminosa de la radiación solar difusa para cielos despejados:

$$K_d = 160,67 (\sin \alpha)^{-0,114} \quad (lm/W) \quad (14)$$

Para los otros tipos de cielo se introduce una segunda variable independiente, el índice de brillo (Δ), obteniendo para el mejor ajuste las expresiones siguientes:

$$L_d = 117,09 \cdot 10^3 (\sin \alpha)^{0,942} \Delta^{0,733} \quad (lux) \quad (15)$$

$$E_d = 1350,79 (\sin \alpha)^{0,976} \Delta^{0,999} \quad (W/m^2) \quad (16)$$

A partir de estas expresiones se deduce el modelo para calcular la eficacia luminosa de la radiación solar difusa para todo tipo de cielos:

$$K_d = \frac{L_d}{E_d} = 86,68 (\sin \alpha)^{-0,034} \Delta^{-0,266} \quad (lm/W) \quad (17)$$

EFICACIA LUMINOSA DIRECTA

En la estación IDMP de Madrid se miden iluminancias e irradiancias globales y difusas pero no directas. Las iluminancias directas (L_b) y las irradiancias directas (E_b) se obtienen con las diferencias entre los valores globales y difusos [8].

$$L_b = L_g - L_d \quad (18)$$

$$E_b = E_g - E_d \quad (19)$$

A partir de los valores obtenidos de L_b y de E_b , con cielos despejados, se deducen los modelos [8] para calcular estas magnitudes en función de la elevación sol α :

$$L_b = 161,38 \cdot 10^3 (\sin \alpha)^{1,615} e^{-0,0086 \alpha} \quad (lux) \quad (20)$$

$$E_b = 1201,87 (\sin \alpha)^{1,346} e^{-0,0041 \alpha} \quad (W/m^2) \quad (21)$$

Una vez conocidas las iluminancias e irradiancias directas, utilizando la ecuación (1) para la radiación solar directa:

$$K_b = \frac{L_b}{E_b} \quad (22)$$

y las ecuaciones (20) y (21) se puede deducir el modelo para determinar la eficacia luminosa directa para cielos despejados en función de la altitud solar α , con valores medios calculados para intervalos de 2,5°:

$$K_b = 134,27 (\sin \alpha)^{0,269} e^{-0,0045 \alpha} \quad (lm/W) \quad (23)$$

Los valores medios de K_b obtenidos a partir de los datos experimentales y los dados por el modelo (23) se representan en la gráfica de la figura 3, ambos en función de la altitud solar considerando intervalos de $2,5^\circ$.

Para otro tipo de cielos[9] las expresiones de los modelos de iluminancia y de irradiancia directas se pueden obtener multiplicando las expresiones anteriores por un factor de atenuación $\varphi(\Delta)$, correspondiente al índice de brillo. Para los valores de iluminancias directas se obtiene como el cociente entre la iluminancia directa (L_b) para cualquier tipo de cielo y la iluminancia directa en cielos despejados ($L_{b\text{ desp.}}$):

$$\varphi_L(\Delta) = \frac{L_b}{L_{b\text{ desp.}}} = 1,101 e^{-12,266\Delta^2} \quad (24)$$

Y, análogamente, para las irradiancias directas:

$$\varphi_E(\Delta) = \frac{E_b}{E_{b\text{ desp.}}} = 1,087 e^{-11,053\Delta^2} \quad (25)$$

Una ecuación similar se obtiene para $\varphi_K(\Delta)$:

$$\varphi_K(\Delta) = \frac{\varphi_L(\Delta)}{\varphi_E(\Delta)} = 1,013 e^{-1,213\Delta^2} \quad (26)$$

Por tanto:

$$K_b = 136,02 (\sin \alpha)^{0,269} e^{-0,0045\alpha - 1,213\Delta^2} \quad (lm/W) \quad (27)$$

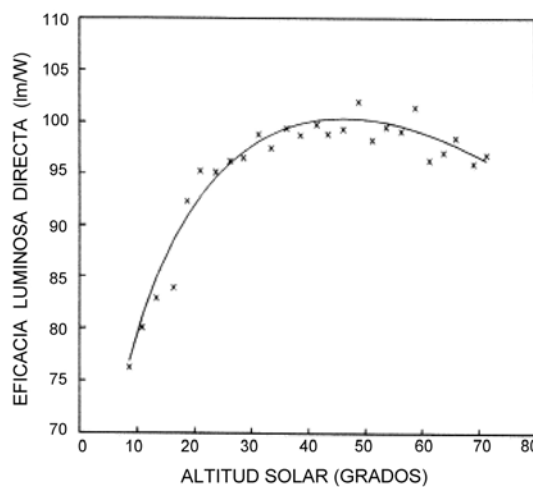


Figura 3. Eficacia luminosa directa con cielos despejados en función de la altitud solar.

CONCLUSIONES

Utilizando los datos experimentales obtenidos en la estación española de la IDMP en Madrid se ha realizado un estudio muy completo en el cual se han deducido varios modelos matemáticos para calcular iluminancias, irradiancias y eficiencias luminosas en superficies horizontales. El principal resultado obtenido es constatar que es posible deducir un modelo de eficacia luminosa a partir de modelos de iluminancia e irradiancia obtenidos previamente. Además, actualmente se dispone de mucha información sobre iluminación en Madrid que se puede aplicar en la edificación: evaluando los sistemas de iluminación, estimando los niveles de iluminancia en recintos con finalidades de diseño y, también, comparándola con el software existente, con la finalidad de obtener un máximo confort visual a partir de iluminación natural, con el consiguiente ahorro energético.

- [1] L. Robledo y A. Soler, "Luminous efficacy of global solar radiation for clear skies". *Energy Conversion & Management*. 41 (2000), 1769-1779.
- [2] A. Soler and L. Robledo, "Global luminous efficacy on vertical surfaces for all sky types". *Renew. Energy* 19 (2000), 61-64.
- [3] A. Soler, "The dependence on solar elevation of the correlation between monthly average hourly diffuse and global radiation". *Solar Energy* 41 (1988), 335-340.
- [4] L. Robledo, A. Soler y E. Ruiz, "Luminous efficacy of global solar radiation on a horizontal surface". *Theoretical and Applied Climatology*. 69 (2001), 123-134.
- [5] L. Robledo y A. Soler, "On the luminous efficacy of diffuse solar radiation". *Energy Conversion & Management*. 42 (2001), 1181-1190.
- [6] A. Soler, "Dependence on solar elevation and the daily sunshine fraction of the correlation between monthly average hourly diffuse and global radiation". *Solar Energy* 48 (1992), 221-225.
- [7] L. Robledo and A. Soler, "Estimation of direct illuminance on a horizontal surface for clear and intermediate skies". *Renew. Energy* 19 (2000), 55-60.
- [8] L. Robledo y A. Soler, "Luminous efficacy of direct solar radiation for clear skies". *Energy* 25 (2000), 689-701.
- [9] L. Robledo y A. Soler, "Luminous efficacy of direct solar radiation for all sky types". *Energy* 26 (2001), 669-67.

DESARROLLO DE UN ESPECTRÓMETRO ÓPTICO PARA INSTALACIONES DE ESTUDIO DEL PLASMA INDUCIDO POR LÁSER

Y. PÉREZ-MORET†, M. ARRONTEA, B. LAMBERT, L. MOREIRA.

Laboratorio de Tecnología Láser, Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), Universidad de La Habana, Cuba; yohanpm@imre.oc.uh.cu†
a) CICATA-IPN, km14.5, Corredor Industrial, Altamira, C.P.: 89600, México; arronte@yahoo.com
†autor para la correspondencia

Se presenta un prototipo de espectrómetro óptico miniaturizado (13 cm X 10 cm), con comunicación USB y entrada por fibra óptica. Desarrollado para las instalaciones de estudio del plasma inducido por láser que actualmente se diseñan en nuestro laboratorio; permitiendo la independencia tecnológica de espectrómetros comerciales y sus respectivos esquemas de medición. El instrumento se compone de un banco óptico tipo Czerny-Turner con red de difracción plana; un detector óptico ILX511 con arreglo lineal de 2048 celdas fotosensibles, un microcontrolador programable PIC18F4550 y una memoria de acceso aleatorio. El código del microcontrolador fue escrito en lenguaje C con el compilador CCS 4.018. Los espectros ópticos adquiridos por el instrumento son enviados hacia una computadora personal a través del bus USB. Para esto último se diseñaron instrumentos virtuales bajo la programación gráfica de LabVIEW 8. La calibración del instrumento se realizó utilizando lámparas espectrales de mercurio y sodio, individualmente. Se capturó el espectro de emisión del plasma inducido por láser del cobre, del magnesio y del plomo, respectivamente.

A prototype of a miniature (13 cm X 10 cm) fiber optic spectrometer with USB communication is presented. This instrument, integrated to laser induced breakdown spectroscopy systems developed in the Laboratory of Laser Technology-IMRE, will make feasible the technology and software independence from commercial spectrometers makers and its imposed measurement outlines. It is composed by a Czerny Turner optical bench, a plane diffraction grating, an optical detector SONY ILX511 containing a lineal arrangement of 2048 photosensitive cells, a programmable microcontroller PIC18F4550 and a random access memory. Microcontroller firmware was written in C language, using CCS 4.018 compiler. Information corresponding to the optic spectrum acquired by the instrument is sent to a personal computer via USB bus using virtual instruments programmed in LabVIEW 8. The calibration of the instrument was carried out with mercury and sodium spectral lamps. Copper, magnesium and lead laser induced plasma emission spectrum was captured.

Palabras Clave. Espectrómetro 07.60.Rd, detector CCD 85.60.Gz, plasma 52.50.Jm.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la instrumentación en la espectroscopia, ha permitido introducir los métodos espectrales en múltiples áreas, como la arqueología[1], el estudio de microorganismos[2] y la electrodeposición[3], entre otras. Sin dudas, una de las herramientas más explotadas en este campo es el espectrómetro óptico (EO).

En 1994 la empresa norteamericana *Ocean Optics* comercializó un espectrómetro en miniatura, el primero sin partes móviles[4] y actualmente ya es posible construir EO en un área pequeña[5, 6] (< 100 mm²). Manzardo et al.[7] desarrollaron un espectrómetro cuya red de difracción forma parte de un circuito integrado.

Una técnica espectral en la que nuestro laboratorio ha invertido recursos, es la espectroscopia de ruptura inducida por láser, conocida por su acrónimo en inglés de LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy).

La técnica LIBS de análisis espectral.

El LIBS emplea un láser pulsado de alta energía para crear plasma de la muestra. En el núcleo del plasma, la temperatura puede sobrepasar los 50000 K (~ 49727 °C). Durante esta fase el material del núcleo es atomizado; en los primeros 0.5 μs a 1.0 μs de formado el plasma, sus especies neutras alcanzan el equilibrio termodinámico[8] y los estados de mayor energía de los átomos son térmicamente ocupados. A medida que el plasma se enfría, el fondo de emisión continua, debido a la emisión de frenado, desaparece rápidamente; haciéndose distinguibles las líneas de los átomos neutros o simplemente ionizados. La lectura con un EO de las líneas de emisión del plasma, permite revelar al material emisor, entre otras características. Algunas de las ventajas del LIBS son:

- Monitorear procesos en tiempo real y remotamente.
- Emplear poca cantidad de muestra (< 10-3g) y en cualquier estado de agregación.
- Fácil preparación de las muestras.
- Es una técnica portátil.

Una desventaja de la técnica radica en su sensibilidad a las variaciones de la energía del pulso láser o de las condiciones ambientales, lo que afecta la formación y crecimiento del plasma. La figura 1 muestra los componentes de una instalación LIBS como las desarrolladas en nuestro laboratorio[10]: el láser, el EO y una computadora personal (PC). La emisión del plasma es adquirida con el EO y este último, a través del bus serie universal (USB), envía el espectro capturado hacia la PC.

Hasta el momento, nuestras instalaciones LIBS utilizan un EO comercial. El EO comercial es un producto cerrado, con software y hardware propietarios que impide su adaptación como parte de nuestras instalaciones LIBS. Dicha problemática es el motivo para desarrollar un EO.

MATERIALES Y MÉTODOS

Banco óptico.

La figura 2 muestra el esquema del EO desarrollado para las instalaciones LIBS de nuestro laboratorio. Los espejos esféricos M1, M2, la red de difracción G de 600 líneas/mm y la fibra óptica F, constituyen el banco óptico, en configuración Czerny-Turner[11, 12] la que permite minimizar el uso del espacio.

La fibra óptica

F tipo AFS50/125Y, además de capturar la radiación del plasma, su núcleo de 50 μm actúa como rendija de entrada del banco óptico. El espejo esférico M2 con distancia focal 50 mm, distribuye las longitudes de onda dispersadas por G sobre el arreglo de celdas detectoras del sensor óptico.

Sensor óptico.

Consiste en un dispositivo de imagen acoplado por carga o CCD; modelo ILX511 de Sony. Posee 2048 celdas detectoras, distribuidas sobre una línea de 29 mm de largo. Cada celda detectora genera e integra cargas eléctricas proporcionalmente a la radiación óptica incidente. El drenaje o lectura del CCD se realiza desplazando secuencialmente el contenido eléctrico de cada celda, hacia el bloque de conversión cargavoltaje. Para drenar el detector, este brinda una línea de reloj (CLK) con lógica TTL. Por cada ciclo de CLK las cargas se desplazan hacia la celda contigua.

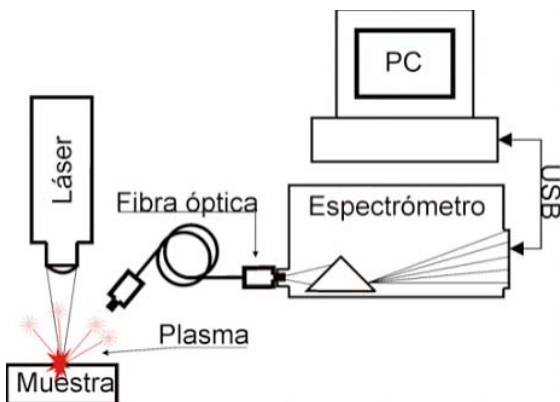


Figura 1. Esquema de Instalación LIBS construida en el labora-

torio de Tecnología Láser del IMRE, Universidad de La Habana.

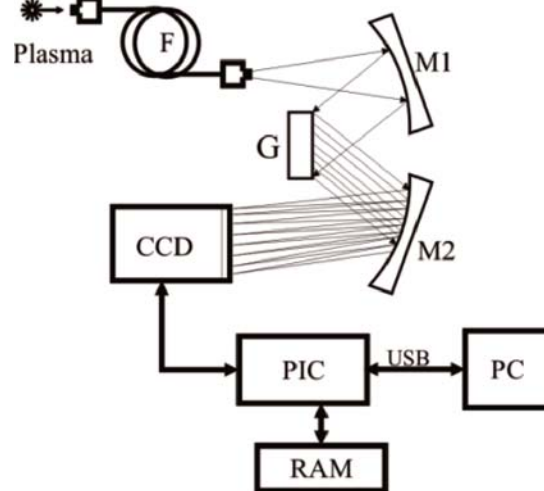


Figura 2. Esquema del espectrómetro óptico desarrollado. La configuración del banco óptico minimiza el uso del espacio.

Bloque de control.

Utilizando un microcontrolador programable tipo PIC18F4550 de Microchip, se implementó la adquisición y almacenamiento en memoria RAM de la data espectral capturada en el CCD y su transmisión USB hacia una PC. La figura 9 anexada es el circuito electrónico del EO, mostrando la conexión del microcontrolador al CCD, a la memoria RAM y al bus USB.

El programa del microcontrolador.

El PIC18F4550 es un dispositivo programable, que requiere la programación de un código con las funciones a implementar. Dicho código fue escrito en lenguaje "C", utilizando el compilador CCS. Un diagrama de flujo del código se muestra en la figura 3. El flujo descrito solo es interrumpido por la llegada de un comando USB desde la PC. Uno de los comandos permite establecer el tiempo de exposición del CCD entre 1 ms y 3000 ms.

Calibración.

Consistió en hallar los coeficientes del polinomio (1). Dicho polinomio asocia una longitud de onda con cada celda del detector CCD. El polinomio (1) fue tomado solo hasta el segundo orden, por la pequeña dispersión angular ($<10^\circ/\text{mm}$) del banco óptico diseñado.

$$\lambda_n = K_0 + K_1 n + K_2 n^2 \quad (1)$$

Siendo λ_n la longitud de onda asignada a la celda "n" del CCD, K [0; 2047] y es un índice que recorre las 2048 celdas del detector. $\bar{K}$, $\bar{K}$ y $\bar{K}$ son los coeficientes de calibración a encontrar. La figura 4 muestra el montaje experimental para obtener los puntos de calibración, tabla 1.

Tabla 1

Puntos de calibración del EO al ser expuesto a una lámpara espectral; a determinadas celdas del CCD se le asocian líneas espectrales conocidas.

Celda	Longitud de onda (nm)	Lámpara
492	435.8335	Hg
919	546.0750	Hg
1054	579.0670	Hg
1097	588.9950	Na

Con los puntos de calibración (tabla 1) y el método de mínimos cuadrados, se generan los coeficientes de calibración (tabla 2) del polinomio (1).

Tabla 2 Coeficientes de calibración generados por mínimos cuadrados.	
Coeficiente (nm)	Error estándar (nm)
$K0 = 296.2$	2.0
$K1 = 0.3$	0.01
$K2 = -2.8E-5$	3.6E-6

Un cambio mecánico de cualquiera de los elementos del banco óptico, obligaría a recalibrar el EO. Los coeficientes de calibración hallados caracterizan a una geometría particular del banco óptico.

Con el EO calibrado se procedió a determinar su resolución espectral, utilizando una lámpara de sodio y el método FWHM (ancho máximo a mitad del máximo de la línea obtenida); aplicado al doblete del sodio (no resuelto por el EO). La resolución del EO resultó ser de 4 nm.

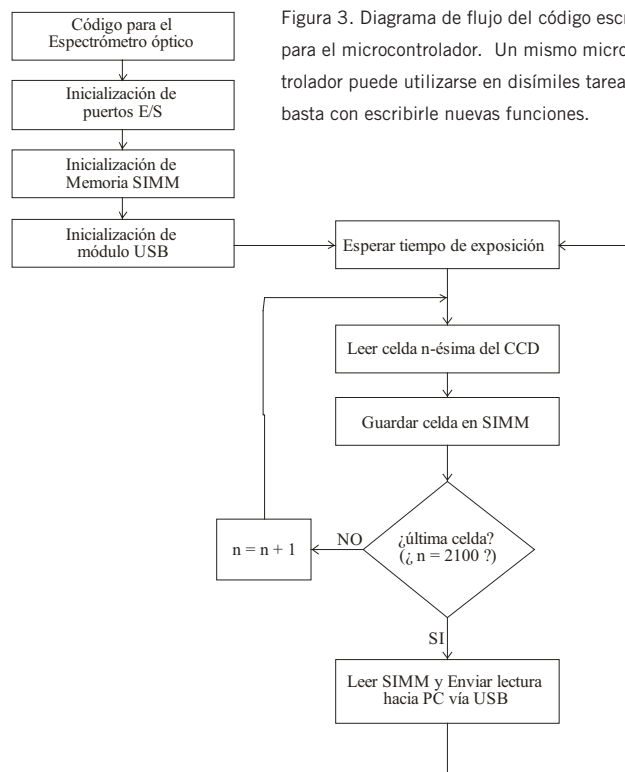


Figura 4. Montaje para calibrar el espectrómetro óptico

Para presentar y almacenar las mediciones del EO en la PC, fue necesario realizar un programa de interfaz de usuario (ver figura 5) para Windows XP, utilizando LabVIEW 8.1.

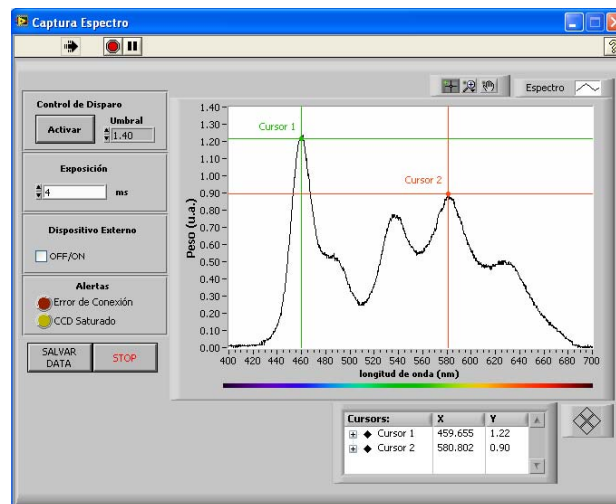


Figura 5. Interfaz de usuario para la PC que controla al EO a través del bus USB; diseñada en LabVIEW 8.1.

RESULTADOS

Para los estudios LIBS con el prototipo de EO, se utilizó el montaje experimental de la figura 1 y tres materiales, cobre, magnesio y plomo, respectivamente. La figura 6 es el LIBS del cobre, capturado con el prototipo (Curva Cu) y con un EO comercial (Curva Cu Patrón), respectivamente. El instrumento comercial fue el USB2000 de Ocean Optics. Las figuras 7 y 8 son mediciones LIBS del magnesio (Curva Mg) y del plomo (Curva Pb), respectivamente.

Los espectros obtenidos con el prototipo se diferencian de los capturados con el comercial, en las bases de líneas correspondientes, hecho atribuido a los diferentes tiempos de exposición empleados, 3ms para el comercial y 5 ms para el prototipo. Este último, a diferencia del comercial, adolece de sincronismo con el disparo láser, por lo cual debe permanecer en modo de adquisición continua, con una ventana temporal mínima de 5 ms para posibilitar la captura del evento LIBS.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un EO para las instalaciones LIBS construidas en el laboratorio de tecnología láser del IMRE, UH, con rango espectral 400 nm - 700 nm y resolución FWHM de 4 nm; eliminando la dependencia tecnológica y esquemas de medición de la contraparte comercial. El uso del bus USB brinda facilidad de conexión, si se tiene en cuenta que una PC moderna posee varios de estos puertos.

Una desventaja del prototipo desarrollado es su incapacidad para sincronizarse con el disparo del láser.

- [1] Giakoumaki, Melessanaki and Anglos, Anal Bioanal Chem 387, 12 (2007).
- [2] M. Lawson, Merlin Lawson 43 (2), 17 (2006).
- [3] D. Orzi and G. Bilmes, Applied spectroscopy 58 (12), 6 (2004).
- [4] J. Macho, Technology tutorial, 3 (2008).
- [5] P. Cheben, A. Delage, A. Densmore, S. Janz, B. Lamontagne, J. Lapointe, E. Post, J. Schmid, P. Waldron and D.-X. Xu, Revista cubana de física 25 (2A), 75-80 (2008).
- [6] G. Overton, in Laser Focus World (2009), Vol. 46.
- [7] O. Manzano, B. Guldemann, C. R. Marxer, N. F. d. Rooij and H. P. Herzig, (2000).
- [8] Fang-Yu Yueh, J. P. Singh and H. Zhang, in Encyclopedia of Analytical Chemistry, edited by R. A. Meyers (John Wiley & Sons, Chichester, 2000), pp. 2066-2087.
- [9] V. Baeten and P. Dardenne, Grasas y Aceites 53 (1), 19 (2002).
- [10] L. Moreira, Universidad de La Habana, 2010.
- [11] JETI, (Jena, 2005), pp. 53.
- [12] Lerner, (Jobin Yvon, 1988).
- [13] SONY, Datasheet Report No. E94108-TE, 2000.

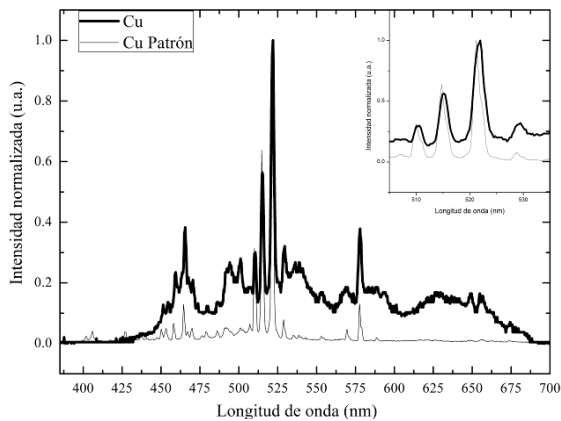


Figura 6. LIBS del cobre (curva "Cu") con el EO desarrollado. En la esquina superior derecha se resaltan líneas espectrales de finitorias del Cu. "Cu"

Patrón" se obtuvo con la misma muestra pero con un EO comercial, note la coincidencia en líneas de ambas lecturas.

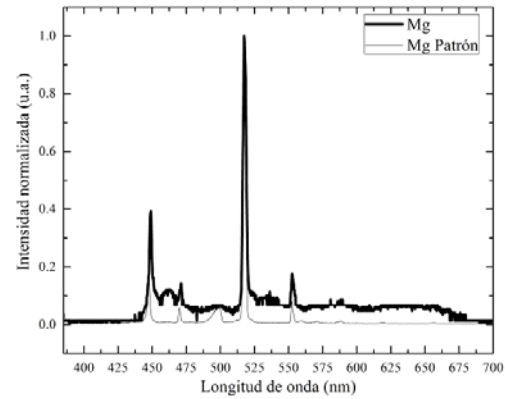


Figura 7. Espectro LIBS del magnesio (curva Mg), adquirida con el EO. El espectro "Mg Patrón" del EO comercial.

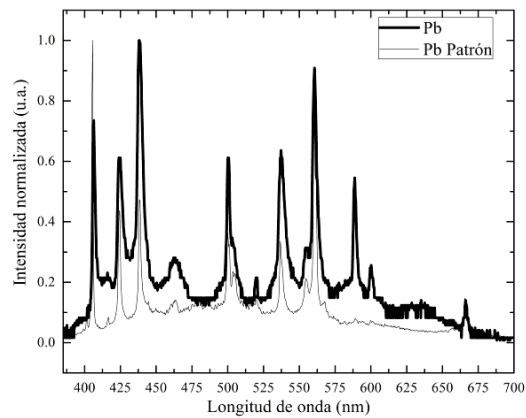


Figura 8. Espectro LIBS del plomo (curva Pb) adquirida con el EO. El espectro "Pb Patrón" corresponde al EO comercial.

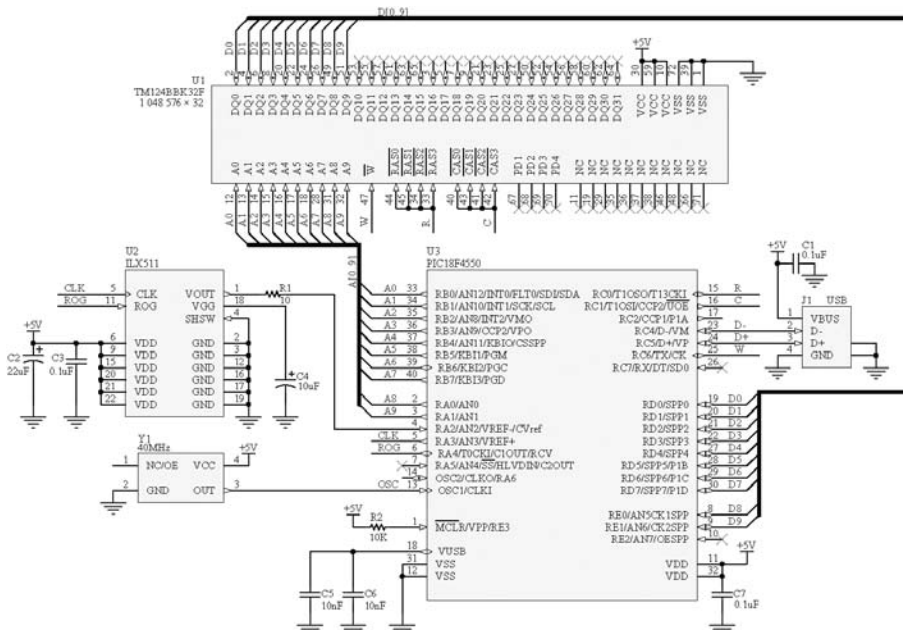


Figura 9. Esquema electrónico del espectrómetro óptico, su montaje ocupa un área de 13 cm X 10 cm .

NUEVO HARDWARE PARA LA MODERNIZACIÓN DE LOS POLARÍMETROS DE LA SERIE LASERPOL

E. ARISTA ROMEU, W. MORA MAZORRA Y V. FAJER ÁVILA

Departamento Desarrollo Instrumentación, Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Cuba.

arista@ceaden.edu.cu †

†autor para la correspondencia

Se discuten las consideraciones para la modernización de los polarímetros de la serie LASERPOL, que consta de los modelos 101M, 3M y LP4. Para este fin se desarrollaron nuevos diseños de los circuitos de control, medición y alta tensión y se escogió una nueva topología constructiva para el equipo. El circuito de control se basará en un micro-procesador de 8 bit tipo PIC, que permitirá brindar nuevas prestaciones y ampliar las posibilidades de uso de los polarímetros de la serie LASERPOL y además facilitará el desarrollo del software básico residente usando herramientas de diseño disponibles. Para el circuito de alimentación de alta tensión del tubo fotomultiplicador se emplea un módulo CD-CD y se analizan las ventajas del nuevo diseño. Se comparan las prestaciones de los nuevos circuitos con las existentes anteriormente y se analiza como estas características pueden ser aprovechadas para la mejora de los algoritmos usados para la elaboración y visualización de los resultados de las mediciones.

Some considerations for the modernization of the LASERPOL series polarimeters, which consists of models 101M, 3M and LP4, are discussed. For this purpose, new designs for the control, measurement and high voltage circuits were developed and a new constructive topology was chosen for the equipment. The control circuit is based on a 8 bit PIC microcontroller that provides new performances, it extends the possibilities of employment of the series LASERPOL polarimeters and besides it facilitates resident software development using readily available design tools. The advantages of the new design for the PMT (photomultiplier tube) high voltage power supply circuit with a DC-DC module are also analyzed.

Palabras Clave. Polarimeters, 07.60.Fs, Digital circuits, 84.30.Sk, Electronic circuits, 07.50.Ek, 84.30.-r.

INTRODUCCIÓN

En el CEADEN (Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear), se producen los polarímetros de la familia LASERPOL.

Estos instrumentos analíticos de precisión fueron concebidos, diseñados y producidos en instituciones cubanas y cuentan con un importante aval de introducción en industrias e instituciones del país e incluso una modesta exportación a instituciones latinoamericanas [1,2,3,4]. Los instrumentos producidos han contado con la verificación y calibración del Instituto de Metrología de Cuba (INIMET)

Entre las aplicaciones logradas podemos mencionar:

Industria farmacéutica.

Los primeros polarímetros LASERPOL cubanos (de pequeño giro LASERPOL 101 y 101M) se introdujeron en la industria farmacéutica, con la colaboración del Ministerio de Salud

Pública de Cuba, en el proceso tecnológico para el control de materias primas y producto terminado, en las tres empresas productoras de sueros de dextrosa para el Sistema Nacional de Salud: Adalberto Pesant y Alberto Paz de ciudad de La Habana y los Laboratorios Oriente de Santiago de Cuba; ejerciéndose el control de la producción nacional de sueros en las tres plantas principales con los polarímetros LASERPOL donde por más de 20 años ha sido posible la aplicación de los polarímetros cubanos.

Industria azucarera.

Fueron desarrollados e introducidos las versiones de polarímetros de amplio giro: LASERPOL 3, LASERPOL 3M y LASERPOL 4; en varios centrales del país con una importante colaboración del Laboratorio de Calibración y Ensayos Azucareros del ICINAZ, actualmente ICIDCA.

Educación.

La introducción y empleo de los polarímetros láser cubanos LASERPOL, ha permitido la inclusión en la enseñanza universitaria de nuevas metodologías y prácticas de laboratorio en los siguientes centros de enseñanza superior: Escuela de Licenciatura en Física U.H., Escuela de Licenciatura en Química, IFAL e INSTEC.

Para asegurar el mantenimiento y reparación del parque de instrumentos de la serie LASERPOL instalados fue necesario elaborar una tarjeta de microprocesador capaz de satisfacer los requerimientos actuales de los usuarios de los instrumentos en explotación con un costo y afectación en tiempo mínimos y que mantuviera la compatibilidad, siendo un reemplazo directo a las tarjetas de control anteriores de modo de asimilar todo el soporte metodológico desarrollado previamente para las aplicaciones de los polarímetros de dicha serie. Sin embargo dichos requerimientos hicieron de la opción de usar una arquitectura "legacy" (figura 1) la más conveniente por permitir la reutilización del código ya existente con un mínimo de modificaciones. Este fue un paso intermedio antes de acometer una modernización a fondo del instrumento y permitió determinar aquellos circuitos y módulos cuyo mejoramiento tendrían un mayor impacto que es el objeto del presente trabajo.

Para esta modernización de los polarímetros que parte de la base de utilizar los mismos fundamentos físicos y especialmente el diseño existente del banco óptico [1], se desarrollaron nuevos diseños de los circuitos de control, medición y alta tensión, se escogió una nueva topología constructiva para el equipo y se compararon las características de los nuevos circuitos electrónicos propuestos con las existentes anteriormente.

La utilización de un microprocesador de 8 bit tipo PIC, como base del circuito de control permitirá brindar nuevas prestaciones y ampliar las posibilidades de uso de los polarímetros de la serie LASERPOL y además facilitará el desarrollo del software básico residente usando herramientas de diseño disponibles. Además se analiza como los nuevos recursos disponibles pueden ser aprovechados para la mejora de los algoritmos usados para la elaboración y visualización de los resultados de las mediciones.

Para el circuito de alimentación de alta tensión del tubo fotomultiplicador se emplea un módulo CD-CD y se analizan las ventajas del nuevo diseño.

TOPOLOGÍA CONSTRUCTIVA

La utilización de nuevos circuitos integrados con una mayor escala de integración conlleva una drástica disminución en los consumos de corrientes, lo que disminuye los requerimientos a las fuentes de alimentación usadas, así como la disminución considerable de los requerimientos de superficie de circuito impreso, haciendo innecesario la utilización de un "rack" para los circuitos

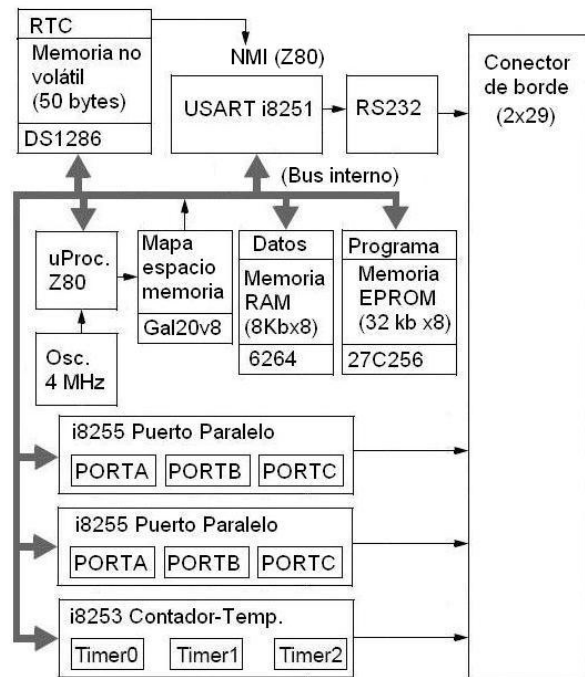


Figura 1. Esquema en bloque de la tarjeta de control (Z-80).

impresos de las distintas tarjetas usadas anteriormente (ver Tabla1). En la nueva concepción las fuentes de alimentación se sustituirán por un bloque fabricado por una firma especializada, el display o visualizador con pantalla táctil también será un módulo de fabricación externa.

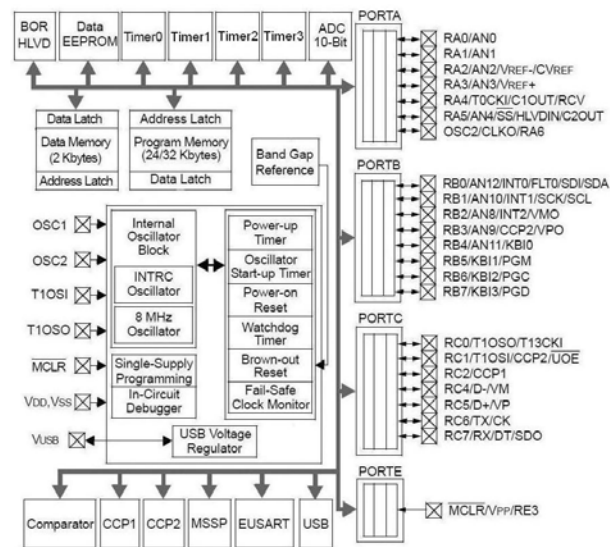


Figura 2. Esquema en bloque del c.i. PIC18F2550.

De modo que en la tarjeta quedan los siguientes circuitos: circuito de control, circuito de modulación, circuito de adquisición, circuito de compensación y circuito de alta tensión, este último en algunos modelos no se incorpora. En la concepción original a cada uno de ellos correspondía una tarjeta de circuito impreso debido a la escala de integración de los componentes utilizados.

CIRCUITO DE CONTROL

La última versión de la tarjeta de control estaba basado en un microprocesador Z80 a 4 MHz, con los siguientes circuitos integrados como periféricos mapeados en el espacio de memoria (ver figura 1):

0000-7FFFH	EPROM	27C256 (32K)
8000-9FFFH	RAM	6164 (8K)
A000	Reloj de tiempo real	DS1286
C000-C003H	Puerto serie	8251
D000-D003H	Puertos paralelo I (3x8)	8255
E000-E003H	Puertos paralelo II (3x8)	8255
F000-F003H	Contador-temporizador (3)	8253

El nuevo circuito de control está basado en un micro-controlador PIC18F2455 (ver figura 2) que puede operar a 48MHz con los siguientes recursos dentro del cristal:

Memoria de programa (Bytes): 24 576
 Memoria de programa (Instrucciones): 12 288
 Memoria de datos (Bytes): 2048
 Memoria EEPROM de datos (Bytes): 256
 Interrupciones: 19
 Puertos de Entrada /Salida: Puertos A, B,C,(E)
 Temporizadores: 4
 Módulos PWM/Comp. /Captura: 2
 Comunicación serie: MSSP, USART mejorado
 Módulo USB: 1
 Módulo de CAD de 10 bits: 10 canales de entrada
 Comparadores: 2

Aunque se debe hacer la observación de que no es posible usar todos los recursos simultáneamente debido a que muchos de ellos comparten entre sí distintos bloques del hardware que al ser usados para una función impiden su disponibilidad para otra; así por ejemplo una limitante importante es la pequeña cantidad de patillas disponibles del circuito integrado que hace que su funcionalidad dependa de su programación. Es evidente que este solo circuito integrado está en condiciones de sustituir lo que antes era toda una tarjeta, más si se toma en consideración la obsolescencia de las interfaces RS-232 y del puerto paralelo que hacen conveniente la utilización de la interface USB. Y también la sustitución de la tarjeta del display y del teclado por un módulo de pantalla táctil con interface serie. Estas dos últimas consideraciones explican porque disminuyen considerablemente los puertos paralelos necesarios en el nuevo diseño.

FUENTE DE ALTA TENSIÓN

La concepción de la fuente de alta tensión original, es de un módulo (tarjeta) que trabaja de modo autónomo sin control por el usuario a partir de un lazo propio de retroalimentación, con el peligro de que en caso de apertura de ese lazo esa tensión pudiera alcanzar valores peligrosos para la integridad

del equipo. Además de requerir de componentes de fabricación propia como el transformador de alta tensión y el amplificador de ganancia variable (ver figura 3).

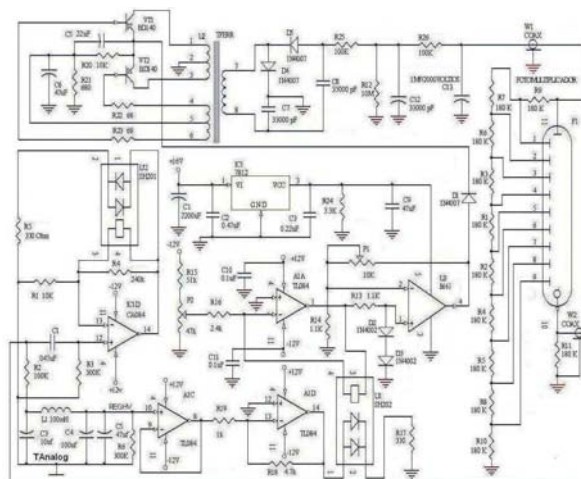


Figura 3. Fuente de alta tensión original.

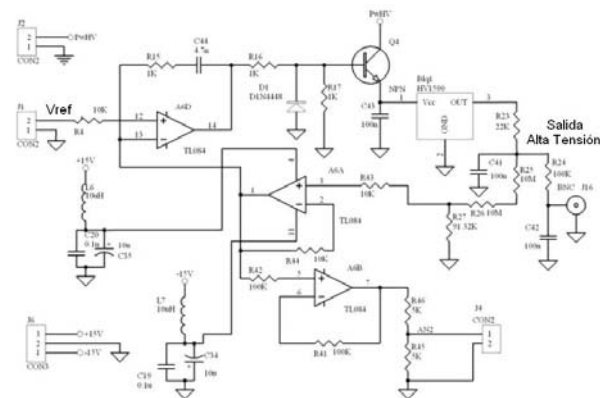


Figura 4. Fuente de alta tensión con módulo CD-CD.

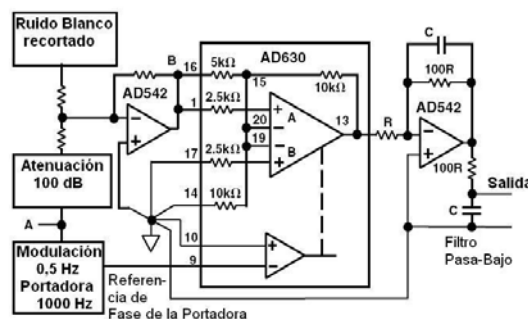


Figura 5. Configuración para la comprobación del Locking Amplifier.

En el nuevo diseño se utiliza un módulo CD-CD, que a partir de una baja tensión variable suministra a la salida la alta tensión necesaria. Esta tensión variable se regula suministrando una tensión de referencia y la alta tensión obtenida se monitorea a través de un conversor analógico digital, todo esto bajo control por el software. La tensión de referencia puede ser suministrada por el PIC18F2550 que posee una red de tensiones de referencia para los comparadores a partir de la fuente de referencia interna de "band gap" que puede ser usada para este fin por cuanto para esta funcionalidad es suficiente el paso de discretización dispo-

nible y la estabilidad de esta referencia es muy superior a la usada en el diseño anterior (ver figura 3); el conversor analógico digital y la salida de referencia están disponibles en el puerto A. La utilización del módulo CD-CD mejora la fiabilidad del diseño y la documentación de sus características (ver figura 4).

CIRCUITO DE MEDICIÓN

El circuito de medición está íntimamente ligado al método de medición usado y es fundamental para la obtención de las características metrológicas del instrumento. En el diseño anterior el proceso de medición ocurre del siguiente modo: se genera una rampa analógica que actúa sobre la bobina del analizador rotando el plano de polarización de la luz, el circuito de detección basado en un amplificador sincronizado o de cerrojo discreto detecta el instante en el que desaparece la señal (la rotación de medición inducida compensa la rotación provocada por la muestra bajo análisis) para memorizar con un c.i. de muestreo (sample&hold) LF398, el valor instantáneo de la rampa que es medido utilizando un conversor analógico digital de 4 dígitos y medio (ICL 7135). En el nuevo diseño este proceso se modifica sustituyendo el conversor analógico-digital CAD por uno digital-análogo DAC de 14 bits (DAC8806) que se utilizará para generar una rampa digital de precisión de modo que al detectarse el instante de compensación el resultado de la medición es el código que se le ha suministrado al mismo.

Otra modificación importante consistente en la sustitución del amplificador sincronizado discreto empleado (Locking Amplifier), por un amplificador sincronizado integrado con mayores prestaciones. Este amplificador está diseñado en base al c.i. AD630 que es un modulador/demodulador balanceado de alta precisión y permite recuperar una señal de interés con fase y frecuencia conocida en 100 dB de ruido. Para ello se utiliza el AD630 en una configuración estándar (ver figura 5) y a partir de la información de frecuencia y fase de la señal de modulación se puede recuperar la señal con la información de la rotación del plano de polarización en el detector (fotomultiplicador) después del analizador óptico.

CIRCUITO DE MODULACIÓN

Esta función se logra usando un modulo PWM (modulación de ancho de pulso) con resolución de 10 bits presente en el microcontrolador.

El periodo de repetición se calcula por la formula siguiente:

$$PWM_{Period} = [(PR2)+1] \cdot 4^{Tosc} \cdot (TMR2_{Prescale Value})$$

Donde:

Tosc es el periodo del oscilador en microsegundos,

PR2 es el valor escrito en ese registro (8bits),

TMR2_{Prescale Value} es el valor seleccionado del divisor de preescala del temporizador

El ciclo de trabajo (duty) se determina:

$$PWM_{Duty Cycle} = (Reg_{10bit}) \cdot Tosc \cdot (TMR2_{Prescale Value})$$

Donde:

Reg10bit es un valor de 10 bits cuyos 8 bits más significativos se escriben en el registro CCPRxL y los dos menos significativos restantes en los bits 5 y 4 del registro CCPxCON.

Con una programación adecuada partir de un oscilador de 20Mhz (PR2 = 124, Reg_{10bit} = 250, TMR2_{Prescale Value} = 4) es posible la obtención de una forma de onda cuadrada con una frecuencia de 10.0 KHz.

Una vez obtenida una señal digital con forma de onda cuadrada y con la frecuencia requerida la señal es filtrada para obtener una señal sinusoidal que a continuación es amplificada por una etapa de potencia antes de ser suministrada a la bobina moduladora.

DISCUSIÓN

Topología. La eliminación del rack (ver figura 6) y la disminución de la cantidad de tarjetas empleadas tienen importantes consecuencias con la disminución del costo de fabricación del equipo pero más importante aún se incrementa la fiabilidad del equipo al disminuir la cantidad de componentes e interconexiones. La utilización de un display táctil de nueva generación permite mejorar la

Tabla I Comparación de algunos parámetros del diseño pro-puesto con el existente			
Parámetros		Diseño existente	Diseño propuesto
Área circuito impreso (cm2)	Tarjeta control	150a	--
	Modulador	150 a	--
	Alta tensión	150 a	--
	Tarjeta rampa	150 a	--
	T. medición	162 a	-- c
	T. visualizador	309.1 a	--
	Tarjeta madre	16.6 a	16.6 a
		150 a	-- c
		99 a	-- c
		--	225 b
Consumo eléctrico (A)	+5V	0.7 a	0.5 b
	±12V	1.5a	0.8 b
	+24V	2.0a	3.0 b
a) Referencia [10]; b) Estimado; c) Externo;			

interacción del usuario con el equipo llevándola a un nuevo nivel no solo porque permite incrementar la calidad y cantidad de la información visual sino que también permite incrementar la cantidad de teclas y está acorde con las tendencias actuales siendo un factor importante en la apariencia del instrumento y facilidad de uso. La sustitución de las interfaces serie RS232 y paralela por una interface USB asegura que el equipo res-pon-da a las exigencias de

comunicación con los nuevos ordenadores. La utilización de un bloque de alimentación de fabricación externa exigió estandarizar las tensiones de alimentación usadas en los distintos circuitos pero permitirá disminuir el peso del instrumento y eliminar la disipación de potencia y calentamiento provocado por los reguladores lineales.

Circuito de control. Los cambios introducidos ponen al micro-controlador efectivamente a cargo del proceso de medición. Lo que hará necesario una programación cuidadosa para poder aprovechar adecuadamente los nuevos parámetros que se pueden variar y ajustar por software. El incremento de la velocidad de reloj permite aumentar la complejidad de los algoritmos usados que fue una limitante del diseño anterior, habida cuenta que por las normas internacionales el instrumento debe tener una medición correcta de respuesta en un tiempo prefijado y para asegurar la exactitud es necesario el tratamiento estadístico de las mediciones por lo que para cada lectura del instrumento se requiere un juego de mediciones que se someten a un tratamiento matemático en un tiempo limitado.

Fuente de alta tensión. La nueva fuente de alta tensión utiliza un módulo CD-CD que asegura que la frecuencia del rizado (ripple) tenga un valor fijo (~ 20 KHz), lo que facilita el filtrado. El nuevo diseño permite

con una exactitud de 10 bits conocer el valor de alta tensión que está siendo aplicado al fotomultiplicador. El valor de alta tensión se regula a partir de la tensión de referencia que proporciona el micro-controlador y puede variarse en 16 pasos de dos rangos distintos uno más fino que el otro. Se elimina la posibilidad de apertura accidental del lazo de retroalimentación pues la retroalimentación es interna dentro del circuito, además se tiene control sobre el valor máximo posible de la tensión de referencia que siempre es menor que la tensión de alimentación del microcontrolador.

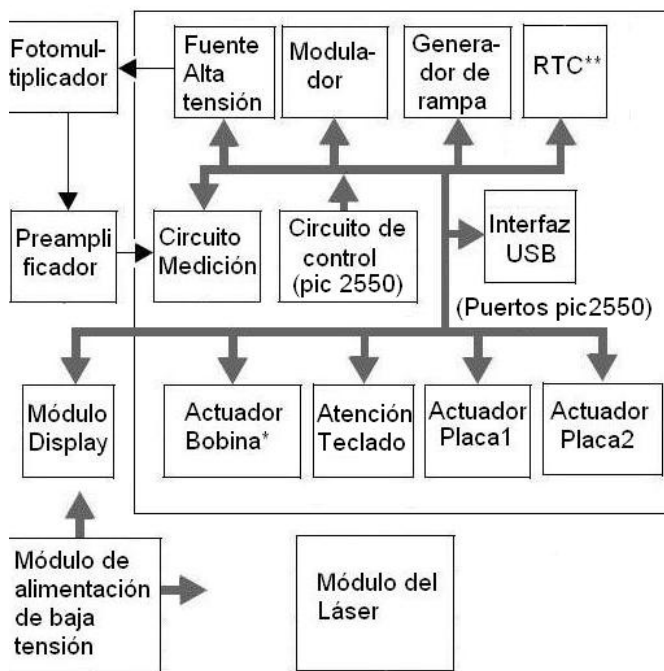
Circuito de medición. La utilización de una rampa digital permite mejorar la linealidad de la medición al eliminar la no-linealidad inherente a las rampas analógicas que debía ser compensada por software.

El convertor analógico digital de 4 dígitos y medio proporciona 20000 valores discretos para un intervalo de la señal de entrada de -2 V a $+2$ V sin embargo debido a la implementación de una rampa unipolar se utiliza solo la mitad del mismo por lo que el convertor de 14 bits utilizado en la nueva solución de diseño que proporciona 16384 valores discretos no significará una pérdida en la precisión del equipo.

La importancia de la mejora en el circuito de detección de la compensación está dada por la necesidad de usar a veces el polarímetro para medir muestras oscuras que absorben la luz. Especialmente para las aplicaciones en la industria

azucarera. Por ejemplo, en las características técnicas del polarímetro LASERPOL 4 se indica:

Mínimo de transmisión de la sustancia: 1 %
Con el circuito usado anteriormente la señal útil debía encontrarse por encima del nivel de ruido, con el nuevo capaz de recuperar la señal inmersa en 100 dB de ruido esta importante característica mejorará en varios órdenes. Lo que puede aumentar la competitividad del instrumento y favorecer su introducción en la industria azucarera.



- NOTAS:** 1. Los módulos son de fabricación externa.
2. El actuador para la bobina es excluyente con los actuadores de placa.
3. El circuito RTC opcionalmente con un c.i. i2c.

Figura 6. Nueva topología propuesta.

CONCLUSIONES

La nueva topología constructiva propuesta para la modernización de los polarímetros de la serie LASERPOL está acorde con las tendencias actuales y posibilitará disminuir el costo de producción del instrumento y aumentar la fiabilidad.

El microcontrolador que se utiliza en el nuevo diseño prácticamente sustituye el solo a una tarjeta completa del diseño antiguo proporcionando ventajas adicionales como el soporte de la interface USB y una mayor velocidad de reloj que permitirá la utilización de algoritmos superiores para el procesamiento de los datos.

La nueva fuente de alta tensión propuesta permite fijar el valor de salida en pasos discretos y monitorear el valor de alta tensión suministrado al tubo fotomultiplicador.

La modificación propuesta del circuito de medición permiti-

rá disminuir sustancialmente el mínimo requerido de transmisión óptica de la sustancia de la muestra aumentando las posibilidades del instrumento.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado parcialmente por el Programa Nacional “Desarrollo de la Industria Azucarera” y por la Agencia de Energía Nuclear y Tecnología de Avanzada, (AENTA).

-
- [1] Fajer V., W. Pineda, W. Mora, H. Fernández., N. Duarte, J.C. López., J. Chao, R. Paredes, (1999): Polarímetro LASERPOL 3M para la automatización de los laboratorios de los centrales azucareros. Revista Cubana de Física, Vol. 16, No. 2: 65-58
- [2] Fajer V-, C. Rodríguez, T. Cepero, S. Naranjo, E. Arista, W. Mora, G.

- Mesa, H. Fernández, J. Arteche, V. Hormaza y G. Cossío (2008). Sistema automatizado de cromatografía líquida con detección polarimétrica láser y aplicaciones. Re-vista Cubana de Física, Vol. 25, No.2A,
- [3] Rodríguez C.W., T. Cepero, V. Fajer, S. Naranjo, W. Mora, E. Arista, G. Mesa, H. Fernández, H. Fernández y D. Piñon (2009) Chromatographic automatic system with laser pola-rimetric detection technique for estimating real sucrose in sugarcane. Sugar Technology No.: 11 (4) pp 392-394
- [4]Fajer V-, C. W. Rodríguez, S Naranjo, H. Fernández, W. Mo-ra, T. Cepero, E. Arista, G. Mesa, G. Cossío, J. Arteche y C. Fonfría. (2010) Liquid chromatography automatic system with optical activity laser detector and its applications. Sugar Tech-nology Vol 12 No.:3.
- [5] Microchip, “PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet”, Microchip Technology Inc 2007.
- [6] Analog Devices, “AD630 Balanced Modulator/ Demodulator Data Sheet”, Analog Devices Inc 2004.
- [7] Jaecklin, G. S.(1970): Measuring current at extra high voltage. Laser Focus, (6):35-38
- [8] Nolting, M. F.(1976). Polarimetry for sugar analysis. Proc. Mett. West Indies Sugar Cane Technol: 281-291.
- [9] Duffy R.M. and Netterfield R.P.(1963). Design of Faraday Rotators and Modulators, Rev. Sci. Instrum. 55(5): 713-746. 10. Manual de servicio . Polarímetro Laserpol4. CEADEN, 2011...

FLUJOS NO ESTACIONARIOS DE DISOLUCIONES VISCOELÁSTICAS

ANIER HERNÁNDEZ GARCÍA Y OSCAR SOTOLONGO COSTA

Cátedra de Sistemas Complejos "Henri Poincaré", Facultad de Física, Universidad de la Habana.

A partir del modelo de Oldroyd-B lineal, se obtiene una Ley de Darcy generalizada en el dominio de las frecuencias y se da una expresión explícita para la permeabilidad dinámica. Resultados anteriores para fluidos newtonianos y viscoelásticos se obtienen como caso particular de los nuestros. Son discutidas las características del campo de velocidades generado por gradientes de presión armónicos. Se incluyen además los efectos de la compresibilidad en la propagación de ondas sonoras.

Starting from the linear Oldroyd-B model, a generalized Darcy's Law is obtained in the frequency domain and an explicit expression for the dynamic permeability is given. Previous results in viscoelastic and Newtonian fluids are shown here to be particular cases of our generalized law. Different features of the velocity field generated by harmonic pressure gradients are also discussed, as well as the compressibility effects on the propagation of sound waves.

Palabras Clave. Disoluciones viscoelásticas, flujos no estacionarios, compresibilidad.

INTRODUCCIÓN

Existe una gran variedad de fluidos cuya estructura presenta alta complejidad, entre los cuales se encuentran las disoluciones poliméricas, algunos fluidos biológicos, suspensiones, pastas, entre otros. En estos, a diferencia de los fluidos newtonianos donde la viscosidad es independiente del gradiente de velocidades [1], la viscosidad es función de este y en general las tensiones en un instante dado dependerán de la historia de las deformaciones y de los gradientes de velocidades [2-4].

En este artículo nos centramos en el estudio de disoluciones poliméricas, en los cuales numerosos experimentos evidencian estos comportamientos [2-6]. Marcadas diferencias se establecen en los flujos no estacionarios en presencia de cizalladuras, donde la elasticidad de estos líquidos cambia las características de la propagación de ondas que han sido estudiadas para los fluidos newtonianos [1,3,7].

Uno de los modelos más simples que provee una descripción hidrodinámica macroscópica de disoluciones poliméricas, lo constituye el modelo de Oldroyd-B lineal [8]. El mismo, describe comportamientos viscoelásticos básicos de líquidos incompresibles con viscosidad de cizalladura constante y tiempos de relajación y retardamiento constantes.

El artículo se ha organizado de la manera siguiente: en la sección 2 se presenta el modelo de Oldroyd-B lineal y se discuten cualitativamente comportamientos característicos

de estos fluidos al ser sometidos a esfuerzos y deformaciones periódicas. Los perfiles de velocidad que se establecen en el interior de tuberías, creados por gradientes de presión que varían sinusoidalmente en el tiempo son obtenidos en la sección 3 y en la sección 4 se obtiene una Ley de Darcy generalizada en el dominio de las frecuencias. En la sección 5 se estudian las características de la propagación de ondas sonoras en la geometría descrita en el párrafo anterior, al incluir los efectos de la compresibilidad en estos viscoelásticos.

MODELO DE OLDROYD-B LINEAL.

En el modelo de Oldroyd-B lineal la ecuación constitutiva viene dada por

$$\sigma + \lambda \frac{\partial \sigma}{\partial t} = \eta_0 \left(D + \lambda \frac{\eta_s}{\eta_0} \frac{\partial D}{\partial t} \right) \quad (1)$$

donde σ es el tensor de esfuerzos, λ es una constante con dimensiones de tiempo y tanto η_0 como η_s tienen dimensiones de viscosidad. El tensor D es la parte simétrica del tensor gradiente de velocidades

$$D_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \quad (2)$$

De la expresión (1) se infiere que para flujos estacionarios o equivalentemente, flujos en los cuales los esfuerzos y los gradientes de velocidades tienen un período muy grande comparado con λ , la disolución se comporta como un fluido newtoniano cuya viscosidad es la suma de la del sol-

vente y la del polímero, η_0 . Si por otra parte λ el período de los esfuerzos es del orden del tiempo de relajación λ y la viscosidad del polímero es mucho mayor que la del solvente, el fluido se comporta como un fluido de Maxwell. Por el contrario, cuando los esfuerzos tienen un período muy pequeño comparado con λ , y si se cumple además $\frac{\lambda \eta_s}{\tau \eta_0} \ll 1$, el fluido responderá como un sólido de Hooke, mientras que si este número es mucho mayor que la unidad, el líquido actuará como un newtoniano, de viscosidad igual a la del solvente. La ecuación (1) contiene como casos particulares las correspondientes al modelo de Maxwell y de Newton que se obtienen al tomar los límites $\eta_s \rightarrow 0$ y $\lambda \rightarrow 0$ respectivamente.

PERFILES DE VELOCIDAD CREADOS POR GRADIENTES DE PRESIÓN QUE OSCILAN ARMÓNICAMENTE.

Una vez discutidas las características cualitativas del comportamiento de los fluidos de Oldroyd-B sometidos a esfuerzos o deformaciones periódicas, pasemos al estudio de los flujos en el interior de tuberías de sección transversal circular generados por gradientes de presión variables en el tiempo, aplicados en la dirección axial, que tomaremos como z . En esta sección consideraremos específicamente gradientes de presión que oscilan armónicamente.

Podemos escribir entonces

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dz} = K \cos(\omega t) \quad (2)$$

Esta expresión es válida cuando el fluido es incomprensible y cuando la longitud del cilindro es mucho mayor que su radio.

Experimentalmente se han impuesto gradientes de presión al colocar un pistón oscilante en uno de los extremos del cilindro [7]. La expresión (2) es una aproximación válida solo en regiones lo suficientemente alejadas del pistón.

Para obtener el campo de velocidades se debe resolver el siguiente sistema de ecuaciones

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} \right) = -\nabla p + \nabla \cdot \sigma \\ \nabla \cdot \vec{v} = 0 \end{array} \right. \quad (3)$$

en unión a la ecuación constitutiva (1).

Bajo las mismas aproximaciones que permiten obtener la expresión (2) es posible considerar que la única componente no nula de la velocidad es la axial, $\vec{v} = v_z(r, t) \mathbf{e}_z$. Por consideraciones de simetría esta componente solo dependerá de la distancia al eje del cilindro, que se denotará por r . Buscaremos entonces la solución en la forma

$$v_z(r, t) = \operatorname{Re} \{ \varphi(r) e^{-i\omega t} \} \quad (4)$$

Al sustituir esta relación en la ecuación (3), expresán-

dola en coordenadas cilíndricas se arriba a una ecuación de Helmholtz para $\varphi(r)$, que unida a la condición de no deslizamiento sobre la pared del cilindro determina únicamente la solución, expresada mediante

$$\varphi(r) = \frac{1}{i\omega\rho} \left(1 - \frac{J_0(\beta r)}{J_0(\beta R)} \right) \frac{dp}{dz} \quad (5)$$

siendo R es el radio del cilindro y la función de Bessel de orden cero, cuyo argumento se determina por la relación

$$\beta^2 = - \frac{i\omega\lambda}{\eta_0} \frac{1+i\omega\lambda}{1+i\omega\lambda \frac{\eta_s}{\eta_0}} \quad (5.1)$$

Por tanto de las expresiones (5) y (5.1) se obtiene el campo de velocidades como función de r y t . Si hacemos se obtiene la solución para fluidos newtonianos [7]. Las figuras (1), (2) y (3) muestran las características del perfil de velocidades para estos, así como los correspondientes a Maxwell y Oldroyd-B.

En estas figuras se ha graficado la velocidad $A(\xi)$ que es la velocidad axial, medida en unidades de $\frac{KR^2\rho}{\eta_0}$ en función de la distancia radial ξ , medida en unidades del radio del cilindro R . La función depende de los números adimensionales

$$\alpha = \frac{\omega R^2 \rho}{\eta_0}, \quad A = \frac{\lambda \eta_0}{R^2 \rho} \quad \text{y} \quad \eta' = \frac{\eta_s}{\eta_0}.$$

El número α es el número de Reynolds para flujos no estacionarios, puesto que da la razón entre las fuerzas de inercia $\rho \frac{\partial v_z}{\partial t}$ y las fuerzas viscosas $\eta_0 \nabla_r^2 v_z$. El número A , inverso del número de Deborah, provee la relación entre el tiempo característico de los efectos elásticos y el tiempo característico $\frac{R^2}{\nu_0}$ de la difusión de la vorticialidad.

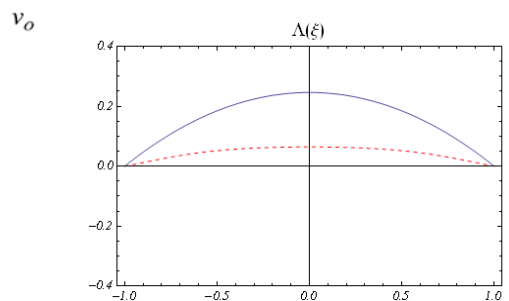


Figura 1. Perfil de velocidades para fluidos newtonianos que corresponde al límite $A \rightarrow 0$ en (5.1). En el perfil representado por la línea continua el valor de A es 1, mientras que la línea discontinua corresponde $\alpha = 18$

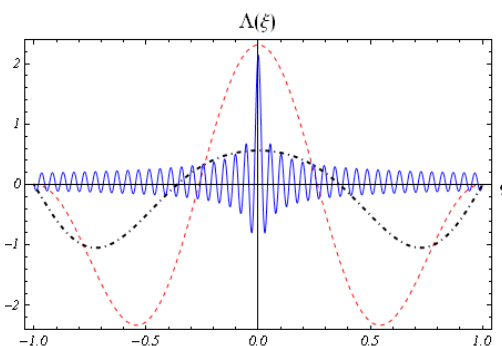


Figura 2. Superposición de los perfiles de velocidades para fluidos de Maxwell, representado por la curva continua ($\alpha = 18.5$) y por la línea discontinua ($\alpha = 1$) con los correspondientes a los fluidos de Oldroyd-B, curva de líneas y puntos ($\alpha = 1$, $\eta' = 10^{-2}$). En los tres perfiles mostrados el valor tomado para A es 50.

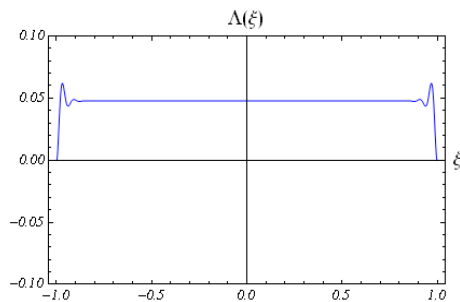


Figura 3. Perfil de velocidades para fluidos de Oldroyd-B. En el gráfico se tomaron los valores $A=50$, $\alpha=1$ y $\eta_s/\eta_0 = 10^{-2}$.

Los perfiles han sido obtenidos en el instante en el cual la velocidad en el eje del cilindro alcanza su valor máximo. En los fluidos newtonianos, figura 1, para pequeño se observa la formación de un perfil parabólico, semejante al flujo de Hagen-Poiseuille. Al crecer se observa que solo existe un gradiente de velocidad cercano a la pared, esto evidencia la formación de un perfil con características de capa límite [7]. En los gráficos correspondientes al modelo de Maxwell y Oldroyd-B, figura 2, se aprecia cómo la elasticidad afecta la propagación de ondas de cizalladuras donde vemos la formación de flujos de Couette, incluso para pequeño. Esto ha sido verificado experimentalmente y predicho cualitativamente por el modelo de Maxwell, aunque este predice velocidades mayores que las observadas [9]. El modelo de Maxwell predice un fortalecimiento de los efectos elásticos al aumentar α , que se manifiestan al formarse zonas adyacentes de poco espesor con velocidades contrarias. Sin embargo, en la figura 3 correspondiente al modelo de Oldroyd-B, se aprecia que los efectos elásticos son menos notables que en el modelo de Maxwell al aumentar α , teniéndose perfiles con características de capa límite semejante a los newtonianos, pero con un espesor menor. La formación de flujos con características de capa límite en disoluciones poliméricas, hasta donde los autores conocen, no ha sido predicha teóricamente.

LEY DE DARCY GENERALIZADA.

En el caso en el cual se establecen gradientes de presiones que varíen arbitrariamente en el tiempo es posible estudiar las características de la dinámica del fluido viscoelástico en el espacio de las frecuencias, al aplicar la transformada de Fourier al sistema ecuaciones (3), unido a la relación constitutiva (1). Al igual que para $\varphi(r)$ se obtiene una ecuación de Helmholtz para la transformada de Fourier de la velocidad $\tilde{v}_z(r, \omega)$. Resolviéndola se obtiene

$$\tilde{v}_z(r, \omega) = \frac{1}{i\omega\rho} \left(1 - \frac{J_0(\beta r)}{J_0(\beta R)} \right) \frac{d\tilde{p}}{dz}(\omega) \quad (8)$$

en la cual β ha sido definido según (7.1). El promedio de la velocidad por la sección transversal, relacionado directamente con el gasto a través de esta, se puede calcular a partir de la ecuación (9). Por tanto, se tendrá

$$\langle \tilde{v}_z(r, \omega) \rangle_r = \left\langle \frac{1}{i\omega\rho} \left(1 - \frac{J_0(\beta r)}{J_0(\beta R)} \right) \right\rangle_r \frac{d\tilde{p}}{dz}(\omega) \quad (9)$$

Este es un resultado análogo a la Ley de Darcy, que expresa esta misma relación en el tiempo. Podemos definir equivalentemente la permeabilidad dinámica como:

$$K(\omega) = - \frac{\eta_0 \langle \tilde{v}_z(r, \omega) \rangle_r}{\frac{d\tilde{p}}{dz}} \quad (10)$$

A partir de esta función, es posible determinar el gasto como función del tiempo mediante la ecuación

$$Q(t) = \pi R^2 \int d\tau \frac{K(t-\tau)}{\eta_0} \frac{dp}{dz}(\tau) \quad (11)$$

donde $K(t)$ y $\frac{dp}{dz}$ son la transformada inversa de Fourier de la permeabilidad dinámica y el gradiente de presiones, respectivamente.

En la figura (4) se ha graficado el valor absoluto de la permeabilidad dinámica re-escalada por su valor bajo flujo estacionario. La frecuencia a su vez ha sido medida en unidades del tiempo característico $\frac{R^2}{\nu}$. De esta forma la permeabilidad dinámica depende de los mismos números α , A y η' definidos en la sección anterior.

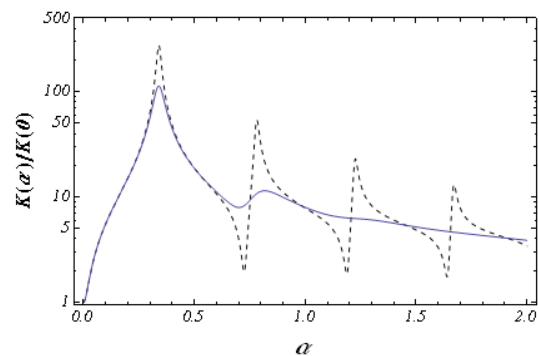


Figura 4. Valor absoluto de la permeabilidad dinámica definida en (11). La curva discontinua corresponde al modelo de Maxwell con $A=150$, mientras que la curva continua representa el resultado para el modelo de Oldroyd-B con el mismo valor de A y $\eta' = 10^{-3}$.

En esta figura se compara el comportamiento de $K(\omega)$ para fluidos de Maxwell y fluidos de Oldroyd-B, considerando en estos últimos que la viscosidad del polímero bajo flujo estacionario es mucho mayor que la del solvente, $\eta' = 10^{-3}$. Como se puede apreciar, para valores de α bajos ambos modelos predicen similares resultados. Sin embargo, las diferencias comienzan a ser muy notables a medida que aumenta α dado que aumenta el número $\alpha A \eta' = \omega \lambda \eta'$, por lo cual la componente newtoniana se torna más relevante y los efectos disipativos predominan.

Como fue destacado en la sección 2, el modelo de Oldroyd-B asume que la disolución es incompresible. Para incluir los efectos de la compresibilidad en los flujos que se establecen en la geometría descrita en las secciones anteriores, utilizaremos la generalización al modelo de Oldroyd-B propuesta en [10], donde se asume que la traza del tensor de esfuerzos viscoelásticos satisface la relación

$$\text{Tr}\sigma + \lambda_2 \frac{d\text{Tr}\sigma}{dt} = 3\eta_2 \nabla \cdot \bar{v} \quad (12)$$

en la cual η_2 y λ_2 son la viscosidad y tiempo de relajación asociados a los esfuerzos normales, respectivamente.

Al igual que en [10] se considerará que la velocidad de las partículas en la onda sonora es mucho menor que la velocidad del sonido en el medio. Además se estudiarán ondas en las cuales tanto la densidad, como la presión y la velocidad realizan pequeñas oscilaciones alrededor de sus respectivos valores de equilibrio. Bajo estas hipótesis, se demuestra en [10] que, las ecuaciones de conservación de la cantidad de movimiento, de conservación de la masa y constitutiva pueden ser linealizadas.

Al igual que en [10] consideraremos dos situaciones límites en la propagación de las ondas. Una de estas está dada por la suposición de que las variaciones de presión, velocidad y densidad tienen períodos muy grandes y consecuentemente los procesos ocurrirán bajo equilibrio térmico. Consideraremos en el otro caso límite que los períodos en los cuales ocurren las fluctuaciones de las magnitudes en cuestión son muy pequeños; en este caso, los procesos en la onda tendrán lugar a entropía constante. En ambas situaciones las fluctuaciones de la presión serán función solo de las variaciones de densidad. Entonces se obtiene

$$c_x^2 = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right)_x \quad (13.1)$$

En [10], bajo estas aproximaciones se derivó una ecuación para las oscilaciones pequeñas de la presión y las relaciones de dispersión para una onda plana. En cuanto al problema que nos ocupa, al igual que en las dos secciones anteriores supondremos que en un instante dado la presión es constante sobre la sección transversal del cilindro. Utilizando los resultados referidos en [9] bajo la suposición de que dentro de la tubería se propagan de izquierda a derecha ondas viajeras planas es posible demostrar que la componente axial de la velocidad, única no nula, es proporcional al gradiente de presiones, al igual que en el caso incompresible. Por tanto, se puede definir una permeabilidad dinámica $K_c(\alpha)$ para los fluidos compresibles dada por

$$K_c(\alpha) = \frac{2R^2}{i\alpha - \varepsilon'_c} \int_0^1 \left(1 - \frac{J_o(\beta'_c \xi)}{J_o(\beta'_c)} \right) \xi d\xi \quad (14)$$

en la cual se han definido α y ξ al igual que en la sección anterior y además se tiene

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_c'^2 &= \frac{k'^2}{1 - i\alpha A} \left(\frac{4}{3} \left(1 - \frac{\eta_s}{\eta_o} \right) + \frac{\eta_2}{\eta_o} \right) \\ k'^2 &= \left(\frac{\alpha}{\text{Re}_x} \right)^2 \left(1 + \frac{i\alpha}{\text{Re}_x^2} \left[\eta' + \frac{1}{1 - i\alpha A} \left(\frac{4}{3} \left(1 - \frac{\eta_s}{\eta_o} \right) + \frac{\eta_2}{\eta_o} \right) \right] \right)^{-1} \\ \beta_c'^2 &= (i\alpha - \varepsilon_c') \frac{1 - i\alpha A}{1 - i\alpha A \eta'} \\ \text{Re}_x &= \frac{c_x R \rho_o}{\eta_o} \end{aligned} \right\} \quad (14.1)$$

Del resultado anterior vemos que los efectos compresibles están contenidos en los números Re_x y $\frac{\eta_2}{\eta_o}$. Es usual que la segunda viscosidad sea del orden de η_o [1], lo cual conduce a que $\frac{\eta_2}{\eta_o} \approx 1$.

Si se toma el límite $c_x \rightarrow \infty$ ($\text{Re}_x \rightarrow \infty$) en (14.1) resulta que $k'^2 \rightarrow 0$ y consecuentemente

$$\beta_c'^2 = \beta^2 = i\alpha \frac{1 - i\alpha A}{1 - i\alpha A \eta'} \quad (15)$$

Por tanto en este límite, la permeabilidad dinámica para el caso compresible, definida en (14) coincidirá con la permeabilidad dinámica, definida en (10). A continuación se muestra gráficamente la permeabilidad dinámica para varios números Re_x .

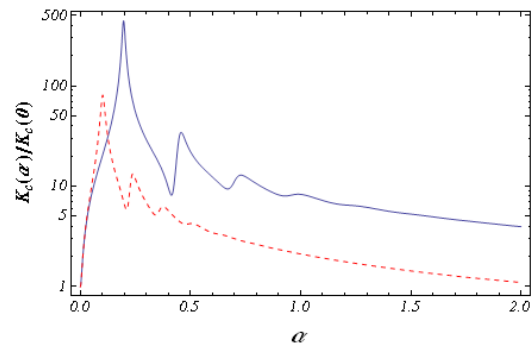


Figura 5. Valor absoluto de K_c en la expresión (14), normalizado por su valor a frecuencia cero, para dos valores de Re_x . Se tomaron para ambas curvas los valores $A=150$ y $\eta'=10^{-3}$. La línea continua fue graficada para $\text{Re}_x=100$, mientras que en la discontinua se usó el valor $\text{Re}_x=0.1$.

En la figura 5 se pueden apreciar los efectos de la compresibilidad al variar el número α . Si se comparan las líneas continuas de las figuras (4) y (5) vemos que coinciden perfectamente y por tanto no se manifiestan los efectos de la compresibilidad para $\text{Re}_x=100$. Al disminuir este número ($\text{Re}_x \leq 1$) los máximos de la permeabilidad se desplazan y disminuye la amplitud de estos.

CONCLUSIONES

En este artículo hemos discutido algunos efectos no newtonianos en flujos no estacionarios de disoluciones viscoelásticas modeladas por la ecuación constitutiva de Oldroyd-B, en su aproximación lineal. Por tanto, dos contribuciones fundamentales son consideradas: una newtoniana dada por el solvente y la contribución visco-elástica por el polímero. Se demostró que los efectos puramente viscosos en estas disoluciones dependen

del número $\omega\lambda\eta'$, obteniéndose dos casos límites importantes, cuando $\omega\lambda\eta' \rightarrow 0$ la disolución se comporta como un fluido de Maxwell y cuando $\omega\lambda\eta' \gg 1$ la disolución se comporta como un fluido viscoso cuya viscosidad es igual a la del solvente. Se observó la formación de flujos de Couette en líquidos de Maxwell y Oldroyd-B para valores de α del orden de la unidad y que, al crecer este número, se crean perfiles con características de capa límite tanto en los newtonianos como en los de Oldroyd-B. Se obtuvo una Ley de Darcy en el dominio de las frecuencias y una expresión para la permeabilidad dinámica. El valor absoluto de esta función presenta picos para ciertas frecuencias en los líquidos de Maxwell y de Oldroyd-B. En estos últimos se ven amortiguados al aumentar el número $\alpha\lambda\eta' = \omega\lambda\eta'$, debido al fortalecimiento de la componente newtoniana. Se incluyeron los efectos de la compresibilidad en la permeabilidad dinámica, los cuales están contenidos en el número Re_x . Estos son significativos solo cuando $Re_x \leq 1$.

- [1] L.D. Landau and E.M. Lifshitz, "Fluid Mechanics", (Pergamon Press, Second Edition, 1987)
- [2] R.G. Larson "The Structure and Rheology of Complex Fluids", (Oxford University Press, 1999).
- [3] R.B. Bird, W.E. Stewart and E.N. Lightfoot, "Transport Phenomena", (John Wiley & Sons, Second Edition, 2002).
- [4] R. Metzler and T.F. Nonnenmacher, "Fractional relaxation processes and fractional rheological models for the description of a class of viscoelastic materials", (International Journal of Plasticity, 19 (2003) 941–959)
- [5] D.F. James, "Boger Fluids", Annual Review of Fluid Mechanics, Vol. 41: 129-142 (January 2009).
- [6] D.G. Choi, W.J. Kim and S.M. Yang "Shear -induced microstructure and rheology of cetylpyridium chlo-ride/sodium salicylate micellar solutions", (Korea-Australia Rheology Journal, Vol.12, No. 3, 143-149)
- [7] H. Schlichting, "Boundary Layer Theory", (McGraw-Hill, Seventh Edition, 1979).
- [8] J.G. Oldroyd, "Non Newtonian effects in steady motion of some idealized elastico-viscous liquids", (Proc. R. Soc. A 245 (1958))
- [9] M. Torralba, J.R. Castrejón-Pita, A.A. Castrejón-Pita, G. Huelsz, J.A. del Río, and J. Ortín "Measurements of the bulk and the interfacial velocity profiles in oscillating Newtonian and Maxwellian fluids", (arXiv:physics/0505073v1 [physics.flu-dyn] 10 May 2005).
- [10] O. Sotolongo, J. M. Antuña and A. Vázquez, (Brazilian Journal of Physics, Vol. 27, No. 3)

DIFUSIÓN DE HIDRÓGENO EN SÓLIDOS NANOPOROSOS CON SITIOS DE ADSORCIÓN FUERTEMENTE LOCALIZADOS

CARLOS RODRÍGUEZ^{A,B,C,†}, EDILSO REGUERA^{B,C} Y RENÉ CABRERA^C.

a)Facultad de Física. Universidad de La Habana. Cuba.
crc@fisica.uh.cu

b)Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales. Universidad de La Habana. Cuba. ereguera@yahoo.com

c)Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada. Instituto Politécnico Nacional de México-co.rahlive@hotmail.com

† Autor para la correspondencia.

Se considera la difusión del hidrógeno en un sólido nanoporoso donde las moléculas pueden adsorberse en estados localizados y no localizados. Se deriva una ecuación de difusión modificada que incluye el retardo provocado por las transiciones dentro de un poro. Se obtienen soluciones analíticas. Se estudia la dependencia temporal de la fracción de moléculas adsorbidas al variar la ocupación relativa de los estados localizados y no localizados. El coeficiente de difusión de transporte efectivo disminuye y presenta un máximo para valores crecientes del recubrimiento cuando la fracción de estados localizados aumenta. Este estudio es relevante para evaluar el efecto sobre la cinética de adsorción-desorción del incremento de la entalpía de adsorción en materiales para almacenamiento de hidrógeno.

Hydrogen diffusion in a nanoporous solid where molecules can be adsorbed in both localized and non localized states is considered. A modified diffusion equation is derived, which takes into account the time delay due to transitions between states inside the same pore. Analytical solutions are obtained. The time dependence of the fraction of adsorbed molecules is studied as a function of the relative population of localized and non localized states. The effective transport diffusion coefficient decreases and shows a maximum at increasing values of loadings as the fraction of localized states grows. This study is relevant to evaluate the effect of larger adsorption enthalpies on adsorption-desorption kinetics in hydrogen storage materials.

Palabras Clave. Adsorption / Desorption Kinetics.68.43.Mn; Porous Materials 61.43.Gt; Diffusion in nanoscale solids 66.30. Pa

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento a altas densidades es el principal desafío tecnológico para el amplio uso del hidrógeno como portador energético renovable y no contaminante. Son conocidas las limitaciones de las fases gaseosa y líquida, especialmente para aplicaciones móviles. La adsorción física en sólidos porosos o la formación de hidruros complejos parecen ser las alternativas más prometedoras. Sin embargo, ningún material reportado hasta hoy logra simultáneamente la adsorción rápida, segura y reversible, a temperaturas entre 233 y 358 K, presiones moderadas y costos razonables, del 7,5 % del peso del adsorbente[1]. Estos objetivos requieren materiales ligeros, con altas superficies específicas y entalpías de adsorción de al menos 15 kJ/mol. Podrían lograrse en sólidos nanoporosos mediante la coordinación de la molécula de hidrógeno a centros metálicos, por atracción electrostática o interacción de Kubas o confinándola en poros suficientemente pequeños 2-7. A bajas presiones tendría lugar la adsorción en esos sitios preferenciales. Saturados estos, aún quedaría espacio para almacenar moléculas en estados no localizados a presiones mayores 8-10. Sin embargo, estas interacciones fuertes pueden incrementar la energía de activación para la difusión y hacerla lenta o irreversible. En este escenario, es muy importante estudiar la adsorción y la difusión de forma conjunta.

La difusión del hidrógeno en materiales porosos ha sido muy estudiada teórica y experimentalmente[11-23]. En los experimentos de termodesorción programada[24, 25], p o T varían cuasiestáticamente y el flujo de hidrógeno por unidad de tiempo se determina de las isotermas de adsorción en equilibrio. Sin embargo, en situaciones reales, el cambio de presión es rápido y el hidrógeno adsorbido no está en equilibrio con la fase gaseosa. Si el adsorbente es un polvo formado por granos con diámetros en el rango de 10^{-7} - 10^{-6} m, el transporte en los macroporos intergranulares es rápido y lo que define los tiempos de adsorción-desorción es la difusión intragranular. Este proceso puede considerarse isotérmico, porque el calor se propaga rápidamente por la armazón mientras que las moléculas difunden lentamente a través de los poros, canales e intersticios. Para describirlo se utiliza la ecuación clásica de difusión. Los coeficientes de difusión se determinan por mediciones de transporte, resonancia magnética nuclear (RMN) con gradiente de campo pulsado o dispersión cuasielástica de neutrones (QENS) y dependen críticamente de la relación entre el diámetro de la molécula y el del poro por el cual difunde. También se calculan en simulaciones de la dinámica (MDS) de las moléculas en equilibrio, considerando generalmente que la armazón es rígida y utilizando los potenciales que describen la adsorción en equilibrio.

En zeolitas y carbones el ciclo de adsorción – desorción es reversible, el coeficiente de difusión a 300 K es del orden de 10^{-7} - 10^{-8} m²s⁻¹ y las energías de activación de 1-4 kJ/mol. Los trabajos en armazones órgano – metálicas (MOFs), nanotubos de carbono (NTC) y otros materiales nanoporosos son más recientes. En MOFs con poros amplios las simulaciones dan coeficientes de autodifusión entre 10^{-7} y 10^{-8} m²s⁻¹ a 77 K que aumentan con el recubrimiento a bajas presiones y luego disminuyen por efectos estéricos, con energías de activación en el rango de 2-3 kJ/mol, menores que las de las zeolitas y mayores que las reportadas en NTC^{18, 19}. Experimentos de QENS acompañados por MDS en MIL-53(Cr) y MIL-47(V) a 77 K muestran que el coeficiente de difusión y la distancia de salto disminuyen al aumentar el recubrimiento, muy abruptamente a bajas presiones^[20]. Estos resultados fueron interpretados con un modelo de difusión por saltos activados en una y tres dimensiones, respectivamente, con energías de activación de 0,6 y 1,6 kJ/mol y autodifusividades de hasta 10^{-7} m²s⁻¹. Se ha reportado la presencia de histéresis en MOFs con canales unidimensionales estrechos y poros pequeños²¹⁻²³, fenómeno de gran importancia práctica, pues permitiría retener a bajas presiones, moléculas adsorbidas a presiones altas. Suele atribuirse a la flexibilidad de la armazón, que a altas presiones abre las ventanas de poros que ingresan cantidades adicionales de hidrógeno y al disminuir la presión se cierran y solo liberan el gas a bajas presiones. En materiales donde la armazón es rígida, las simulaciones por Monte Carlo explican la histéresis dinámicamente, por la existencia de saltos poco frecuentes desde sitios ubicados en poros pequeños²³.

En este artículo se presenta un estudio teórico de la difusión del hidrógeno en un sólido nanoporoso donde las moléculas pueden adsorberse en estados localizados alrededor de sitios de adsorción definidos y también en estados no localizados, moviéndose dentro de los límites de un poro. En §2 se deriva una ecuación integro – diferencial de difusión que incluye el retardo provocado por las transiciones entre estados localizados y no localizados en un mismo poro. En §3 se resuelve el problema de un grano con hidrógeno adsorbido a la presión p_0 que se pone en contacto súbitamente con el gas a otra presión p_1 . Se discuten los resultados numéricos para granos esféricos, que muestran la dependencia temporal de la fracción de moléculas adsorbidas según varía la ocupación relativa de los estados. Se obtiene la dependencia con la fugacidad del coeficiente de difusión de transporte efectivo para distintos valores de la fracción de estados localizados. Las conclusiones se presentan en §4.

ECUACIÓN DE DIFUSIÓN.

Sea un sólido con una densidad n_p de poros idénticos en contacto con hidrógeno gaseoso a la presión p y la temperatura T . Se supondrá que las moléculas que penetran de la fase gaseosa pueden encontrarse en dos tipos de estados: a) localizadas en una región con dimensiones del orden de su diámetro cinético (2,9 Å) alrededor de sitios de adsorción asociados a un centro metálico o al confinamiento en un poro pequeño o b) moviéndose

en los límites de un poro de 1-2 nm bajo la acción del campo creado por la armazón y las restantes moléculas adsorbidas. Supondremos que entre unos y otros estados la diferencia de energía es del orden de 10 kJ/mol, mucho mayor que $k_B T$ a las temperaturas de interés y que la interacción entre las moléculas no provoca transiciones entre unos y otros. Entonces, el estado de cada poro se define por los números N_s y N_f de moléculas en estados localizados y no localizados. A bajas presiones se ocupan preferentemente los primeros, de menor energía, y el número de moléculas móviles es pequeño, por lo que funcionan los modelos de gas en la red, donde se asume que las moléculas adsorbidas sólo pueden oscilar, rotar limitadamente o vibrar. Para altas presiones, los estados localizados están ocupados, pero aún queda espacio en el poro para alojar moléculas, y se incrementa el número de moléculas móviles, situación que describen mejor los modelos de llenado de poros.

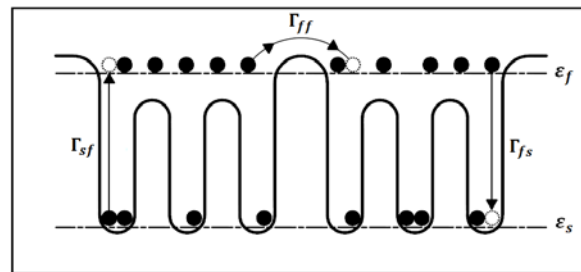


Figura 1. Representación esquemática de los estados y las transiciones en dos poros vecinos.

En lo sucesivo, se supondrá que la difusión es suficientemente lenta y tiene lugar mediante una sucesión de saltos individuales independientes, en los que las moléculas transitan entre estados localizados y no localizados dentro de un poro o entre estados no localizados en poros vecinos, como ilustra la figura 1.

Bajo estas suposiciones habituales^[26], no es difícil derivar ecuaciones cinéticas para las densidades $n_s(\vec{r}, t)$ y $n_f(\vec{r}, t)$ de moléculas adsorbidas en estados localizados y no localizados fuera de equilibrio. Sean m_s y m_f los respectivos valores de saturación y denominemos por $\rho_s(\vec{r}, t)$, $\rho_f(\vec{r}, t)$ las correspondientes desviaciones con respecto a los valores de equilibrio n_{s0} y n_{f0} . Cerca del equilibrio, las ecuaciones toman la forma:

$$\frac{\partial \rho_s(\vec{r}, t)}{\partial t} = W_f \rho_f(\vec{r}, t) - W_s \rho_s(\vec{r}, t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho_f(\vec{r}, t)}{\partial t} = W_s \rho_s(\vec{r}, t) - W_f \rho_f(\vec{r}, t) + \quad (3)$$

$$+ \int d^3 \vec{r}' W_{ff}(\vec{r}' - \vec{r}) [\rho_f(\vec{r}', t) - \rho_f(\vec{r}, t)] \quad (4)$$

En (2) y (3) se tiene en cuenta la imposibilidad de saltar a un estado ocupado:

$$W_s = (m_f - n_{f0}) \Gamma_{sf}; W_f = (m_s - n_{s0}) \Gamma_{fs}; \\ W_{ff}(\vec{r}' - \vec{r}) = (m_f - n_{f0}) \Gamma_{ff}(\vec{r}' - \vec{r}) \quad (5)$$

Aquí son las probabilidades de transición por unidad de tiempo, en equilibrio, entre un estado localizado y otro no localizado dentro del mismo poro, mientras que $\Gamma_{ff}(\vec{r} - \vec{r}')$ es la densidad de probabilidad por unidad de tiempo de salto entre dos estados móviles en poros diferentes. Se cumplen las condiciones de balance detallado:

$$\frac{\Gamma_{fs}}{\Gamma_{sf}} = \frac{n_{so}[m_f - n_{fo}]}{n_{fo}[m_s - n_{so}]}, \quad \Gamma_{ff}(\vec{r} - \vec{r}') = \Gamma_{ff}(\vec{r}' - \vec{r}) \quad (5)$$

El flujo de moléculas de un poro a otro está determinado por el segundo término del miembro derecho de (3). La densidad de corriente será:

$$\vec{J} = \frac{1}{2} \int d^3 \vec{r}' (\vec{r}' - \vec{r}) W_{ff}(\vec{r} - \vec{r}') [\rho_f(\vec{r}, t) - \rho_f(\vec{r}', t)]$$

Si W_{ff} decae rápidamente con la distancia y se supone por simplicidad que el sistema es isotropo.

$$\vec{J} \approx -D_f \cdot \nabla \rho_f(\vec{r}, t) \quad (6)$$

$$D_f = \frac{1}{6} (m_f - n_{fo}) \int d^3 \vec{r} \Gamma_{ff}(r) r^2 \quad (7)$$

El coeficiente de difusión de transporte D_f caracteriza el flujo de moléculas entre poros y depende de la densidad de moléculas adsorbidas.

Por otra parte, la ecuación de continuidad, que se deriva de (2), (3) y (6) relaciona la densidad de corriente con la densidad total de moléculas adsorbidas $\rho(\vec{r}, t)$

$$\nabla \cdot \vec{J}(\vec{r}, t) = -\frac{\partial \rho(\vec{r}, t)}{\partial t} \quad (8)$$

Combinando (6) y (8) se obtiene:

$$\frac{\partial \rho(\vec{r}, t)}{\partial t} = D_f \nabla^2 \rho_f(\vec{r}, t) \quad (9)$$

Aún no se tiene una ecuación, porque en los dos miembros de (9) aparecen funciones diferentes. Para obtener una ecuación de difusión, se debe utilizar la relación entre $\rho_f(\vec{r}, t)$ y $\rho(\vec{r}, t)$ que se deriva de (3).

$$\rho(\vec{r}, t) = \rho_f(\vec{r}, t) + W_f \int_0^t dt' \rho_f(\vec{r}, t') e^{-W_s(t-t')} \quad (10)$$

Sustituyendo en (9) resulta una ecuación integro - diferencial de difusión:

$$\frac{\partial \rho_f(\vec{r}, t)}{\partial t} + W_f \rho_f(\vec{r}, t) - W_f W_s \int_0^t dt' \rho_f(\vec{r}, t - t') e^{-W_s t'} = D_f \nabla^2 \rho_f(\vec{r}, t) \quad (11)$$

De forma equivalente se puede obtener una ecuación diferencial para la transformada de Fourier de $\rho(\vec{r}, t)$

$$i\omega \tilde{\rho}(\vec{r}, \omega) = D(\omega) \nabla^2 \tilde{\rho}(\vec{r}, \omega) \quad (12)$$

Con un coeficiente de difusión complejo $D(\omega)$, dependiente de la frecuencia, debido al retardo del flujo de moléculas con respecto al gradiente de concentración.

$$D(\omega) = \frac{D_f(i\omega + W_s)}{(i\omega + W_s + W_f)} \quad (13)$$

Para $\omega = 0$ se obtiene el coeficiente de difusión de transporte efectivo dado por:

$$D_0 = \frac{D_f}{1+\alpha} \quad (14)$$

$$\alpha = \frac{W_f}{W_s} = \frac{\Gamma_{fs}(m_s - n_{so})}{\Gamma_{sf}(m_f - n_{fo})} = \frac{n_{so}}{n_{fo}} \quad (15)$$

El parámetro α está determinado por la ocupación relativa de los estados localizados y no localizados. A bajas presiones $\alpha \gg 1$ mientras que para muy altas presiones coincide con la fracción de estados localizados ($\alpha \sim \frac{n_{so}}{n_{fo}} \equiv \gamma$). Para $\alpha = 0$ no hay estados localizados.

De acuerdo con (7) y (12), el coeficiente de difusión de transporte efectivo D_0 no sólo depende del recubrimiento total, sino de las poblaciones relativas de los estados localizados y no localizados.

Sea $\tau = W_s t$, y $D_f = W_s D$, de modo que la función $f(\vec{r}, \tau) = \rho_f(\vec{r}, t)$ satisface la ecuación:

$$\frac{\partial f(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} + \alpha f(\vec{r}, \tau) - \alpha \int_0^\tau d\sigma f(\vec{r}, \tau - \sigma) e^{-\sigma} = D \nabla^2 f(\vec{r}, \tau) \quad (14)$$

Como D es independiente del recubrimiento, la comparación de las soluciones de (14) para diferentes valores de α , para temperatura y recubrimiento fijos, permite evaluar el papel de la ocupación relativa de los estados localizados y no localizados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Si para $t < 0$ la fase adsorbida se encontraba en equilibrio con el gas a la presión p_0 y para $t > 0$ las moléculas en estados móviles en la superficie S de la muestra están en equilibrio con la fase gaseosa a la presión p_1 , las condiciones iniciales y de frontera serán:

$$f(\vec{r}, 0) = 0$$

$$f(\vec{r}, \tau) \big|_S = n_{f0}(p_1, T) - n_{f0}(p_0, T) = \Delta n_f \quad (16)$$

La solución de (14) – (16) es:

$$f(\vec{r}, \tau) = \Delta n_f \{1 - \sum_k \langle u_k \rangle u_k(\vec{r}) v_k(\tau)\} \quad (17)$$

Donde:

$$D \nabla^2 u_k + \lambda_k u_k = 0 \quad u_k(\vec{r}, \tau) \big|_S = 0 \quad (18)$$

$$v_k(\tau) = \frac{[b_k(a_k - 1)e^{-a_k \tau} - a_k(b_k - 1)e^{-b_k \tau}]}{a_k - b_k}$$

$$\left(\frac{a_k}{b_k}\right) = \frac{\lambda_k + \alpha + 1}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\lambda_k + 1 + \alpha)^2 - 4\lambda_k}$$

Para granos esféricos de radio R se tiene:

$$u_k(\vec{r}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi R}} \frac{1}{r} \sin \frac{k\pi r}{R}; \lambda_k = \frac{\pi^2 D}{R^2} k^2$$

$$\langle u_k \rangle = (2R)^{3/2} \frac{(-1)^{k+1}}{\sqrt{\pi k}} \quad (19)$$

A partir de (10), (17) y (19) puede calcularse la fracción δn de moléculas adsorbidas y la razón de flujo de moléculas $I(t)$ al cabo del tiempo t :

$$\delta n(\tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{6[b_k^2(a_k - 1)e^{-a_k \tau} - a_k^2(b_k - 1)e^{-b_k \tau}]}{\pi^2(1 + \alpha)k^2(a_k - b_k)}$$

$$I(t) = 8\pi D_f \frac{\Delta n_0}{1 + \alpha} R \sum_{k=1}^{\infty} v_k(\tau) \quad (20)$$

Para la evaluación numérica de se han considerado granos de $R = 50$ nm y se ha tomado a 300 K:

$$D_{f0} = D_f(n_{f0} = 0) = 10^{-8} m^2 s^{-1}$$

$$W_s(n_{f0} = 0) = 10^{10} s^{-1} \quad (21)$$

Para evaluar el coeficiente de difusión de transporte efectivo D_0 definido por (12) en función de la presión, se ha considerado el caso de moléculas que no interactúan. Si z es la fugacidad de

$$\text{la fase gaseosa: } \alpha = \gamma \frac{e^{\beta E_f} + z}{e^{\beta E_s} + z}$$

Donde E_s y E_f son las energías respectivas de los estados localizados y no localizados. La figura 3 muestra los valores de D_0/D_{f0} a 300 K en función de z tomando las energías E_f y E_s de 15 y 2, 5 kJ/mol, respectivamente y

En la figura 2 se muestra una comparación de las curvas de desorción en materiales con igual cantidad de hidrógeno adsorbida, que sólo se diferencian $\gamma = \frac{m_s}{m_f} = 0, 0,1; 0,5; 1,2$ va de los estados localizados y no localizados. Al incrementarse la desorción se hace más lenta como resultado del retardo ocasionado por las transiciones de los estados localizados a los no localizados, desde los cuales las moléculas difunden a los poros vecinos.

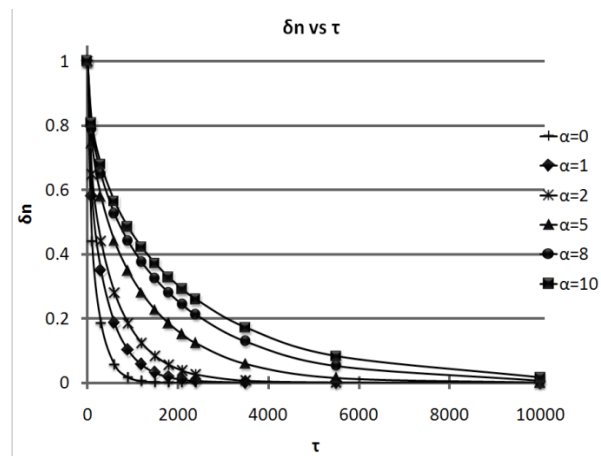


Fig. 2 Fracción de moléculas adsorbidas en función del tiempo

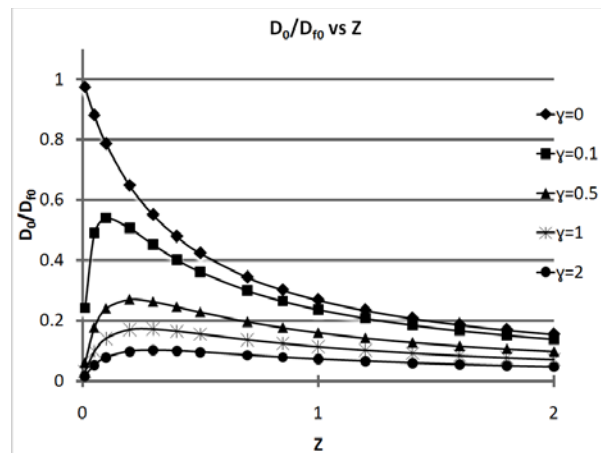


Figura 3. Coeficiente de difusión de transporte efectivo en función de la fugacidad.

Como se aprecia en la figura 3, el coeficiente de difusión de transporte efectivo aumenta con la fugacidad porque con esta se incrementa la fracción de moléculas adsorbidas en estados no localizados. Para cierto valor de z se alcanza un máximo a partir del cual D_0/D_{f0} disminuye por el efecto estérico que origina la creciente saturación de esos estados. En materiales donde la fracción γ de estados localizados sea mayor, el máximo disminuye su altura y se corre hacia mayores valores de z . Obviamente, análogo comportamiento se tendrá en función de la presión o el recubrimiento total, que son funciones crecientes de la fugacidad.

CONCLUSIONES

En presencia de sitios de adsorción fuertemente localizados la difusión se describe por una ecuación integro diferencial que tiene en cuenta el retardo del flujo de moléculas con respecto al gradiente de concentración provocado por las transiciones desde los estados localizados a estados no localizados en un mismo poro. Las soluciones obtenidas muestran que la desorción se hace mucho más lenta al aumentar la ocupación relativa de los estados localizados. El coeficiente de difusión de transporte efectivo aumenta a bajos recubrimientos al incrementarse la población de los estados no localizados y presenta un máximo a partir del cual disminuye por efectos estéricos.

[1] Puru Jena. Materials for hydrogen storage: past, present, future. *J. Phys. Chem. Lett.*, 2, 206-211 (2011).
 [2] Saghar Sepehri, Yanyi Liu and Guozhong Cao. Nanostructured Materials for Hydrogen Storage. *Advanced Materials Research*, 132, 1-18 (2010).
 [3] E. Reguera. Almacenamiento de hidrógeno en nano-cavidades. *Rev. Cub. Física*, 26, 1, 3-14 (2009).
 [4] Yun Hang Hu and Lei Zhang. Hydrogen Storage in Metal-Organic Frameworks. *Adv. Mater.* 22, E117-E130 (2010).
 [5] J. Niu, B. K. Rao and P. Jena. Binding of Hydrogen molecules by a transition metal ion. *PRL*, 68, 15, (1992).
 [6] Tuan K. A. Hoang and D. M. Antonelli. Exploiting the Kubas Interaction in the Design of Hydrogen Storage Materials. *Adv. Mater.* 21, 1787-1800 (2004).
 [7] Abhishek K. Singh, ArtaSadrazadeh and B. I. Yakobson. Metallacarboranes: Toward Promising Hydrogen Storage Metal Organic Frameworks. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 14126-14129 (2010).
 [8] H. Frost, T. Duren and R. Q. Snurr. Effects of Surface Area, Free Volume and Heat of Adsorption on Hydrogen Uptake in Metal - Organic Frameworks. *J. Phys. Chem. B*, 110, 9565-9570 (2006).
 [9] Y. Liu, C. M. Brown, D. A. Neumann, V. K. Peterson, C. J. Kepert. Inelastic neutron scattering of H₂ adsorbed in HKUST-1. *J. of Alloys and Compounds* 446-447, 385-388 (2007).
 [10] B. Panella, K. Hönes, U. Müller, N. Trukhan, M. Schubert, H. Pütter, M. Hirscher. Desorption Studies of Hydrogen in Metal-Organic Frameworks. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 47, 2138-2142 (2008).
 [11] D. Dubbeldam R. Q. Snurr. Recent developments in the molecular modeling of diffusion in nanoporous materials. *Molecular Simulation*, 33 (4-5), 305-325 (2007).
 [12] Wu Zhiqiang, Liu Zhiping, Wang Wenchuan, Fan Yiqun and Xu-Nanping. Diffusion of H₂, CO, N₂, O₂ and CH₄ Through Nanoporous

Carbon Membranes. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 16(5), 709-714 (2008).
 [13] A. I. Skoulidas and D. S. Sholl. Self-Diffusion and Transport Diffusion of Light Gases in Metal-Organic Framework Materials Assessed Using Molecular Dynamics Simulations. *J. Phys. Chem. B*, 109, 15760-15768 (2005).
 [14] D. S. Sholl. Understanding Macroscopic Diffusion of Adsorbed Molecules in Crystalline Nanoporous Materials via Atomistic Simulations. *Acc. Chem. Res.*, 39, 403-411 (2006).
 [15] Parag Adhigale and D. J. Keffer. Obtaining transport diffusion coefficients from self-diffusion coefficients in nanoporous adsorption systems. *Molecular Phys.* 102(5), 471-483 (2004).
 [16] Mithun Kamat and D. Keffer. An analytical theory for diffusion of fluids in crystalline nanoporous materials, *Molecular Phys.* 101(10), 1399-1412 (2003).
 [17] Mithun Kamat, Weijing Dang, and D. Keffer. Agreement between Analytical Theory and Molecular Dynamics Simulation for Adsorption and Diffusion in Crystalline Nanoporous Materials *J. Phys. Chem. B* 108, 376-386 (2004).
 [18] Jinchun Liu, Jeong Yong Lee, Long Pan, R. T. O'ermeyer, Satoru Simizu, B. Zande, Jing Li, S. G. Sankar, and J. K. Johnson. Adsorption and Diffusion of Hydrogen in a New Metal-Organic Framework Material: [Zn(bdc)(ted)0.5]. *J. Phys. Chem. C* 112, 2911-2917 (2008).
 [19] Qingyuan Yang and ChongliZhong. Molecular Simulation of Adsorption and Diffusion of Hydrogen in Metal-Organic Frameworks. *J. Phys. Chem. B*, 109 (24), 11862-11864, 2005.
 [20] F. Salles, H. J., G. Maurin, M. M. Kozá, P. L. Llewellyn, T. Devic, C. Serre, and G. Férey. Experimental Evidence Supported by Simulations of a Very High H₂ Diffusion in Metal Organic Framework Materials. *PRL* 100, 245901 (2008).
 [21] Xuebo Zhao, Bo Xiao, A. J. Fletcher, K. M. Thomas, D. Bradshaw and M. J. Rosseinsky. Hysteretic Adsorption and Desorption of Hydrogen by Nanoporous Metal-Organic Frameworks. *Science* 306, 1012-1015 (2004).
 [22] Di-Chang Zhong, Wei-Xiong Zhang, Feng-Lei Cao, Long Jiang and Tong-Bu Lu. A three-dimensional microporous metal-organic framework with large hydrogen sorption hysteresis. *Chem. Commun.*, 47, 1204-1206 (2011).
 [23] Joongoo Kang, Su-Huai Wei and Yong-Hyun Kim. Microscopic Theory of Hysteretic Hydrogen Adsorption in Nanoporous Materials. *J. Am. Chem. Soc.* 132, 1510-1511 (2010).
 [24] J. A. W. Elliott and C. A. Ward. Temperature programmed desorption: A statistical rate theory approach. *J. Chem. Phys.* 106 (13), 5677-5684 (1997).
 [25] F. Óskarsson, E. S. Aradóttir and H. Jónsson. Calculations of release temperature of hydrogen storage materials. *Prepr. Pap. - Am. Chem. Soc., Div. Fuel Chem*, 51 (1-2), (2006).
 [26] C. Rodríguez, M. T. Pérez, J. de la Cruz and M. E. Fuentes. Ionic Conductivity and Dielectric Response of De-hydrated Zeolites. *Solid State Ionics*, 95(1), 231-239 (1997).

DETECCIÓN AUTOMATIZADA DE CORRIENTES TERMOIÓNICAS EN KCL: Sr²⁺ PARA LA CALIBRACIÓN UNA SONDA DE MEDICIÓN A BAJAS TEMPERATURAS

R. ARABOLLA^A; E. CAPPEAT[†]; Y. MOSQUEDA^A; R. MILIANA, G. MESA^B

a) Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de La Habana, Cuba. cappe@imre.oc.uh.cu †

b) Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, Cuba.

† autor para la correspondencia

La Corriente Termoiónica Inducida (ITC por sus siglas en inglés) es una técnica dieléctrica que se ha utilizado con mucho éxito en el estudio de materiales que presentan dipolos. Estos dipolos pueden influir significativamente sobre las propiedades de los mismos, lo cual constituye un campo importante en la investigación actual. En este trabajo se muestra la construcción y puesta a punto de una sonda automatizada empleando la plataforma programable "Lab View 2009" donde se realizaron mediciones de ITC de pastillas de KCl (puro y dopado con 0.053% moles de Sr²⁺) a bajas temperaturas. La influencia y comprobación del dopaje fue evaluada por Termoluminiscencia Isotérmica (TL) a 513K. Las mediciones por TL mostraron un aumento considerable de la señal al producirse el dopaje, demostrando la presencia del estroncio en la estructura del material. La relajación de dipolos asociados con el estroncio produjo un pico de ITC en una TM = 247K, además se detectó un pico producto de la polarización interfacial. Estos efectos se mostraron para valores de V_p=600Volt y b(cal)=17K/min.

Induced Thermoionic Current (ITC) is a dielectric technique that has been successfully employed in the study of the defects responsible for the presence of different kinds of dipoles in diverse materials. Frequently these defects are associated with different properties as electrical, optical and others. In this work is shown the design and construction of automated homemade sonde for ITC measurements. The calibration of the measurement was carried out on KCl pellets (pure and doped with 0.053% mol of Sr²⁺) at low temperature over a "LabView-2009" platform. The influence and confirmation of the doping in the synthesized materials were evaluated by isothermal thermoluminescence (TL) at 513K. The TL measurement showed a substantial signal increment when the samples were doped. This doping generated an ITC Tm-signal at 247 K due to dipole reorientation of the IV (Sr²⁺-V'K) type. Furthermore, a peak associated to the interfacial polarization was detected. These defects appeared at a polarization voltage of 600 V and a heating rate of 17K/min.

Palabras Clave. Thermoluminescence, 78.60.Kn, Thermally stimulated currents in dielectrics, 77.22.Ej, Thermal instruments and techniques, 07.20.-n.

INTRODUCCIÓN

La medición de "Corrientes Termoiónicas", ITC, por sus siglas en inglés, es una técnica dieléctrica que se ha utilizado con mucho éxito en el estudio de materiales que presentan dipolos, dentro de los cuales podemos citar: sólidos que poseen vacancias, iones intersticiales o moléculas que presentan momento dipolar intrínseco.

Esta técnica posee numerosas ventajas sobre sus análogas: "Espectroscopia Dieléctrica (tgδ)", "Depolarización Isotérmica", "Termoluminiscencia (TL)", etc. Dentro de estas ventajas podemos citar que se pueden detectar pequeñas concentraciones de dipolos, es alrededor de 100 veces más sensible que tgδ y permite aislar picos que se solapan mediante la técnica de limpieza [1].

Para realizar una medida de ITC es necesario polarizar el dieléctrico bajo la acción de un campo eléctrico constante (E_p)

durante un tiempo de polarización (t_p) en el cual se garantiza, que un elevado porcentaje de los dipolos contenidos en la muestra se oriente en la dirección del campo; posteriormente la muestra se enfría hasta una temperatura final (T_f) donde estos dipolos se mantengan congelados en las dirección de polarización; se interrumpe el campo eléctrico y luego se calienta

controladamente la muestra con una velocidad $b = \frac{dT}{dt}$ Surge así una corriente I determinada por la velocidad de desorientación de los dipolos, según ecuación 1.

$$i = \iint_S \frac{d\vec{P}}{dt} \cdot d\vec{S} \quad (1)$$

El modelo que describe la relajación de los dipolos, considera una cinética de primer orden respecto a P con un tiempo de relajación único para cada valor de temperatura de forma tal que 1,2:

$$\frac{dP}{dt} = -\frac{1}{\tau} P \quad (2)$$

Donde

$$\tau(T) = \tau_0 e^{-\frac{E_a}{KT}} \quad (3)$$

A partir de estas ecuaciones se obtiene la ecuación (4) que describe matemáticamente la forma de los picos de ITC y se relacionan los parámetros que intervienen en la obtención de estos picos de corriente.

$$I = SP_0(tp, Tp)(\tau_0 e^{\frac{E_a}{KT}})^{-1} \exp\left[-\int \frac{1}{b\tau_0} \exp\left(-\frac{E_a}{KT}\right) dT\right] \quad (4)$$

Donde τ es el tiempo de relajación, E_a es la energía de activación del proceso y P_0 es la polarización total.

La polarización total depende linealmente del campo eléctrico (E) aplicado a la muestra como se observa en la ecuación 5.

$$P_0 = \alpha \frac{N_{\max} \mu^2 E}{KT} \quad (5)$$

Esta ecuación puede ser deducida muy fácilmente asumiendo un equilibrio entre un número constante de dipolos ($N_{\max}$) que se encuentran en dos configuraciones de polarización, una aleatoria y otra en la que los dipolos dirigen su momento linealmente con el campo.

La posición del máximo de corriente de la ecuación (4) se puede determinar mediante la ecuación (6), donde se aprecia que T_M depende de los parámetros característicos del tipo de dipolo (E_a y τ).

$$T_M = \sqrt{\frac{bE_a \tau_0 e^{\frac{E_a}{KT_M}}}{K}} \quad (6)$$

El cloruro de potasio dopado con estroncio KCl: Sr²⁺ es un material cuyos picos de ITC, debido a la relajación de dipolos tipo IV (Sr²⁺-V'K), se han estudiado por distintos autores 2.3.4; por lo que puede ser empleado como material para la calibración de un instrumental de detección de ITC. Además, este material presenta una síntesis muy sencilla y pocos requerimientos en cuanto al voltaje de polarización de las muestras.

La Termoluminiscencia es una técnica análoga a ITC, sólo que se mide la luminiscencia de cierto proceso radiactivo a temperatura constante o empleando una rampa de calentamiento. Un modelo, que describe la relajación termoluminiscente a temperatura constante y con rampa de calentamiento (*curva glow*) fue propuesto por I. Katsuyuki y col para estudiar el comportamiento de la señal luminiscente en el tiempo respecto a la historia térmica, de la muestra de KCl: Sr²⁺. Estos autores estudian un rango de temperatura desde temperatura ambiente hasta alrededor de 500 K, rango en el cual se encuentra la señal termoluminiscente

correspondiente a la recombinación de centros intersticiales (V, H), asociados a las vacancias producidas por la presencia del Sr²⁺, con centros F 2,6. En su modelo, se proponen dos tipos de trampas asociadas a Sr²⁺. Una primera trampa debido a agregados o precipitados de Sr²⁺ (D1) y una segunda trampa debido a complejos aislados (D2). La luminiscencia ocurre en cascada de las trampas D1 hasta D2 y luego hacia los centros F. La intensidad de luminiscencia es una función creciente de la cantidad total de centros atrapados en D1 y D2, para el tiempo donde se obtiene el máximo de la intensidad de conteos. Lo dicho anteriormente evidencia que es posible determinar la presencia del Sr²⁺ a partir del aumento de la intensidad de los picos de Termoluminiscencia Isotérmica cuando la temperatura de decaimiento se encuentre por debajo ~550K.

La magnitud de esta influencia se puede relacionar con las mediciones de ITC ya que ambas están relacionadas con la presencia del Sr²⁺.

El objetivo de este trabajo es mostrar resultados preliminares de la construcción y puesta a punto de una sonda automatizada de mediciones de ITC a bajas temperaturas empleando como materiales patrones KCl puro y dopado con Sr²⁺.

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Materiales y Métodos. Se sintetizó una muestra de KCl dopado con una concentración nominal de 0.053 % en mol de Sr²⁺ empleando el Método de las Sales Fundidas⁷ como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 1. El KCl de partida (puro para análisis) se sometió al mismo procedimiento térmico utilizado para la síntesis del material dopado.

Para la medición por Luminiscencia Isotérmica se prepararon dos pastillas: una de KCl: Sr²⁺ y la otra de KCl puro. En ITC se midió sólo la pastilla con el material dopado en diferentes condiciones.

Termoluminiscencia Isotérmica.

En la medición de las pastillas correspondientes fueron irradiadas a temperatura ambiente con radiación β^- del ⁹⁰Sr hasta suministrar una misma dosis de 10 mSv a cada una de ellas. Después de la irradiación las muestras se dejaron enfriar por 1h. Para la obtención de las curvas de Luminiscencia Isotérmica las muestras se calentaron en un equipo comercial RADOS modelo RE-2000 a una temperatura de 513K para asegurar que decayera toda la luminiscencia que corresponde a la recombinación de centros F y centros intersticiales asociados a dipolos y clústeres de Sr²⁺/V'K.

Corrientes termoiónicas. Las mediciones se realizaron empleando una sonda (ver figura 2), construida en el laboratorio LAE-IMRE, provista de un horno de 2 x1 cm con una resistencia de manganina de 250 ohmios enrollado de

forma no inductiva. Este equipo contiene además un portamuestra en forma intercalada con electrodos de acero inoxidable que descansan sobre bases de mica. El sensor de temperatura utilizado fue un termopar de cobre – constantán. Todo este sistema se encuentra inmerso en un Dewar de nitrógeno líquido.

Para imponer el voltaje de polarización se utiliza una fuente de 2 kV. La temperatura se controla empleando un control de temperatura multirampa "Eurotherm" con la ayuda de una cámara web para la visualización de los valores y la medición de corriente se efectúa con un electrómetro Keithley 6514 con una precisión de hasta 10^5 pA. Todo el procedimiento de aplicación del alto voltaje y de medición de las corrientes de ITC así como los comandos para las rampas de calentamiento, es controlado desde una computadora gracias a la ayuda de la plataforma programable Lab View 2009 como muestra la figura 3.

Para la detección de ITC se realizaron dos corridas sobre la muestra de KCl:Sr²⁺ donde se mantuvo constante el $t_p = 5$ min y la temperatura de polarización $T_p = 253$ K. Se varió el voltaje de polarización y la velocidad de calentamiento. En la primera corrida se aplicó un voltaje de polarización (V_p) de 600 Volt y una velocidad de calentamiento de 12 K/min y en la segunda se aplicó un $V_p = 755$ Volt y una velocidad de calentamiento de 17 K/s.

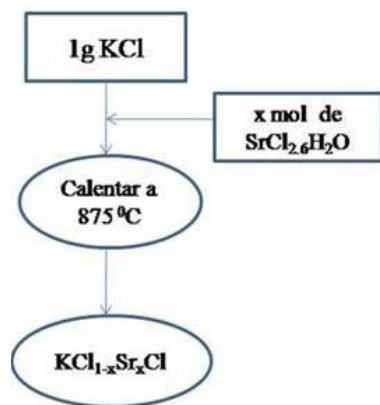


Figura1. Síntesis de KCl dopado con Sr²⁺.

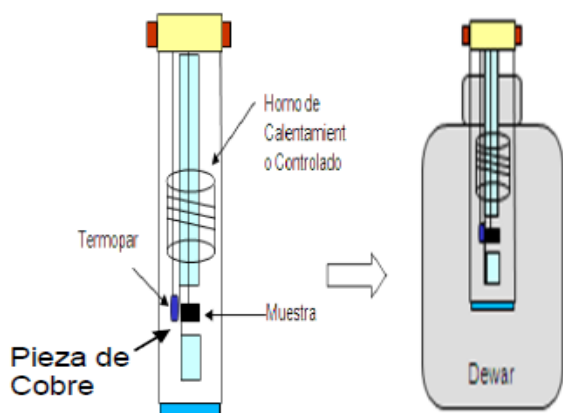


Figura 2. Sonda de Medición de baja temperatura construida en LAE-IMRE.

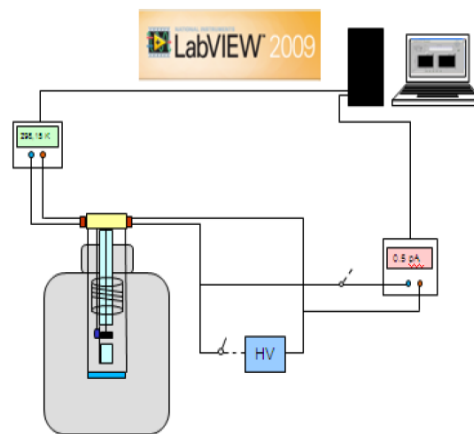


Figura 3. Sistema de medición de ITC a bajas temperaturas

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las curvas obtenidas de la medición por Termoluminiscencia sobre el KCl dopado y sin dopar se muestran en la figura 4. Como se observa, se produce un gran aumento de la intensidad del pico de luminiscencia en el KCl:Sr²⁺ que en el caso del KCl puro, ambos bajo el mismo tratamiento térmico. Esto pone de manifiesto que el Sr²⁺ se introduce en la estructura del KCl formando dipolos aislados o aglomerados dipolares los cuales se asocian a centros intersticiales creados por la interacción de la radiación con los sólidos.

La medición de ITC a la muestra de KCl dopada con Sr²⁺ en las diferentes condiciones se muestra en la figura 5. Bajo la acción de un V_p alto y una velocidad de calentamiento baja, solo se observa un pico de ITC el cual está relacionado con la detección de acumulación de espacio de carga y polarización interfacial.

Estos efectos se pueden identificar fácilmente debido a que suelen producirse en una zona de temperatura posterior a la temperatura de polarización de la muestra ($T_p = 253$ K) y son picos muy intensos y anchos que surgen por la depolarización de cargas acumuladas en la superficie de los electrodos o en la frontera de los granos respectivamente.

El segundo pico (II) de la figura 6, al igual que en el caso de la medición con altos valores de voltaje y baja velocidad de calentamiento es debido a la relajación térmicamente estimulada de la polarización interfacial.

Como se ve en la figura 5, al comparar los dos gráficos obtenidos correspondientes a las distintas condiciones de medición, empleando un voltaje de polarización bajo (600 V) y una velocidad de calentamiento alta (17 K/min), se logra observar el pico de ITC esperado. Sin embargo, para un voltaje de polarización alto (775 V) no se reproduce el pico ITC, contrario a lo que se debiera esperar de la ecuación 5. Las mediciones realizadas en este campo demuestran que la intensidad de los picos de ITC aumenta con el voltaje, pero las mismas se refieren a experimentos en monocristales 2.

Como es conocido el trabajo con policristales trae como consecuencia que el área de la superficie aumente considerablemente y contribuye a que se manifiesten o maximicen propiedades de los materiales que están relacionadas con esta. En nuestro caso, al emplear un material policristalino, el aumento del área superficial y la disminución del tamaño de los granos trae como consecuencia que aumente la cantidad de vacancias que migran a la superficie al aumentar el voltaje de polarización, esto se traduce en un aumento de la polarización interfacial que se verifica por el aumento de la intensidad del pico de polarización interfacial para un voltaje de 755 V en comparación con el de 600 V figura 5. Esta observación es novedosa y aporta una nueva perspectiva a las mediciones de ITC.

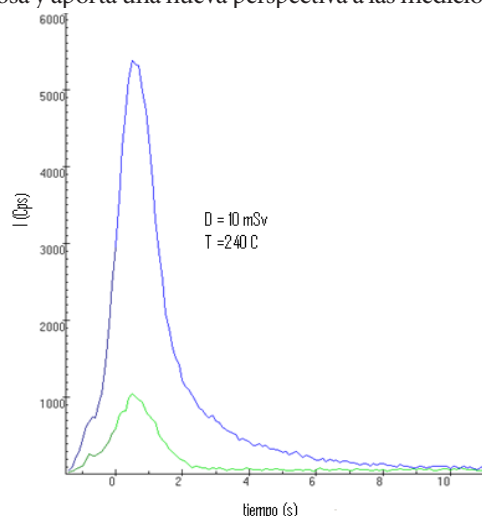


Figura 4. Curvas de decaimiento isotérmico a 513K (240 °C) del KCl puro (curva verde) y dopado (curva azul)

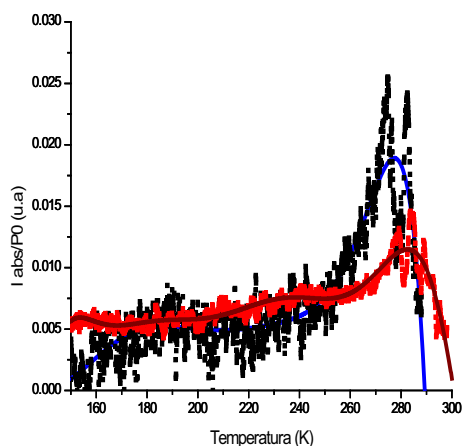


Figura 5. Medición de las curvas ITC en diferentes condiciones. Puntos en negro: $V_p=755\text{V}$, $b(\text{cal}) = 12\text{K/min}$; $t_p=5\text{min}$. Puntos rojo, $V_p=600\text{V}$, $b(\text{cal})= 17\text{K/min}$, $t_p=5\text{min}$.

Una posible consecuencia de la aparición de los picos de ITC a un bajo valor de voltaje (y no en altos voltajes como era de esperar) está relacionada con el hecho de que al migrar las vacancias a la superficie, estas dejan de formar entidades dipolares asociadas al Sr^{2+} del tipo $\text{Sr}^{2+}-\text{V}'\text{K}$, disminuyendo así la cantidad neta de estos dipolos y por lo tanto la intensidad de los picos producidos por su relajación. Este efecto no se contempla en la expresión de la polarización mostrada en la ecuación 5 donde se asume que el número de dipolos es constante, lo cual debe ser considerado en el aparato teórico al estudiar materiales policristalinos.

CONCLUSIONES

A partir de un instrumental construido en el Laboratorio de Análisis Estructural (LAE) del IMRE y de la automatización de las mediciones empleando el programa Lab View 2009 se han dado los primeros pasos en la detección automatizada de ITC en Cuba. Se obtuvieron máximos de corriente de ITC que se encuentran en el entorno de temperatura reportado por otros autores para el material patrón $\text{KCl}:\text{Sr}^{2+}$ con lo cual se verifico la calidad del sistema construido. La puesta en marcha del instrumental para la medición debe contribuir al estudio posterior de materiales novedosos en nuestro país cuyas propiedades dependen fuertemente de la presencia de defectos en la red que constituyen dipolos.

La medición realizada a policristales de $\text{KCl}:\text{Sr}^{2+}$ arrojó que el efecto del tamaño de las partículas tiene influencia en el comportamiento de ciertas magnitudes como es la relación entre la intensidad del pico y el voltaje de polarización. Este hecho no se tiene en cuenta en las expresiones matemáticas que explican la forma de las curvas de ITC, lo que debe ser estudiado para la aplicación de esta técnica a policristales.

- [1] R.Capellet, "Thermal Stimulated Depolarization Studie of Ionic Solids", in defects in solids. edited by A.V.Chadwick and M. Trenzi. pp 407-430 (Plenum Publishing Corporation, 1986).
- [2] C.Bucci, R.Fieschi, G. Guidi, "Ionic Thermocurrents in Dielectrics", Physical Review, 148, 816-823 (1966).
- [3] S.W.S. McKeever, "Thermoluminescence in the alkali halides", Radiation Protection Dosimetry", 8, pp 3-23 (1984).
- [4] C. Bucci, R. Fieschi, "Ionic Thermoconductivity. Method for the Investigation of Polarization in Insulators", Physical Review Letters. 12, pp 16-18 (1963).
- [5] K. Inabe and N. Takeuchi, "Effect of Impurity Agregation on the Shift of Thermoluminescence Glow Peak of X- Irradiated $\text{KCl}:\text{Sr}^{2+}$ ", Japanese Journal of Applied physics. 17, pp 1549-1554 (1978).
- [6] A. R. West, "Solid State Chemistry and its applications". Parte1, pp 8-20 (John Wiley & Sons, 1984).

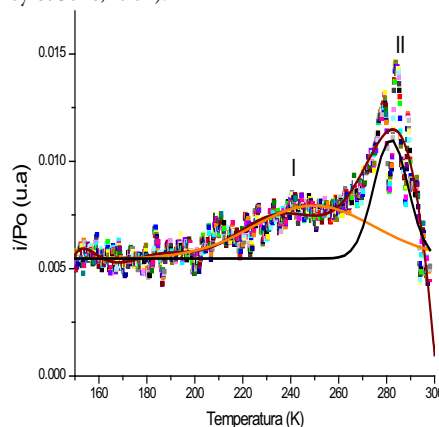


Figura 6. Deconvolución de curva ITC de $\text{KCl}:\text{Sr}^{2+}$. Las condiciones de medición fueron $V_p=600\text{V}$, $T_p= 253\text{K}$, $t_p= 5\text{min}$ y $b(\text{cal})= 17\text{K/min}$.

IDENTIFICACIÓN DE PIGMENTOS Y OBTENCIÓN DE UN MODELO CUANTITATIVO PARA LA ATRIBUCIÓN DE PINTURAS ARTÍSTICAS POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X PORTÁTIL

A. MENDOZA^a, I. MAQUEIRA^a Y A. FERNÁNDEZ^b

^a Laboratorio de Arqueometría, Colegio Universitario San Gerónimo de La Habana, Oficina del Historiador de la Ciudad de La Habana, amendoza@mail.com†, ariadna@sangeronimo.ohc.cu†

^b Museo Biblioteca Servando Cabrera.

†autor para la correspondencia

Se examinan los pigmentos de la paleta de colores de pinturas artísticas mediante un análisis no destructivo e in situ con un sistema portátil de Fluorescencia de rayos X basado en un detector Si-PIN y un tubo de rayos X miniaturizado (50 kV, 1 mA). Se propone un método que permite obtener un modelo cuantitativo para la atribución de pinturas a partir del análisis multivariado de la data del "espectro blanco" de pinturas de incuestionable atribución. El espectro blanco de una pintura se definió, para este desarrollo, como el promedio en todos los puntos medidos de los rangos del espectro que excluyen los elementos identificadores del pigmento por cada color. Se identificaron los pigmentos de la paleta de colores de la pintura del destacado pintor cubano Servando Cabrera. El modelo de clasificación del "espectro blanco" predijo correctamente dos set de pinturas seleccionadas entre las pinturas de Servando. La identificación de pigmentos y el modelo de atribución obtenido aportaron un criterio sobre los materiales y técnicas para la atribución de una pintura anónima al período académico de Servando.

The colors palette's pigments of artistic paintings are examined through a non destructive and in situ analysis with a portable X rays system based on a Si-PIN detector and a miniaturized X ray tube (50 kV, 1 mA). A method that allows to obtain a quantitative model for the attribution of paintings starting from the multivariate analysis of "target spectrum" data of unquestionable attributed paintings is proposed. The target spectrum of a painting was defined, for this development, as the average in all the measured points of the spectrum ranges that exclude the elements identifier of pigment for each color. The pigments of the colors palette of the outstanding Cuban painter Servando Cabrera were identified. The classification model of the "target spectrum" predicted correctly two set of paintings selected among the paintings of Servando. The identification of pigments and the obtained attribution model contributed to a criterium about pigments and technique for the attribution of an anonymous painting to the academic period of Servando.

Palabras Clave. Portable X-ray fluorescence, paintings attribution, multivariate analysis

INTRODUCCIÓN

La Fluorescencia de Rayos X (FRX) es un método ya establecido en el estudio arqueométrico de bienes culturales[1] que permite realizar un análisis multielemental no destructivo, es decir sin extracción de muestras y sin contacto o alteración en la superficie del objeto examinado. El empleo de los sistemas portátiles de FRX, que iniciaron a desarrollarse a finales de los 90 2, 3, 4 se considera idóneo ya que posibilita los análisis "in situ" donde los objetos de arte y arqueología son conservados⁵ y permite superar el límite de pobre representatividad de los microanálisis o análisis destructivos - cuando estos son permitidos - a causa de que la toma de muestra puede realizarse solo de algunos puntos que no comprometan el mensaje artístico de la obra; usualmente aprovechando el momento de la restauración. Sin embargo los estudios de atribución requieren del análisis de un gran número de objetos y puntos para caracterizar los diferentes materiales genuinos y obtener el criterio de

evaluación que desde este punto de vista se utilizará para analizar un bien cultural de pendiente o cuestionada atribución.

La FRX Portátil (FRXP) se ha utilizado para investigar pinturas con el objetivo de identificar mediante un análisis cualitativo los pigmentos, lo que ha sido útil en la atribución e incluso en algunos casos en el correcto fechado de la pintura y para una conservación y restauración científicamente argumentada. Sin embargo el espectro de FRXP es el resultado no solo de la excitación (con rayos X) del estrato pictórico superficial sino también de la disposición, proporción y composición de pigmentos e inertes empleados en la preparación del soporte e imprimación de la pintura; lo que permite detectar un patrón, especie de un blanco, que se repite en toda la pintura debido al uso particular que hace el artista de materiales y técnicas, reveladores por tanto de la "mano del artista". Por ello, en este

trabajo se propone una nueva metodología para el examen no destructivo e in situ de pinturas a partir de Fluorescencia de rayos X Portátil (FRXP) que permite la obtención de un modelo cuantitativo de clasificación partiendo de la hipótesis: “si se analizan por FRX, pinturas de un determinado autor y periodo, donde predominen colores y técnicas de ejecución características de su estilo individual; es posible identificar los pigmentos de la paleta de colores y obtener a partir de la data espectrométrica un modelo de análisis multivariado que pueda ser utilizado con éxito en la atribución de piezas”. Un modelo así, puede ser obtenido del análisis de la pintura del connotado artista cubano Servando Cabrera (1923-1981). Este tipo de metodología puede ser especialmente útil en los estudios de atribución de pinturas modernas y contemporáneas cuando ya existen los pigmentos descubiertos a lo largo de la historia del arte y la identificación de pigmentos puede ser insuficiente.

Los estudios de atribución o autenticación científicos se caracterizan en la actualidad por su contribución multidisciplinaria. Se inician con el experto del arte en cuestión quien propone una hipótesis de atribución basada en aspectos formales, estilísticos y en datos documentados de la obra y luego le suceden otras contribuciones relacionadas con sus aspectos caligráficos, materiales y estructurales. Esta tendencia ha sido recientemente advertida por científicos del Museo del Getty (Chiari y Leona, 2005), quienes señalan: “la autenticación de obras de arte del siglo XXI está relacionada a la investigación de historia del Arte técnico y Arqueometría, las cuales interactúan entre sí intensamente pues ambas estudian el patrimonio con el objetivo de entender para que, por quien, donde y como fue realizada la obra de arte”⁶.

Es conocido que la pintura de Servando Cabrera fue objeto de una falsificación descubierta en 1984⁷. En aquel entonces, las técnicas de autenticación empleadas fueron a través del examen de expertos mediante comparaciones de trazos, aplicación del color, diseño y composición del formato y firmas. Ahora, se puede evaluar adicionalmente a través de la composición química de los pigmentos e inertes, así como otros tipos de análisis que se realizan en el Laboratorio de Arqueometría (2001-11) de la Oficina del Historiador de Ciudad de la Habana.

Esta investigación presenta la identificación de pigmentos de la paleta de colores de Servando Cabrera y un modelo cuantitativo de clasificación para la atribución de sus pinturas.

DESCRIPCIÓN EXPERIMENTAL

Los análisis in situ se realizaron con el prototipo de espectrómetro portátil Art-Art 8, 9 el cual está basado en un tubo de rayos X miniaturizado con ánodo de Pd (máx. 50 kV, max. 1 mA) y un detector Si-PIN enfriado por efecto Peltier (resolución energética: 230 eV, área activa: 25 mm² y espesor de ventana de Be de 0.5 mil). La geometría entre el haz primario de la fuente de rayos X y el detector se fijó en 45°/45° relativa a la perpendicular de la superficie de la muestra.

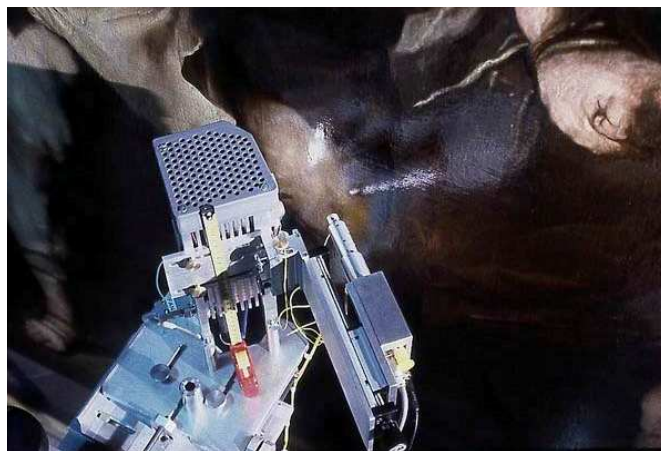


Figura 1. Cabeza de medición del sistema portátil de rayos X.

Mediante el uso de colimadores, se ajustó el tamaño del haz primario de fotones para irradiar regiones en la pintura de un diámetro menor que 1 mm o de 10 mm dependiendo del área disponible del color a analizar. Este incluye una unidad de alimentación y control para el tubo de rayos X, una unidad de alimentación y amplificación para el detector, una tarjeta multicanal, una computadora portátil (laptop) y un soporte mecánico con mesa coordenada sobre el cual se monta la cabeza de medición (figura 1), para desplazarla en X, Y, Z para los análisis en la pintura. El posicionamiento de la cabeza de medición y la selección de los puntos de análisis se realizó a través de la intercepción de las luces de dos diodos láseres para garantizar mediciones adecuadamente reproducibles. Los puntos de medición quedan registrados sobre la imagen digital de las pinturas. Las mediciones se realizaron a 30/40 kV, 0.01 mA, durante 50/100 s.

El sistema portátil fue trasladado del laboratorio de Arqueometría al Museo Biblioteca Servando Cabrera y a la Galería “La Acacia” para el análisis no destructivo e in situ de las pinturas, tal y como estaban expuestas en la pared de las salas de exposición. Se analizaron un conjunto de 25 pinturas (óleos sobre lienzo) de la colección del Museo Biblioteca Servando Cabrera realizados a partir de 1970 hasta 1981, que forman parte de la colección de “Habaneras” y de la pintura erótica de este artista, constituidas por once “Habaneras” (código laboratorio: I, J, K, M, N, O, H, E, F, G, K) y diez eróticos (P, B, V, T, R, Q, A, C, D, S) y las pinturas “Urbino” 1973 (U), “Alejandro en tres tiempos” 1977 (W), dos obras que quedaron inconclusas en 1982, las tres obras de la etapa académica disponibles (Z, ZB, ZC) y una pintura anónima (ZA). Se tuvo la oportunidad de analizar la paleta física de colores (raras veces existentes) del artista que forma parte de la exposición del “Taller del Artista” del Museo. Un total de 670 espectros fueron colectados: 492 de pinturas de Servando y 178 de pinturas modelos preparadas en el laboratorio. Se realizaron de 5 a 10 mediciones por color para evaluar las dispersiones por inhomogeneidades en el análisis multivariado de la data.

ANÁLISIS CUALITATIVO

La determinación de los elementos químicos para la identificación de los pigmentos por FRX se realizó a partir las líneas K para los elementos Cl, Si, K, Ca, Ti, Fe, Cu, Zn, Br, Se, Sr y las líneas L para el Ba y el Cd, este último también identificado con la detección simultánea de las líneas L en la región del Ar, siempre detectado por su presencia en el aire. Los espectros de FRX fueron desconvolucionados para la identificación multielemental y diferenciación en casos de interferencias usando el paquete de programas QXAS¹⁰. Los elementos identificadores del "color químico se relacionaron con los posibles pigmentos 11, 12.

El análisis cualitativo de las pinturas del período eró-tico permitió identificar el Amarillo de Bario (BaCrO_4) por la presencia simultánea de las líneas del Ba y del Cr.

El Rojo de Cadmio ($\text{CdS}(\text{Se})$) por la presencia de las líneas K α del Se y K α del Cd. La Tierra Roja (Fe_2O_3) se identificó por la presencia de las líneas del Fe. El color naranja se identificó como una mezcla de los colores Amarillo de Bario y Rojo de Cadmio. Entre los azules se identificó el Azul de Cobalto (CoAl_2O_4) por la presencia de las líneas K α (6.92 keV) y K β (7.65 keV) correspondientes al Co (figura 2 a) y un azul con presencia de Si detectada por su línea K α (1.74 keV), posible Azul Ultramar ($\text{Na}_{8-10}\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2$) confirmado mediante microanálisis de muestras de la paleta física del pintor por SEM-EDX y un azul con una presencia minoritaria de Fe de naturaleza orgánica, posible azul Prusia que se confirmó mediante microanálisis por FTIR de la paleta.

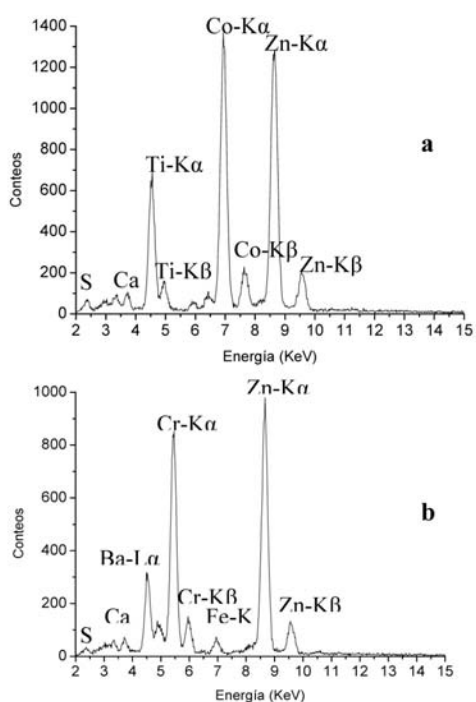


Figura 2
Espectro FRX del pigmento identificado como azul de Cobalto (a) y Verde de cromo (b) en las pinturas de Servando y espectro FTIR del pigmento identificado como azul de Prusia en la paleta física de colores del artista.

El pigmento Violeta de Cobalto ($\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$) se identificó por la presencia de las líneas del Co. Entre los verdes analizados se identificó el Verde de Cromo (Cr_2O_3) por la presencia de las líneas del Cr (figura 2 b), un verde realizado a partir de la mezcla de Verde de Cromo y un Verde a base de Cobre y un verde con Cu y la línea K α del Br (11.91 keV), con posible presencia de Verde de Ftalocianina Bromado ($\text{C}_{32}\text{H}_4\text{N}_8\text{Br}_4\text{Cl}_8\text{Cu}_2$). En los colores blancos se identificaron: Blanco de Titanio (TiO_2) y Blanco de Zinc (ZnO); por las líneas del Ti y Zn, respectivamente. El Negro de Marte (Fe_2O_3) se identificó por las intensas líneas del Fe. El pigmento Blanco de Titanio (TiO_2) se empleó para aclarar los colores, como se observó en el espectro del Azul de Cobalto (figura 2 b) y Violeta de Cobalto. La presencia de elementos identificadores de un color en puntos analizados blancos, por ejemplo Co del azul Cobalto en color blanco y Cu del Verde a base de Cobre en todos los colores analizados de una misma obra (pintura N), sugiere el empleo de capas pictóricas subyacentes como parte de la técnica artística de Servando Cabrera, lo que concuerda con lo que evidencian las dos obras inconclusas. Es característico de Las Habaneras el uso del Rojo de Cadmio en los labios. El pigmento Blanco de Zinc (ZnO) se usó en algunas obras posteriores a 1974 y es característica la presencia de Pb en todos los puntos analizados, de la pintura del año 1969 sin embargo en las obras de los años 1972 y 1973 el plomo aparece asociado a los colores azules oscuros y negros.

En las obras analizadas del periodo académico se identificaron los pigmentos Amarillo de Cromo (PbCrO_4) por la presencia simultánea de las líneas del Cr y las líneas del Pb, Blanco de Zinc y Verde de Cromo. Con el fin de encontrar pigmentos indicadores de un período determinado en la pintura de Servando Cabrera se realizó una tabla cronológica de pigmentos (figura 3). En todos los espectros se observó la presencia de los elementos: S, Ca, Ti o Ba y Zn.

ANÁLISIS MULTIVARIADO

El análisis exploratorio de la data total integrada de las mediciones de las 25 pinturas de Servando y 16 pinturas modelos se realizó mediante los gráficos derivados del método de PCA (Principal Component Analysis) utilizando el programa de computación Quimiometrix desarrollado por el CENATAV 13. Se tomaron como variables reales los rangos de energía de mejor modelación substrayendo los elementos identificadores de pigmentos. Estos espectros resultantes formaron la data de "espectros blancos", que corresponde a los elementos asociados a cargas inertes o a pigmentos blancos en las capas subyacentes (preparatoria, imprimación...) y en la capa pictórica superficial. Antes del procesamiento de PCA, se tomó el valor promedio de los espectros blancos de todos los colores analizados para cada pintura y se les aplicó el algoritmo de MSC (Multiscattering correction) para considerar todas las variables con el mismo peso independientemente del orden de su magnitud y corregir las ligeras variaciones de offset y se centró en la media. El procesamiento se realizó mediante una validación de

bloque continuo excluyendo 1 pieza en cada iteración, en modo de optimización exhaustivo y un nivel de confiabilidad de 0.95. El número de componentes principales óptimo se tomó considerando los parámetros de Varianza, la variación de cada componente principal en forma de porcentaje (Percent), el porcentaje acumulativo de información por número de componente y la Suma de los Cuadrados del Error Residual (PRESS). Ninguna muestra de las datas de pinturas modelos y pinturas de Servando fue eliminada según el criterio de los dos umbrales de plot de muestras anómalas (“outliers”).

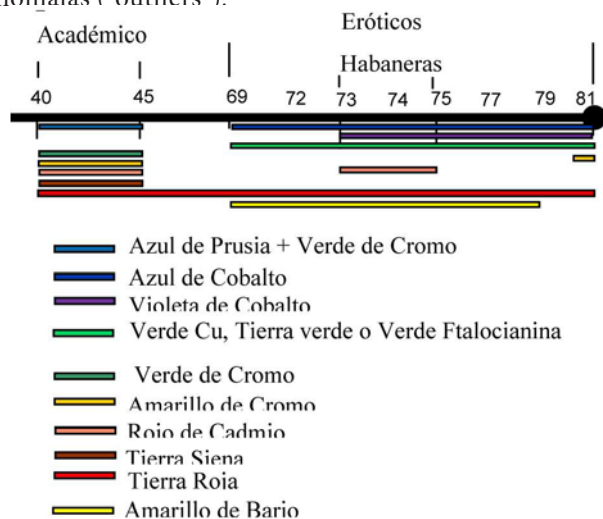


Figura 3. Cronología de pigmentos en la pintura de Servando.

Se construyó un modelo de clasificación para la atribución de pinturas de Servando Cabrera para la data de “espectros blancos” a partir de un set de entrenamiento. El set de entrenamiento está formado con la data de parte (15/25) de las pinturas de Servando Cabrera de incuestionable atribución asignadas como clase 1 (A, B, G, H, K, L, O, P, Q, R, S, T, V, W, X), parte de la data las pinturas modelos con capa de preparación constituida por Creta (CaCO_3) + blanco de Cinc (ZnO) (8) asignadas como clase 2 (I-I, II-I, IV-I, III-I, VI-III, V-I, IX-V, IX-IV) y parte de la data de pinturas modeladas con capa de preparación constituida por Creta (CaCO_3) + Blanco de Calcio (CaO) (8) asignada como clase 3 (X-II, X-III, XI-I, X-III, XI-III, XI-III, XI-IV, XII-VI). El modelo de clasificación fue evaluado a través de dos sets de validación que incluyen también las pinturas de Servando menos representadas del conjunto de pinturas del artista analizadas. Los dos sets de validación estuvieron integrados: el set I por 7 pinturas de Servando Cabrera (C, D, I, J, M, U, Y) y 3 pinturas modelos de clase 2 (I-II, III-II, VI-IV) y 4 de clase 3 (XI-VI, X-VI, II-III, X-IV) y el set II por las pinturas de Servando: E, N, I, J, M, U e Y y las pinturas modelos. Se trabajó con dos clasificadores: Análisis Discriminante sobre Mínimos Cuadrados Parciales y Máquinas de Soporte Vectorial 14 (conocidos por sus siglas en inglés: PLS-DA y SVM, respectivamente). La evaluación del mejor clasificador se realiza a partir del error en la clasificación de las muestras del set de validación.

Con el objetivo de aplicar el modelo de clasificación para la atribución de pinturas, se utilizó el algoritmo de *predicción* implementado en el Quimiometrix. Se utilizó en un set de tres pinturas de Servando que no se incluyeron en los sets de entrenamiento y validación y se repitió el procedimiento para otro set, variando las pinturas escogidas, tres en número, sustraídas del set de validación teniendo en cuenta también las pinturas menos representadas del conjunto de pinturas del artista.

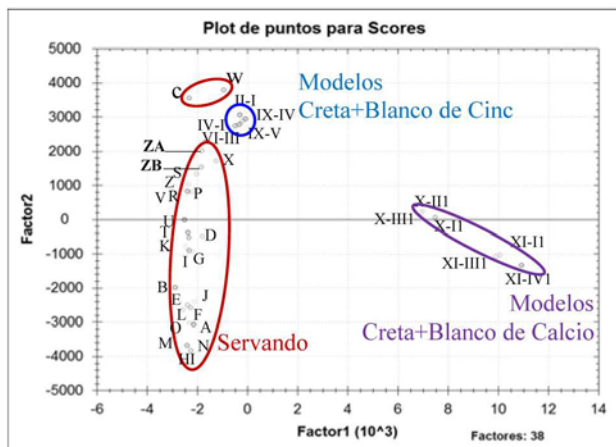
Se exploró la data total del “espectro blanco” y se escogió el rango de variables comprendidos entre 1.14 keV y 5.09 keV correspondientes a los elementos S, Ca y Ba o Ti y entre 9.08 keV y 10.09 keV para incluir la línea $K\beta$ del Zn. La línea $K\alpha$ del Zn se eliminó pues presenta interferencia con las líneas $K\alpha$ del Cu, elemento identificador de los pigmentos verdes a base de cobre. Estos rangos energéticos están determinados por los elementos químicos que se repiten con la misma intensidad en los colores comunes de todas las pinturas, eliminando del análisis los colores claros con mayor intensidad de las líneas del Ti o Zn, debido a la adición que hace el artista de los pigmentos Blanco de Titanio o Blanco de Cinc.

En el análisis exploratorio de esta data se utilizaron 5 factores, como número óptimo que extrae un 97% de la información de la data. El factor 1 (58 %) separa entre las pinturas de Servando (clase 1) y las pinturas modeladas y el factor 2 (19 %) diferenció entre las preparaciones con Creta y Blanco de cinc (clase 2) y las realizadas con Creta y Blanco de Calcio (clase 3) (figura 4). Las pinturas de Servando con los códigos C y W que se alejan algo del resto, coinciden en que ambas presentan otra pintura subyacente (lo que se conoce del italiano como *pentimenti*) que en el tiempo se ha evidenciado a simple vista al transparentar el óleo.

Se comprobó que el gráfico de PCA diferencia las pinturas por materiales y técnicas de ejecución. El poder de modelación (PM) decae a 0.88 para las variables entre los 2.24 y 3.67 keV correspondientes a la zona donde se encuentran las líneas del S y K y demuestra la importancia en la agrupación de los datos del rango energético del espectro blanco entre 3.78 y 10.09 keV correspondientes a las líneas de los elementos Ca, Ba o Ti y Zn (PM=0.96). La comparación del gráfico de PCA para muestras y variables permitió evidenciar que la variable Ca caracteriza al grupo de pinturas modelos con imprimación de Creta lo que se observa en la separación de las variables en el rango correspondientes al Ca, por la componente 1. En el gráfico PCA de las variables, el grupo de pinturas modelos con imprimación de Creta y Blanco de Cinc se caracteriza por mayor concentración de Zn y se encuentra más próximo a las pinturas de Servando, como es lógico ya que estas últimas tienen Blanco de Cinc en la capa pictórica superficial.

La evaluación de los modelos de clasificación mostró que: el modelo PLS-DA logra la clasificación de todas las muestras y predice correctamente la clase a la que pertenecen las pinturas de Servando, sin embargo no logra clasificar correctamente la pintura modelo I-II. Con el modelo SVM todas las muestras

1E50



probablemente la mano del artista en ambas regiones, se analizó el color rojo encontrado en el borde de la camisa y se identificó que se usó el mismo pigmento Tierra Roja en la firma, dada la igual relación de intensidades de los picos de Fe y Zn. En esta pintura se identificó además un color azulado con presencia si-multánea de líneas intensas de Fe y de Cr que indican la mezcla de Azul de Prusia ($\text{Fe}_4(\text{FeCN}_6)_3$) y Verde de Cromo. Esta combinación tan inusual, casi imperceptibles en los tonos blancos azulados, en proporciones similares según la relación de intensidades de los picos respecto a las obras del período académico unida a los análisis mencionados anteriormente permite corroborar la atribución de esta pintura al periodo académico.

Análisis multivariado: Con el objetivo de atribuir pinturas de Servando, se utilizó el algoritmo de predicción implementado en el Quimiometrix para evaluar la clasificación del modelo propuesto con los métodos de clasificación PLS-DA Y SVM. La predicción se realizó con un set de tres pinturas de Servando que no se incluyeron en los set de entrenamiento y validación y se repitió el procedimiento para otro set para predicción, variando las pinturas escogidas, tres en número, sustraídas del set de validación teniendo en cuenta también las pinturas de Servando menos representadas en el grupo de pinturas del artista. La pintura anónima (ZA) se predice como del período académico, la cual en el gráfico de PCA está próxima a la pintura del período académico ZB (La hermana, 1940) (en figura 4).

Utilizando los modelos de clasificación obtenidos (por PLS-DA y SVM) “se predijo” la atribución de pinturas de Servando Cabrera incluidas en los set 1 y 2 que incorporan también muestras de pinturas modelos. En ambos set las pinturas de Servando, fueron clasificadas correctamente por PLS-DA y SVM. Esta predicción de atribución ha sido realizada para evaluar el método propuesto de caracterización de las pinturas a través del “espectro blanco”, demostrando su efectividad. No obstante este modelo de clasificación se continuará entrenando con otras pinturas de Servando y se enriquecerá la data con el estudio de otros pintores cubanos (en los marcos de un convenio de colaboración con el Museo Nacional de Bellas Artes) y de otras pinturas modelos.

CONCLUSIONES

El método propuesto para el examen no destructivo de pinturas a partir del análisis in situ por FRXP; permite caracterizar la pintura de un artista a través de la identificación de pigmentos e inertes y un modelo de clasificación cuantitativo para la atribución, lo cual fue demostrado con el estudio de la pintura del destacado artista cubano Servando Cabrera. Los pigmentos identificados de la paleta de colores de Servando fueron: Amarillo de Bario, Rojo de Cadmio, Tierra Roja, Naranja a partir de Amarillo de Bario y Rojo de Cadmio, Azul de Cobalto, Azul ultramar, Violeta de Cobalto, Verde Cromo, Verde a base de Cobre,

ANÁLISIS PARA ATRIBUCIÓN

Análisis cualitativo: En todos los puntos analizados de la pintura anónima que representa a un niño de pendiente atribución al período académico de Servando se identificaron los elementos S, Ca, Ba y Zn lo que sugiere el empleo de sulfato de Ca como preparación, y sulfato de bario y blanco de cinc como carga inerte o pigmento de aclarado, materiales comúnmente identificados en las obras de Servando. Se identificó el empleo de pigmentos tierra en la zona de la carnación y en el fondo carmelita de la obra por la presencia de las líneas K del Fe. En el carmelita del cabello del niño se identificó el pigmento Tierra de Siena (por la presencia simultánea de las líneas K de Fe y del Mn. Los labios de color rosado, fueron realizados con Tierra Roja por la presencia de las líneas del Fe y el blanco empleado en la camisa se identificó como Blanco de Cinc. Estos pigmentos también fueron usados por el pintor en las obras académicas analizadas.

La firma de esta obra es poco legible sin embargo conserva rasgos similares a la caligrafía de Servando Cabrera. Con el objetivo de comprobar si el pigmento del color rojo de la pintura coincide con el de la marca, lo que indicaría muy

Verde ftalocianina (bromado), blanco de Titanio, Blanco de cinc y Negro de Marte, en las pinturas del período erótico (1969-81) y Amarillo de Cromo, Tierra Roja, Tierra de Siena, azul verdoso de la mezcla de Azul de Prusia y Verde de Cromo y blanco de cinc, en las pinturas del período académico (1940-45). Los inertes identificados fueron: sulfato de calcio en la preparación del lienzo y carbonato de calcio y sulfato de bario en la capa pictórica. Se aporta una tabla cronológica de pigmentos, para la atribución futura de pinturas del artista.

El modelo de clasificación del “espectro blanco” (con el algoritmo de SVM) permitió correctamente predecir las pinturas del artista, diferenciándolas incluso de pinturas modelos preparadas con pigmentos y técnicas artísticas a imitación de la ejecución del pintor. Se obtuvo un criterio sobre los materiales y técnicas para la atribución de una pintura anónima al período académico.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la gentil colaboración de los trabajadores del Museo Biblioteca Servando Cabrera durante las mediciones. Aprovechamos para destacar la utilidad del software nacional Quimiometrix desarrollado por el CENATAV y agradecer a sus creadores por introducirnos en la operación de sus diversas funciones.

- [1] E. S. Lindgren, “X-Ray Spectrom. Special Millennium Issue on Cultural Heritage,” edited by Guest Vol.29, No. 1 (2000).
- [2] R. Cesareo, G. E. Gigante, P. Canegallo, A. Castellano, J. S. Iwanczyk, “Applications of non-cryogenic portable EDXRF systems in archaeometry,” *Nucl Instrum Meth. A*, 380: 440-445 (1996).
- [3] A. Longoni, C. Fiorini, P. Leutenegger, S. Sciuti, G. Fronte-rotta, L. Strüder, P. Lechner, “A portable XRF spectrometer for non-destructive analyses in archaeometry,” *Nucl. Instr. and Meth. A*, Vol. 409: 407 (1998).
- [4] P. Vandenabeele, “Archaeometry, an interdisciplinary approach,” *Anal. Bioanal. Chem.* 387 (3), 735 (2007).
- [5] B.G. Brunetti, D. Pinna, M. Matteini, C. Miliani, L. Pezzati, *Proc. of the 8th Int. Conf. on Non destructive Testing and Microanalysis for the Diagnostics and Conservation of the Cultural and Environmental Heritage*, Lecce, (2005).
- [6] G. Chiari, M. Leona, “The State of Conservation Science,” <http://www.getty.edu/conservation/publications/newsletters/pdf/v.20.n.2>, date accessed, january 25, 2005.
- [7] M. Escalona, “Pinturas y Estafa,” *Trabajadores*, La Habana, (26 de abril 1988).
- [8] A. Mendoza, Inscripción de registro del sistema portátil Art-FRX, CNSN, Cuba, (2001).
- [9] A. Mendoza, H. Perez, “Portable Energy Dispersive X-ray fluorescence and X-ray diffraction and radiography system for archaeometry,” *Nucl. Instr. and Meth. A*, 633, 72-78 (2011).
- [10] QXAS: Quantitative X-ray Analysis System, version 1.2, IAEA, (1995-96).
- [11] S. Rinaldis, *La fabbrica dei colori, pigmenti e colorante nella pittura e nella tintoria* (II Bagatto, Roma, 1986).
- [12] G. Montagna, *I Pigmenti* (Nardini, Firenze, 1993).
- [13] “Nuevo sistema automatizado para el análisis de datos químicos y bioquímicos,” in *Mem. de la Conv. de Salud e Informática* (2009).
- [14] J.F. Hair, R.E. Anderson, R.L. Tatham, W.C. Black, *Análisis Multivariante* (Prentice Hall Iberia, Madrid, 1999).

APLICACIÓN DE PULSOS MECÁNICOS PARA MEJORAR EL CRECIMIENTO DE CRISTALES EN SUSPENSIONES

P. V. PÉREZ, A. C. RODRÍGUEZ Y J. SARRÍA

Facultad 4, Universidad de las Ciencias Informáticas e Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales, Universidad de la Habana. pyperez@uci.cu†
†autor para la correspondencia

Se elabora un modelo que describe el efecto de agitación complementaria que produce la propagación de un tren de pulsos mecánicos en un medio viscoso, en presencia de cristales y se discute su influencia sobre los parámetros operacionales y conductores de la cristalización. Se verificó experimentalmente que con la propagación de pulsos mecánicos de baja frecuencia, durante el crecimiento por enfriamiento de suspensiones de cristales de sacarosa en medios naturales, se produce una sensible reducción en la formación de inclusiones de licor madre en los cristales, se impide la formación de conglomerados y la adherencia de los mismos en la superficie de intercambio calórico. Se aprecia también una mejoría en la fluidez del sistema que propicia una mejor transferencia de calor, un mayor agotamiento de los licores y por tanto, un ligero aumento de la velocidad de crecimiento. Este efecto se corresponde con el desplazamiento relativo cristal solución descrito por el modelo desarrollado.

A model that describes the complementary agitation effect produced by the propagation of a mechanical pulses train through a viscous medium with the presence of crystals and its influence on operational and crystallization conductors is discussed. It was experimentally verified that the propagation of mechanical pulses of low frequency during the growth for cooling of suspensions of sucrose crystals in natural liquors, brings about a solution-crystal relative displacement that allows a considerable reduction in the formation of mother liquor inclusions, as well as the elimination of the formation of clusters and their adherence on the surface of heat exchange. It is also observed an improvement on the fluidity of the system that has a great impact on a heat transfer, a larger exhaustion of the liquors and, therefore, in

Palabras Clave. Crystal growth, 81.10.Dn, Vibrations mechanical, 46.40.-f.

INTRODUCCIÓN

En general, a medida que aumenta el contenido de cristales, durante el crecimiento de suspensiones en forma de magma, se incrementa la tendencia a la estructuración del sistema y a la formación de conglomerados, por lo que es necesario aplicar una buena agitación para evitar ese efecto indeseable. Aunque siempre es necesario homogeneizar la concentración y la temperatura del sistema por métodos tradicionales, de manera alternativa o complementaria, es posible incrementar el movimiento de los cristales aplicando vibraciones mecánicas de baja frecuencia 1,2.

Las oscilaciones en un sistema agitado, generalmente aparecen de manera natural como resultado del paso de los dispositivos de agitación, pero nunca se presta mucha atención a ese fenómeno colateral, centrándose sólo en el efecto de las turbulencias y movimientos masivos que provocan. Las oscilaciones mecánicas, por si solas, pueden producir alteraciones en otros parámetros del proceso y en la cinética del crecimiento que deben ser estudiados, toda vez que propagarlas es mucho menos costoso energéticamente que

mover estacionariamente todo un volumen de magma. Se describe aquí el efecto de la agitación complementaria que provoca la propagación de un tren de pulsos mecánicos, durante el crecimiento de una suspensión de cristales de azúcar en licores naturales y se discute su influencia sobre los parámetros conductores de la cristalización. Los resultados obtenidos pueden ser aplicables a cualquier otro sistema viscoso pseudoplástico como este.

MATERIALES Y MÉTODOS EXPERIMENTALES

Para la realización de los experimentos se utilizó la instalación que se representa en la Figura 1. Esta consiste de un vaso, de 1 litro de capacidad, aislado térmicamente del ambiente y equipado de un vibrador electromagnético (Vb) en su parte inferior. Posee una camisa lateral para el enfriamiento por circulación de agua y un agitador de paletas (P) que se mueve lentamente en su interior, a razón de 6rpm, accionado por un motoreductor (M), que homogeneiza la suspensión (Sp) durante el crecimiento y

permite detectar variaciones de la viscosidad durante los experimentos, midiendo el consumo eléctrico con el amperímetro (W). El vibrador se alimenta directamente de la red eléctrica alterna de 60Hz y a plena carga produce oscilaciones de 1,01 mm de amplitud. Ésta se midió utilizando la proyección de su sombra, provocada por la iluminación de un estroboscopio.

Las suspensiones de cristales se prepararon mezclando 5% en peso de azúcar refino tamizado, con tamaños de granos de $0,1\text{mm} \pm 0,01\text{mm}$, con mieles de purga de primer producto de azúcar crudo, saturadas a 85°C . La saturación se logró con antelación manteniendo la miel a esa misma temperatura, en contacto con un exceso de cristales, durante 24 horas y decantando el sobrenadante tras un prolongado reposo.

Los crecimientos se realizaron por enfriamiento no controlado, partiendo de 70°C y durante 120 minutos, utilizando un flujo de agua de 1,0 l/hora y a 25°C , impulsada por una bomba peristáltica. Se hicieron tres réplicas.

Durante el crecimiento se determinó periódicamente la temperatura de saturación del licor, con ayuda de un Saturated thermometer y se calculó su sobreenfriamiento, mediante comparación con la temperatura real en ese momento. Las mediciones de temperatura se realizaron con una precisión de $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Al final de los procesos, se determinaron las curvas de flujo, utilizando un viscosímetro rotacional Rheotest-2 y el contenido de cristales, empleando la técnica analítica estándar ICUMSA³

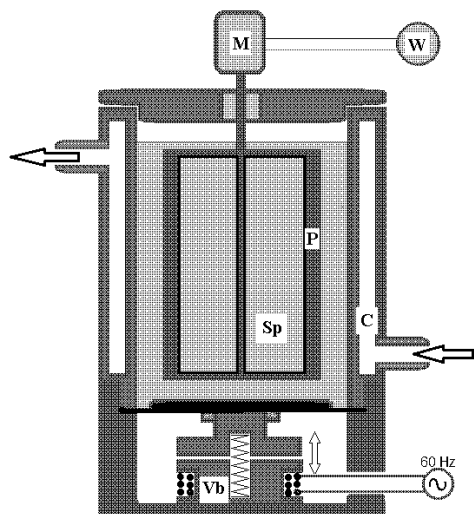


Figura 1. Representación esquemática de la instalación para el crecimiento de suspensiones de cristales en presencia de vibraciones mecánicas.

MODELO DESCRIPTIVO.

Supóngase el caso muy simple de un tren de pulsos mecánicos de amplitud X_{om} que se propagan por un medio vis-

coso, con frecuencia w y descrito por la siguiente ecuación dependiente del tiempo t :

$$X_m(t) = X_{om} \sin(wt) \quad (1)$$

Cualquier cristal, sumergido en este medio, experimenta una fuerza de arrastre producto de la viscosidad. Si $X(t)$ es el desplazamiento que ejecuta un cristal de masa M , que también por simplicidad se supone esférico y con diámetro δ . Entonces su ecuación del movimiento es:

$$b[\dot{X}_m(t) - \dot{X}(t)] = M\ddot{X}(t) \quad (2)$$

Lo que conduce a la ecuación diferencial:

$$M\ddot{X}(t) + b\dot{X}(t) = X_{om}wb \cos(wt)$$

Donde $b = 3\pi\eta\delta$ es el coeficiente en la conocida ley de Stokes y η es la viscosidad dinámica del medio.

Con esto, también se restringe la descripción a fluidos Newtonianos, suposición que no se cumple en el sistema estudiado pero, como se verá, eso no invalida este cálculo aproximado. La solución de esta ecuación es:

$$X(t) = X_0 \cos(wt - \phi) \quad (4)$$

Donde:

$$X_0 = \frac{X_{om}wb}{\sqrt{M^2w^4 + 9(\pi\delta\eta w)^2}};$$

$$\phi = \cos^{-1} \left[\frac{(bw)}{\sqrt{M^2w^4 + 9(\pi\delta\eta w)^2}} \right]$$

La ec. 3 También puede escribirse en la forma:

$$X(t + \phi/w) = F(w) \cdot X_m(t)$$

Donde $F(w) = \cos(\phi)$ es el Factor de arrastre que para el sistema que nos ocupa y para frecuencias menores que 100Hz, se diferencia de uno en menos del 0,001%, como se aprecia en la Tabla I. Ver datos para el cálculo más abajo. De modo que el desplazamiento relativo cristal-solución queda determinado sólo por el retraso en el movimiento del cristal que puede calcularse teniendo en cuenta que:

$$\Delta X(t) = X_m(t) - X(t) \quad (5)$$

resultando un desplazamiento relativo periódico, descrito por la ecuación:

$$\Delta X(t) = 2X_{om} \sin(\phi/2) \cdot \cos(wt - \phi/2) \quad (6)$$

Por lo que la amplitud de la velocidad relativa cristal-solución viene dada por:

$$\Delta v_{\max} = 2wX_{om} \sin(\phi/2) \quad (7)$$

La Tabla I, también presenta las amplitudes del desplazamiento y la velocidad rela $\Delta X_{\max}$ y $\Delta v_{\max}$, calculados considerando que se aplican vibraciones, con $X_{om} = 1\text{ mm}$, a un medio con $\eta = 1,01\text{ Pa}\cdot\text{s}$, y cristales de $\delta = 0,02\text{ mm}$. El desplazamiento relativo es suma-mente pequeño. Sin embargo, la velocidad relativa máxima llega a tener valores apreciables, de modo que el gradiente de cizallamiento máximo en el licor, estimado mediante la ecuación 7, alcanza valores notorios, como los presentados en la tabla 1 ($Dr_{\max}$). Téngase en cuenta que con un 20% en peso de cristales, de 0,02mm, la separación media entre ellos es de sólo 0,14mm, aproximadamente.

$$Dr_{\max} \approx 2 \Delta v_{\max} / 0,14\text{mm} \quad (7)$$

RESULTADOS EXPERIMENTALES Y DISCUSIÓN

Las curvas de enfriamiento mostraron el típico comportamiento exponencial, como se ve en la Figura 2. En esta, se representa la evolución en el tiempo, en forma logarítmica, de la diferencia entre las temperaturas de la suspensión (TM) y del agua de enfriamiento (Ta). Resalta el efecto favorecedor de las vibraciones mecánicas en el proceso de enfriamiento.

Las determinaciones del contenido de cristales arroja-ron una media de 20,4% en ausencia de vibraciones y 21,1% cuando se aplicaron. Esto se corresponde con la menor temperatura al final del crecimiento en presencia de las vibraciones mecánica. También la temperatura de saturación del licor madre muestra un mayor agotamiento en ese caso, como se evidencia en la Figura3, donde se representa el comportamiento en el tiempo, del sobreenfriamiento, como medida de la sobresaturación del sistema.

Tabla I.

Valores del factor de arrastre, desplazamientos y velo-cidades relativas máximas y del gradiente de cizalla-miento por efecto de las vibraciones mecánicas

$f\text{ (Hz)}$	$F(w)$	$\Delta X_{\max}$ (10^{-4} mm)	$\Delta v_{\max}$ (mm/s)	$Dr_{\max}$ (s $^{-1}$)
10	1,00000	4,2	0,03	0,18
20	1,00000	8,3	0,10	0,72
40	1,00000	17,0	0,42	2,86
60	1,00000	25,0	0,94	6,45
100	0,99999	42,0	2,62	17,90

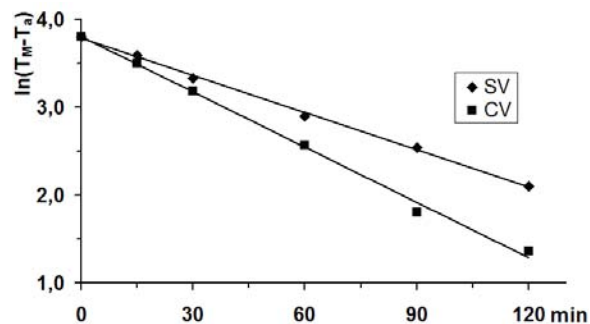


Figura 2. Enfriamiento del magma con y sin vibraciones. TM: temperatura de la suspensión; Ta: temperatura del agua de enfriamiento.

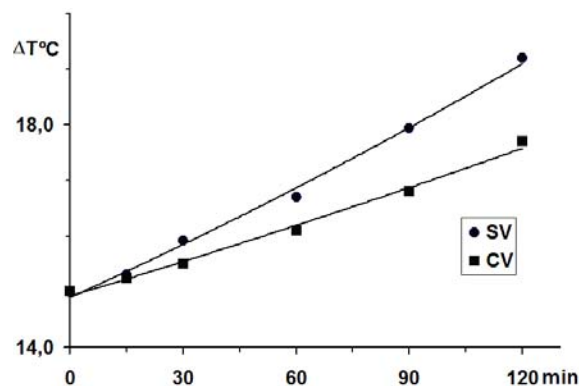


Figura 3. Sobre-enfriamiento de los licores madres, en cristalizaciones por descenso de la temperatura con y sin vibraciones mecánicas

La Figura 4 muestra una de las curvas de flujo obtenidas durante la caracterización reológica, al final del proceso. En ella se aprecia el marcado comportamiento pseudoplástico de suspensiones. El ajuste al modelo de Ostwald D'Weale conduce a la dependencia:

$$\tau_r = 2,008 D_r^{0,83}$$

con una correlación de 0,99. Aquí τ_r es el esfuerzo de corte, expresado en N/m 2 y D_r es el gradiente de ciza-llamiento, en s $^{-1}$. Si se observa la Tabla I, se ve que para 60Hz $D_r = 6,45\text{ s}^{-1}$, lo cual corresponde a 8,9N/m 2 en la curva de flujo. Esto signi-fica que la viscosidad aparente del sistema, calculada según:

$$\eta = \tau_r / D_r,$$

disminuye en un 27% , aproximadamente. Esto se pudo apre-ciar en la correspondiente disminución del consumo eléctrico del moto-reductor

El efecto fundamental de la agitación, provocada por las vi-braciones mecánicas, ha resultado ser la disminución de la viscosidad aparente, lo cual redunda en una mayor fluidez de la suspensión y una mejor homogeneización e intercambio ca-lórico. Así se logra indirectamente un mayor agotamiento del licor madre.

La disminución de la viscosidad aparente, garantiza la validez cualitativa del modelo frente a la suposición hecha de fluidos

Newtonianos ya que, en realidad, la velocidad relativa cristall solución, debe ser mayor que la calculada y por tanto, también lo es el cizallamiento, con un efecto más visible.

La acción directa de la agitación provocada por las vibraciones sobre la cinética de la cristalización, al menos para este sistema, debe ser despreciable, ya que sólo se logran desplazamientos relativos cristall solución del orden de las micras. Esto no permite remover la solución agotada del entorno del cristal.

En muchos casos, sobre todo con sobresaturación muy alta, el efecto de las vibraciones pudiera ser inde-seable por inducir la formación de nuevos de cristales, pero bajo las condiciones utilizadas esto no se observó. Por el contrario, una vez evacuado el vaso de cristalización, sólo en los experimentos sin vibraciones se encontraron algunos microcristales adheridos a las paredes. Es de suponer que la pobre circulación en estas condiciones provoque un sobreenfriamiento excesivo en la zona aledaña a la superficie de intercambio calórico, propiciando nucleación sobre ella, fenómeno que se ve reducido por el efecto de las vibraciones. Además, cualquier germen crítico formado allí, tiende a ser removido por la acción mecánica de las vibraciones. Es de esperar que a frecuencias mayores, el efecto de las vibraciones sobre la nucleación, sea más notorio, como se reporta con el uso del ultrasonido 4.

Otra diferencia observada entre los crecimientos con y sin vibraciones fue en la formación de conglomerados e inclusiones líquidas. En el modelo presentado, los cristales se tratan como si todos realizaran un movimiento de oscilación ordenado. Esto está muy lejos de la realidad; verdaderamente, los cristales interaccionan entre si y se produce un movimiento caótico que tiende a dispersarlos en el medio. Por esta razón se aprecia la desaparición de los conglomerados que normalmente aparecieron en las correspondientes cristalizaciones sin vibración. Aunque no se observó diferencia en las inclusiones de licor dentro de los cristales de diferentes experimentos, la mayor incidencia de este problema aparece entre los granos que forman los conglomerados, por lo que aplicar vibraciones tuvo un efecto muy positivo en la calidad del producto.

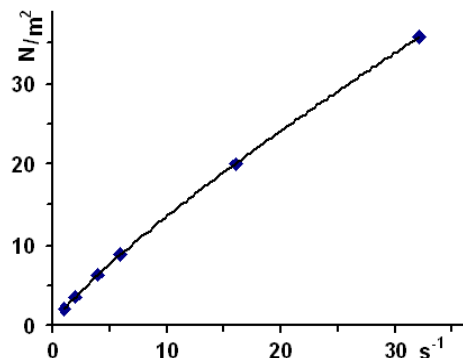


Figura 4. Curva de flujo de una suspensión de cristales de azúcar en licores naturales.

CONCLUSIONES

Las vibraciones mecánicas de baja frecuencia, pueden favorecer el crecimiento de los cristales en las suspensiones ya que mejoran sus propiedades reológicas, posibilitan un mejor intercambio calórico, un mayor agotamiento de los licores madres y evitan la formación de conglomerados.

- [1] P.V. Pérez and I. Díaz, "Influence of low Frecuence vi-brations on the Rheolog. prop. of low purities masseccutes", Zuker – Industrie, Germ. III/3, .234 (1986).
- [2] P.V. Pérez and I. Díaz, "Elevation of possible limit of crystal contents in the 3th masseccutes", Int. Sugar J. USA, 88/ 1048, 215 (1986).
- [3] N. Rodríguez, Manual de Laboratorio Azucarero Editorial Pueblo y Educación, Cuba, 356 (1996).
- [4] Z. Guo, A.G. Jones and N. Li, The effect of ultrasound on the homogeneous nucleation of BaSO₄ during reactive crystallization, Chemical Engineering Science, Volume 61, Issue 5, 1617 (2006).

SIMULACIÓN NUMÉRICA DE UN DISPOSITIVO OPTOELECTRÓNICO MULTI-RESPUESTA A ESTÍMULOS TÉRMICO, ELÉCTRICO Y ÓPTICO BASADO EN LÁMINAS DELGADAS DE VO₂

L. BENAVIDES†, R. UGARTE^A

Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba, leonard@electronica.cujae.edu.cu

†autor para la correspondencia

a) Facultad de Ingeniería Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cuba, ugar-te@electronica.cujae.edu.cu

Utilizando técnicas numéricas y de procesamiento de señales se obtiene un conjunto de resultados que permiten la simulación del comportamiento de un dispositivo optoelectrónico, basado en láminas delgadas de dióxido de vanadio, en respuesta a estímulos eléctricos, térmicos y ópticos. En el análisis se consideran las relaciones entre las entradas de voltaje directo, temperatura y energía de la radiación electromagnética incidente y las correspondientes salidas de intensidad de corriente, resistividad eléctrica y coeficiente de absorción de la radiación incidente. En cada caso se obtiene la característica correspondiente, la respuesta a frecuencias del dispositivo, así como el circuito digital que simula el comportamiento del sistema.

Using numerical approaches and signal processing a group of results is obtained that allows the simulation of the behavior of an optoelectronic device, based on thin films of vanadium dioxide, in response to electric, thermal and optical inputs. In the analysis are considered the relations among the inputs of direct voltage, temperature and energy of the incident electromagnetic radiation and the corresponding outputs of current intensity, electric resistivity and coefficient of absorption of the incident radiation. In each case the corresponding characteristic and the frequency response of the device are obtained, as well as the digital circuit that simulates the behavior of the system.

Palabras Clave. Metal-insulator transitions 71.30.+h, solid-solid transitions 64.70.K-.

INTRODUCCIÓN

Desde la segunda mitad del siglo pasado es bien conocido que varios óxidos de vanadio y, entre ellos, el dióxido de vanadio exhiben una transición de primer orden metalaislador, que se presenta acompañada de una variación brusca de su resistividad eléctrica, alrededor de la temperatura de 340K y, en general, presentan propiedades eléctricas, térmicas y ópticas que hacen que estos materiales sean muy factibles de utilizar en sensores y conmutadores optoelectrónicos 1-4.

A pesar de que se han realizado múltiples trabajos sobre el dióxido de vanadio, sus propiedades físicas y aplicaciones tecnológicas, sin embargo, el estudio de este material y sus potencialidades aun resultan de interés en la literatura científica actual 5-8.

En el presente trabajo, utilizando técnicas numéricas y de procesamiento de señales, se analiza el comportamiento de un dispositivo optoelectrónico, basado en láminas delgadas de dióxido de vanadio, que puede responder a estímulos

eléctricos, térmicos u ópticos. Se obtiene una simulación digital del dispositivo y se comparan los resultados con los obtenidos experimentalmente y reportados en la literatura científica internacional por otros autores.

DESARROLLO Y RESULTADOS

Análisis de la respuesta a estímulos eléctricos

Para nuestro análisis se consideraron láminas delgadas de VO₂, con orientación (100), depositadas epitaxialmente sobre un sustrato de zafiro cortado-R(Al₂O₃)⁹. El dispositivo de referencia fue considerado como un sistema de entrada-salida, en el cual la entrada está constituida por una secuencia de 25 señales de voltaje directo y la salida como una secuencia de 25 intensidades de corriente. En la figura 1 se muestra la característica I-V correspondiente para la fase metálica, en la cual los pequeños cuadrados representan los valores medidos experimentalmente y los pequeños círculos representan los valores obtenidos utilizando un polinomio de interpolación por mínimos cuadrados.

La interpolación se obtuvo utilizando un polinomio de grado 24, para el cual resulta en este caso mínimo el error de interpolación. Al obtener un polinomio algebraico que reproduce el comportamiento I-V del sistema, esto permite poder conocer en cada caso cómo se comporta la conductancia eléctrica del dispositivo para los diferentes estados de excitación que se consideren. Utilizando los mismos valores de entrada-salida de voltajes e intensidades de corriente, se obtuvo la función transferencial del sistema, en este caso, utilizando la transformada rápida de Fourier, lo cual permite estimar la respuesta a frecuencias que presenta el sistema. En la figura 2 se muestra la respuesta de amplitud del sistema.

Como era de esperarse la respuesta de amplitud muestra que el sistema no presenta distorsión de amplitud, lo cual confirma las posibilidades de utilización del sistema como dispositivo para aplicaciones eléctricas.

Para obtener el circuito digital que simula el comportamiento del dispositivo en este caso, se aplicó la transformada Z a las secuencias de entrada-salida, teniendo en cuenta que:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (1)$$

donde $H(z)$ representa la función transferencial del sistema en términos de la transformada Z; $Y(z)$ representa la transformada Z de la secuencia de intensidades de corriente a la salida y $X(z)$ representa la transformada Z de la secuencia de voltajes a la entrada del sistema. A partir de aquí se obtuvo la forma explícita de $H(z)$ y con ella la forma que adopta el circuito digital que simula el comportamiento del dispositivo y que se ilustra en la figura 3.

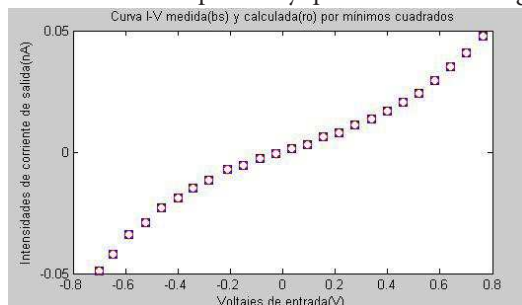


Figura 1. Característica I-V, para la fase metálica, medida y calculada por mínimos cuadrados

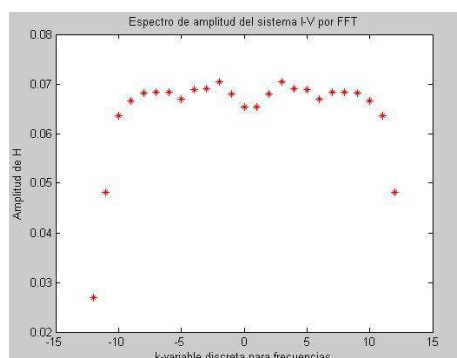


Figura 2 Respuesta de amplitud del sistema I-V utilizando la transformada rápida de Fourier.

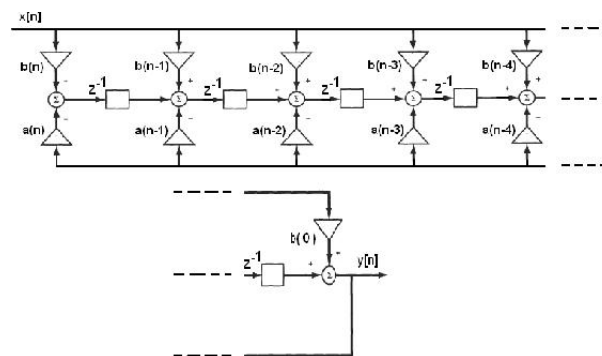


Figura 3 Circuito digital que simula el comportamiento del sistema I-V

El circuito de la figura 3 está constituido por amplificadores operacionales, elementos sumadores y elementos retardadores unitarios de fase. El valor de n corresponde con el grado del sistema analizado y con el número de valores de entrada-salida I-V que se haya considerado. En este caso $n=24$. Los parámetros $a(n)$, $a(n-1)$, ..., $a(1)$ y $b(n)$, $b(n-1)$, ..., $b(0)$, constituyen las ganancias de los correspondientes amplificadores operacionales y sus valores dependen de los parámetros físicos del sistema, es decir: el espesor de la lámina delgada de VO₂, la morfología de la superficie, la naturaleza y temperatura del sustrato, el método utilizado para obtener la lámina delgada y otras condiciones. Adicionalmente $x[n]$ y $y[n]$ representan las secuencias de los voltajes de entrada e intensidades de corrientes de salida respectivamente. De esta forma, el circuito representado en la figura 3 permite

simular el comportamiento eléctrico del dispositivo para cualquier secuencia de voltajes de entrada, lo cual constituye una herramienta adicional para el análisis de las posibles aplicaciones de estos sistemas. Finalmente, en las figuras 4 y 5 se pueden apreciar las respuestas de amplitud y fase del dispositivo de dióxido de vanadio en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

Con ambas respuestas se puede verificar la linealidad del dispositivo en este caso, así como la ausencia de distorsión, si no se tienen en cuenta los efectos de ruido que, como se sabe, siempre están presentes en este tipo de mediciones y de sistemas. Los resultados recientemente mostrados se corresponden completamente con los obtenidos y mostrados en las figuras y cálculos anteriores, lo cual permite confirmar más aun las posibilidades de este sistema para su utilización en diferentes aplicaciones tecnológicas.

Hasta aquí se han mostrado algunas características de la respuesta del dispositivo a estímulos eléctricos en la fase metálica. Sin embargo, como ya recordamos, las láminas de dióxido de vanadio experimentan una transición metalaislador en las proximidades de la temperatura de 340 K. Los resultados anteriores se pueden obtener similarmente para la fase aislante del dispositivo, lo cual confirma las propiedades físicas conocidas de este tipo de sistemas.

Análisis de la respuesta a estímulos térmicos.

En este caso para nuestro análisis se consideraron láminas delgadas de alta calidad de VO₂, con un espesor de 70 nm., que fueron obtenidas sobre un sustrato de Al₂O₃ utilizando el método de deposición por laser pulsado y crecidas epitaxialmente con su eje c normal al sustrato¹⁰. El dispositivo de referencia fue considerado como un sistema de entrada-salida, en el cual la entrada está constituida por una secuencia de 25 valores de temperatura (T) y la salida como una secuencia de 25 valores de resistividad eléctrica (p).

En la figura 6 se muestra la característica p-T correspondiente, en la cual los pequeños cuadrados representan los valores medidos experimentalmente y los pequeños círculos representan los valores obtenidos utilizando un polinomio de interpolación por mínimos cuadrados.

La interpolación se obtuvo utilizando un polinomio de grado 11 para el cual el error de interpolación en este caso es mínimo. La característica mostrada en la figura 6 corresponde al proceso de calentamiento y en ella se puede apreciar que ocurre una brusca caída de la resistividad a temperaturas próximas a 340 K, que corresponde con la temperatura de transición de la fase monoclinica aislante a la fase tetragonal metálica.

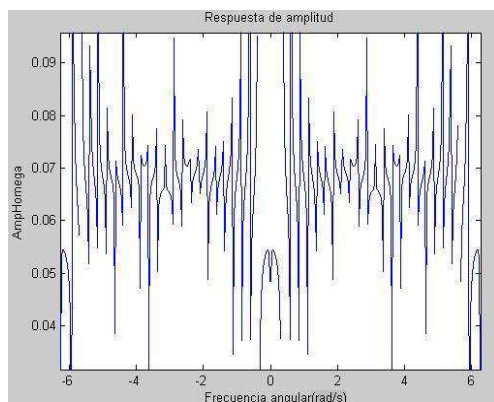


Figura 4 Respuesta de amplitud del sistema I-V en términos de la transformada de Fourier para señales discretas

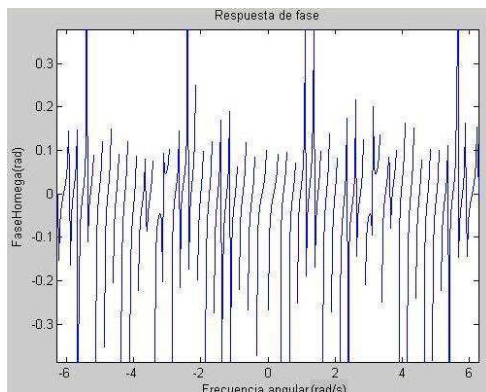


Figura 5 Respuesta de fase del sistema I-V en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

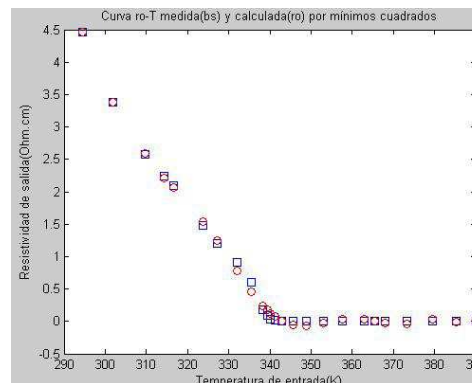


Figura 6 Característica p-T medida y calculada por mínimos cuadrados en el proceso de calentamiento del dispositivo

Es posible verificar que en el proceso de enfriamiento de la muestra desde 380K hasta 300K ocurre igualmente una variación brusca de la resistividad a una temperatura próxima a 340K, pero en este caso se aprecia que existe una histéresis en el proceso de enfriamiento, de manera que la transición de fases es de primer orden, lo cual es consistente con lo reportado en la literatura por varios autores¹¹⁻¹⁶.

La aproximación de la característica por medio de polinomios de potencias de la variable temperatura, permite obtener una expresión que nos indica cómo varía la resistividad del dispositivo en función de la temperatura para un valor cualquiera de T que pertenezca al intervalo entre 300K y 390K, lo cual puede ser útil para instrumentar diferentes aplicaciones prácticas de este dispositivo.

El hecho de que este sistema experimente una transición de fases metal-aislador en la zona correspondiente a temperaturas ambientes constituye una de las propiedades que facilita la utilización de los dispositivos, basados en láminas delgadas de dióxido de vanadio, como conmutadores optoelectrónicos. Si ahora se aplica la transformada Z a las secuencias de entrada-salida del sistema se obtienen las expresiones Yz y Xz . A partir de esas expresiones y utilizando la relación (1) se puede verificar que el circuito digital de simulación del comportamiento del sistema p-T es similar al mostrado en la figura 3, sólo que con valores diferentes para los parámetros a y b, que representan las ganancias de los amplificadores.

También de forma similar a como se procedió para el sistema I-V, en este caso es posible obtener la respuesta a frecuencias del sistema p-T utilizando la transformada

de Fourier para señales discretas. En las figuras (7) y (8) se muestran las curvas correspondientes a las respuestas de amplitud y fase del sistema p-T expresadas en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

A partir del análisis de las respuestas de amplitud y fase del sistema p-T, tales como se muestran en las figuras (7) y (8), se puede comprender perfectamente las características espectrales del comportamiento de este tipo de sistemas.

En la figura (8) se puede apreciar que el sistema presenta una respuesta con fase 0 centrada para cualquier frecuencia del espectro. Los resultados numéricos y espectrales obtenidos ofrecen herramientas adicionales para el análisis e implementación de aplicaciones prácticas del sistema.

Análisis de la respuesta a estímulos ópticos.

Una de las principales aplicaciones potenciales de los dispositivos basados en láminas delgadas de dióxido de vanadio consiste en su utilización como rápidos conmutadores optoelectrónicos¹⁷⁻¹⁸

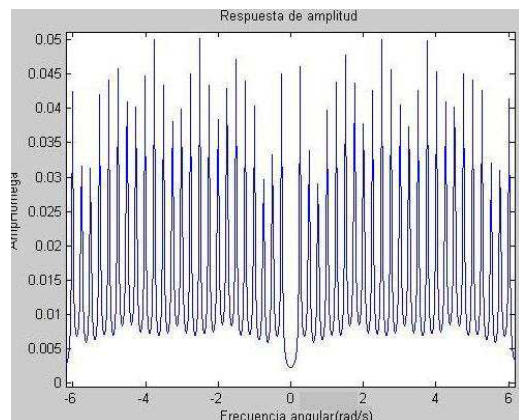


Figura 7 Respuesta de amplitud del sistema p-T en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

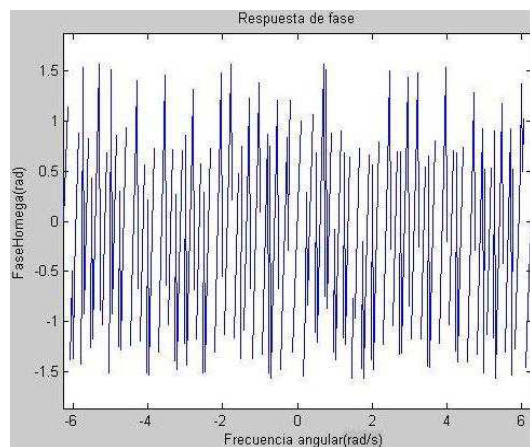


Figura 8 Respuesta de fase del sistema p-T en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

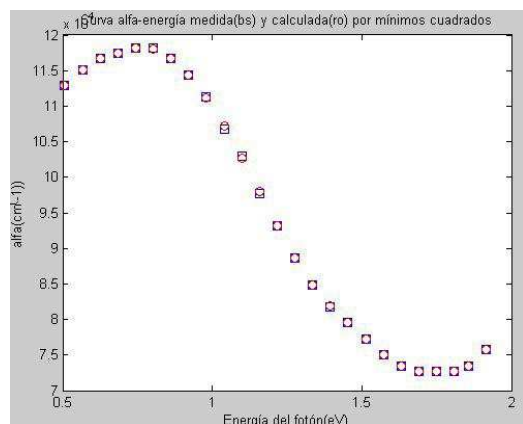


Figura 9 Característica α -E medida y calculada por mínimos cuadrados

Para el análisis de la respuesta a estímulos ópticos que presenta este dispositivo, igual que en la respuesta a estímulos eléctricos, se consideran láminas delgadas de VO₂, con orientación (100), depositadas epitaxialmente sobre un sustrato de zafiro cortado-R(Al₂O₃)⁹. En este caso el dispositivo se consideró con una secuencia de entrada correspondiente a la energía (E) en eV de los fotones de la radiación electromagnética incidente y la secuencia de salida se tomó como los valores en cm⁻¹ del coeficiente (α), tomado a 340 K, de absorción de la radiación incidente.

En la figura 9 se muestra la característica α -E correspondiente, en la cual los pequeños cuadrados representan los valores medidos experimentalmente y los pequeños círculos representan los valores obtenidos utilizando un polinomio de interpolación por mínimos cuadrados.

La interpolación se obtuvo utilizando un polinomio de grado 17, para el cual resulta en este caso mínimo el error de interpolación. Las ventajas de la utilización de un polinomio de interpolación para el ajuste de la característica α -E son las mismas que las que analizamos en sus momentos para las características I-V y α -T.

En la figura 10 se muestra el ajuste obtenido utilizando polinomios de splines cúbicos.

A partir de los resultados que se muestran en la figura 9, se desprende que para la temperatura de 340K en el dispositivo está ocurriendo una transición de fases, razón por la cual algunos autores, basados en los valores de las diferentes constantes ópticas en la zona infrarroja mediana, sugieren que para esa temperatura coexisten las fases metálica y aislante, las cuales evolucionan dinámicamente a medida que la temperatura varía⁹. En la figura 9, por otra parte, se aprecia que en la región de las bajas energías, el coeficiente de absorción inicialmente aumenta, alcanza un pico y luego cae bruscamente a medida que aumenta la energía de los fotones incidentes. Esta zona de altos valores del coeficiente de absorción es característica de un comportamiento metálico, lo cual evidencia que para esa temperatura de 340K coexisten las fases metálica y aislante

Aunque no aparece ilustrado en la figura 9, se puede verificar que, a medida que aumenta la temperatura de la muestra, el peso espectral aumenta gradualmente en esa zona de las bajas energías, es decir, que en la zona de las bajas energías de la radiación incidente, a medida que aumenta la temperatura, se aprecia que también aumenta gradualmente el valor del coeficiente de absorción, lo cual indica que el sistema está conmutando cada vez más hacia la fase metálica.

Para el sistema α -E aquí analizado, se puede también verificar que el circuito digital que simula su comportamiento es análogo al representado en la figura 3, con sus valores correspondientes de los parámetros a y b.

En este caso la respuesta a frecuencias del sistema se puede hallar también utilizando la transformada de Fourier para señales dis-

cretas. De esta forma se obtiene la función transferencial Homega del sistema α -E.

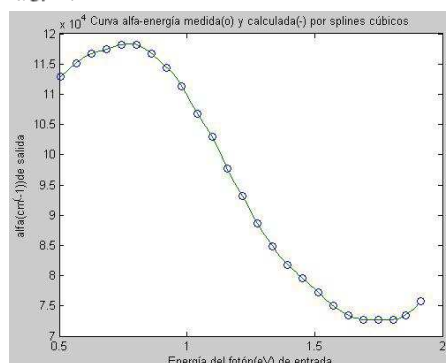


Figura 10 Característica α -E medida y calculada por splines cúbicos.

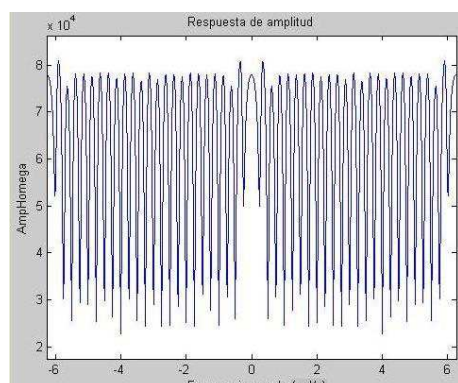


Figura 11 Respuesta de amplitud del sistema α -E en términos de la transformada de Fourier para señales discretas

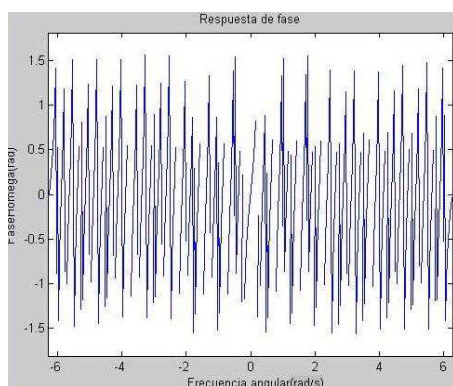


Figura 12 Respuesta de fase del sistema α -E en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

En las figuras 11 y 12 se ilustran las respuestas de amplitud y fase del sistema α -E en este caso, en términos de la transformada de Fourier para señales discretas.

Los resultados numéricos y espectrales obtenidos para el sistema -E se corresponden completamente con los reportados por otros autores en la literatura científica internacional.

CONCLUSIONES

Se han obtenido algunos resultados numéricos y espectrales que ayudan a la simulación del comportamiento del dispositi-

vo optoelectrónico, basado en láminas delgadas de dióxido de vanadio (α), en respuesta a estímulos eléctricos, térmicos y ópticos. En todo el trabajo se ha considerado que el sistema es lineal e invariante temporal y su análisis se ha basado en las relaciones entrada-salida, lo cual se conoce como descripción externa del sistema.

Sin embargo, es posible también aplicar el método de representación de los sistemas en el espacio de estado, lo cual se conoce como descripción interna de los sistemas. La utilización de este segundo método de trabajo permitiría: una vista interior sobre el comportamiento del sistema; una manipulación sistemática de los sistemas con entradas y salidas múltiples, como ocurre en este caso y una extensión al caso de sistemas no lineales. Estos serán los objetivos de un próximo trabajo.

- [1] Morin, E.J., Oxides which show a metal-to-insulator transition at the Neel temperature. *Physical Review Letters*, 1959. 3(1): p. 34-36.
- [2] Heckingbottom, R. and Linnett, J.W., Structure of Vanadium Dioxide. *Nature*, 1962. 194(678).
- [3] Ohashi, T. and A. Watanabe, Temperature Dependence of Electrical Resistivity of VO₂ Powder. *Journal of the American Ceramic Society*, 1966. 49(9): p. 519-520.
- [4] The Two Components of the Crystallographic Transition in VO₂. *Journal of Solid State Chemistry*, 1971. 3: p. 490-500.
- [5] RGoodenough, J., Kuznetsov, Dmitry, et al., Three-terminal field effect devices utilizing thin film vanadium oxide as the channel layer. *Journal of Applied Physics*, 2010. 107(114516): p. 30.
- [6] Pergament, A.L., et al., Switching effect and the metal-insulator transition in electric field. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 2010. 71(6): p. 874-879.
- [7] Koshibae, W., Furukawa, N., and Nagaosa, N., Photo-induced insulator-metal transition of a spin-electron coupled system. 2010: p. 3.
- [8] Jones, Andrew C. et al., Nano-optical Investigations of the Metal-Insulator Phase Behavior of Individual VO₂ Microcrystals. *Nano Lett.*, 2010. 10(5): p. 1574-1581.
- [9] Chang, Y.J., et al., Phase coexistence in the metal-insulator transition of a VO₂ thin film. *Thin Solid Films*, 2005. 486(2005).
- [10] Koo, C.H., et al., Optical investigations on electronic structure changes related to the metal-insulator transition in VO₂ film. *Thin Solid Films*, 2005. 486(46).
- [11] Andreev, V.N., T.V. Smirnova, and F.A. Chud-novskii, Electrical conductivity of vanadium dioxide films in the vicinity of the metal-semiconductor phase transition. *physica status solidi (b)*, 1976. 77(2): p. K97-K101.
- [12] Cavalleri, A., et al., Evidence for a structurally-driven Insulator-to-metal Transition in VO₂: a View from the Ultrafast Timescale. 2003: p. 17.
- [13] Chae, B.G., et al., Fabrication and Electrical Properties of Pure VO₂ Films. 2003: p. 5.
- [14] Chae, B.-G., et al., Abrupt metal-insulator transition observed in VO₂ thin films induced by a switching voltage pulse. 2005.
- [15] Cobden David, Metal-insulator transition in vanadium dioxide, in *Nat.Nanotech.* 2009, *Physics Today Online Physics Update*. p. 1.
- [16] Pergament, A., et al., Electrical and optical properties of hydrated amorphous vanadium oxide. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2008. 41(22): p. 3.
- [17] Jan, M.T. and B. Silke, Optical properties of correlated materials - Or why intelligent windows may look dirty. *physica status solidi (b)*, 2009. 246(9): p. 1996-2005.
- [18] Tomczak, Jan M and Biermann Silke, Optical properties of correlated materials-Generalized Peierls approach and its application to VO₂. 2009: p. 15.

SECCIÓN EFICAZ ELEY-RIDEAL EN LA RECOMBINACIÓN DE NITRÓGENO SOBRE TUNGSTENO (100)

LIZANDRA BARRIOS-HERRERA^a, ERNESTO QUINTAS-SÁNCHEZ^{a,b}, L. MARTIN-GONDRE^b, P. LARRÉGARAY^b, C. CRESPOS^b, J. RUBAYO-SONEIRA^a, J.-C. RAYEZ^b.

a) INSTEC, Ave. Salvador Allende esq. Luaces, 10600 La Habana, Cuba. lbarrios@instec.cu

b) ISM, Université Bordeaux1/CNRS, 351 cours de la libération, 33405 Talence, France.

†autor para la correspondencia

Se emplea el método de trayectorias cuasiclásicas y una superficie de energía potencial de reciente desarrollo para analizar la recombinación molecular de átomos de nitrógeno sobre una superficie de tungsteno (100). Los proyectiles inciden perpendicularmente, con una energía inicial que varía entre 0,1 y 3,0 eV. Se estima por primera vez la sección eficaz de recombinación Eley-Rideal en el sistema $N + N/W(100)$, obteniendo que no depende de la densidad de átomos de nitrógeno previamente adsorbidos. La influencia de los átomos adsorbidos solo es significativa en el interior de la celda ocupada.

Using the classical trajectory method, the dynamics of molecular recombination of Nitrogen atoms from a Tungsten (100) surface is studied. The potential energy surface is an extended version of the periodic London-Eyring-Polanyi-Sato potential, recently developed. The dynamics is explored in a wide range of projectile energies. We focus our attention on the Eley-Rideal recombination cross section. The influence of adsorbed atoms is only significant inside the occupied cell.

Key words. Interfaz gas-superficie 83.10 Rs, Sistema $N_2/W(100)$ see 34,34.35.ta, Recombinación Eley-Rideal 68.49 Df

INTRODUCCIÓN

La recombinación de moléculas en superficies es un proceso muy frecuente en las reacciones químicas que ocurren en la atmósfera terrestre y en el medio interestelar, en sistemas sometidos a altas temperaturas, en los sistemas para disminuir los residuos expulsados por los vehículos, además de numerosos procesos industriales de catálisis heterogénea, donde la superficie juega un papel determinante [1, 7].

La formación de moléculas en superficies puede ocurrir a través de tres mecanismos diferentes: Langmuir-Hinshelwood (LH), Eley-Rideal (ER) y Átomos-Calientes (HA, del inglés Hot Atom). En el primero, dos átomos adsorbidos se difunden por la superficie del metal hasta reaccionar, formando una molécula cuya energía interna dependerá de la temperatura de la superficie. Este mecanismo está limitado a bajas temperaturas por la difusión térmica de las especies atómicas que se recombinan. En el segundo, conocido además como recombinación directa, la molécula se forma al interactuar un átomo de la fase gaseosa con uno previamente adsorbido. Este mecanismo se caracteriza por tener tiempos de reacción muy cortos y por la formación de moléculas altamente excitadas con distribuciones angulares asimétricas y energías rovibracionales que dependen de la energía del átomo incidente.

En el tercer mecanismo, intermedio entre los anteriores, uno de los átomos que se recombinan está previamente adsorbido, mientras el otro, que proviene de la fase gaseosa, no ha sido termalizado y se difunde rápidamente por la superficie hasta reaccionar. Los productos obtenidos pueden ser muy energéticos y difícilmente distinguibles de los resultantes de una recombinación ER. Esto provoca que en la actualidad, todavía sea imposible diferenciar ambos mecanismos experimentalmente.

El estudio de las interacciones molécula-superficie se ha visto revitalizado en los últimos años gracias a la mejora en los métodos de cálculo ab initio empleados en la determinación de superficies de energía potencial (SEP) [8, 9]. Varios de estos trabajos se centran en las reacciones de recombinación molecular que tienen lugar en superficies, realizándose numerosos estudios teóricos sobre las reacciones ER y HA, mayormente enfocados en la recombinación de moléculas de hidrógeno sobre superficies metálicas. El sistema $H + H/C u(111)$ ha sido uno de los que mayor interés ha despertado [10, 11], convirtiéndose en el sistema modelo para estudiar las interacciones de moléculas ligeras con superficies.

El sistema N_2/W en cambio, ha estado en el centro de los estudios de dinámica de moléculas pesadas en superficies. Esto se debe a que la velocidad de disociación y recombinación de moléculas de nitrógeno en superficies metálicas juega un rol fundamental en la síntesis de amoníaco, y a que sobre la superficie de tungsteno, se observan marcadas anisotropías cristalográficas en la velocidad de disociación molecular y la sección eficaz de adsorción [21–23]. La interacción de moléculas de nitrógeno con superficies de tungsteno ha sido ampliamente estudiada, tanto teórica [12, 13] como experimentalmente [14, 15], sin embargo, dichos trabajos se han enfocado solamente en la adsorción disociativa de moléculas de N_2 . Para una comprensión global de la reactividad química, se necesita información detallada de todos los procesos microscópicos involucrados, incluyendo los mecanismos de recombinación molecular, a través de los cuales las especies presentes reaccionan sobre la superficie.

En un trabajo reciente, Quintas et al [16] analizan por primera vez la dinámica de recombinación molecular en el sistema $N + N/W(100)$. En este trabajo se calcula la probabilidad de recombinación ER en toda la celda unidad, considerando rígida la estructura del metal y teniendo en cuenta la dispersión con incidencia normal de un átomo de nitrógeno sobre otro previamente adsorbido en la superficie de tungsteno. Al no considerar el intercambio de energía entre los átomos que se recombinan y la superficie, el modelo no permite estudiar la eficiencia del mecanismo de recombinación HA en función de la densidad de átomos adsorbidos, pero si comparar cuantitativamente la eficiencia de la recombinación ER y la de formación de átomos calientes (que se forman debido al intercambio de energía entre el proyectil y el átomo adsorbido), así como estudiar en detalle toda la dinámica ER.

Nuestro estudio, constituye un complemento del reportado en [16]. Empleando una metodología similar, nos centramos en determinar una magnitud que pueda ser observable experimentalmente. El estudio de Quintas et al representa un caso límite: existe solo un átomo adsorbido sobre una superficie infinita de tungsteno. La probabilidad de recombinación directa que reportan, se calcula al hacer incidir proyectiles solamente sobre la celda ocupada. En una situación menos ideal, no se tendría solo un átomo adsorbido sobre una superficie infinita, sino cierta densidad de átomos adsorbidos. Se hace entonces necesario conocer la probabilidad ER dentro y fuera de la celda ocupada, para poder estimar la sección eficaz de recombinación ER. El objetivo fundamental de este trabajo es determinar la sección eficaz de recombinación Eley–Rideal en función de la densidad de átomos de nitrógeno adsorbidos sobre la superficie. Para ello estudiamos el comportamiento de la probabilidad ER en función de la energía cinética inicial de los proyectiles, al hacer incidir perpendicularmente átomos de nitrógeno fuera de la celda ocupada.

El artículo está estructurado de la siguiente forma. En la Sección 2 se describe la metodología empleada. En la Sección 3 se muestran y discuten los resultados obtenidos. Por último en la

Sección 4 aparece un sumario de las conclusiones.

METODOLOGÍA

La metodología empleada ha sido extensamente descrita en la referencia [24]. Se emplea el método de trayectorias cuasi-clásicas, cuya esencia es resolver las ecuaciones clásicas del movimiento —en nuestro caso las ecuaciones de Newton— una vez establecidas las condiciones iniciales. La evolución de todas las coordenadas y momentos en función del tiempo constituye una trayectoria clásica.

Superficie de Energía Potencial

En este trabajo se emplea una versión extendida de un potencial periódico London-Eyring-Polanyi-Sato, recientemente desarrollado [17, 18] y empleado con anterioridad para estudiar la dinámica de reflexión y adsorción disociativa [19], así como la recombinación molecular [16] de moléculas de N_2 sobre $W(100)$.

Condiciones Iniciales

Todos los proyectiles comienzan a descender con incidencia normal desde una altura igual a $8\text{\AA}$, distancia para la cual es despreciable la interacción con el metal. Se realizan dos estudios. En el primero, el átomo previamente adsorbido se coloca en su posición de equilibrio (en el centro de la celda unidad, a una altura de $0,65\text{\AA}$ sobre la superficie) con la energía de punto cero aleatoriamente distribuida, mientras que las coordenadas (x_i, y_i) del átomo incidente se toman de forma aleatoria dentro de las celdas A y B mostradas en la Figura 1. En el segundo estudio, se analiza la incidencia normal de proyectiles sobre una celda unidad de la superficie limpia (sin átomo previamente adsorbido).

Sistema de coordenadas

El sistema de coordenadas empleado en la simulación, así como la simetría de la superficie, se muestran en la Figura 1. Las posiciones de ambos átomos de nitrógeno están dadas con respecto a un sistema de referencia cuyo origen se encuentra sobre uno de los átomos de tungsteno. El eje “z” es perpendicular a la superficie y el plano “xy”, paralelo a la misma. La superficie se considera infinita en dos dimensiones (x, y). Los sitios de alta simetría (top, bridge, hollow) también se muestran en la Figura 1.

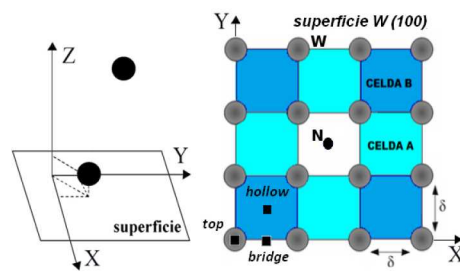


Figura 1. Sistema de coordenadas utilizado para describir el sistema $N+N/W(100)$. A la derecha se muestra una vista superior de la superficie de $W(100)$, su celda unidad y los sitios de máxima simetría. Los círculos grises representan los átomos del metal, los negros, los átomos que se recombinan.

Propagación de las trayectorias

La simulación se realiza en varias etapas: primeramente se asignan los valores iniciales, luego se integran las trayectorias mediante el algoritmo Verlet de Velocidades y finalmente se etiqueta el canal de salida. La probabilidad de cada canal se determina dividiendo el número de trayectorias que dan lugar a dicho canal por el número total de trayectorias propagadas. Si la coordenada z del proyectil y del átomo adsorbido es mayor que 8Å , la componente z de la cantidad de movimiento del centro de masa de la molécula formada es una magnitud positiva y solo cambia de sentido una vez a lo largo de la trayectoria, estamos en presencia de una reacción de recombinación directa. Las reflexiones directas ocurren si el proyectil se aleja hasta su altura inicial sobre la superficie —con solo un rebote— y la componente z de su cantidad de movimiento es positiva. Si la coordenada z de cualquiera de los dos átomos es menor que $z_0 = -0,5\text{Å}$, se trata de una absorción.

El paso temporal en la integración fue $0,121\text{ fs}$, asegurando una conservación de la energía total de $2 \times 10^{-5}\text{ eV}$. Se estudia un rango de energías de colisión entre $0,1\text{ eV}$ y 3 eV . Para cada una de las energías de colisión estudiadas se propagan 30000 trayectorias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al incidir perpendicularmente átomos de nitrógeno fuera de la celda ocupada, las probabilidades de reflexión y absorción aumentan con la energía (Ver Figura 2). Las reflexiones directas están estrechamente asociadas a la redirección de la cantidad de movimiento inicial del proyectil al impactar sobre la superficie del metal. Al aumentar la energía cinética inicial de los átomos incidentes, resulta más probable que tras el primer rebote sea transferida suficiente energía cinética en la dirección positiva del eje “ z ” como para permitirle escapar nuevamente a la fase gaseosa, a esto se debe el comportamiento monótono creciente observado en la probabilidad de reflexión.

En la Figura 2 se compara el comportamiento con la energía de las probabilidades de absorción (izquierda) y reflexión (derecha) al incidir proyectiles fuera de la celda ocupada (el promedio de las calculadas en las celdas A y B) con los resultados obtenidos al incidir proyectiles en la celda ocupada (reportados en [16]) y con la superficie limpia. Nótese como el comportamiento de dichas probabilidades en las celdas vecinas difiere cuantitativa y cualitativamente del observado en la celda unidad, siendo muy similar al obtenido al estudiar la incidencia de átomos de nitrógeno sobre la superficie limpia de átomos adsorbidos. Esto indica que la influencia del átomo adsorbido disminuye rápidamente al alejarnos del mismo, siendo mucho más importante la influencia de la corrugación de la superficie sobre la dinámica en las celdas vecinas.

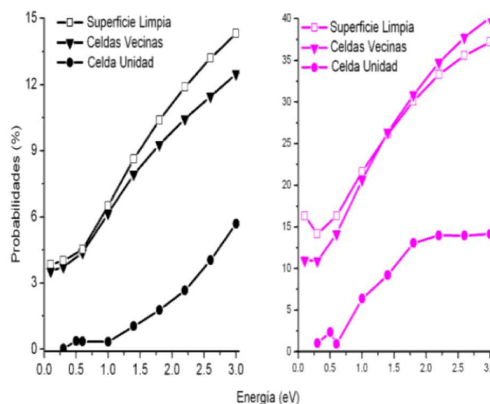


Figura 2. Probabilidades de absorción (izquierda) y de reflexión (derecha) en las celdas vecinas (triángulos), en la celda unidad (círculos) y en la superficie limpia (cuadrados).

Al observar la topología de la superficie (Figura 3) se puede ver claramente que la presencia del átomo adsorbido solo modifica de forma considerable el potencial en la región delimitada por la celda unidad, en total acuerdo con nuestros razonamientos anteriores. Fuera de la celda ocupada, la perturbación del potencial es despreciable.

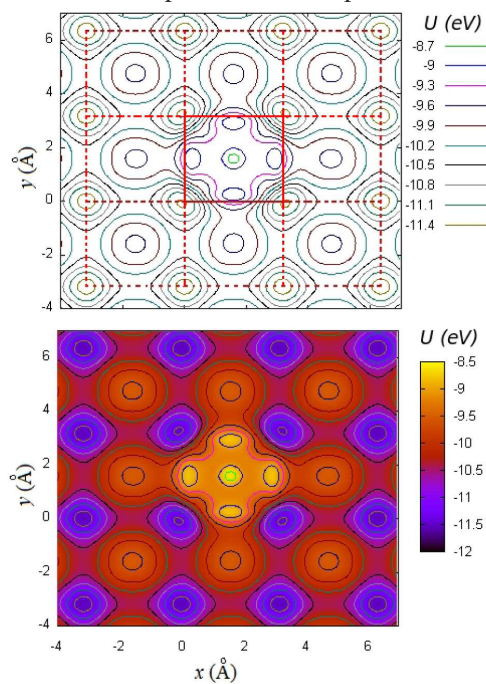


Figura 3. Corte de la SEP. El átomo adsorbido se encuentra fijo en su posición de equilibrio, en la celda central de la figura. El proyectil se mantiene a una altura constante de $2,0\text{Å}$ sobre la superficie del metal, mientras varían sus coordenadas en el plano “ xy ”. Encima se observan las curvas de nivel: la línea roja continua delimita la celda unidad, las líneas discontinuas las celdas vecinas. Debajo se muestra el mismo corte de la SEP, pero en una representación continua.

La contribución en la probabilidad de recombinación ER debido a la incidencia de proyectiles en las celdas vecinas es totalmente despreciable —alrededor de dos órdenes de magnitud menor que en la celda ocupada— alcanzando un valor promedio de $0,012\%$ en el rango de energías estudiadas. Esto refuerza la idea de que la influencia del átomo adsorbido fuera de la celda ocupada es muy peque-

ña. Un comportamiento similar tiene lugar en el sistema $H + H/Ni(100)$, estudiado por Martinazzo y colaboradores [20].

Este resultado nos permite calcular entonces a partir de la P_{ER} sobre la celda unidad —para una energía de incidencia dada— la probabilidad total de recombinación ER (P_T) en función de la densidad de átomos adsorbidos en la superficie del metal, y con ella la sección eficaz de recombinación ER (σ_{ER}) en función de la cobertura. En el caso de una cobertura del 100% (todas las celdas están ocupadas por átomos adsorbidos: $P_T = P_{ER}$) la sección eficaz estará dada por: $\sigma_{ER} = P_T D$, siendo D el área de la celda unidad. Como la probabilidad de las reacciones ER puede ser considerada nula fuera de la celda ocupada, la σ_{ER} para cualquier densidad de átomos adsorbidos permanece constante: si tomamos como patrón de ocupación sólo un átomo adsorbido cada cierto número de celdas unidades, disminuiría P_T , pero el área aumentaría en la misma proporción.

La sección eficaz para las reacciones ER, puede ser definida entonces como:

$$\sigma_{ER} = \iint_D P_{ER}(x_i, y_i) dx_i dy_i, \quad (1)$$

donde la doble integral abarca toda el área de la celda unidad y $P_{ER}(x_i, y_i)$ representa la función de opacidad ER (fracción de trayectorias clasificadas como ER para un (x_i, y_i) dado).

En la Figura 4 se muestra cómo varía σ_{ER} en función de la energía inicial de los átomos incidentes.

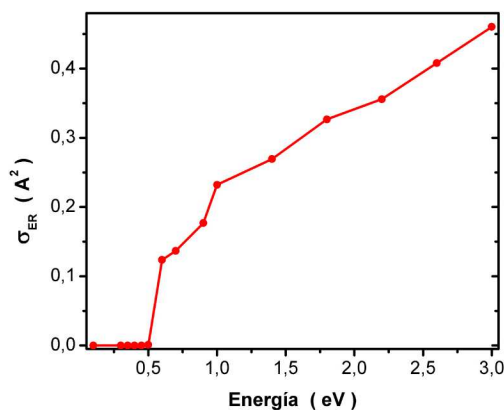


Figura 4. Sección eficaz de las reacciones de recombinación directas (ER) en función de la energía cinética inicial de los átomos incidentes.

Como se observa en la figura, la sección eficaz ER es nula para energías menores que 0,53 eV, luego aumenta monótonamente a medida que se incrementa la energía inicial del proyectil. Con el objetivo de explicar la barrera de activación observada, se encuentran en desarrollo estudios detallados de la dinámica a bajas energías, así como nuevos cálculos ab initio en las regiones del potencial de mayor importancia para la dinámica de las reacciones de recombinación directa.

CONCLUSIONES

Considerando rígida la estructura del metal y empleando el método de trayectorias cuasiclásicas, se determina la probabilidad de recombinación ER fuera de la celda ocupada para el sistema $N + N/W(100)$. Se estudian además las probabilidades de reflexión y absorción fuera de la celda ocupada y en la superficie limpia de átomos adsorbidos, comparándose dichos resultados con los reportados en la referencia [16]. La influencia del átomo adsorbido en las celdas vecinas es despreciable, siendo en ellas la superficie del metal quien juega el rol fundamental en la dinámica. Esto trae como consecuencia que no exista una contribución apreciable en la recombinación ER debido a la incidencia de proyectiles fuera de las celdas ocupadas. Se calcula por primera vez la sección eficaz de recombinación ER para este sistema, la cual no depende de la densidad de átomos de nitrógeno adsorbidos en la superficie.

- [1] G. A. Somorjai, "Introduction to Surface Chemistry and Catalysis", edited by Wiley, New York, (1994).
- [2] J. Libuda y H.-J. Freund, "Molecular beam experiments on model catalysts", *Surf. Sci. Rep.* 57, 157-298 (2005).
- [3] A. Groß, "Reactions at surfaces studied by ab initio dynamics calculations", *Surf. Sci. Rep.* 32, 291-340 (1998).
- [4] G. J. Kroes, "Six-dimensional quantum dynamics of dissociative chemisorption of H_2 on metal surfaces", *Prog. Surf. Sci.* 60, 1-85 (1999).
- [5] G. Federici, P. Andrew, P. Barabaschi, J. Brooks, R. Doerner, A. Geier, A. Herrmann, G. Janeschitz, K. Krieger, A. Kukushkin, A. Loarte, R. Neu, G. Saibene, M. Shimada, G. Strohmayer, y M. Sugihara, *J. Nucl. Mater.* 313, (2003) 11.
- [6] J. Libuda y H.-J. Freund, "Molecular beam experiments on model catalysts", *Surf. Sci. Rep.* 57, 157-298 (2005).
- [7] K. Honkala, A. Hellman, I. Remediakis, A. Logadottir, A. Carlsson, S. Dahl, C. Christensen, y J. Norskov, *Science* 307, 55 (2005).
- [8] G. Veldete y E. J. Baerends, *Phys. Rev.* 44, 7888, 1991.
- [9] G. Kresse y J. Hafner, *J. Phys. Condens. Matter*, 6, 8245, 1994.
- [10] B. Jackson y M. Persson, "A quantum mechanical study of recombinative desorption of atomic hydrogen on a metal surface", *J. Chem. Phys.* 96, 2378-2386 (1992).
- [11] M. Persson y B. Jackson, "Flat surface study of the Eley-Rideal dynamics of recombinative desorption of hydrogen on a metal surface", *J. Chem. Phys.* 102, 1078-1093 (1995).
- [12] G. Volpilhac y A. Salin, "Dissociative adsorption of N_2 on the $W(100)$ surface", *Surf. Sci.* 556, 129-144 (2004).
- [13] G. Volpilhac, H. F. Busnengo, W. Dong, y A. Salin, "Scattering of atomic nitrogen on $W(100)$ ", *Surf. Sci.* 544, 329-338 (2003).
- [14] C.T. Rettner, E. K. Schweizer, H. Stein, y D. J. Auerbach, "Role of Surface Temperature in the Precursor-Mediated Dissociative Chemisorption of N_2 on $W(100)$ ", *Phys. Rev. Lett.* 61, 986-989 (1988).
- [15] C.T. Rettner, H. Stein, y E. K. Schweizer, "Effect of collision energy and

incidence angle on the precursor-mediated dissociative chemisorption of N_2 on W(100)", J. Chem. Phys. 89, 3337-3341 (1988).

[16] E. Quintas-Sánchez, L. Martin-Gondre, P. Larrégaray, C. Crespos, J. Rubayo-Soneira, J-C. Rayez, "Dinámica Eley-Rideal vs. átomos-calientes en la recombinación de nitrógeno sobre W(100)", Rev. Cub. Fís. vol. 27, No. 2B, 2010.

[17] J. H. McCreery y G. Wolken, "A model potential for chemisorption: H_2 + W(001)", J. Chem. Phys. 63, 2340-2339 (1975).

[18] J. H. McCreery y G. Wolken, "Atomic recombination dynamics on solid surfaces: Effect of various potentials", J. Chem. Phys. 67, 2551-2559 (1977).

[19] L. Martin, C. Crespos, P. Larrégaray, J-C. Rayez, D. Conte y B. van Ootegem, "Dynamics simulation of N_2 scattering onto W(100,110) surfaces: A stringent test for the recently developed flexible periodic London-Eyring-Polanyi-Sato potential energy surface", J. Chem. Phys. 132, 204501 (2010).

[20] R. Martinazzo, S. Assoni, G. Marinoni y G. F. Tardini, "Hot-atom versus Eley-Rideal dynamics in hydrogen recombination on Ni(100). I. The single-adsorbate case", J. Chem. Phys. 120, 8761-8771 (2004).

[21] P. W. Tamm y L. D. Smith, "Crystallographic anisotropies in condensation: N_2 on (110) W", Surf. Sci. 26, 286-296 (1971).

[22] S. W. Singh-Boparai, M. Bowker, y D. A. King, "Crystallographic anisotropy in chemisorption: Nitrogen on tungsten single crystal planes", Surf. Sci. 53, 55-73 (1975).

[23] M. Alducin, R. Díez, H. F. Busnengo, y A. Salin, "Why N_2 Molecules with Thermal Energy Abundantly Dissociate on W(100) and Not on W(110)", Phys. Rev. Lett. 97, 056102 (2006).

[24] E. Quintas Sánchez, "Estudio teórico del mecanismo Eley-Rideal en la recombinación de nitrógeno sobre tungsteno (100)", Tesis de maestría, InSTEC, 2011.

CELDAS SOLARES DE GaAsP/InGaAs/GaAs CON CONFINAMIENTO CUÁNTICO Y TENSIONES BALANCEADAS

C.I. CABRERA^a, J.C. RIMADA^b Y L. HERNÁNDEZ^{a†}

a) Facultad de Física, Universidad de la Habana, luisman@fisica.uh.cu

b) Instituto de Ciencias y Tecnología de los Materiales (IMRE), Universidad de la Habana

†autor para la correspondencia

El presente trabajo muestra un estudio de celdas solares de GaAsP/InGaAs/GaAs que permite diseñar dispositivos con elevados rendimientos. Los niveles de energía de electrones y huecos en los pozos cuánticos fueron computados considerando el efecto de las tensiones y el campo eléctrico. Se demuestra que los niveles de energía de los electrones descienden con la presencia de las tensiones. Se estudió el efecto de las tensiones biaxiales (compresiva y expansiva) en la estructura de banda, obteniéndose la relación de dispersión $E(k)$ para electrones y huecos en la banda de conducción y de valencia. Con el objetivo de evaluar la eficiencia cuántica interna y la fotocorriente se calculó el coeficiente de absorción para pozos y barreras teniendo en cuenta el efecto de las tensiones. Finalmente, una relación J-V es encontrada, que permite optimizar las celdas solares de GaAsP/InGaAs/GaAs, observándose que elevadas eficiencias pueden ser alcanzadas.

A design of de GaAsP/InGaAs/GaAs solar cell is presented that allows to model high efficiency devices. The electric field and stress, tensile and compressive, are considered in order to compute the electron and hole dispersion relation $E(k)$ in conduction and valence band. Similarly, the optical transitions in quantum well and barriers were evaluated to calculate the quantum internal efficiency and the photocurrent. GaAsP/InGaAs/GaAs solar cell is optimized to reach the maximum performance by means of J-V relation. Our model was used to determine the highest efficiencies for cells containing quantum wells under varying degrees of strain. We show that cells with highly strained quantum wells achieve high efficiencies.

Palabras claves. quantum well device, 85.35.Be; strains in solids, 62.20.-x, solar cells and arrays, 84.60.Jt.

INTRODUCCIÓN

Las celdas solares de GaAs con múltiples pozos cuánticos de GaAsP/InGaAs y tensiones balanceadas es una nueva propuesta para incrementar la eficiencia de conversión de las convencionales celdas solares de mayores rendimientos^{1,2}. La incorporación de pozos cuánticos en la región intrínseca de una estructura p-i-n permite extender la absorción de fotones y ampliar la respuesta espectral. La fotocorriente se incrementa cuando pozos cuánticos tensionados de InGaAs son agregados en una celda p-i-n GaAs. Sin embargo, el desacople reticular entre InGaAs y GaAs impide la incorporación de varios pozos cuánticos al ocurrir la relajación producto de las tensiones compresivas, apareciendo defectos estructurales que provocan el incremento de las corrientes de fugas y con ello la disminución de la eficiencia de conversión. Las tensiones compresivas de los pozos cuánticos de InGaAs pueden ser compensadas con las tensiones expansivas de las barreras de GaAsP y de esta forma varios pozos cuánticos pueden incorporarse en la región intrínseca.

La celda solar de GaAsP/InGaAs/GaAs (SBSC) con múltiples pozos cuánticos y tensiones balanceadas que es modelada, se

muestra esquemáticamente en figura 1. En la región intrínseca se insertan los pozos cuánticos. Para que las tensiones estén compensadas, los espesores de las barreras y los pozos deben escogerse de forma tal que exista un perfecto acoplamiento entre la constante de la red del GaAs y la constante reticular promedio que surja en la región intrínseca producto de la inserción de las capas de GaAs_{1-y}P_y e InGaAs. Así, debe cumplirse:

$$a_{GaAs} \equiv \langle a \rangle = \frac{L_b a_{GaAs_{1-y}P_y} + L_w a_{InGaAs_{1-x}Al_x}}{L_b + L_w} \quad (1)$$

donde L_b y a_{GaAsP} son el espesor y constante de la red para la barrera, respectivamente y L_w y a_{InGaAs} los valores correspondientes a los pozos.

En el presente trabajo se presenta una optimización del rendimiento de una celda solar de GaAsP/InGaAs/GaAs con múltiples pozos cuánticos y tensiones balanceadas a través de un diseño de los espesores de las barreras y pozos en la región intrínseca. Para el cálculo de la eficiencia, se extenderá el modelo

Rimada-Hernández³ para incluir en la relación J-V los efectos de las tensiones y el campo eléctrico en la absorción de los fotones en la región intrínseca.

MODELO

Relación J-V. La densidad de corriente en función del voltaje para una celda solar con múltiples pozos cuánticos puede ser determinada a través de la expresión^[3]:

$$J_{QWSC} = J_0(1 + r_R \beta) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] + (\alpha r_{NR} + r_S) \left[\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) - 1 \right] - J_{PH} \quad (2)$$

donde r_R , r_{NR} y r_S representan las razones de incremento de la recombinación radiativa, no radiativa y la recombinación en las intercaras debido a la presencia de los pozos cuánticos en la zona intrínseca, α y β son parámetros definidos por Anderson⁴. La fotocorriente J_{PH} puede ser determinada a partir de la integración de la eficiencia cuántica interna $QE(\lambda)$ a partir de la expresión:

$$J_{PH} = q \int F(\lambda) QE(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

donde $F(\lambda)$ es el número de fotones por longitud de onda correspondientes al espectro AM1.5. La eficiencia cuántica interna total de la celda puede ser determinada una vez conocidas las contribuciones de cada zona mediante la expresión:

$$QE(\lambda) = QE_n(\lambda) + QE_p(\lambda) + QE_i(\lambda) \quad (4)$$

El aporte a la eficiencia cuántica de las zonas n y p son evaluadas siguiendo el procedimiento clásico reportado en referencia⁵, en cambio para la zona intrínseca hay que tener presente la contribución de los pozos:

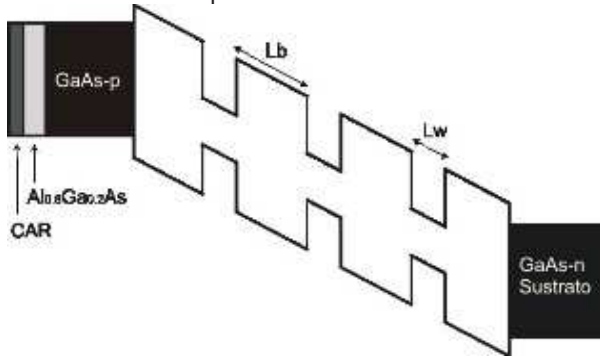


Figura 1. Esquema de una SBSC a ser diseñada. La CAR es una bicapa antirreflejante de MgF:SiN. La capa pasivadora de AlGaAs tiene un espesor de 40 nm; el emisor con $p = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ posee un ancho de 200 nm, la base con $n = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y espesor de 500 nm. El número de pozos y barreras es variable al igual que el ancho W .

$$QE_i(\lambda) = [1 - R(\lambda)] \exp\left\{-\sum_j \alpha_j z_j\right\} \times [1 - \exp\{-\alpha_p x_{wp} - \alpha_n x_{wn} - \alpha_i W\}] \quad (5)$$

donde $R(\lambda)$ es la reflectividad en la CAR en función de la longitud de onda, N_w es el número de pozos y W es el ancho

de la zona intrínseca. El factor exponencial representa la atenuación de la luz en las capas anteriores a la región intrínseca, $\alpha_j(\lambda)$ y z_j son el coeficiente de absorción y el espesor de las capas precedentes respectivamente, $\alpha_{p,n}(\lambda)$ y $x_{wp,wn}$ son los coeficientes de absorción y ancho de las zonas empobrecidas p , n respectivamente y

$$\alpha_i(\lambda)W = \alpha_B(\lambda)W_B + \alpha_W(\lambda)W_W + \alpha_{QW}(\lambda)LN_w$$

$$\alpha_{QW}(\lambda) = \sum \alpha_{e_n-hh_m}(\lambda) + \sum \alpha_{e_n-lh_m}(\lambda) \quad (6)$$

donde $\sum \alpha_{e_n-hh_m}(\lambda)$ y $\sum \alpha_{e_n-lh_m}(\lambda)$ son los coeficientes de absorción debido a las transiciones de electrones-huecos pesados y electrones-huecos ligeros respectivamente, $\alpha_B(\lambda)$ es el coeficiente de absorción volumétrico del material de barrera, $\alpha_W(\lambda)$ es el coeficiente de absorción volumétrico del material de pozo, $\alpha_{QW}(\lambda)$ es el coeficiente de absorción del pozo cuántico, W_B, W es el espesor de la zona de barrera, pozo y L es el "espesor cuántico de la heteroestructura" determinado según la expresión reportada por Bastard⁶. De esta forma mediante las ec.2-6, es posible encontrar el punto de máxima potencia y por ende la eficiencia de una SBSC optimizando su valor en función de los anchos y profundidades de los pozos.

Efecto de las tensiones en la absorción de fotones en la región intrínseca. Las tensiones deforman la red cristalina de las capas de GaAsP e InGaAs modificando sus anchos de banda prohibida. En el material de pozo, $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$, las tensiones compresivas producen el ensanchamiento de la banda prohibida con el aumento de la concentración de In. Contrariamente, el material de barrera, $\text{GaAs}_{1-y}\text{P}_y$, las tensiones expansivas producen el estrechamiento de la banda prohibida con el aumento de la concentración de P.

Las tensiones están relacionadas con el cambio relativo del período de la red, ϵ_{ij} :

$$\epsilon_{ij} = \frac{\Delta a_i}{a_j} \quad (6)$$

Estos valores pueden ser diferentes en cada dirección, a es la constante de red, $i, j = x, y$ o z . En el caso de pozos cuánticos tensionados crecidos en la dirección z con orientación $\langle 110 \rangle$, se tienen tensiones biaxiales con $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} \neq \epsilon_{zz}$ y $\epsilon_{ij} = 0, \forall i \neq j$. Las dos componentes de las tensiones están relacionadas por las constantes elásticas C_{11} y C_{12} en la forma⁷:

$$\epsilon_{zz} = -2 \frac{C_{12}}{C_{11}} \epsilon_{xx} \quad (7)$$

con $\epsilon_{xx} = \epsilon_{yy} = \frac{a_{st} - a_0}{a_0}$, donde a_{st} y a_0 son las constantes de red del cristal tensionado y sin tensionar, respectivamente. Las tensiones causan el siguiente cambio del borde de las bandas en el punto Γ ⁸:

$$E_{hh}(\vec{k} = 0) = E_{hh}^0 = E_v^0 - P_\epsilon - Q_\epsilon \quad (8)$$

$$E_{lh}(\vec{k}=0) = E_{lh}^0 = E_v^0 - P_\epsilon + Q_\epsilon \quad (9)$$

donde E_{hh}^0 y E_{lh}^0 son los desplazamientos de los niveles de energía de los huecos pesados y ligeros, respectivamente, E_v^0 marca el borde de la banda de valencia y

$$P_\epsilon = -a_v(\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}) \quad (10)$$

$$Q_\epsilon = -\frac{b}{2}(\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} - 2\epsilon_{zz}) \quad (11)$$

El borde de la banda de conducción es dado por

$$E_c(\vec{k}=0) = E_c^0 = E_v^0 + E_g + a_c(\epsilon_{xx} + \epsilon_{yy} + \epsilon_{zz}) \quad (12)$$

donde E_g es el ancho de la banda prohibida y los factores a_c , a_v son los potenciales de deformación hidrostática, b es el potencial de deformación de ruptura.

Variando los valores del vector de onda $\vec{k}$ se obtienen las relaciones de dispersión para ambos materiales, InGaAs y GaAsP, las cuales son mostradas en la figuras 2. Obsérvese de la figura 2(a) que para una concentración de In, $x = 0.2$, los valores del cambio relativo del periodo de la red son, $e_{xx} = e_{yy} = -0.014$; $e_{zz} = 0.013$, provocando un aumento de la banda prohibida igual a 121 meV. En tanto para una concentración de P, $y = 0.3$, figura 2(b), los valores del cambio relativo del periodo de la red son $e_{xx} = e_{yy} = 0.019$; $e_{zz} = -0.010$ y ahora la banda prohibida disminuye en 176 meV. Cuando los valores de In y P se varían, las tensiones en las capas de barrera y pozo se modifican provocando una variación en el umbral de absorción en ambas películas.

Cálculo de los niveles de energía en pozos cuánticos tensionados en la banda de conducción.

Para el cálculo de los estados electrónicos en un pozo cuántico (QW) en la banda de conducción (BC) se asumen las aproximaciones de función de onda envolvente y que la banda no interacciona fuertemente con ninguna otra, así se considera parabólica para todas las energías. Para un QW en la BC crecido en la dirección z , las energías y funciones de onda de los electrones se obtienen de la solución de la ecuación de Schrödinger

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_c^*} \frac{d^2}{dz^2} + V(z) \right] \psi_c(z) = E_c \psi_c(z) \quad (13)$$

donde m_c^* es la masa efectiva de la banda de conducción, $V(z)$ es el potencial correspondiente a la variación en las energías de los bordes de la banda prohibida entre los distintos materiales, en la que se tiene en cuenta el efecto de las tensiones y E_c está medida respecto al mínimo de la BC.

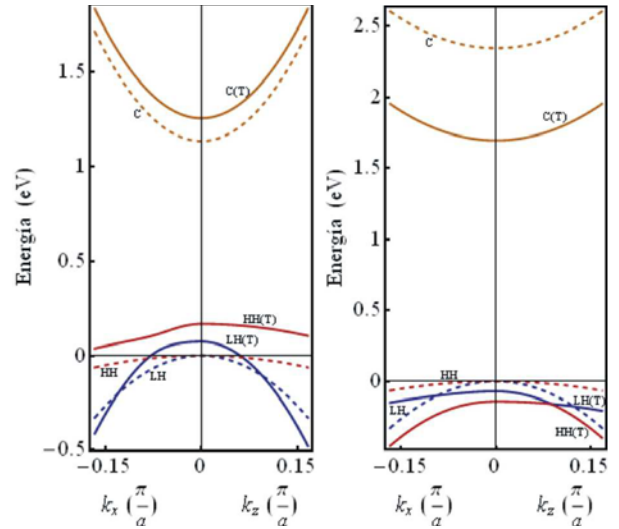


Figura 2. Relación de dispersión alrededor del centro de la primera zona de Brillouin. HH(T) y LH(T) son las bandas de huecos pesados y ligeros tensionadas, respectivamente. (a) $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{As}$, $e_{xx} = -0.014$; $e_{zz} = 0.013$. (b) $\text{GaAs}_{0.7}\text{P}_{0.3}$, $e_{xx} = 0.019$; $e_{zz} = -0.010$.

Cálculo de los niveles de energía en pozos cuánticos tensionados en la banda de valencia.

Los niveles de energía de las bandas de huecos pesados hh y huecos ligeros lh en los QW ($k_{xy} = 0$) en la banda de valencia (BV) se obtienen resolviendo el Hamiltoniano de Kohn-Luttinger (4x4) con el efecto de las tensiones, H_{KL}^ϵ :

$$H_{KL}^\epsilon = H_{KL} + H^\epsilon \quad (14)$$

H_{KL} es el Hamiltoniano de Kohn-Luttinger y H^ϵ es el Hamiltoniano de tensiones para un crecimiento epitaxial en la dirección z y viene dado por:

$$H^\epsilon = \begin{pmatrix} H_{hh}^\epsilon & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_{lh}^\epsilon & 0 & 0 \\ 0 & 0 & H_{hh}^\epsilon & 0 \\ 0 & 0 & 0 & H_{lh}^\epsilon \end{pmatrix} \quad (15)$$

con

$$H_{hh}^\epsilon = a_v(2\epsilon_{xx} + \epsilon_{zz}) - b(\epsilon_{xx} - \epsilon_{zz}) \quad (16)$$

$$H_{lh}^\epsilon = a_v(2\epsilon_{xx} + \epsilon_{zz}) + b(\epsilon_{xx} - \epsilon_{zz}) - b^2 \frac{(\epsilon_{xx} - \epsilon_{zz})^2}{\Delta_{SO}} \quad (17)$$

En H_{KL}^ϵ se desprecian las interacciones de las bandas hh y lh con la banda de conducción y con la banda spin-órbita, pues en los materiales con que se trata en este trabajo, la energía del desdoblamiento spin-órbita Δ_{SO} es de más de 300 meV. Los QW tratados en este trabajo se consideran pseudomórficos ya que producto del confinamiento y la deformación se rompe la degeneración de las bandas hh y lh en $\vec{k} = 0$, separándose en energía y disminuyendo fuertemente su interacción. Entonces es posible en primera aproximación considerar las bandas de hh y lh no degeneradas y desacopladas. Para determinar los niveles de energía dentro del pozo para hh y lh se emplea la ecuación:

$$[H_{KL}^e - IE]\Psi = 0 \quad (18)$$

donde $\Psi = (\psi_{hh}^{\uparrow}, \psi_{lh}^{\uparrow}, \psi_{hh}^{\downarrow}, \psi_{lh}^{\downarrow})^T$ siendo $\psi_{hh}^{\uparrow, \downarrow}$ y $\psi_{lh}^{\uparrow, \downarrow}$ las funciones de onda envolvente dependientes de la proyección del spin (arriba $\uparrow$, abajo $\downarrow$) e I es la matriz unidad. Como resultado de igualar los términos de la diagonal a cero, la ec.18 en la aproximación de la masa efectiva se transforma en:

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_0}(\gamma_1 - 2\gamma_2)\frac{d^2}{dz^2} + V(z) + H_{hh}^e - E_{hh} \right] \psi_{hh}^{\uparrow, \downarrow}(z) = 0 \quad (19)$$

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2m_0}(\gamma_1 + 2\gamma_2)\frac{d^2}{dz^2} + V(z) + H_{lh}^e - E_{lh} \right] \psi_{lh}^{\uparrow, \downarrow}(z) = 0 \quad (20)$$

donde es el potencial de barrera o pozo según la región, m_0 es la masa del electrón libre, γ_1 y γ_2 son parámetros de Konh-Luttinger.

Efecto del campo eléctrico en los QW. Como resultado de la impurificación en las zonas n y p , los QW en la zona intrínseca se encuentran bajo la acción de un campo eléctrico perpendicular al plano de crecimiento, teniendo lugar el efecto Stark. Los QW en presencia de campo eléctrico se inclinan provocando la disminución en la energía del borde de absorción; los niveles de energía de los QW en la BC descienden y mientras, en la BV ascienden. En un sistema de múltiples pozos cuánticos, el campo eléctrico inclina la estructura de banda, lo cual provoca la desintonía de los niveles de energía en los QW, alcanzándose la condición de pozos desacoplados con independencia de los valores de L_b y L_w , los cuales están dados por la condición del balance de tensiones, ec. 1. Las correcciones a los niveles energéticos se encuentran resolviendo la ecuación de Schrödinger por el método perturbativo. Se comprobó que en presencia de los campos eléctricos utilizados, el desplazamiento de los niveles fue mucho menor que la diferencia entre estos y los niveles inmediatos sin perturbar.

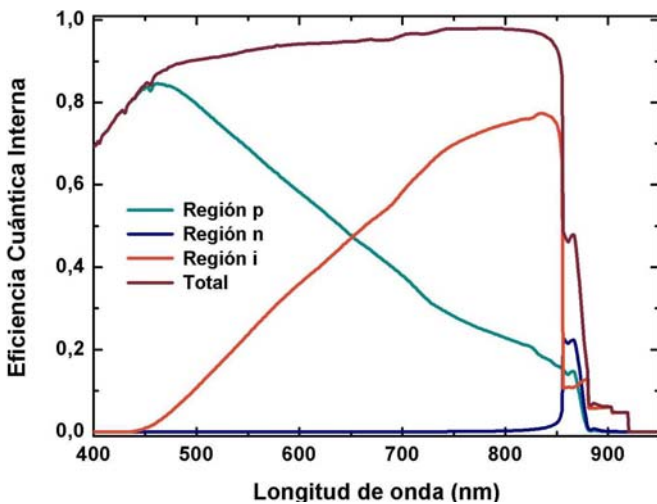
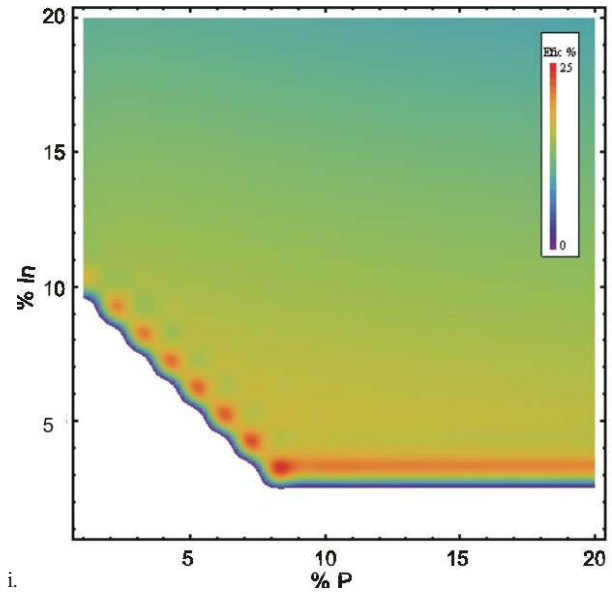


Figura 3. Eficiencia cuántica interna modelada versus longitud de onda para una SBSC. Composición de P, $y = 0.06$, composición de In, $x = 0.11$, $N_w = 20$, $L_w = 15$ nm. Se muestran las contribuciones de las regiones n , p e



i. Figura 4. Eficiencia versus composición de In y P. El ancho del pozo cuántico es $L_w = 15$ nm, en tanto el espesor W fue variable para contener 20 pozos. La zona blanca se explica en el texto.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La eficiencia cuántica interna fue calculada siguiendo el procedimiento descrito en 2.1. Los valores de las constantes fueron recabados de la literatura. En figura 3 se muestra $QE(\lambda)$, y el aporte de las regiones n , p e i , observándose que se logran altos valores, cercanos a la unidad, en una ancha región espectral. También se resalta la extensión del espectro para longitudes de onda mayores al umbral de absorción del GaAs ($\lambda = 890$ nm) como resultado de la absorción de fotones en los pozos cuánticos, lo que induce un incremento de la fotocorriente. La $QE(\lambda)$ calculada es muy similar a un reporte experimental¹ en este tipo de celdas, a pesar que existen diferencias en la CAR utilizada y los espesores de las distintas capas.

Las curvas J vs V fueron computadas a través de la ec. 2 sin tener en cuenta la recombinación en las intercarras, ya que se supone un perfecto acoplamiento entre el GaAs y las capas insertadas en la región intrínseca. También, las tensiones y el campo eléctrico que depende del ancho W , fueron considerados para el cálculo de la absorción de fotones en la región intrínseca. Los valores de las constantes utilizadas fueron extraídos de la literatura. De las curvas volt-ampérica se determinó el punto de máxima potencia y la eficiencia de conversión se computó en función del ancho y profundidad de los pozos.

Inicialmente se investigó cual era la composición de In y P, es decir, la profundidad de pozos, con que se alcanzan las máximas eficiencias. La figura 4 muestra los valores de eficiencia calculada en función de la composición de In y P para $L_w = 15$ nm y $N_w = 20$, de modo que el ancho W es variable para satisfacer la condición de balance de las tensiones. La zona de color blanco en la figura indica los casos que no son de interés en el rango de valores estudiados, ya que los niveles que aparecen, el campo eléctrico los desplaza al continuo. Igualmente no se consideran los casos en que la mínima transición energética es

superior al umbral de absorción del GaAs. Obsérvese que para composiciones de 3% de In y 8% de P se alcanzan eficiencias tan elevadas como del 25%. La eficiencia en función del ancho del pozo L_w y la composición de In se muestra en la figura 5 para una concentración de P, $y = 0.08$. Se escogió $W \sim 1 \mu\text{m}$, de manera que el número de pozos varía para que se cumpla la condición del balance de las tensiones. Siempre se comienza y termina en una barrera. Altas eficiencias son alcanzadas en un amplio rango de valores de In y L_w , obteniéndose el máximo para $x = 0.02$ y $L_w = 17 \text{ nm}$.

CONCLUSIONES

Las SBSCs poseen una eficiencia de conversión elevada que las hace muy atractivas para su utilización en aplicaciones espaciales. Se ha extendido el modelo de Rimada-Hernández al considerar los efectos de las tensiones y el campo eléctrico en la absorción de los fotones en la región intrínseca, permitiendo optimizar el rendimiento de estas celdas. Se encontró que las máximas eficiencias se alcanzan entorno a los valores de composición de In, $x = 0.02$, P, $y = 0.08$ y $L_w = 17 \text{ nm}$. El modelo permite optimizar otros parámetros, como el número de pozos, ancho de la región intrínseca, así como los espesores de la base y el emisor, que constituirán trabajos futuros.

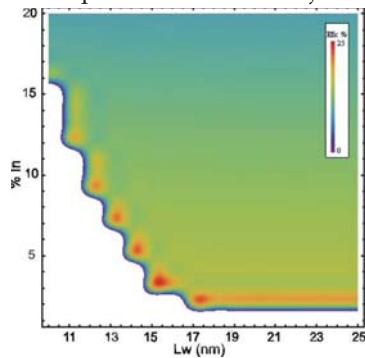


Figura 5. Eficiencia en función de la concentración de In y el ancho del pozo cuántico L_w . La composición de P, $y = 0.08$, y $W \sim 1 \mu\text{m}$. La zona blanca se explica en el texto.

- [1] D.C. Johnson, I. Ballard, K.W.J. Barnham, D.B. Bishnell, J.P. Connolly, M.C. Lynch, T.N.D. Tibbits, N.J. Ekins-Daukes, M. Mazzer, R. Airey, G. Hill, J.S. Roberts. Advances in Bragg stack quantum well solar cells. Sol. Energ. Mat & Sol. Cell. 87, 169, 2005.
- [2] J.G.J. Adams, W. Elder, P. Stavrinou, K.W.J. Barnham. Efficiency enhancement in strain-balanced quantum well solar cells via anisotropic emission. 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany.
- [3] J. C. Rimada, L. Hernández, J. P. Connolly, K. W. J. Barnham, "Conversion efficiency enhancement of AlGaAs quantum well solar cells". Microelectron. J. 38, 513, 2007.
- [4] N.G. Anderson, "Ideal theory of quantum well solar cells", J. Appl. Phys. 78 (3), 1850, 1995.
- [5] Harold J. Hovel, semiconductors and semimetals, solar cells, volume 11, Academic Press, page 15-20, 1975.
- [6] Bastard G, Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures, Editions de Physique, page 240, 1986.
- [7] Paul Harrison. Quantum wells, wires and dots. John Wiley & Sons, Ltd, page 219-230, 2005.
- [8] Joachim Piprek. Semiconductor Optoelectronic Devices. Academic Press, page 27-30, 2003.
- [9] Jasprit Singh. Electronic and Optoelectronic Properties of Semiconductor Structures. Cambridge University Press, page 129-140, 2003.

CELDA SOLARES DE GaAs / GaInNAs CON MÚLTIPLES POZOS CUÁNTICOS Y SUPERREDES

M. COUREL^A, J.C. RIMADA^A Y L. HERNÁNDEZ^{B†}

a) Instituto de Ciencias y Tecnología de los Materiales (IMRE), Universidad de la Habana

b) Facultad de Física, Universidad de la Habana, luisman@fisica.uh.cu

†autor para la correspondencia

En este trabajo se presenta por primera vez un estudio de celdas solares de GaAs/GaInNAs, en una configuración de múltiples pozos cuánticos (MQWSC) y de superredes (SLSC). Mediante un modelo elaborado por los autores se estudia el comportamiento de la eficiencia de conversión en función de los anchos y profundidades de los pozos cuánticos, encontrándose que la incorporación de niveles de energía dentro del pozo cuántico incrementa la absorción de fotones y por ende la fotocorriente. Se demuestra que la eficiencia de las MQWSC sobrepasa un 25% al de la celda solar del mismo material pero sin pozos cuánticos. Para las SLSCs se presenta un estudio de su viabilidad. Usando el método de la Matriz de Transferencia, las condiciones de resonancia son establecidas para una superred con pozos cuánticos de espesor variable. La característica volt-ampérica es determinada calculando la densidad de estados efectiva y el coeficiente de absorción. Se investiga la influencia de la longitud de la superred o cluster en la eficiencia de estas celdas, obteniéndose un mayor rendimiento en la medida que la longitud y el número de cluster se incrementan. La eficiencia de las SLSC es comparada con la eficiencia máxima obtenida en las MQWSC, demostrándose que se alcanza un incremento espectacular de un 27%

A theoretical study of the GaAs/GaInNAs solar cells based on a multi-quantum wells (MQWSC) and superlattices (SLSC) configuration is presented for the first time. The conversion efficiency as a function of wells width and depth is modeled. The photon absorption increases with the quantum well levels incorporation and therefore the photocurrent as well. It is shown that the MQWSC efficiency overcomes the solar cells without quantum wells about 25%. A study of the SLSC viability is also presented. The conditions for resonant tunneling are established by the matrix transfer method for a superlattice with variable quantum wells width. The effective density of states and the absorption coefficients for SL structure are calculated in order to determinate the J-V characteristic. The influence of the superlattice or cluster width in the cell efficiency is researched showing a better performance when width and the number of cluster are increased. The SLSC efficiency is compared with the optimum efficiency obtained for the MQWSC showing that it is reached an amazing increment of 27%.

Palabras claves. Quantum well, Modelling solar cell, InGaAs/GaAs, Conversión efficiency

PACS. 68.65.Fg; 73.21.Fg; 73.63.Hs; 84.60.Jt; 85.30.De; 85.35.Be

INTRODUCCIÓN

La introducción de pozos cuánticos en las celdas solares ha sido motivo de investigaciones tanto en el campo teórico como en el experimental, demostrándose que es posible obtener eficiencias mayores a la celda de homounión. Barnham y Duggan¹ fueron los primeros en considerar la inclusión de pozos cuánticos dentro de la región intrínseca de una celda p-i-n, proponiendo las celdas solares en base a múltiples pozos cuánticos y a superredes. La incorporación de pozos cuánticos permite incrementar la absorción de fotones, pero contribuye al mismo tiempo a un aumento de la probabilidad de recombinación de los portadores. De ahí que varios trabajos han estado encaminados a optimizar la eficiencia de las celdas, siendo el AlGaAs/GaAs el material más estudiado^{2,3,4}. Para poder obtener una celda eficiente, resulta necesario emplear el GaAs como material volumétrico, lo cual implica encontrar un material que pueda ser utilizado como pozo cuántico, el cual cumpla no

solo la condición de tener un menor ancho de banda prohibida, sino también una constante de red igual a la del GaAs.

Estudios recientes del compuesto InGaAs han mostrado que al incorporar una concentración de indio igual a 2.85 veces la de nitrógeno, se logra una disminución del ancho de la banda prohibida, manteniendo la constante de red idéntica a la del GaAs⁵. Esta propiedad lo convierte en un compuesto muy atractivo para ser empleado como pozo cuántico en celdas solares de GaAs con confinamiento cuántico.

En el presente trabajo se realiza por primera vez un estudio teórico del comportamiento de las MQWSC de GaAs/GaInNAs en función del ancho y profundidad de los pozos cuánticos. Igualmente, es desarrollado un modelo a partir del cual se puede estudiar el comportamiento de las SLSC formadas

por la misma heteroestructura. Las condiciones de resonancia, que favorecen el escape de los portadores fotogenerados en una superred, fueron determinadas mediante el método de la Matriz de Transferencia, con pozos cuánticos de espesor variable siguiendo el método reportado por Reyes-Gómez et al⁶. La característica volt-ampérica para ambas configuraciones es determinada calculando la densidad de estados efectiva y el coeficiente de absorción, siguiendo el procedimiento reportado en ref. [4]. Finalmente, se estudia la eficiencia en las SLSC en función de la longitud o ancho de la superred, siendo estos valores comparados con los obtenidos en una MQWSC optimizada.

MODELO

2.1 MQWSC.

La celda solar con pozos cuánticos (MQWSC) no es más que una estructura p-i-n en la que se introducen pozos cuánticos idénticos en la región intrínseca fabricados con un material de menor ancho de banda prohibida y espesor nanométrico. El comportamiento de la densidad de corriente en función del voltaje para una MQWSC, puede ser determinado a través de la expresión^{2,4}:

$$J_{QWSC}(V) = J_0(1 + r_R\beta) \left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right) - 1 \right] + (ar_{NR} + r_S) \left[\exp\left(\frac{qV}{2kT}\right) - 1 \right] - J_{PH} \quad (1)$$

Donde r_R , r_{NR} y r_S representan las razones de incremento de la recombinación radiativa, no radiativa y la recombinación en las intercaras debido a la presencia de los pozos cuánticos en la región intrínseca, α y β son parámetros definidos por Anderson⁷. La fotocorriente J_{PH} puede ser determinada a partir de la integración de la eficiencia cuántica interna $QE_{total}(\lambda)$ mediante la expresión:

$$J_{PH} = q \int F(\lambda) QE(\lambda) d\lambda \quad (2)$$

Donde $F(\lambda)$ es el número de fotones por longitud de onda correspondientes al espectro AM1.5. La eficiencia cuántica interna total de la celda puede ser determinada una vez conocidas las contribuciones de cada región a través la expresión:

$$QE_{total}(\lambda) = QE_n(\lambda) + QE_p(\lambda) + QE_{int}(\lambda) \quad (3)$$

El aporte a la eficiencia cuántica de las regiones n y p son evaluadas siguiendo el procedimiento clásico reportado por Hovel^[8]. En cambio, para la región intrínseca hay que tener presente la contribución de los pozos^{2,4}:

$$QE_{int}(\lambda) = [1 - R(\lambda)] \exp\left\{-\sum \alpha_i z_i\right\} \times \left[1 - \exp\left(-\alpha_B W - N L_w \alpha_w\right)\right] \quad (4)$$

Donde $R(\lambda)$ es la reflectividad en la superficie de la celda en función de la longitud de onda, N el número de pozos, L_w el ancho de los pozos y W el ancho de la región intrínseca. El fac-

tor exponencial representa la atenuación de la luz en las capas anteriores a la región intrínseca, α_B y α_w son los coeficientes de absorción de los materiales de barrera y de pozos, siendo el coeficiente de absorción del pozo determinado según la expresión reportada por Bastard^[9]. De esta forma mediante la ec.1, considerando las expresiones del 2 al 4 es posible estudiar el comportamiento de una MQWSC en función de los anchos y profundidad de los pozos.

2.2 SLSC.

En una MQWSC los pozos cuánticos se encuentran desacoplados, debido a que el campo eléctrico desalinea los niveles energéticos entre los pozos contiguos. Para lograr el acoplamiento entre pozos contiguos en una región donde se encuentra aplicado un campo eléctrico, se crecen pozos de anchos variables, del mismo modo que en ref. [6]. De este modo, será posible obtener una minibanda para el transporte de los electrones fotogenerados en la banda de conducción, teniéndose por tanto una SLSC. Desde el punto de vista teórico, las principales ventajas que ofrecen las SLSC frente a las MQWSC, es que al existir una minibanda la absorción de fotones puede ser mejorada, al mismo tiempo que los portadores podrán escapar de los pozos de forma más efectiva, disminuyendo por tanto la probabilidad de recombinación electrónhueco, al encontrarse delocalizados. Por tanto, un modelo desarrollado para el estudio de las SLSC debe partir de investigar las condiciones bajo las cuales se puede obtener una minibanda. Estas condiciones y el ancho de la minibanda son buscadas empleando el método de la matriz de transferencia siguiendo el procedimiento reportado en ref. [6].

2.2.1 Método de la matriz de transferencia

Combinaciones lineales de las funciones de Airy son utilizadas como solución a la ecuación de Schrödinger independiente del tiempo, aplicada a cada barrera y pozo que conforman la superred, bajo la presencia del campo eléctrico. Considerando las condiciones de fronteras para cada intercara, se encuentra una matriz M que relaciona la función de onda del primer pozo con la función de onda del último pozo correspondiente a la superred:

$$\psi_i = M \psi_f \quad (5)$$

Donde la matriz M es función de la energía de los portadores, de los anchos de los pozos y las barreras, de la profundidad de los pozos y de la intensidad del campo eléctrico. Una vez conocida la matriz M , es posible determinar la probabilidad de tunelaje T la cual es la razón entre la densidad de corriente de probabilidad de la onda saliente del último pozo y la densidad de corriente de probabilidad de la onda que entra al primer pozo. Considerando que la onda saliente del último pozo no tiene componente reflejada, el coeficiente de tunelaje para una superred de N pozos puede ser determinada a través de la expresión:

$$T = \frac{k_f}{k_i} \frac{m_i}{m_f} \frac{1}{|M_{II}|^2} \quad (6)$$

Donde m_i y m_f son las masas efectivas de los portadores en el primero y último pozo, siendo k_i y k_f los vectores de onda correspondientes del primero y último pozo, M_{11} es el término (1,1) de la matriz M . A partir de la ec. 6 puede realizarse un estudio del coeficiente T en función de diversos parámetros tales como los anchos de pozos y barreras, profundidad de los pozos y de la intensidad del campo eléctrico. De esta forma siguiendo el procedimiento reportado en ref. [6], se pueden obtener las condiciones bajo las cuales se obtiene la minibanda en la superred (condiciones de resonancia), siendo el ancho de la minibanda el rango de valores para los cuales el coeficiente de tunelaje es cercano a la unidad. Las condiciones de resonancia sólo pueden ser encontradas si los pozos cuánticos en la superred poseen anchos diferentes.

2.2.2 Dependencia J-V para la SLSC

Como fue definido en la sección 2.2, la condición de resonancia se obtiene fabricando pozos cuánticos de anchos variables. Si en nuestro caso, fabricamos un conjunto con un número fijo de pozos acoplados, para el cual se puede determinar su coeficiente de absorción, densidad de estados, etc, entonces el mismo podrá ser tomado como una unidad funcional. A este conjunto de pozos acoplados lo definiremos como clúster. El clúster se podrá repetir a lo largo de la región intrínseca de la SLSC, análogamente, a cuando repetimos un pozo cuántico a lo largo de la región intrínseca en una MQWSC, siempre que el ancho de la región intrínseca lo permita.

Debido a lo anterior, la dependencia de la densidad de corriente-voltaje $J(V)$ para una SLSC, puede ser determinada mediante la expresión desarrollada para la MQWSC en ec. (1), sustituyendo en la misma los parámetros relacionados con los pozos cuánticos para el caso de las MQWSC por los correspondientes a los clústeres definidos anteriormente para la SLSC.

Para el cálculo de la relación $J(V)$ (ec.1) de una SLSC es necesario encontrar las expresiones para la densidad de estados efectivos del clúster, su coeficiente de absorción y el coeficiente de recombinación radiativo. La fotocorriente JPH para una SLSC será determinada igualmente mediante la ec. (2). La recombinación en las intercaras se asume nula asumiendo un acoplamiento reticular perfecto entre los dos materiales.

2.2.2.1 Densidad de estados efectivos

Usando la expresión de la densidad de estados reportado por Davies¹⁰, asumiendo un cambio brusco a la densidad de estados tridimensional para valores de energía superiores al valor energético correspondiente a la altura de la barrera, que la minibanda solamente se extiende dentro de la longitud del cluster y que la aproximación de Boltzman para la ecuación de Fermi-Dirac es válida, se encontró por primera vez una expresión para la densidad de estados efectivos para los electrones en función del ancho de la mi-

nibanda Γ_e :

$$g_e(E) = \frac{m_e^*}{\pi d_{SL} \hbar^2} \left[\int_0^{\Gamma_e} \left[\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{E - \frac{\Gamma_e}{2}}{\frac{\Gamma_e}{2}} \right) \right] \exp \left(-\frac{E + E_e}{kT} \right) dE + \right. \\ \left. + 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{\hbar^2} \right)^{3/4} \left[2 \sqrt{\frac{\Delta Ec}{\pi kT}} \exp \left(-\frac{\Delta Ec}{kT} \right) + \operatorname{erfc} \sqrt{\frac{\Delta Ec}{kT}} \right] \right] \quad (7)$$

Donde m_e^* es la masa efectiva de los electrones, d_{SL} el período de la superred, E_e representa el borde inferior energético de la minibanda, ΔEc la profundidad del pozo y erfc es la función error complementaria. Siguiendo el mismo procedimiento puede encontrarse una expresión similar para los huecos ligeros y huecos pesados.

2.2.2.2 Coeficiente de absorción

Haciendo uso de la regla de oro de Fermi, considerando la aproximación dipolar de la función de onda envolvente y asumiendo la de banda coseno, puede encontrarse una expresión para determinar el coeficiente de absorción para la transición hueco ligero-minibanda de conducción en función de la energía¹¹:

$$\alpha_{lh-e}(E) = \frac{q^2}{cm_0^2 \epsilon_0 n_r d_{SL} \hbar^2 \omega} \left| \langle f | a.p | i \rangle \right|^2 \times \\ \times \frac{m_{lh} + m_e}{m_{lh}^* m_e} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arcsin \left[\frac{E - E_{g0} - \frac{\Gamma_e + \Gamma_{lh}}{2}}{\frac{\Gamma_e + \Gamma_{lh}}{2}} \right] \right\} \quad (8)$$

Siendo n_r el índice de refracción de la heteroestructura, $|\langle f | a.p | i \rangle|$ el elemento matricial entre el estado inicial i y el estado final f , donde a su vez a es un vector unitario y p es el momentum. Γ_e es el ancho de la minibanda para los electrones y Γ_{lh} el ancho de la minibanda de los huecos ligeros, m_e y m_{lh} las masas efectivas de los electrones y huecos ligeros y E_{g0} la diferencia energética entre el borde inferior de la minibanda de conducción y el borde superior de la minibanda de valencia.

Una expresión similar a la anterior es encontrada para las transiciones huecos pesados- minibanda de conducción. De esta forma el coeficiente de absorción para un cluster en función de la energía podrá ser determinado, una vez conocido el coeficiente de absorción para las transiciones huecos ligeros-electrones y para las transiciones huecos pesados-electrones, mediante la expresión:

$$\alpha_{cluster}(E) = \alpha_{lh-e}(E) + \alpha_{hh-e}(E) \quad (9)$$

2.2.2.3 Coeficiente de recombinación radiativo

Una vez determinado el coeficiente de absorción es posible determinar el coeficiente de recombinación radiativo correspondiente a las transiciones electrón-hueco para el clúster mediante la teoría del balance detallado, considerando que la separación entre los cuasi niveles de fermi permanece constante e igual al voltaje aplicado V :

$$B = \frac{8\pi n_f^2}{c^2 h^3 n_0 p_0} \int_{E1}^{E2} \frac{\alpha E^2 dE}{\exp\left(\frac{E}{kT}\right) - 1} \quad (10)$$

Donde $E1$ y $E2$ son los valores de energía dentro de los que se realiza la integración, siendo n_0 y p_0 las concentraciones de electrones y huecos en equilibrio.

Resumiendo, una vez determinadas las expresiones para calcular la densidad de estados efectivos, el coeficiente de absorción y el coeficiente de recombinación radiativo correspondientes al clúster es posible evaluar la ec. (1) para determinar la eficiencia de las SLCS en función del ancho y número de clústeres.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para estudiar el comportamiento de la eficiencia de las MQWSC y de las SLSC de GaAs/GaInNAs, se simuló una celda tipo pin, con los pozos cuánticos insertados en la región intrínseca tal y como se muestra en la figura 1.

Los anchos de cada región son $0.15 \mu\text{m}$ (emisor), $0.6 \mu\text{m}$ (intrínseca) y $0.46 \mu\text{m}$ (base), mientras que el dopaje de las regiones p y n son de $2.3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ y $1.8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ respectivamente. Haciendo uso de las expresiones reportadas en ref. [12] para el cálculo de las masas efectivas y el ancho de la banda prohibida del GaInNAs, se determinó la dependencia de la eficiencia normalizada para una MQWSC de 15 pozos, en función de su ancho, siendo este resultado mostrado en la figura 2. La eficiencia normalizada se define como la razón entre la eficiencia de la MQWSC y la eficiencia de una celda con las mismas características pero sin pozos cuánticos. En la figura se observa, que para concentraciones del 0.2% de N, se obtiene que la eficiencia de una MQWSC se incrementa con el aumento del ancho de los pozos, siendo superado el valor de la eficiencia de una celda sin pozos en un valor cercano al 25%. Cada salto en la eficiencia se corresponde con la incorporación de nuevos niveles de energía en el pozo, lo cual permite una mayor absorción de fotones y por ende un aumento en la fotocorriente, mejorando por tanto la eficiencia. En la medida que aumenta la concentración de nitrógeno se obtiene una disminución en la eficiencia, lo cual es debido a que al aumentar la profundidad de los pozos, los portadores se encuentran más confinados, lo cual contribuye a un aumento de las pérdidas por recombinación, disminuyendo por ende la eficiencia. Sin embargo, nótese que aún para 1 % de N, la eficiencia de estas celdas es superior a la de GaAs sin pozos.

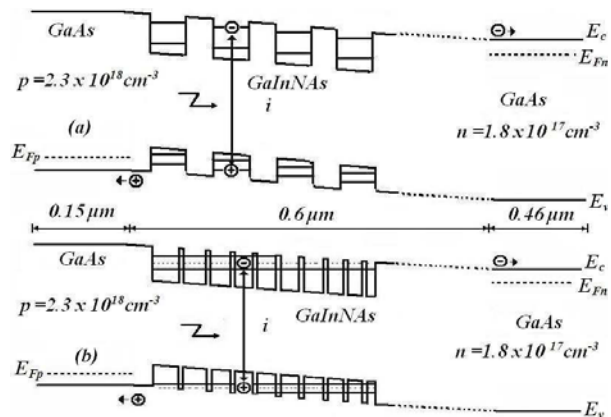


Figura 1. Esquema de una celda solar tipo p-i-n con múltiples pozos cuánticos (a) y con superredes (b) en la región intrínseca.

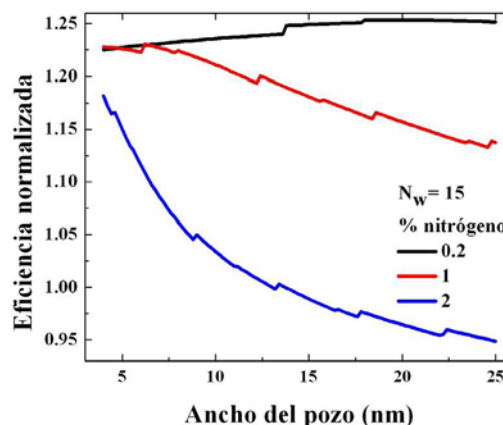


Figura 2. Dependencia de la eficiencia normalizada para una MQWSC en función del ancho de los pozos para diferentes concentraciones de nitrógeno.

Con el fin de optimizar la eficiencia de las MQWSC, se calculó la eficiencia normalizada en función del ancho del pozo y de la concentración de nitrógeno, siendo este resultado mostrado en la figura 3. A partir de la figura puede observarse que hasta concentraciones de 0.5% de N, la eficiencia de las celdas se incrementa con el aumento del ancho de los pozos, prevaleciendo de esta forma la absorción frente a la recombinación, alcanzándose un valor de saturación de la eficiencia superior en un 25% en comparación con la celda sin pozos. Para concentraciones de nitrógeno mayores se observa que la eficiencia disminuye debido al incremento de la recombinación.

Para estudiar el comportamiento de la eficiencia en la SLSC, primeramente se determinaron los valores de los anchos de los pozos, que permiten la formación de la minibanda, en presencia del campo eléctrico creado por los átomos ionizados de las regiones n y p . Las condiciones de resonancia fueron determinadas para dos clústeres con pozos cuánticos de ancho variable. El primer clúster comienza con un pozo de 25 nm de ancho terminando con un pozo de ancho 1 nm, siendo la longitud del clúster de 147 nm. Mientras que el segundo, comienza con un pozo de 25 nm y termina en un pozo de 15 nm de ancho, siendo su longitud de 209 nm. Para ambas configuraciones se consideran 10 pozos dentro del clúster, separados por barreras finas de 1 nm, siendo los pozos con concentraciones de nitrógeno de 0.5%. La eficiencia de las SLSC es calculada en

función del número de clúster para ambas configuraciones y es ahora normalizada por la eficiencia máxima obtenida para las MQWSC, siendo estos resultados mostrados en la figura 4. Al comparar las eficiencias de dos celdas con igual número de clústeres se observa que el mayor valor corresponde a aquella celda que posee clústeres de mayores anchos, sin embargo, se lograrán alcanzar mejores eficiencias en SLSC con clústeres de anchos menores, puesto que de esta forma es posible incluir más clústeres, estando la absorción favorecida por el número de pozos en lugar del ancho de los pozos. Como resultado interesante se obtuvo que la eficiencia de las SLSC puede superar al óptimo valor encontrado en las MQWSC en un valor incrementado cercano al 27%, demostrándose de esta forma un aumento en la absorción y una disminución en la recombinación producto a la existencia de una minibanda.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo que permitió estudiar por primera vez la viabilidad de las MQWSC y las SLSC de GaAs/GaInNAs. Se realizó un estudio del comportamiento de las MQWSC el cual mostró que es posible obtener rendimientos superiores a la eficiencia de la celda sin pozos cuánticos en un valor incrementado cercano al 25%. La región en la cual la eficiencia de las MQWSC supera a la de la celda sin pozos fue determinada, siendo de esta forma posible optimizar la eficiencia de las MQWSC en función de los anchos de los pozos y profundidad de los pozos. Con el fin de evaluar la eficiencia de las SLSC, se desarrolló un modelo, para el cual resultó necesario determinar la densidad de estados efectivos, el coeficiente de absorción y la probabilidad de recombinación radiativa en función del ancho de la minibanda, encontrándose que la eficiencia de las SLSC puede superar en un 27% al óptimo valor encontrado en las MQWSC, mostrándose de esta forma el dispositivo interesante para continuar con su estudio y posible fabricación.

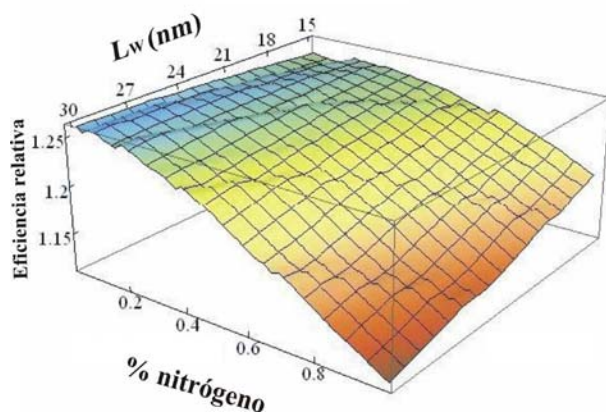


Figura 3. Dependencia de la eficiencia normalizada para una MQWSC en función de la concentración de nitrógeno y de los anchos de los pozos.

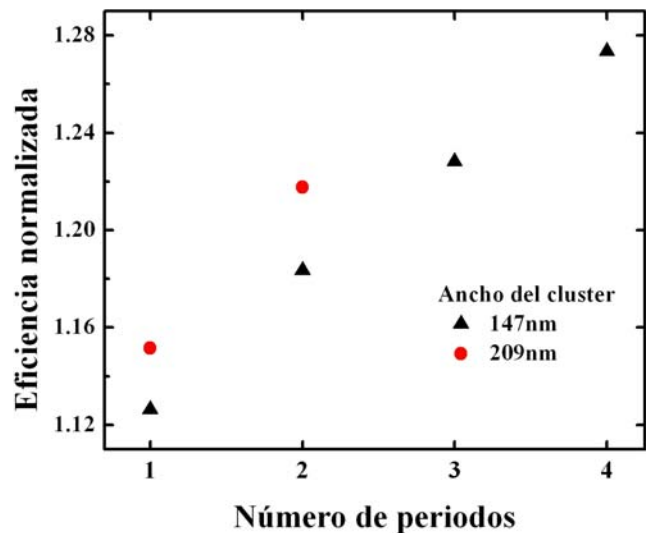


Figura 4. Dependencia de la eficiencia normalizada para dos SLSC en función del número de clústeres, utilizando clústeres de diferentes anchos.

- [1] K.W.J. Barnham, C. Duggan, "A new approach to high-efficiency multi-bandgap solar cells", *J. Appl. Phys.* 67 (7), 3490-3493 (1990).
- [2] J.C. Rimada, L. Hernandez, K.W.J. Barnham, J.P. Connolly, "Quantum and conversion efficiencies calculation of AlGaAs/GaAs multiple quantum well solar cells", *Phys. Status Solidi B* 242 (9), 1842-1845 (2005).
- [3] S.J. Lade, A. Zahedi, "A revised ideal model for Al-GaAs/GaAs quantum well solar cells", *Microelectron. J.* 35 (5), 401-410 (2004).
- [4] J. C. Rimada, L. Hernández, J. P. Connolly, K. W. J. Barnham, "Conversion efficiency enhancement of AlGaAs quantum well solar cells", *Microelectron. J.* 38, 513-518 (2007).
- [5] M. Henini, "Dilute nitride semiconductors", edited by M. Henini, vol. 1, pp. 1-2 (Elsevier, 2005).
- [6] E. Reyes-Gómez, L. E. Oliveira, M. de Dios-Leyva, "Quasi-bond states and intra-band transition energies in GaAs-(Ga,Al)As variably spaced semiconductor superlattices", *Physica B* 358, 269-278 (2005).
- [7] N.G. Anderson, "Ideal theory of quantum well solar cells", *J. Appl. Phys.* 78 (3), 1850-1861 (1995).
- [8] Harold J. Hovel, "Semiconductors and semimetals", solar cells, edited by R.K. Willardson, vol. 11, pp. 15-19 (Academic Press, 1975).
- [9] Bastard G, "Wave mechanics applied to semiconductor heterostructures", pp. 250 (Editions de Physique, 1986).
- [10] J. H. Davis, "The physics of low-dimensional semiconductor", pp. 182 (Cambridge University Press, 1998).
- [11] J. Singh, "Electronic and optoelectronic properties of semiconductor structures", pp. 359-360 (Cambridge University Press, 2003).
- [12] Sheng-Horng Yena, Mei-Ling Chena, Yen-Kuang Kuo, "Gain and threshold properties of InGaAsN/GaAsN material system for 1.3- μ m semiconductor lasers", *Optics and Laser technology*. 39 (7), 1432-1436 (2007).

ARC CURRENT CONTROL FOR A CARBON NANOPARTICLE SYNTHESIS STATION

L. HERNÁNDEZ-TABARES, E. CARRILLO-BARROSO^A, J.G. DARIAS-GONZÁLEZ^B, L.F. DESDÍN-GARCÍA^B, R.J. CASTILLO-TORRES^A, J. ARTECHE-DÍAZ^B Y M. RAMOS-ARUCA^B

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Cuba. lorenzo@ceaden.edu.cu†

a) Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Ciudad de La Habana, ernesto@icmf.inf.cu

b) Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, C. de la Habana, darias@ceaden.edu.cu

†autor para la correspondencia

Se desarrolló un sistema, basado en un microcontrolador, para controlar la corriente de arco en una estación de síntesis de nanopartículas. La estación funciona bajo el principio de descarga de arco entre dos electrodos de grafito sumergidos en agua. El sistema mide la corriente en los electrodos y, por medio de un mecanismo de microposicionado, utiliza su valor para controlar la separación entre ellos. Se probaron diferentes algoritmos de control para mantener una corriente constante y óptima para la síntesis.

A microcontroller based system has been developed to control the arc current in a carbon nanoparticle synthesis station. The station works under the principle of in-water arc discharge between two graphite electrodes. The system measures the current on the electrodes and, by means of a micropositioning mechanism, uses its value to control the gap between them. Several control algorithms were tested in order to maintain an optimal synthesis constant current.

Palabras claves. carbon/carbon-based materials 81.05.U-, methods of nanofabrication 81.16.-c, fullerenes, 81.05.ub

INTRODUCTION

The properties of the carbon nanotubes (CNT) and carbon nanofibers (CNO) open many potential applications, such as energy storage materials, high-performance and high-temperature wear-resistance materials, superconductive materials and biomaterials.¹

The CNO can be synthesized using several techniques: irradiation of amorphous carbon up to 700 °C using the electron beam of an electronic microscope, annealing of nanodiamonds at temperatures between 1100 – 1500 °C, a 120 KeV carbon ion implantation in copper and silver targets, chemical deposition of vapors with reinforced plasma by means of radio frequencies and treatment of carbon soot with shock waves.²⁻⁶ However, all these methods can only produce minute amounts of CNO.

The possibility of producing CNO in significant quantities was reported for the first time using an electric arc discharge in distilled water. This eliminated the use of vacuum and complex gas valve systems or catalysts.⁷

In an in-water arc discharge synthesis process, the bubble generated by plasma acts as a reaction chamber where carbon atoms, evaporated from the cathode surface, regroup themselves close to liquid surface to form carbon nanostructures.

[8] The plasma parameters determine the formed structure type and its defects.

One of the most important parameters in this synthesis process is the stability and the value of the arc current. It is the first one to be controlled and monitored in present and future works. The literature has reported an optimal arc current value of 30A or 30-40A.^{8,9}

In this work several control algorithms were tested in order to maintain an optimal synthesis constant current. The experimental setup description, two methods for measuring the arc current, the functioning of the control algorithms and their results are presented.

METHODOLOGY

Experimental setup. The experimental setup is composed of three major blocks: synthesis station, power supply and control system.

The scheme of the synthesis station is shown in Fig. 1. A micropositioning mechanism (1), driven by a step motor (2), is supported by an aluminum frame (3). The electrode holder (4) of the cathode (8) is fixed to this structure. However, the electrode

holder (5) of the anode (6), is mounted on the micropositioning mechanism car allowing a relative electrode coaxial movement.

The electrodes were submerged in $1.2\text{M}\Omega$ resistivity distilled water contained on a 15L pyrex glass vessel (7). The vessel's transparency allowed the electric arc light surveillance.

As electrodes, spectroscopic pure graphite cylinders ($\varnothing_{\text{cathode}} = 12\text{mm}$ and $\varnothing_{\text{anode}} = 5\text{mm}$) were used.

To power the synthesis station a dedicated direct current power supply was developed. It was able to provide currents of up to 100A and variable voltages in the range of 15-25VDC ($\varnothing 0.5\text{VDC}$). The power supply was connected to the electrode holders polarizing them. An am-meter was placed in the circuit to show the electrode current (Fig. 2).

Two methods were evaluated to measure the arc current: the optoelectronic method and the shunt method.

With the optoelectronic method the arc current could be estimated by measuring the arc emitted light with an optoelectronic sensor. No direct correlation was observed between the arc emitted light intensity and the ammeter's current indication. This light was not possible to observe from the same point because it was constantly emitted in different directions from the electrodes. Due to these problems this method was discarded.

The arc current could also be determined by placing a shunt in the circuit (Fig. 2) and measuring the voltage drop on it. This voltage drop is linearly proportional to the arc current. This method was more simple and direct to use than the optoelectronic one.

The control system was formed by a current shunt, a fixed-gain low-pass filter, a PIC16F4550 microcontroller and a four-phase step motor driver (Fig. 3).

The $330\mu\Omega$ shunt generated a voltage drop proportional to the electrode current. This voltage was amplified and filtered by a 4th order Butterworth low-pass analog active filter with a cut-off frequency of 20Hz. The filtered signal was digitalized by the microcontroller's 10bit ADC.

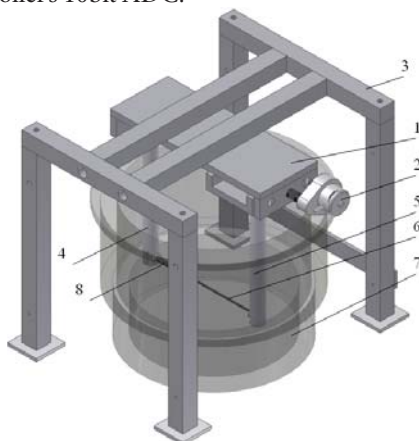


Figure 1. Synthesis station.

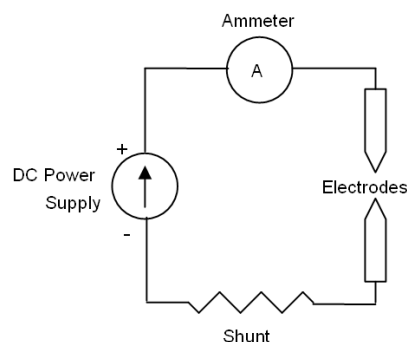


Figure 2. Electric diagram of the experimental setup.

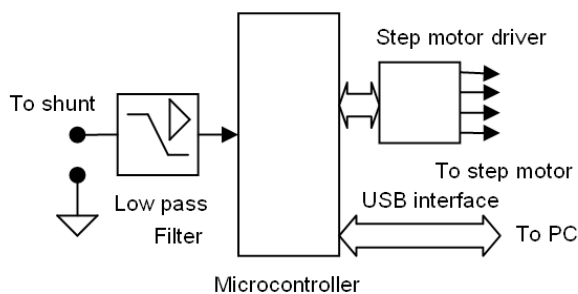


Figure 3. Block diagram of the control system.

Depending on the current value, the microcontroller was acting over the step motor to force the anode to move forwards or backwards to the cathode.

In this work a half-stepping control of the step motor was used.

Control system description. Three control algorithms were used during the experiments: the so called by us "forward-backward" algorithm, the "only forward" algorithm and the "constant speed" algorithm.

The first two algorithms worked in a similar way. In both cases two current set points (maximum and minimum) were prefixed. If the electrode current was smaller than the minimum set point, the microcontroller forced the step motor to rotate one step forwards. Consequently the gap between the electrodes got smaller increasing the current. On the contrary, when the electrode current was higher than the maximum set point, the step motor rotated one step backwards, thus the gap between the electrodes got bigger and the current got smaller. No movement of the step motor was ever made when the electrode current was within the maximum and minimum set points.

When the system was turned on the electrodes were separated and there was no arc discharge between them. As the electrode current was zero it was smaller than the minimum set point and the microcontroller started to move the anode until it reached the cathode (short circuit). In that moment the arc discharge started, the electrode current became higher than the maximum set point and the microcontroller started to separate the electrodes until the arc current was within the minimum and maximum set point.

In the “forward-backward” algorithm the minimum and maximum set point values were fixed very close one to each other, usually $30\text{A} \pm 3\text{A}$ (or $\pm 5\text{A}$).

In the “only forward” algorithm the minimum set point was prefixed around 25A but the maximum set point was prefixed far from the minimum, usually 60A .

The third control algorithm was tested based on the anode average displacement speed, calculated from the “only forward” algorithm. In this algorithm the anode displacement speed was constant and did not depend on the arc current value (open loop).

RESULTS

The “forward-backward” algorithm showed certain in-stability managing the arc discharge; even some times it caused the arc to turn off. That happened because of small mechanical imperfections any mechanical system has, increased by drastic changes of the step motor direction of rotation, inertia of our micropositioning system and mechanical oscillations the arc discharge causes on the electrodes. Testing this algorithm it was realized that, as the electric arc was constantly eroding the anode, it was also permanently increasing the gap between electrodes; consequently, to make backwards movements to increase the gap could be not necessary.

In the “only forward” algorithm we took advantage of the previous argument. Once the gap was reduced and the current was over the minimum set point, the anode electrode was kept in a fixed position while the erosion process was making the gap to increase again, thus decreasing the current. That caused the current to oscillate close to the minimum set point, without making back-wards movements (Fig.4). For a minimum set point of 25A an arc current of $30\text{A} \pm 5\text{A}$ with some spikes suitable for the synthesis of CNO was observed (Fig.4).

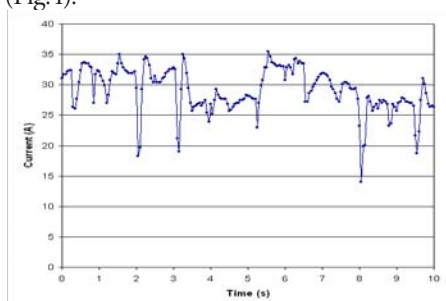


Figure 4. Arc current in the “only forward” algorithm.

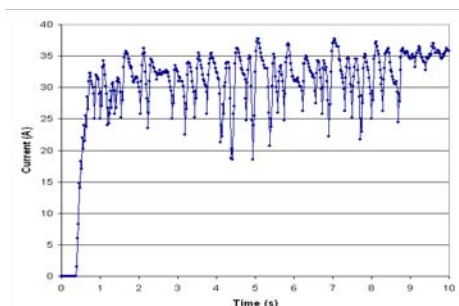


Figure 5. Arc start current.

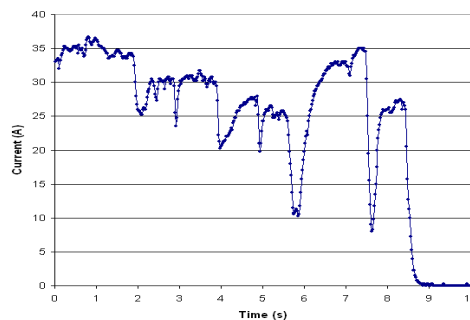


Figure 6. Self-extinction process of the arc current.

Actually, the “only forward” algorithm can make backward movements but, as we moved away the maximum set point (60A) from the minimum, it acts only as a protection against high currents (e.g. at the moment the arc starts).

A current data acquisition for this algorithm was made using the microcontroller’s USB interface and a program developed in LabVIEW 8.6 for Windows based computer.

In order to get more information on the arc discharge processes two more data acquisitions were made when using the “only forward” algorithm. The first one registered the current behavior at the moment the arc starts (Fig. 5) and was noticeable the absence of a peak at the very beginning due to the filter’s action. The second one captured the selfextinction process of the arc current after the control system was stopped, keeping the electrodes in a fixed position (Fig. 6). It was expected the current to slowly decrease to a certain value and then to turn off, but a series of irregular form steps with decreasing tendency were observed. This showed the complexity of the current’s behavior in the system.

In the “constant speed” algorithm, the arc current, instead of being constant, it was slowly increasing until the current was too high, or decreasing, until the arc was turned off. As the electrode erosion speed is not uniform, there is a difference between the calculated speed and the real one. This leads to an accumulative error on the displacement over the time. If the calculated speed was smaller than the real one the gap between the electrodes was growing bigger until the arc turns off. On the contrary, when the calculated speed was bigger than the real one, the gap was every time smaller and the arc current was increasing beyond the optimal for the synthesis value.

CONCLUSIONS

To measure the arc current using a resistor shunt is a reliable, simple, economic and direct method.

The “only forward” control algorithm showed to be appropriate to guarantee a stable arc current suitable for the synthesis on CNO.

With the current under control the system can be improved further and extended to monitor other parameters also important for the synthesis process and for research purposes.

The optical method needs to be better evaluated as it was reported in the literature and the monitoring of more parameters can be added to the control system.[10]

The less the size of the step is, the smaller the increment in current will be. Reducing the step size the control could be more accurate but we have then to rotate faster the motor to comply with the erosion speed of the process. Doing this we have to take care in not to exceed the motor's speed limit.

[1] X. Bing-she, "Prospects and research progress in nano onion-like fullerenes", *New Carbon Materials* 23(4), 289-301 (2008).

[2] D. Ugarte, "Curling and closure of graphitic networks under electron-

beam irradiation", *Nature* 359, 707-709 (1992).

[3] V.L. Kuznetsov, "Onion-like carbon from ultra-disperse diamond", *Chem. Phys. Lett.* 222(4), 343-348 (1994).

[4] T. Cabioch, "Structure and properties of carbon onions layers deposited onto various substrates", *J. Appl. Phys.* 91(3), 1560-1567 (2002).

[5] H. Chen, "New method of carbon onion growth by radio-frequency plasma-enhanced chemical vapour deposition", *Chem. Phys. Lett.* 336(3-4), 201-204 (2001).

[6] K. Yamada, "Electron microscope study of carbon particles developed using a conically converging shock-wave technique", *Carbon* 26(6), 867-871 (1988).

[7] N. Sano, "Synthesis of carbon onions in water", *Nature* 414, 506-507 (2001).

[8] N. Sano, "Study on reaction field in arc-in-water to produce carbon nanomaterials", *Thin Solid Film* 516(19), 6694-6698 (2008).

[9] H. Lange, "Nanocarbon production by arc discharge in water", *Carbon* 41, 1617-1623 (2003).

[10] D. Bera, "Optoelectronically automated system for carbon nanotubes synthesis via arc-discharge in solution", *Rev. Sci. Instrum.* 76(3), 033903-1-033903-6 (2005).

SISTEMA DE DESCARGA DE ARCO SUMERGIDA PARA LA SINTESIS DE NANOONIONS DE CARBONO MULTICAPAS

J. DARIAS^A, E. CARRILLO^B, R. CASTILLO^B, J. ARTECHE^A, L. HERNANDEZ^A, M. RAMOS^A Y L. DESDÍN^A

(a) Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN, www.ceaden.cu), Miramar. C. Habana, Cuba. P.O.Box 6122. Tel / Fax 53 – 7 – 2021518, E – mail: desdin@ceaden.edu.cu

(b) Instituto de Cibernética, Matemática y Física (ICMF, www.icmf.cu). Calle 15 / C y D, Vedado. C. Habana. Cuba.

Los nanoonions de carbono de pared múltiple (MWCNO) representan un alótropo de carbono derivado de los muy conocidos e intensamente estudiados fullerenos. Ellos típicamente contienen una molécula de C₆₀ en su centro y tienen diámetros en el rango de 1 – 100 nm. Los MWCNO pueden ser usados en el tratamiento terapéutico del cáncer debido a su citotoxicidad y como una sonda en el estudio del sistema inmune. Para la síntesis de MWCNO se usó un sistema de descarga de arco sumergida en agua. El dispositivo empleado consiste en dos electrodos de carbono espectroscópicamente puros sumergidos en 12 L de agua destilada y opera a 16 – 17 V con una corriente de 30 A. El sistema comprende la estructura mecánica, una fuente de voltaje controlable, computadora personal con su circuito de interface que permite recolectar los datos de los sensores y controlar el motor de paso que regula la distancia entre los electrodos durante la síntesis. Las nanopartículas son obtenidas en forma de polvo flotante en la superficie del agua una vez concluida el proceso de síntesis. Dicho polvo fue caracterizado empleando la microscopia electrónica de transmisión, siendo observadas muchas nanopartículas aglomeradas con estructuras concéntricas anidadas alrededor de un núcleo central con diámetros en el rango de 30 – 35 nm. En el trabajo se reporta un sistema simple para producir MWCNO sin el uso de catalizadores y sistema de vacío.

The multiwall carbon nano-onions (MWCNOs), represent an allotrope of carbon derived from the more intensively studied fullerene. They typically contain a central C₆₀ molecule and have a diameter in range of 1 – 100 nm. MWCNOs can be used as a therapeutic in the treatment of cancer due to its cytotoxicity and like a nanoprobe to study the immune system. For MWCNO synthesis was used a submerged arc discharge method. The device employed consist of two spectroscopic pure graphite electrodes submerged in 12 L of distilled water operated at 17 V with a current of 30 A. The system comprise also a controllable power supply, a personal computer with an interface circuit, to collect the data from sensors and to control the step motor for the gap adjustment during the synthesis, and the mechanical structure. The nanoparticles are obtained in the form of floating powder on the water surface following an arc discharge between two graphite electrodes submerged in distilled water. The floating powder from the water surface was characterized by transmission electron microscopy and many nested onion - like particles with diameters of 30 – 35 nm can be seen in their agglomerated form. In addition, elongated nested particles, similar to MWCNT can also be observed. In this article is reported a simple system to make high-quality MWCNOs without the use of catalysers and vacuum equipment.

Palabras claves. de obtención de nanopartículas, 81.16.-c, Descarga de arco, 52.80.Mg

INTRODUCCIÓN

Los nanoonions de carbono de pared múltiple (MWCNO) representan un alótropo de carbono derivado de los muy conocidos e intensamente estudiados fullerenos¹. Ellos típicamente contienen una molécula de C₆₀ en su centro y tienen diámetros en el rango de 1 – 100 nm. Estas partículas resultan promisorias por sus potenciales aplicaciones en variados campos entre los que se encuentran el tratamiento terapéutico del cáncer debido a su citotoxicidad y como sondas en el estudio del sistema inmune.

Los MWCNO pueden ser obtenidos por diferentes procedimientos. En [2,3] se reporta el uso de la irradiación de carbono amorfo a

700 °C usando el haz de electrones de un microscopio electrónico, en [4] se recurrió al recocido de nanodiamantes a temperaturas de 1100 – 1500 °C para transformarlos en MWCNO y en [5] se aplicó la implantación de iones de carbono de 120 KeV en blancos de cobre y plata. También ha sido utilizada la deposición química de vapores con plasma reforzado por la acción de radio frecuencias⁶ para sintetizar MWCNO, así como el tratamiento de hollín de carbono con ondas de choque⁷. Sin embargo estos métodos sólo pueden producir cantidades minúsculas de MWCNO.

La posibilidad de producir MWCNO en cantidades significativas fue por primera vez reportada en [8]. El método se fun-

damenta en el empleo de una descarga de arco sumergida en agua destilada, con lo que se elimina la necesidad de emplear sistemas de vacío, complejos sistemas de válvulas para el control de gases o catalizadores. Aspectos que son los mayores inconvenientes de los métodos de síntesis de nanopartículas de carbono más ampliamente estudiados: los basados en la descarga de arco⁹, la ablación láser¹⁰ y la deposición química de vapores¹¹.

La técnica de descarga de arco sumergida presenta otras dos ventajas significativas. La primera se debe a que los nanoonions que se producen tienen una fuerte naturaleza hidrofóbica por lo que flotan en la superficie del agua separándose del resto de las nanoestructuras y contaminantes generados en el proceso¹² facilitando su obtención con gran pureza. La segunda se debe a que se trata de un método de síntesis en régimen líquido lo que es más conveniente desde el punto de vista de la nanoseguridad¹³.

En el proceso de síntesis de descarga de arco sumergida la burbuja generada actúa como una cámara de reacción en la cual los átomos de carbono evaporados de la superficie del ánodo se reagrupan en una zona cercana a la superficie líquido-vapor para formar nanoestructuras de carbono¹⁴. Los parámetros del plasma generador de dicha burbuja determinarán en esencia el tipo de estructura y los defectos presentes en estas. El único modelo reportado para explicar el proceso de síntesis tiene un carácter cualitativo¹⁴.

Objetivo. En el presente trabajo se describe un sistema para la síntesis de nanoonions de carbono de pared múltiple basado en la descarga de arco sumergida en agua destilada, se analiza la influencia de la estabilidad de plasma en el proceso de síntesis y los problemas de contaminación presentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

El esquema de la instalación experimental se muestra en la Fig. 1. Un mecanismo de micro posicionado (1) mediante motor de paso (2), está soportado por un marco o estructura de aluminio (3). El cátodo (8) se mantiene fijo a dicha estructura y el portaelectrodo (5) del ánodo (6) se encuentra montado sobre el carro de la mesa de micro posicionado, lo cual permite un movimiento coaxial relativo entre ambos electrodos. Los electrodos se encuentran sumergidos, a una determinada profundidad, en agua destilada de una resistencia de $1.2\text{M}\Omega$. El recipiente (7) que contiene el agua destilada es de vidrio pyrex (15 l de capacidad) y permite observar el comportamiento del arco eléctrico.

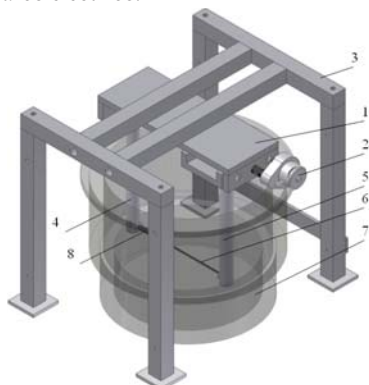


Figura 1. Sistema para síntesis de nanopartículas de MWCNO por descarga de arco sumergida en agua destilada.

desplazamiento del ánodo se registra con un medidor de carátula. La imagen de los procesos de descarga se registra mediante una cámara digital. Además, se empleó un sistema integrado por una lente, un juego de filtros ópticos y una cámara Web acoplada a una PC, para captar imágenes nítidas de la esfera de plasma, que fueron procesadas posteriormente con un software profesional.

En calidad de electrodos se emplearon cilindros de grafito espectroscópicamente puros (ϕ cátodo = 12 mm y ϕ ánodo = 5 mm), los cuales fueron pesados en una balanza analítica antes y después de concluir la síntesis. Durante la descarga de arco el ánodo se consume por lo que se requiere de un sistema de control del mecanismo de micro posicionado que mantenga en cada momento una distancia apropiada entre electrodos que garantice una descarga estable.

El sistema de control de micro posicionado está formado por un shunt de corriente, un filtro pasa bajo con una ganancia fija, un microcontrolador PIC con un ADC de 10 bit, una interface USB y un motor de paso con su correspondiente reductor. El esquema del sistema se presenta en la Fig. 2. El shunt de $330\ \mu\Omega$ genera una caída de potencial proporcional a la corriente que fluye a través de los electrodos. Este voltaje es filtrado y amplificado antes de ser digitalizado por el ADC de 10 bit del microcontrolador. Los valores superiores e inferiores de una pequeña histéresis de una corriente nominal de 30 amperes fueron fijadas en el "firmware" del microcontrolador para el lazo de control. Dos algoritmos fueron usados durante los experimentos: el denominado "adelante - atrás" y el "sólo adelante". En el algoritmo "adelante - atrás" cuando la corriente censada por el shunt es inferior que la especificada, el microcontrolador fuerza al motor de paso a rotar un paso hacia adelante. Esto hace menor la separación entre electrodos y la corriente se incrementa. En caso de que la corriente entre electrodos sea mayor que la especificada, el motor de paso rota un paso hacia atrás haciendo mayor la distancia entre los electrodos y en consecuencia la corriente disminuye. Cuando la corriente se encuentra acotada dentro de los límites superior e inferior de la histéresis el motor de paso no efectúa ningún movimiento. El algoritmo "sólo adelante" consiste en el mismo procedimiento "adelante - atrás" en que el nivel superior se fija muy lejos del valor nominal. El motor de paso sólo efectúa movimientos hacia atrás cuando la corriente es muy alta, como en el caso cuando la descarga de arco comienza.

El sistema también cuenta con un sistema multiparamétrico acoplado a una computadora personal. Lo que permite registrar la información de 8 canales para recolectar los datos de igual cantidad de sensores, cuyos datos pueden ser computados de forma correlacionada con el fin de estudiar la optimización de los procesos de síntesis.

Para satisfacer la necesidades del sistema se diseñó y construyó una fuente de alimentación de corriente directa que permite obtener corrientes de más de 100 A con tensiones en el rango 15 – 25 V y una estabilidad de ± 0.5 V.

Concluida la etapa de síntesis se espera un tiempo para que concluya el proceso de sedimentación de las partículas en suspensión, después de lo cual se separan los MWCNO que flotan en la superficie por decantación y los MWCNT y otros contaminantes que se depositaron en fondo por igual procedimiento. La purificación contempla dos pasos, el secado a 80 0C en una estufa como primera etapa y la combustión de las impurezas a 400 0C durante 1 h en una mufla.

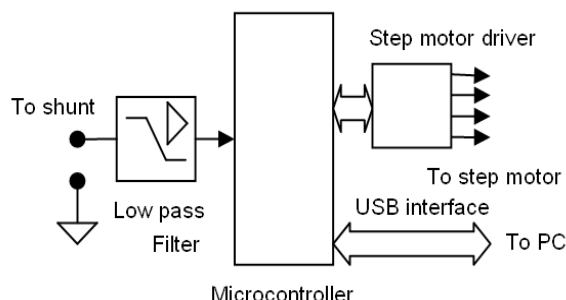


Figura 2. Esquema del sistema de control de micro posicionado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema permite operar con un voltaje de 16 – 17 V y una corriente de 30 A, parámetros óptimos para la síntesis de MWCNO, durante períodos prolongados de varias horas requiriéndose un sistema de enfriamiento. El uso del algoritmo “sólo adelante” resultó ser más apropiado para controlar la corriente del arco. El empleo combinado del controlador de carátula y una cámara digital permiten estudiar la velocidad de desplazamiento del mecanismo de micro posicionado en los diferentes regímenes de trabajo.

Para controlar el mecanismo de micro posicionado se evaluó el método optoelectrónico propuesto en [15] pero fue descartado por las siguientes evidencias experimentales: a) durante el proceso de síntesis aumenta el número de partículas en suspensión y consecuentemente disminuye la transparencia del agua, b) la descarga frecuentemente rota alrededor del ánodo ocultándose parcialmente, c) la luz emitida se refracta y dispersa en la superficie de las burbujas que se desprenden de la zona del arco de una forma aleatoria.

A los pocos segundos de operación se observa una capa fina de polvo gris oscuro que flota en la superficie del agua y un precipitado de color más negro en el fondo del recipiente. También, se produce un intenso burbujeo como consecuencia de la reacción química $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$. Dicho polvo fue caracterizado empleando la microscopia electrónica de transmisión, siendo observadas muchas nanopartículas aglomeradas con estructuras concéntricas anidadas alrededor de un núcleo central con diámetros en

el rango de 30 – 35 nm. La imagen obtenida que se muestra en la Fig. 3 es análoga a las reportadas en [12, 14, 16].

Se pudo determinar experimentalmente que el radio medio de la esfera de plasma era de 5 mm, por lo que asumiendo que la temperatura del plasma en el centro es de unos 6500 K y que el gradiente de temperatura entre dicho centro y la superficie del agua varía de forma lineal, entonces es fácil de estimar que la temperatura supera los 1200 K en más del 75 % del volumen de la esfera. Tan elevadas temperaturas conducen a que el equilibrio $CO_2 + C \leftrightarrow 2 CO$ se desplace completamente hacia la generación de CO, por lo que presumiblemente en el gas liberado ($H_2 + CO$) el CO_2 se encuentre en muy bajas concentraciones.

Al evaluar el desgaste del ánodo y las cantidades de materiales recolectados en la superficie del agua y del fondo del recipiente, una vez llevados estos a peso constante a 80 0C, se estimó que alrededor del 80% del grafito consumido se libera en forma de CO, un 3 % se emplea en formar MWCNO y el 17% restante pasa a formar MWCNT y otras impurezas carbonaceas. Sin embargo, esta relación depende de la estabilidad del plasma, cuando este fluctúa del ánodo se arrancan partículas micrométricas de grafito aumentando notablemente la cantidad de material en el fondo del recipiente y en la superficie del agua aparecen puntitos negros que resaltan entre el fondo gris oscuro de la capa de MWCNO. En la Fig. 4 y la Fig.5 se muestran las imágenes obtenidas con un microscopio electrónico de barrido de muestras recogidas en la superficie del agua y en el fondo del recipiente respectivamente, en caso de un funcionamiento inestable del plasma.

En la Fig. 6 se presenta el espectro obtenido al analizar con la microsonda de un microscopio electrónico de barrido la muestra obtenida de la superficie del agua y la obtenida del fondo del recipiente en el régimen de plasma inestable. La muestra de la superficie evidencia un alto nivel de contaminantes no carbonaceos, que no están presentes en el espectro de la muestra tomada del fondo del recipiente. La presencia de estos contaminantes se debe a la deposición de las impurezas que arrastra el aire del sistema de la campana de extracción. En particular se destaca la contaminación con Fe asociada a la presencia de productos de corrosión. Por esta razón el nuevo diseño de la instalación deberá excluir esta fuente de contaminación

El sistema también cuenta con un sistema multiparamétrico acoplado a una computadora personal para registrar de manera correlacionada hasta 8 señales de diferentes sensores, entre ellos voltaje, intensidad de corriente, intensidad luminosa, temperatura, etc. Esta característica le brinda flexibilidad al sistema para estudiar la optimización de los procesos de síntesis de MWCNO.

CONCLUSIONES

En el trabajo se reporta un sistema simple para producir MWCNO sin el uso de catalizadores y sistema de vacío que emplea la descarga

de arco sumergida en agua destilada. Se analiza su funcionamiento y la importancia del control automático riguroso de la descarga como vía para la reducción de contaminantes carbonaceos y la conveniencia de un nuevo diseño para reducir la contaminación debida al funcionamiento de la campana de extracción.

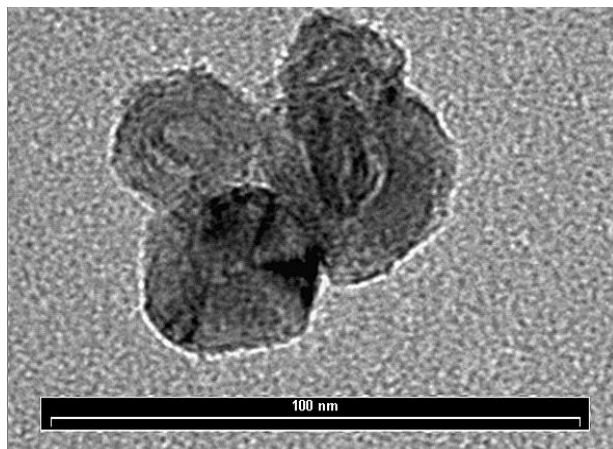


Figura 3. Imagen con microscopio electrónico de transmisión del polvo obtenido, escala 100 nm.

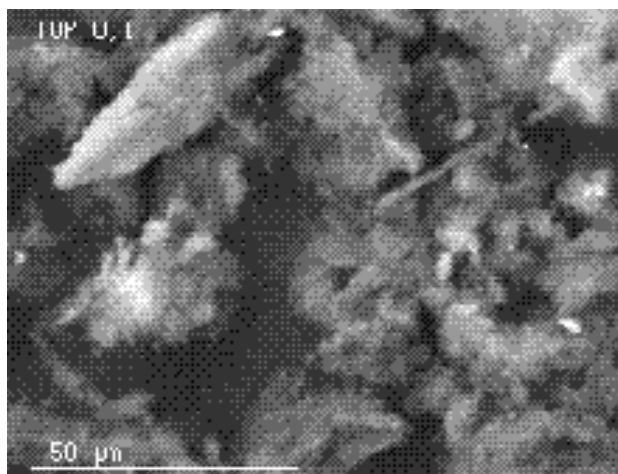


Figura 4. Imagen con microscopio de barrido de muestra obtenida de la superficie del agua en régimen de plasma inestable.

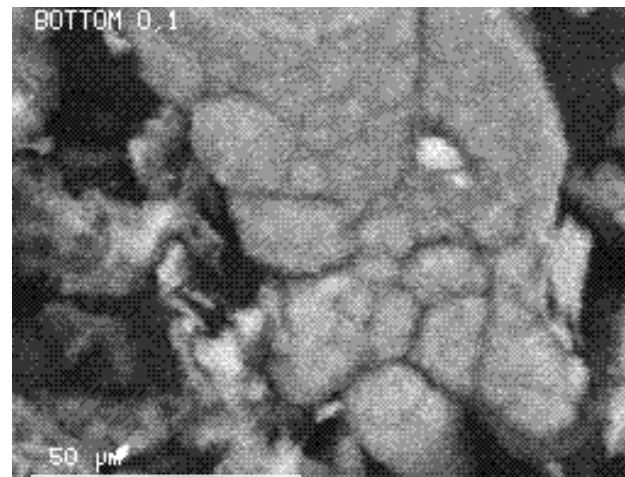


Figura 5. Imagen con microscopio de barrido de muestra obtenida del fondo del recipiente de agua en régimen de plasma inestable.

- 1.H. W. Kroto, J. R. Heath, S. C. O'Brien, R. F. Curl, and R. E. Smally, *Nature*, 318, 162, (1985).
- 2.D. Ugarte. *Nature* 359, 707, (1993).
- 3.F. Banhart, T. Fuller, Ph. Redlich, and P. M. Ajayan, *Chem. Phys. Lett.* 269, 349, (1997).
- 4.V.L. Kuznetsev, A. L. Chuvilin, Y. V. Butenko, I. Y. Malkov, V.M. Tikov, *Chem. Phys. Lett.* 222, 343, (1994).
- 5.T. Cabioch, E. Thune, J. P. Riviere, S. Camelio, J. C. Girard, P. Guerin, M. Jaouen, L. Henrard, and P. Lambin, *J. Appl. Phys.* 91, 1560, (2002).
- 6.H. Chen, F. M. Deng, J. X. Wang, H. S. Yang, G. T. Wu, X. B. Zhang, J. C. Peng, and W. Z. Li, *Chem. Phys. Lett.* 336, 201, (2001).
- 7.K. Yamada, H. Unishige, and A. B. Sowaoka, *Naturwissenschaften* 78, 450, (1991).
- 8.N. Sano, H. Wang, M. Chhowalla, I. Alexandrou, and G. A. J. Amaratunga, *Nature*, 414, 506, (2001).
- 9.W. Kratschmer, L. D. Lamb, K. Fostiropoulos, and D. R. Huffman, *Nature*, 347, 354, (1990).
- 10.Thess et al., *Science* 273, 483, (1996).
- 11.Alan M. Cassell et al. *J. Phys. Chem. B*, 103, 6484-6492, (1999).
- 12.N. Sano et al. *J. Appl. Phys.* 92, 5, p. 2783 (2002).
- 13.A Survey of Current Practices in the Nanotechnology Workplace: Condensed Report. Produced for the International Council on Nanotechnology. November 13, (2006).
- 14.N. Sano et al. *Thin Solid Film*, 516, p.6694, (2008).
- 15.D. Bea, et al. *Review of Scientific Instrument*, 76, p. 033903, (2005)
- 16.H. Lange, H.W. Kroto, et al. *Carbon* 41, p.1617, (2003).
- 17.Nekrasov. *Química General*. Editorial Mir, p.310, (1980).

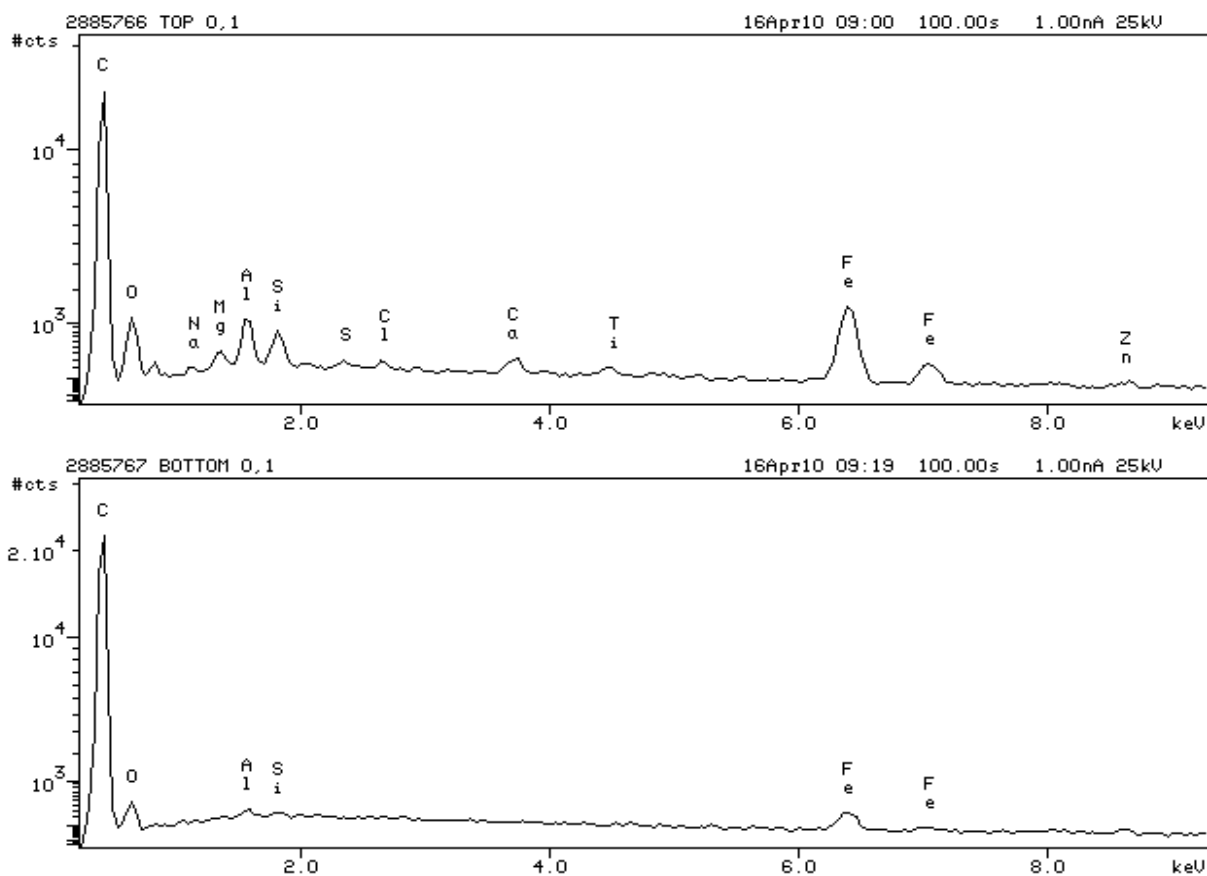


Fig. 6 En la imagen superior se observan los espectros obtenidos con la microsonda de un microscopio electrónico de barrido de dos muestras recolectadas en la superficie y en el fondo del agua. Ambas muestras corresponden a un mismo proceso de síntesis con un plasma inestable y se corresponden con las Fig. 4 y Fig. 5 respectivamente.

USANDO UNOS DISPOSITIVOS DE RESPUESTA REMOTA (*CLICKERS*) PARA LA EVALUACIÓN ENTRE PARES: UNA EXPERIENCIA DOCENTE EN LA ASIGNATURA DE FÍSICA MÉDICA EN LA FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE CASTILLA-LA MANCHA

E. ARRIBAS†, R. RUIZ, A. NÁJERA^A, J. M. VILLALBA^A Y M.J. GARCÍA-MESEGUER^B

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Cuba. lorenzo@ceaden.edu.cu†

a) Instituto de Cibernética, Matemática y Física, Ciudad de La Habana, ernesto@icmf.inf.cu

b) Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, C. de la Habana, darias@ceaden.edu.cu

†autor para la correspondencia

La Facultad de Medicina de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM) inició en 1998 un innovador método de enseñanza y aprendizaje. Los estudiantes se dividen en grupos de 25 personas como máximo, y se les anima para que enseñen a sus compañeros de clase todos los conceptos sugeridos y programados por sus respectivos profesores, generalmente mediante presentaciones multimedia. Durante esas sesiones, los profesores tienen que observar y evaluar la actividad realizada. La asignatura de Física Médica es cuatrimestral durante el primer año del grado. En este contexto, hemos utilizado unos dispositivos de respuesta personal (clickers) no sólo para aumentar la participación sino también para permitir a los estudiantes evaluar a sus compañeros de clase. Un total de 95 estudiantes participaron en la encuesta.

The Faculty of Medicine at University of Castilla-La Mancha (UCLM) started in 1998 an innovative method of teaching and learning. Students are divided into groups of 25 people maximum, and they are told to teach their classmates all concepts suggested by their teachers, generally using multimedia presentations. During these sessions, the teachers have to observe and assess the activity. Medical Physics is a four-month long subject taught during the first year of the degree. In this context, we used personal response systems (clickers) not only to increase participation but also to allow students to evaluate their classmates. A total of 95 students participated in the survey.

Palabras claves. Physics education, 01.40.-d; teaching methods, 01.40.gb

INTRODUCCIÓN

Several studies in literature, from a variety of fields, have studied the effectiveness on student learning of using personal response systems (PRS), also called interactive electronic devices, class response systems, personal response units or simply "clickers" since these devices were first used in 1960s; find a review in Judson and Sawada[1]. Also there is a large body of literature on the student and professor perceptions when using these devices[2-6].

Clickers were first used in the University of Castilla-La Mancha in the course 2009-10, in the Faculty of Medicine by the professors of Radiology and Medical Physics. Despite of several demonstration sessions to other colleagues, these devices have been used only in two subjects: Informatics, Information and Medical Documentation and Physical Basis of Medicine,

both are taken during the first year and taught by the professors mentioned above.

The aim of our work was to evaluate students' perceptions, participation and attention when using clickers. In this study we used 'Turningpoint®' (Turning Technologies, LLC., Youngstown, OH, USA) radiofrequency response cards. This system allows faculty to pose multiple choice questions to the class. The system records individual responses from students through small personal response units and a small USB receiver (Fig.1). It provides immediate feedback on the screen through histograms and other graphics (Fig.2) completely integrated with Microsoft PowerPoint. Responses can be recorded anonymously, but during the sessions we recorded individual information to check the evolution of each student, and

to use that information in their marks. Firstly, we used infrared clickers (they are cheaper) but we changed them for radiofrequency devices because of students have to point their clickers at an infrared receiver and the system did not registered all responses in large classes.

The system also allows generating automatic reports by student, question, session, etc. The software can be freely downloaded from Turningpoint web page. All response cards must be configured (joined) in the same channel, and if there is another session in a nearby class, the channels must be different to avoid interferences. Channel configuration is extremely easy, and this problem can be immediately solved.

Teaching method in the Faculty of Medicine of the University of Castilla-La Mancha is developed in five stages: introduction of objectives, autolearning, expositions by students, tutorship learning and evaluation. These five stages period is called a module that takes 3 weeks. A four-month subject has normally six modules. To develop this method, students are divided into five groups, no more of 25 students in each group.

During the first stage, the teacher, using a PowerPoint presentation, presents the objectives that students have to learn in the module. All concepts have to be clear, and clickers were used to evaluate previous knowing and to emphasize more important aspects. Students use to read notes and documentation before this session. This material is offered to students through Moodle two or three days before the module starts.

In the second stage, students have to work by themselves and to prepare oral presentations to explain the proposed objectives to their classmates during the stage 3. In this third stage we used clickers to allow students to assess their classmates. To do so, we provided a slide through Moodle that students had to copy and paste at the end of their oral presentations. Ten marks from 1 to 10 were available on that slide.



Fig. 1. Personal Response Card and the USB receiver.

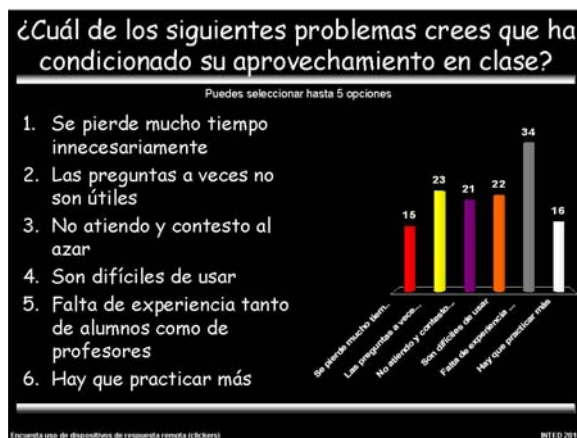


Fig. 2. Screenshot of PowerPoint showing an automatically generated histogram

Fourth stage is designed to solve problems and questions guided by faculty. Finally, the fifth stage is the evaluation of the module. No clickers were used during these two sessions.

We only have one set of 30 response cards. Each card is registered to one single student in each group, so list of each group have to be loaded before each session. Results are saved at the end of every session.

SURVEY METHOD

The aim of this study was to determine student satisfaction when using clickers. After using these devices in three completed modules in Physical Basis of Medicine (approximately 2 months), we developed a 12 question opinion poll divided in 4 categories that students answered using the clickers anonymously. The survey was conducted during stage 1 of module 6, in January 2010.

A total of 95 students (N=95), that is all assisting students in the five groups answered the survey and percentages of responses in each category and group were calculated. Groups 1 (N=20) and 4 (N=18) are taught by the same professor, groups 2 (N=21), 3 (N=18) and 5 (N=18) are taught by different professors. Students were given a list from which to choose, so they might not have to write about a particular factor in the opinion they were expressing. At the end of the survey, they were asked to add any comment or experience about this new technology-base intervention introduced in the class.

The survey was divided into four categories with a total of 12 questions. In questions 4 and 12 up to five options could be selected.:

Category 1: General satisfaction.

Question 1: What is your satisfaction using the clickers? A. Very satisfied. B. Satisfied. C. Neutral. D. Dissatisfied. E. Very dissatisfied.

Question 2: Do you think that clickers have improved or deteriorate the sessions? A. Improve. B. Neutral. C. Deteriorate.

Question 3: Would you recommend clickers to be used in other subjects? A. Yes, to all of them. B. Depends on the subject. C. No.

Question 4: Which uses do you think that have been more fruitful? Select up to 5 options. A. To keep attention. B. To mark our classmates. C. To facilitate our participation. D. To check our understanding. E. To evaluate previous knowledge. F. Clickers are useless.

Category 2: Attention and participation.

Question 5: Do you think that clickers have made sessions more enjoyable? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Question 6: Do you think that clickers have made you to pay more attention? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Question 7: Do you think that clickers have improved your participation during the sessions? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Category 3: Evaluation.

Question 8: Do you think that clickers have been useful for peer evaluation? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Question 9: What was your attitude when you assessed your classmates' activities? A. I always tried to be objective. B. I always gave good marks. C. At the beginning I gave good marks, but at the end I was objective. D. I marked randomly. E. Don't know.

Question 10: To be assessed by your classmates, have made you to improve your works? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Question 11: Have you made a pact to assess your classmates? A. Yes. B. No. C. Don't know.

Category 4: Problems.

Question 12: Which possible problems do you think that have to be solved or improved? Select up to 5 options. A. It is an unnecessary waste of time. B. Some questions were useless. C. Don't pay attention, I answered randomly. D. Clickers are difficult to use. E. More practising is needed.

RESULTS

The present data shows that student perceptions were positive. 48 students were satisfied or very satisfied (50.5%), 44 students (46.3%) qualified their satisfaction using clickers as neutral, and only 3 students (3.2%) were dissatisfied (Fig. 3A). 53.7% consider that using clickers has improved the sessions, and 41.1% were neutral; only 5.3% (5 students) considered that clickers have deteriorate the sessions (Fig. 3B).

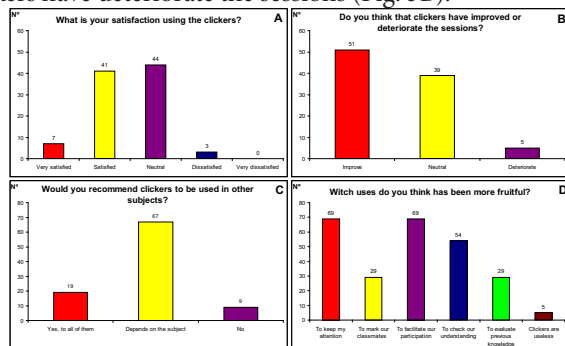


Fig. 3. Answers to Category 1: Satisfaction.

They were asked about if they would recommend clickers to other subjects (Fig. 3C), 19 students (20%) will recommend them to all subjects, 70.6% (67 students) would recommend clickers depending on the subject; 9 students would not re-

commend clickers. They were asked to say why they do not recommend clickers to all subjects and they, majority, said that clickers could be used in all subjects, but the main reason to select only some subjects was because of the attitude of some teachers, that should condition its use. After analyze every subject, only one subject was eliminated because of the teacher who does not develop teaching method described above and teacher does not promote participation.

Do you think that clickers have made sessions more enjoyable?

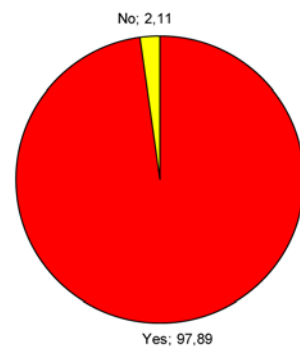


Fig. 4. Answers to question 5.

Six main uses were proposed to student and they could select those that they considered more fruitful: to keep attention (27.1%), to mark classmates (11.4%), to facilitate participation (27.1%), to check understanding (21.2%), to evaluate previous knowledge (11.4%) and an option to indicate if they thought that clickers are useless (2.0%). A total of 255 answers were registered because students could select up to five options (Fig. 3D).

Question 5 about if they consider that clickers have made sessions more enjoyable was answered positively by 97.9%, and only 2.1% answered negatively (Fig. 4).

Most of students considered that clickers were useful to evaluate their classmates (65.3%) against 31.6% of students that answered negatively. Main differences between groups were observed when asking about their attitude when assessing their classmates. 45.3% said that they tried to be objective, but normally they marked better than teacher did, 17.9% at the beginning gave good marks but at the end they tried to be objective. 31.6% always gave good marks independently of the quality of works. But students of group 3 mainly answered that always gave good marks and also answered positively to question 10, they made a pact.

Finally, we show main possible problems that have to be solved or improved when using clickers. Students could select up to 5 options and a total of 150 responses were recorded. No student found clickers difficult to use. Most students (14) of group 1 considered that clickers are an unnecessary waste of time. In that group the teacher reported technical problems with the computer and the projector, not with clickers, that delayed the sessions during 30 minutes in two occasions. Despite

students were told not to consider those situations, results are completely different to other groups in this aspect. Only 3 students of that group considered that more practising is needed, compared to a total of 66 students of groups 2, 3, 4 and 5 that selected this option.

Other problems are that some multiple-choice-questions were useless (20.0%) and some students answered randomly to question proposed during the classes (12.3%).

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

This study is one of many showing that active learning using clickers increases student performance in science courses[7-11]. For a good discussion about if clickers are useful or not, see Bugeja[12] and Hake[13].

Classes are more enjoyable and most of students believe that clickers have improved their attention and participation. This was the first time that this technology was used in the University of Castilla-La Mancha but only during two months. No support was provided by the Institution, so teachers had to solve any problem that could appear, and also prepare questions and design possible uses. This was the first contact not only to students but also to teachers, so we believe that in next courses the main problems, such as to design more useful questions or to control random answering, could be solved, probably, registering answers and taking them into account in global marks. Using clickers for peer evaluation have to be improved. A possible solution could be to consider classmates marks in global qualification and also to assess how classmates evaluate their colleges.

Recent studies have shown no difference between clicker use compared to discussion with hand raising¹⁴, supporting the notion that this technology may not be necessary in some circumstances. A recent review of 56 studies related to clickers in college-level science education¹⁵, found mixed support for enhanced student learning associated with clickers use.

We have to analyse final marks in this subject, but in the time this paper is written, final examination does not take place yet, so we are not able to evaluate impact of clickers. Poirier and Feldman¹⁶ found that grades were higher for students using clickers, contrarily to Freeman et al¹⁷ findings. We did not evaluate if using clickers helped with understanding course material or to prepare examinations¹⁸.

Some students suggested the possibility of including questions in their oral presentations in stage 3 and allowing their classmates to participate and to control their comprehension; not only to use clickers for peer evaluation or during stage 1. Some students also suggested that we have to offer more different uses. But teachers must be careful about gimmicky use of technology without specifically tailoring use of the devices to clear learning objectives.

In conclusion, these data suggest that teaching with the clickers was effective in terms of student satisfaction with the technology. Effective use of clickers has the potential to increase student engagement, participation and may serve to facilitate student learning. The present study clearly illustrates students' positive views about clickers, particularly with regard to the perceived usefulness of clickers in terms of making more enjoyable classes.

ACKNOWLEDGMENTS

We are deeply grateful to the students in Physical Basis of Medicine for their advice on ways to improve the course and for their participation and support of this study.

- [1]. Judson, E. & Sawada, D. (2002). Learning from past and present: Electronic response systems in college lecture halls. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21(2), 167-182.
- [2]. Barnett, J. (2006). Implementation of personal response units in very large lecture classes: Student perceptions. *Australasian Journal of Educational Technology*, 22(4), 474-494.
- [3]. Graham, C. R., Tripp, T. R., Seawright, L., & Joeckel, G. L. (2007). Empowering or compelling reluctant participators using audience response systems. *Active Learning in Higher Education*, 8(3), 233-258.
- [4]. MacGeorge, E. L., et al. (2007). Student evaluation of audience response technology in large lecture classes. *Educational Technology Research and Development*, 56(2), 125-145.
- [5]. Trees, A. R., & Jackson, M. H. (2007). The learning environment in clicker classrooms: Student processes of learning and involvement in large university-level courses using student response systems. *Learning, Media, and Technology*, 32(1), 21, 40.
- [6]. Nagy-Shadman, E., & Desrochers, C. (2008). Student response technology: Empirically grounded or just a gimmick? *International Journal of Science Education*, 30(15), 2023-2066.
- [7]. Ebert-May, D., Brewer, C. A., and Allred, S. (1997). Innovation in large lectures—teaching for active learning. *BioScience* 47, 601–607.
- [8]. Mazur, E. (1997). *Peer Instruction: A User's Manual*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- [9]. Crouch, C. H., and Mazur, E. (2001). Peer instruction: ten years of experience and results. *Am. J. Phys.* 69, 970–977.
- [10]. Draper, S. W. & Brown, M. I. (2004). Increasing interactivity in lectures using an electronic voting system. *Journal of Computer Assisted Learning*, 20(2), 81-94.
- [11]. Wiemann, C. & Perkins, K. (2005). Transforming physics education. *Physics Today*, November 2005, 36-41.
- [12]. Bugeja, M. (2008). Classroom clickers and the cost of technology. 26 Jan. 2010. <<http://chronicle.com/free/v55/i15-/15a03101.htm>>.
- [13]. Hake, R.R. (2008). The case for classrooms clickers – A response to Bugeja. 26 Jan. 2010. <<http://www.physics.indiana.edu/~hake>>.
- [14]. Stowell, J.R. & Nelson, J.M. (2007). Benefits of electronic audience response systems on student participation, learning and emotion. *Teaching of Psychology*, 34, 253-258.
- [15]. MacArthur, J. R., & Jones, L. L. (2008). A review of literature reports of clickers applicable to college chemistry class-rooms. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 187-195.
- [16]. Poirier, C.R. & Feldman, R.S. (2007). Promoting active learning using individual response technology in large introductory psychology classes. *Teaching of psychology*, 34, 194-96.
- [17]. Freeman, S., O'Connor, E., Parks, J.W., Cunningham, M., Hurley, D., Haak, D., Dirks, C., Wenderoth, M.P. (2007). Prescribed active learning increases performance in Introductory Biology. *CBE-Life Science Education*, 6, 132-139.
- [18]. Patry, M. (2009) Clickers in large classes: from student perceptions towards an understanding of best practices. *International Journal for scholarship of teaching and learning*. 3(2). <http://academics.georgiasouthern.edu/ijstl/v3n2/articles/PDFs/Article_Patry.pdf>.

CONTEXTOS SITUADOS DE ENTRENAMIENTO VIRTUAL: FAVORECEN DESEMPEÑO DE ESTUDIANTES DE INGENIERÍA INFORMÁTICA EN LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ELECTROMAGNETISMO

C. ÁLVAREZ†, R. ORTIZ^A

Departamento de Física, Universidad "Ignacio Agramonte Loynaz", Cuba; carlos.alvarez@reduc.edu.cu†, a) raul.ortiz@reduc.edu.cu

Se exponen las acciones didácticas que se implementaron para propiciar que los estudiantes perfeccionen sus modos de actuación al realizar prácticas de laboratorio de Electromagnetismo. Fueron seleccionados para su estudio experimental diferentes procesos físicos que resultan de interés para ingenieros informáticos en formación. Para asistir la preparación, ejecución y valoración de los resultados en las prácticas de laboratorio se creó un sitio Web con simulaciones que aproximan al estudiante al contexto del experimento real a realizar, y cuyos símbolos concuerdan favorablemente con los estilos de aprendizaje de los mismos. El estudio se desarrolló durante el período académico 2007-2010, se constató el progreso alcanzado por los aprendices en cuanto a: selección de los instrumentos y accesorios, explicación oral de los referentes teóricos, ejecución de las operaciones, independencia, tiempo consumido, empleo de herramientas tecnológicas y en la comunicación de resultados.

In this paper are exposed the didactic actions that were implemented in order to improve the way in which students carry out laboratory practices of Electromagnetism. For this experimental study were selected different physical processes of the great concern for Computer Engineers in formation. To support the preparation, performance, and valuation of the results in the laboratory practices a website was created with simulations that approach to the content of the real experiment to carry out, and which symbols agree favorably with the learning styles of the same ones. This study was developed during the academic period 2007-2010. The progress reached by the learners was verified concerning the tools and accessories selection, oral explanation of the theoretical referents, operation performance time spent, technological tool employment, and the communication of aftermath.

Palabras claves. Teaching methods in Physics education 01.40.gb, Laboratory course design, organization and evaluation 01.50.Qb, Computers as educational aids 01.50.H-

INTRODUCCIÓN

La orientación del aprendizaje como una actividad investigadora aparece en nuestros días como la tendencia innovadora más prometedora para contribuir a resolver las dificultades en el aprendizaje de la Física [1]. La orientación más general de los trabajos prácticos es la que los concibe como mera ilustración de los conocimientos teóricos introducidos, numerosos estudios han destacado que, las prácticas de laboratorio aparecen como "recetas" que transmiten una visión deformada y empobrecida de la actividad científica [2] Favorecer mejoras en el desempeño de estudiantes de ingenierías durante la realización de las prácticas de laboratorio, implica formar en los mismos competencias académicas que lo propicien.

Estudios desarrollados consideran que la competencia académico-investigativa se asocia a un conjunto interrelacionado de conocimientos, habilidades, actitudes y valores que hace posible desempeños flexibles, creativos y competitivos en una disciplina específica de la carrera y que impulsa el mejoramiento continuo del ser, del saber, del hacer y del convivir. Los desempeños se orientan a satisfacer necesidades y a solucionar problemas de la sociedad y, con ello, a impulsar un desarrollo sostenible [3], en el presente estudio, se asocia al modo de actuación de los estudiantes en las prácticas de laboratorio de Física.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación asume la formación de la competencia académica, investigación experimental docente, la define como: *Encontrar o desarrollar información complementaria a la suministrada en la disciplina, que aporte un valor añadido a temas que se hayan o no tratado previamente, de acuerdo con los resultados obtenidos en las actividades experimentales previstas en el modelo educativo de la carrera de ingeniería donde se desarrolla, y que represente la apropiación de procedimientos científicos-investigativo suficientes para aplicarlos en nuevos contextos y que devalen crecimiento en las relaciones grupales y personales del aprendiz.*

Se parte de un modelo didáctico el cual considera en un mismo nivel al mundo de los signos (que incluye las teorías y modelos) con la realidad material (mundo real) [4], donde las simulaciones computacionales (mundo de los signos) resultan mediadores en el desarrollo del modelo mental (conocimientos) sobre el problema en estudio (Mundo real), toma en consideración el resultado que la aproximación previa mental y procedimental (contextos situados) [5] ejercen sobre el modo de aprendizaje individual (estilos) [6], el cual se orienta y perfecciona desde un ambiente pedagógico de interactividad grupal [7] (ver figura 1).



Figura 1. Esquema del modelo para la formación de la competencia Investigación Experimental.

Considera como hipótesis: Si se utiliza una estrategia de enseñanza aprendizaje para la dirección de la investigación experimental docente sustentada en un modelo didáctico que emerge de la contradicción dialéctica existente entre el experimento docente apoyado en sus modelos didácticos, y las insuficiencias en la consideración de contextos situados de aprendizaje y de los estilos de aprendizaje de estudiantes de ingenierías, se propiciará una formación cualitativamente superior de este profesional.

Considera como objetivo general del estudio: la elaboración de una estrategia de enseñanza aprendizaje favorecedora de la investigación experimental docente, sustentada en un modelo didáctico centrado en el empleo de simulaciones computacionales contextualizada y en la consideración de los estilos de aprendizaje de los alumnos.

La investigación se inició en el curso académico 2007-08 hasta el 2009-10 con estudiantes de ingeniería Informática de la Universidad de Camagüey, particularmente al evaluar sus desempeños en las clases prácticas de laboratorio reales de Electromagnetismo, se dirigió la investigación a: a) Comprobar u

obtener la Ley Física objeto de estudio, sobre la base de la formulación matemática obtenida del análisis de las mediciones virtuales y/o reales efectuadas; b) Determinar la magnitud de cierta propiedad del fenómeno físico en estudio.

Como referente teórico de la investigación se preferencia la teoría de la formación por etapas de las acciones mentales de Galperin y Talizina, esta teoría tiene como base el Enfoque Histórico Cultural de Vigotsky, además se consideraron estudios que muestran los efectos favorables en el aprendizaje de estudiantes de las simulaciones computacionales [8], la consideración de los estilos de aprendizaje de los estudiantes [9], [10] y lo provechoso de considerar los contextos situados de aprendizaje en la formación de competencias [11], [12].

Estrategia de enseñanza aprendizaje

Se consideran cuatro etapas fundamentales.

Primera etapa: Percepción e interpretación procedimental.

- Se crea el sitio Web: siscomfis

El sitio Web: Simulaciones computacionales de física (siscomfis) [13] (ver figura 2) se desarrolla como soporte material de la estrategia, se caracteriza por ordenar un significativo número de simulaciones computacionales, las mismas son agrupadas en: Mecánica y termodinámica; Electromagnetismo y óptica; Física moderna y semiconductores. En cada página Menú se disponen varias simulaciones por temática, ello propicia que sus signos, símbolos y ayudas emerjan mediadores entre contexto situacional, individuos y el experimento real.

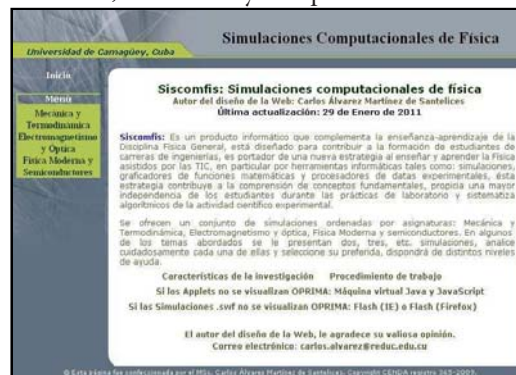


Figura 2. Página principal del sitio Web siscomfis.

En cada página para el trabajo experimental simulado, el usuario dispone de herramientas matemáticas y estadísticas que lo acompañan en la valoración de las datas experimentales que deberá obtener en los experimentos virtuales y reales que efectúe.

- Se diagnóstica el dominio de habilidades experimentales y en el manejo de herramientas informática.

Los resultados mostraron insuficiencias significativas tanto de habilidades experimentales básicas como del trabajo con simulaciones computacionales, procesadores estadísticos y graficadores matemáticos.

•Se identifican los estilos de aprendizaje de los estudiantes. Para identificar los estilos de aprendizaje de los estudiantes los autores seleccionan el modelo de estilos de aprendizaje de Felder-Silverman por su particular impacto en carreras de ingenierías.

Los alumnos son estudiados mientras cursan el segundo año de la carrera, se identifican por (E1) los del curso académico 2007-08, se diagnostica la matrícula, 65; por (E2) los del curso 2008-09, 51 y por E3 los del 2009-10, resultaron ser 44.

Los resultados de la tabla I muestran los coeficientes de correlación de Pearson entre las categorías activo/reflexivo, sensi-tivo/intuitivo, visual/verbal y secuencial/global; se devela que el nivel de significación es alto tanto para la categoría Intenso-Moderada (I+M) como para la dimensión Discreto (D) en cada grupo estudiado, ello indica que en cada colectivo estudiantil coexisten estudiantes “intuitivo” cuyo mejor aprendizaje será en el terreno de las abstracciones, junto a los “activo” que aprenderán mejor “haciendo”; así encontramos los “reflexivos” que preferirán el estudio individual más que el trabajo en grupo y los “auditivos” que estarán más satisfechos con las clases magistrales o conferencias. La presente estrategia favorece la modificación procedimental de los estudiantes I+M.

Tabla I Significación estadística de los estudiantes cuyos estilos se manifiestan por categoría como Intensa-Moderada (I+M) y los que se manifiestan Discretos (D) en cada dimensión					
Muestra		A-R	S-I	V-V	Sc-G
E1	I+M	-.899**	-.892**	-.942**	.939**
	D	-.944**	-.859**	-.922**	-.941**
E2	I+M	-.938**	-.859**	-.934**	-.904**
	D	-.967**	-.953**	-.890**	-.869**
E3	I+M	-.949**	-.928**	-.940**	-.890**
	D	-.943**	-.910**	-.926**	-.953**
P	I+M	-.904*	-.910**	-.883**	.a
	D	-.800*	-.913	-.982**	-.971**

Simbología Estilos: A-R (activos-reflexivo); S-I (sensitivo-intuitivo); V-V (visual-verbal) y Sc-G (secuencial-global)

Coeficientes de correlación de Pearson

* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral)

** La correlación es significativa al nivel 0.01(bilateral)

a No se puede calcular, al menos una variable es constante

•Se incorporan demostraciones frontales virtuales.

En las conferencias, además de las demostraciones reales frontales posibles a realizarse, se incorporan demos-

traciones frontales simuladas, se emplean para cumplir la función didáctica de Experimento Demostrativo Frontal, con ello: a) se ayuda a la comprensión de los modos de actuación científico-investigativo, b) ilustran el método inductivo, c) ayudan a establecer conexiones entre el futuro contexto de investigación experimental real y el mundo de los signos, d) motivan al estudiante promoviendo la interacción alumno-profesor, alumno-alumno, enriqueciendo el ambiente participativo y de discusión entre el profesor con los estudiantes, y de estos entre sí.

Segunda etapa: Entrenamiento virtual.

Los estudiantes para el trabajo en las prácticas de laboratorio son organizados en equipos constituidos por dos o tres de ellos, la selección de los integrantes la efectúa el profesor a partir del diagnóstico de habilidades y de los estilos de aprendizaje de los mismos, este último indicador permite unir estudiantes de estilos predominantemente activos-sensitivos-visuales con los que resulten ser reflexivos-intuitivos-verbales.

•Se insertan los laboratorios virtuales: a) los estudiantes proceden, bajo la supervisión del profesor y estudiantes aventajados del grupo, a aplicar los procedimientos experimentales inducidos por el profesor en las conferencias y descritos en el sitio Web: Siscomfis (ver figura 3 y 5); b) se orientan tareas extra docentes experimentales que propician la sistematización procedimental. Los problemas experimentales y las simulaciones han de corresponderse con el contexto de experimentación real que enfrentarán los aprendices (ver figuras 3 y 4).

•En la solución de problemas a lápiz y papel, se propicia que los estudiantes interactúen con las simulaciones, ello sistematiza el entrenamiento.

•Formando parte del entrenamiento virtual está el manejo con programas informáticos estadísticos y para graficar funciones matemáticas contenidos en Siscomfis, ello complementa y perfecciona la observación y valoración de los resultados experimentales

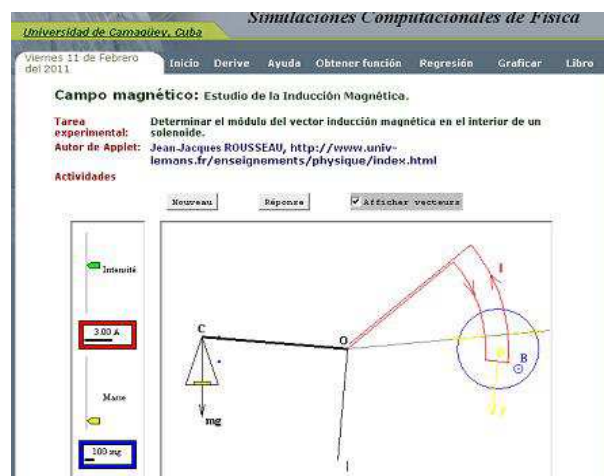


Figura 3. Práctica de laboratorio virtual: Determinar el módulo del vector Inducción Magnética de un solenoide.

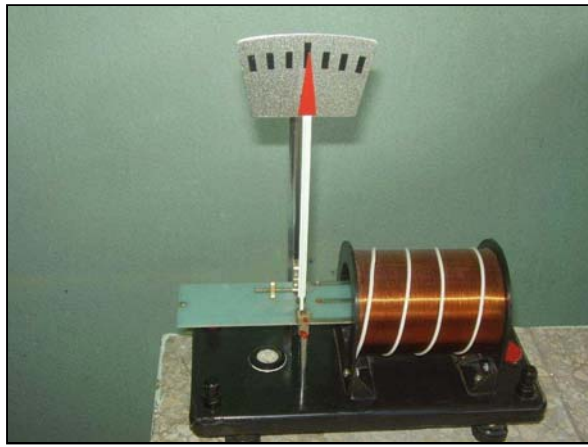


Figura 4. Práctica de laboratorio real: Determinar el módulo del vector Inducción Magnética de un solenoide

Tercera etapa: Aplicación procedimental y comunicación de resultados

Los estudiantes efectúan cuatro prácticas de laboratorio en los temas: campo eléctrico, campo magnético-inducción magnética, circuitos RLC y óptica ondulatoria.

Los aprendices, organizados en equipos se enfrentan a la realización de las prácticas de laboratorio conociendo con antelación suficiente el problema que deben resolver. En el laboratorio de Física los alumnos seleccionan y efectúan el montaje experimental, su desempeño procedimental se evalúa atendiendo a los indicadores establecidos (ver tabla II, etapa procedimental); en horario extradocente y por equipo, se confeccionan las memorias de las prácticas de laboratorios virtuales y reales desarrolladas, los mismos se defienden (comunicación de resultados) en la clase seleccionada.

Durante el proceso de realización experimental, evaluación y defensa de resultados, los estudiantes han de mostrar sus habilidades en la utilización de las herramientas tecnológicas previstas (ver figura 5).

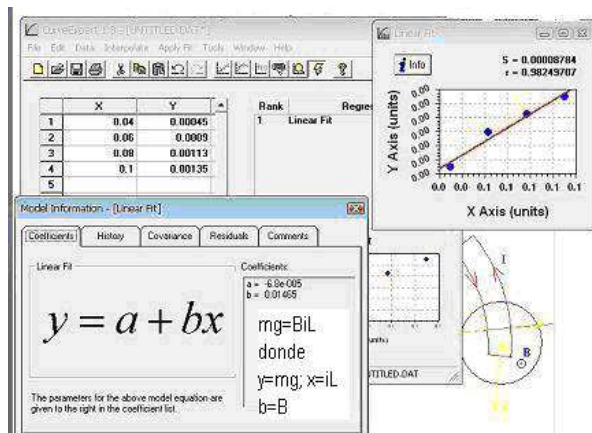


Figura 5. Obtención del módulo del vector Inducción Magnética de un solenoide. Cuarta etapa: Evaluación del modo de actuación

Cuarta etapa: Evaluación del modo de actuación

Se valora el desempeño de los estudiantes en las categorías: procedimental y comunicación de resultados, se exige rigor científico y dominio de la lengua materna y/o inglesa, según los indicadores previstos (ver tabla II).

Tabla II Guía de evaluación del desempeño de estudiantes en la investigación experimental docente.		
Categorías	Aspectos a observar	Seleccione una opción
		Muy Adecuado
		Adecuado
		Poco adecuado
Procedimental	1- Selección de instrumentos y accesorios	
	1- Selección de instrumentos y accesorios 2-Explicación oral de referentes teóricos	
	3-Ejecución de las operaciones	
	4- Tiempo consumido	
	5- Empleo de herramientas tecnológicas	
Comunicación	6-Fluidez y precisión oral	
	7- Rigor científico	

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados alcanzados en el curso 2007-08 distaron de lo esperado, entre las causas estuvieron: el no contarse con una infraestructura informática en el departamento de Física de la UC que propiciara incorporar las Demostraciones Frontales Virtuales en las conferencias y/o clases prácticas, y con ello propiciar la modelación procedimental de la competencia en formación, sin embargo si se efectuaban las Demostraciones Frontales Reales, incide además, el reducido número de prácticas de laboratorio virtuales previstas (apenas dos) y no haberse contado con el suficiente comprometimiento de los estudiantes participantes en el estudio.

A partir del segundo momento de intervención experimental se habían superado notablemente los problemas materiales, ahora se disponía de un aula especializada con modernos recursos adquiridos en la República Popular China, además de dos laboratorios de física con computadoras y modernos medios tecnológicos, unido a un perfeccionamiento del sitio Web Siscomfis que incorporó nuevas simulaciones contextualizadas concordantes con el nuevo equipamiento chino recibido, el incremento de al menos una práctica de laboratorio virtual presencial o no previo a cada práctica de laboratorio real, y una mejor motivación de los estudiantes envueltos en el estudio, posibilitó que los indicadores seleccionados se cumplieran en

los participantes de manera estadísticamente significativa.

Para el procesamiento estadístico de los resultados obtenidos se empleó el software profesional SPSS 15,0 para Windows: para analizar el diagnóstico de estilos de aprendizaje se empleó la Prueba de Pearson: medida de la asociación lineal entre dos variables. Los valores del coeficiente de correlación van de -1 a 1 (ver tabla I); y para analizar el nivel de desempeño que alcanzan los estudiantes en cada indicador de la competencia se comparan los resultados del último trabajo de laboratorio con los del primero mediante la prueba de Wilcoxon (ver tabla III) Los resultados de los dos grupos donde se logra cumplir a cabalidad la estrategia muestran avances significativos del desempeño experimental investigativo de los estudiantes.

Tabla II Guía de evaluación del desempeño de estudiantes en la investigación experimental docente.				
Categorías	Aspectos a observar	Seleccione una opción		
		Muy Adecuado		
		2007-08	2008-09	2009-10
Procedimental	1- Selección de instrumentos y accesorios	,229	,016	,010
	1- Selección de instrumentos y accesorios	,229	,012	,005
	2-Explicación oral de referentes teóricos			
	3-Ejecución de las operaciones	,550	,029	,002
	4- Tiempo consumido	,059	,042	,010
Comunicación	5- Empleo de herramientas tecnológicas	,059	,029	,010
	6-Fluidez y precisión oral	,550	,012	,010
	7- Rigor científico	,460	,016	,005

Wilcoxon: Procedimiento no paramétrico que se utiliza con las muestras antes y después de cada indicador, para contrastar la hipótesis de que las dos variables tienen la misma distribución. El estadístico de contraste se basa en los rangos de los valores absolutos de las diferencias entre las dos variables. Valores ($<.05$) indica que las dos variables difieren en la distribución.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la investigación propician el enriquecimiento y sistematización teórica que se hace a la Pedagogía de la Educación Superior cubana en lo referido al fundamento científico del perfeccionamiento del proceso de investigación experimental docente en la Física para ingenierías, donde la aproximación del aprendiz al contexto real desde la virtualidad, el entrenamiento procedimental y la modelación de estrategias de aprendizaje, favorecen perfeccionar el desempeño de los estudiantes en las prácticas de laboratorio.

Se aporta un novedoso diseño de página Web con simulaciones computacionales portadoras de una diversidad de signos, símbolos y ayudadas que aproximan al estudiante a variados contextos de experimentación, al tiempo que permiten satisfacer diversos estilos de aprendizaje, incorpora además, variadas herramientas tecnológicas para el análisis e interpretación estadística y matemática de los resultados obtenidos.

- [1] P. Valdés. El proceso de enseñanza-aprendizaje de la física como actividad investigadora. Colección de artículos "Didáctica de las Ciencias". Copyright CESOFTE - "División de publicaciones por computadora". 2006.
- [2] D. Gil. Enseñanza de las Ciencias y la Matemática. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 2005. Consultado en 2006 en <http://www.campus-oei.org/oeivirt/gil02b.htm>
- [3] C. Pérez; Ma A. Navales; L-Ma Lara, y S. Vázquez. La formación por competencias. Un análisis comparativo: Tuning – ANECA. 2009
- [4] D. Beaufils. Les Logiciels de simulation comme supports de registres de representation pour les apprentissages en Physique. Université Paris-Sud, centre d'Orsay. 2000.
- [5] A. M. Colmenares. Prácticas evaluativas alternativas en contextos virtuales de aprendizaje. Revista Iberoamericana de Educación ISSN: 1681-5653. n.º 44/6 – 15 de diciembre de 2007.
- [6] E. Ortiz y E. Aguilera. Los estilos de aprendizaje y sus limitaciones didácticas en la educación superior. Revista Pedagogía Universitaria. Vol. X No. 5. 2005. p. 2-3
- [7] A. M. Colmenares. Prácticas evaluativas alternativas en contextos virtuales de aprendizaje. Revista Iberoamericana de Educación ISSN: 1681-5653. n.º 44/6 – 15 de diciembre de 2007.
- [8] R. Valdés y P. Valdés. Objetivos fundamentales y metodología de la utilización de las computadoras en la enseñanza de la física. IV Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias. La Habana. Cuba. 2008.
- [9] R. Felder y J. Spurlin. Applications, Reliability and Validity of the Index of Learning Styles. Int. J. Engng Ed. Vol. 21, No. 1, p 103-112, 2005. Gb Consultado en febrero de 2007
- [10] R. Felder y L. Silverman. Engr. Education, 78(7), 674-681 (1988) "Learning and teaching styles in engineering education", Journal Vol. 78 Num. 7. p. 674-681. 2002. Consultado noviembre de 2003 en www.ncsu.edu/effective_teaching/paper/LS-1988.pdf
- [11] G. Amaya. Los entornos virtuales de simulación de la realidad, espacios vistos como ejes que permiten situar el aprendizaje dentro de un contexto institucionalizado de educación. Revista Electrónica Teoría de la Educación. Educación y Cultura en la Sociedad de la Información. Ediciones Universidad de Salamanca Vol.10. N.º 2. Julio 2006. Consultado en noviembre de 2006 en <http://www.usal.es/teoriaeducacion>.
- [12] M.ª L. Sevillano y M.ª P. Quicios. La influencia del contexto en los usos de las herramientas virtuales. Universidad Nacional de Educación a Distancia Revista Electrónica Teoría de la Educación. Vol.10. N.º2. Julio 2009. Consultado en abril de 2010 en <http://www.usal.es/teoriaeducacion>
- [13] C. Álvarez y R. Ortiz. Siscomfis: electromagnetismo, una personalizada página Web para la enseñanza y el aprendizaje del Electromagnetismo en carreras de ingenierías. Memorias 6to Congreso Internacional Universidad 2008 (VIR 120)

ALTERNATIVA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE LA HABILIDAD DE MEDIR DESDE LA ASIGNATURA FÍSICA EN LOS ESTUDIANTES DE PRIMER AÑO DE LA CARRERA MATEMÁTICA – FÍSICA

E. POZO Y J. PÉREZ^A

Facultad de Ciencias, Universidad de Ciencias Pedagógicas, Pinar del Río, Cuba evelio@ucp.pr.rimed.cu

a) Facultad de Ciencias, Universidad de Ciencias Pedagógicas, Pinar del Río, Cuba; jpe-rezl@ucp.pr.rimed.cu

La alternativa metodológica propuesta para el desarrollo de la habilidad de medir en los estudiantes de primer año de la carrera Matemática – Física de la Universidad de Ciencias Pedagógicas de Pinar del Río, se fundamenta en la teoría de P. Ya. Galperin para la formación planificada de las acciones mentales y en la teoría de la Educación Avanzada. La alternativa metodológica propuesta, propicia mejoras en la calidad del proceso de enseñanza aprendizaje desde el trabajo metodológico, hasta la clase y ofrece modos de actuación profesional para los futuros graduados como profesores de Física. Los resultados obtenidos durante su aplicación, permiten aceptarla como una opción para la dirección del proceso de desarrollo de conceptos y habilidades.

The methodological alternative suggested develop the measurement skill on the first year student of mathematics and physics of the university of pedagogical science in Pinar del Río has his foundation on P. Ya. Galperin is theory for the formation of mental actions and on the theory of advanced education. This alternative helps improve the quality of learning teaching process since the methodological work up to the lesson and contribute to offer ways of professional actions to the future graduated as physics' professor. The results obtained during the application can be accepted as an option to direct the process for developing skills and concepts.

Palabras claves. Medir. Metodológico. Junto a cada una debe aparecer la clasificación PACS que más se ajuste. Ejemplo: Sólidos granulares 46.10.+z, mecánica sistemas discretos, 83.70.Fn.

INTRODUCCIÓN

La alternativa metodológica resultó del proceso investigativo dirigido al logro del desarrollo de la habilidad de medir en los estudiantes de primer año de la carrera de Ciencias Exactas de la Universidad de Ciencias Pedagógicas (UCP) de Pinar del Río en el curso escolar 2009 – 2010. (Último primer año del plan de estudio C) y para el primer año de la carrera Matemática – Física curso escolar 2010 – 2011. (Inicio del Plan de Estudio D).

La concepción de la alternativa estuvo condicionada por la importancia del lugar que ocupa el objeto que se investigó para la preparación de los estudiantes de la carrera, debido a las relaciones con otros objetos, la diversidad de temas y disciplinas con que se vincula y las formas diversas en que se utiliza, se hizo necesario definirla en una porción simplificada como auxiliar para su estudio y predicción de su manifestación en el proceso de enseñanza-aprendizaje (PEA). [1]

De los resultados obtenidos en la revisión de los programas de las asignaturas de Física, el diagnóstico aplicado a los estudiantes, la entrevista a profesores de Física que trabajaron en la formación de los profesores generales integrales (PGI) así como de las necesidades sociales para la formación de maestros quedó clarificada la prioridad de encaminar el trabajo del laboratorio en el primer año de la carrera a la formación y desarrollo de la habilidad de medir por constituir una habilidad profesional específica que sustenta el resto del trabajo en el laboratorio y que dentro del nuevo plan de estudio para el curso 2010 – 2011, se declara en todas las disciplinas de Física.

La alternativa metodológica propuesta permitió poner en práctica el trabajo experimental y en particular la formación y desarrollo de la habilidad de medir en los estudiantes que cursan el primer año de la carrera Matemática - Física y que se realizó a la luz de una de las teorías de aprendizaje conocidas y avaladas por otras ciencias y que en este caso particular es la

teoría de la formación planificada de las acciones mentales de P. Ya. Galperin [2], desarrollada en los inicios de la década de los 80 del siglo pasado y que a juicio de los autores favoreció el logro del objetivo propuesto en el primer año de la carrera, que es saber medir, *entendiéndose que medir es una actividad de carácter teórico práctico, que realiza el sujeto mediante la ejecución de un conjunto de operaciones, con el fin de obtener el valor de una magnitud física, por comparación con un patrón de medida de la misma naturaleza y que siempre tiene utilidad social.*

FUNDAMENTOS DE LA ALTERNATIVA METODOLÓGICA PROPUESTA.

La formación de profesores ha transitado por varios planes de estudios: A, B, y C, más las adecuaciones a que fueron sometidos en particular el Plan C. A partir del plan B se intensificó el trabajo experimental con la puesta en práctica de novedosos laboratorios, talleres y dotaciones de instrumentos y equipos de altísima calidad. En el caso particular de la carrera de Física el trabajo experimental fue concebido dentro del contenido de cada asignatura, tanto como demostración de fenómenos y leyes estudiadas en conferencias, clases prácticas y seminarios, en la reproducción del sistema de trabajo experimental propuesto para la secundaria básica y el preuniversitario desde los programas de Metodología de la enseñanza de la Física, arista importante en la formación de su futuro desempeño profesional así como en la realización de las prácticas de laboratorio correspondientes a cada una de las asignaturas del currículo de su formación.

Particular atención se ofreció desde el Plan de Estudio B donde una de las alternativas fue el llamado laboratorio introductorio, que tuvo como finalidad resolver las dificultades de aprendizaje con que los estudiantes arribaban de la enseñanza media, donde se manifestaban en primera instancia los saberes relacionados con la habilidad de medir.

En la última versión del Plan C modificado para el primer año intensivo en esta universidad, la alternativa propuesta para el trabajo experimental estuvo dirigida a reproducir parte del trabajo relacionado con el laboratorio del preuniversitario, donde no se tomó en consideración los resultados del diagnóstico que revelan las necesidades de los estudiantes, las exigencias del modelo del profesional, ni las circunstancias en que estuvieron involucrados los estudiantes durante toda la enseñanza media y mucho menos si se recuerda que cuando los estudiantes que arribaban a la carrera habían transitado por una excelente secundaria básica y preuniversitario, con la realización de varios trabajos de laboratorio y habían vencido un examen de ingreso, aun bajo aquellas condiciones, se les impartía en primer año un curso introductorio, que dedicaba una parte importante de tiempo al trabajo en el laboratorio y dentro de él al desarrollo de la habilidad de medir, por el lugar que ocupan estos saberes en el sistema de conocimientos propio de Física en relación con el trabajo experimental, razón de su existencia como ciencia natural que exige de quien la explique posea esas compe-

tencias, responsabilidad que se asume con el futuro egresado, para que pueda cumplir su encargo social una vez graduado.

De la sistematización llevada a cabo por los autores de este artículo en relación con el lugar que siempre ha ocupado el trabajo experimental en Física se pudo concluir lo siguiente.

Que medir está subordinada a la realización de un conjunto de operaciones, entonces es aconsejable para lograr su desarrollo usar la teoría de P. Ya. Galperin, probada en la práctica, pues su metodología es una opción para la dirección del proceso de apropiación de conceptos y habilidades y para la formación de acciones intelectuales y por tanto una teoría de aprendizaje en la que se apoyó la alternativa propuesta.

La alternativa condujo a que el trabajo metodológico se encaminara hacia dos direcciones: una dirigida a la preparación teórica sobre las exigencias de la teoría de P. Ya. Galperin para que los profesores y el técnico de laboratorio que tuvieron la responsabilidad de dirigir el proceso, concibieron y elaboraron la base conceptual que de forma materializada utilicen los estudiantes a partir del proceso de orientación que se les ofrezca, cuál será su actuación como protagonistas de su propio aprendizaje y cuáles serán las formas de control que un sistema de trabajo lógico y coherente debe tener, donde todos sepan qué hacer en cada una de las cinco etapas que propone P. Ya. Galperin en su teoría para la formación de habilidades.

El otro aspecto del trabajo metodológico estuvo dirigido a la organización y desarrollo de las diferentes tareas en cada una de las clases de laboratorio que se desarrollen a partir del tiempo asignado para esta actividad docente como forma de organización del proceso docente en la Educación Superior. Figura 1

REQUERIMIENTOS TEÓRICOS Y PRÁCTICOS PARA LA INTRODUCCIÓN DE LA ALTERNATIVA METODOLÓGICA PROPUESTA.

La puesta en práctica de la alternativa se concibió sobre la base de las formas utilizadas por la Educación Avanzada dentro de las que se encuentran: [3] la auto superación y los talleres, de tal manera que los docentes reciban los conocimientos en forma de sistema, de modo que la integración de sus elementos, posibiliten el dominio teórico, metodológico y práctico necesario para enfrentar el trabajo en el laboratorio que propicie el desarrollo de la habilidad de medir.

Auto superación: es una tecnología de la Educación Avanzada que refiere, que es la preparación general que se realiza por sí mismo, partiendo de una determinada formación, sin tutor o guía para acometer las nuevas tareas. Puede tener carácter libre cuando el interesado decide lo que va a estudiar o dirigida cuando las instancias superiores son las que determinan los contenidos y los objetivos. Constituye una de las formas organizativas de superación. Los autores consideran que es una de las vías más importantes para la puesta en práctica de la presente propuesta, pues los docentes poseen espacios para la

preparación individual, que han de ser utilizados para resolver las necesidades particulares que cada uno presenta en el orden de su desempeño profesional desde su puesto de trabajo. Esta fue una forma de adquirir conocimientos para más tarde utilizarlos en los talleres, con el fin de planificar las tareas y concebir el modo de ejecución a partir de la base orientadora de la acción que se les ofreció a los estudiantes y finalmente el modo de control durante cada actividad docente. En este caso auto superación es dirigida ya que se orienta a los profesores en qué deben auto-prepararse.

La alternativa metodológica propuesta se concibió como eslabón importante en la preparación del docente pues obliga a actualizar conocimientos y adquirir la preparación teórica para enfrentar el trabajo en el laboratorio de física. Esto no limita que cada docente pueda incorporar otras temáticas que considere necesario como parte de su auto superación.

Taller: es una forma de la Educación Avanzada donde se construye colectivamente el conocimiento con una metodología participativa, didáctica, coherente, tolerante, frente a las diferencias; donde las decisiones y conclusiones se toman mediante mecanismos colectivos y donde las ideas comunes se tienen en cuenta.

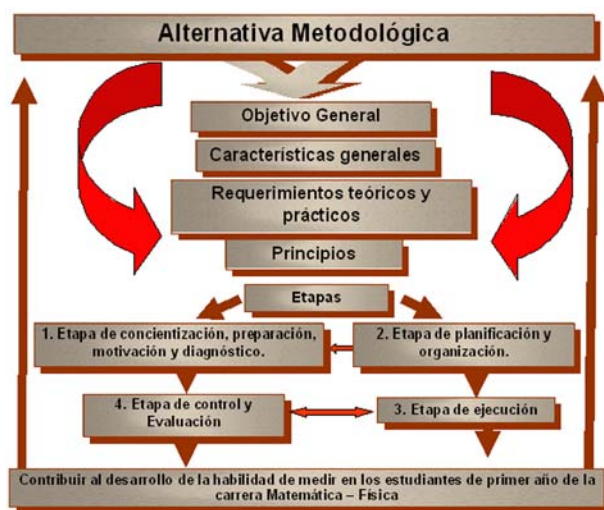


Figura 1. Alternativa Metodológica para desarrollar la habilidad de medir.

Los talleres ofrecen a las personas que tienen problemas o intereses comunes, la posibilidad de encontrarse con especialistas para recibir de primera mano los conocimientos necesarios y poder realizar trabajos prácticos.

ETAPAS POR LAS QUE TRANSITÓ LA CONCEPCIÓN Y PUESTA EN PRÁCTICA DE LA ALTERNATIVA METODOLÓGICA.

Etapas de concientización, preparación, motivación y diagnóstico.

En esta etapa, según se ha descrito se desarrollaron un conjunto de acciones, que tuvieron como objetivo esencial, concien-

tizar a los profesores de las diferentes disciplinas de Física en el conocimiento de los objetivos y habilidades profesionales exigidos en la carrera, por lo que se hizo necesario incidir en aquellos aspectos de mayor jerarquía como es el desarrollo de la habilidad de medir por constituir la base de todo el trabajo experimental de Física a propósito del estado desfavorable que presentan los graduados de los últimos años y por supuesto de las necesidades cognitivas de los estudiantes que ingresan en la carrera.

En la etapa preparatoria se crearon las condiciones para que el jefe del departamento y los profesores que trabajan con el primer año estuvieran en condiciones para desarrollar las acciones que les permitiera la puesta en práctica de la alternativa, a partir de los objetivos siguientes:

Sensibilizar al personal participante acerca de la necesidad de aplicación de la alternativa mediante el conocimiento empírico alcanzado en el trabajo experimental, de la necesidad de saberes que llegan los estudiantes y de las exigencias estatales para cumplir con el encargo social de la formación de competencias en los profesionales que se forman.

Diagnosticar el estado actual que poseen los estudiantes de primer año en cuanto al desarrollo de la habilidad de medir. Planificar las acciones que se deben ejecutar en cada una de las etapas para la puesta en práctica de la alternativa.

Capacitar a los profesores y al técnico de laboratorio en los aspectos teóricos y prácticos necesarios para la ejecución de las acciones previstas en la alternativa.

Rediseñar la alternativa a partir de los resultados obtenidos de su puesta en práctica y de la factibilidad de su aplicación.

Como elemento motivacional, se encontró la preparación que en el plano teórico y práctico obtuvo cada agente implicado, por lo que se consideró necesario incluirlo en el trabajo metodológico del departamento y en la reunión metodológica que se desarrolló en el mes de octubre de 2009 se expusieron las consideraciones generales de la alternativa, a partir de los resultados obtenidos en la etapa exploratoria y de los resultados del diagnóstico inicial.

En los estudiantes la motivación se fue logrando desde el inicio, constituyó fuente importante el desarrollo de demostraciones experimentales en clases, la preparación de los profesores y su profesionalidad contribuyó a que crecieran las expectativas que se fueron formando en torno a la preparación que recibirían en el laboratorio para poder en el futuro ser portadores de esos conocimientos, el hecho de que los estudiantes supieran desde el inicio del semestre que el laboratorio sería impartido usando las mejores experiencias del departamento y que les serviría de gran utilidad para su futura labor profesional, hizo crecer el entusiasmo, en la que los profesores de Física en general y muy especial el jefe del departamento y los que trabajaron directamente con el primer año reforzaron constantemente.

Otro elemento motivante lo constituyó la base orientadora de la acción, pues las pancartas preparadas de antemano con toda la base conceptual además de facilitarles el trabajo, les ilustró un modo de actuación que reconocieron de alto valor por ejemplificarles vías para la solución de problemas en el PEA. No debe dejar de mencionarse la sistemática aplicación del sistema de evaluación dirigida hacia el objetivo propuesto.

El diagnóstico estuvo dirigido a la búsqueda de las necesidades de los estudiantes para apropiarse de la habilidad de medir y de las necesidades de los profesores en el plano teórico metodológico para desarrollar la alternativa propuesta.

Etapas de planificación y organización.

En coordinación con el jefe del departamento, los profesores y el técnico, sobre la base de los resultados del diagnóstico, las condiciones materiales con que se cuenta en el laboratorio, las exigencias del plan de estudio, los objetivos del año y la teoría de Galperin se sometieron a consideración las acciones a ejecutar para la puesta en práctica de la alternativa y como resultado del análisis se enriquecieron, modificaron y aprobaron por todos los implicados. Este proceso fue decisivo para el éxito de la alternativa pues la organización y planificación garantizaron las condiciones materiales, los horarios para su ejecución, el tiempo que se dispuso y la participación de los implicados en cada una de las tareas planificadas, para ello se ejecutaron las acciones siguientes:

- Ubicación en el laboratorio de pancartas con toda la base conceptual de la habilidad medir, como premisa de la base orientadora de la acción. (BOA – III).
- Selección de los medios e instrumentos necesarios para la solución de tareas que exige el programa de estudio y otros concebidos en la alternativa.
- Determinar en cada etapa de trabajo cuáles serían las acciones a ejecutar de acuerdo con la planificación establecida y quiénes participarán.
- Se establecieron los criterios para organizar las clases de laboratorio.

Los temas seleccionados y las vías a utilizar para la puesta en práctica de la alternativa fueron los siguientes:

Tema 1. El desarrollo de habilidades a partir de la formación planificada y por etapas de las acciones mentales de P. Ya. Galperin.

Tema 2. La tendencia educacional contemporánea. Las ideas acerca de la teoría de la actividad de Leontiev. [4]

Tema 3. El laboratorio de Física, su concepción para la carrera Matemática – Física. Lugar que ocupa la habilidad de medir dentro el trabajo experimental.

Etapas de control y Evaluación.

El control y la evaluación estuvieron presentes durante todo el tiempo en que transcurrió la aplicación de la alternativa, pero desde el propio proceso de planificación estuvo concebido mantener un registro a partir de una tabla de doble entrada, estudiante – concepto, para medir el aparato conceptual y estudiante – operación, para medir el aparato operacional de la

habilidad de medir. Este registro se estuvo actualizando constantemente y le permitió a los autores no solo conocer la evolución en el aprendizaje individual, sino mantener informado al grupo y a cada estudiante, de lo que se ha logrado y de lo que falta por lograr, de cuando se pueden retirar las pancartas donde aparece la BOA y en que momento cada estudiante va declarando que está en condiciones de enseñar a medir.

CONCLUSIONES

1. La alternativa metodológica propuesta para el desarrollo de la habilidad de medir en los estudiantes de primer año de la carrera de Matemática – Física de la (UCP) de Pinar del Río, utilizó como fundamento teórico de aprendizaje la teoría de P. Ya. Galperin de la formación planificada y por etapas de las acciones mentales y sus resultados ratificaron que es una opción aconsejable para la apropiación de conceptos y habilidades.

2. La alternativa metodológica propuesta permitió mejorar la calidad del trabajo metodológico llevado a cabo por los profesores y técnicos de laboratorio encargados de la dirección del proceso de enseñanza aprendizaje para el desarrollo de la habilidad de medir en primer año de la carrera Matemática – Física de la UCP de Pinar del Río.

3. Entre los resultados obtenidos con la puesta en práctica de la alternativa metodológica, estuvo el mejoramiento de la motivación por la carrera, el ofrecimiento de modos de actuación profesoral y el crecimiento apreciable de los indicadores medidos que se ilustran en la tabla comparativa de las pruebas pedagógicas aplicadas antes y después de aplicar la alternativa. Figura 2

[1] Modelo del profesional. Plan de estudio de la carrera Matemática – Física. (2010). La Habana: Ministerio de Educación

[2] Bermúdez R. y Pérez, L. (2004). Aprendizaje formativo y crecimiento personal. La Habana: Ed. Pueblo y Educación. p. 51.

[3] J. Añorga. (2000) Glosario de términos de la educación avanzada 2da versión ISP "EJV" Material digital. pp. 29 - 30.

[4] A. N. Leontiev, (1975). Actividad, conciencia y personalidad. Moscú: Ed. Pueblo y Educación, tomado de la edición original en ruso. P. 76.

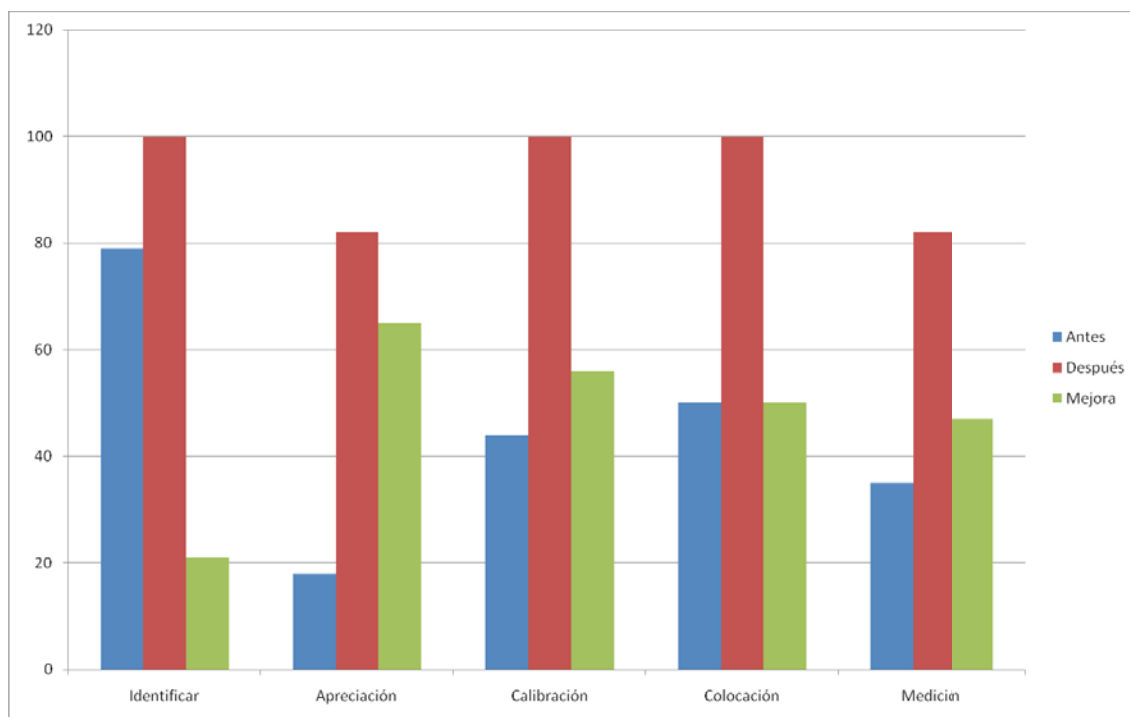


Figura 2. Resultados de las pruebas pedagógicas aplicadas antes y después de aplicar la alternativa.

TRATAMIENTO METODOLÓGICO A LA UNIDAD DE ESTUDIO TEORÍA ESPECIAL DE LA RELATIVIDAD EN EL PREUNIVERSITARIO

I. PUENTE-SERRANO¹, J. R. MORASEN², F. GUERRERO³

1IPU Microuniversidad "Rafael María de Mendive"

2 Universidad de Ciencias Pedagógicas "Frank País García" Santiago de Cuba

3Departamento de Física. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba, C. P. 90500

Este trabajo tiene como objetivo apoyar el trabajo de los docentes al impartir la unidad "Teoría Especial de la Relatividad". En su estudio debe facilitar una mejor interpretación del contenido correspondiente a cada clase, se brindan sugerencias sobre formas efectivas para su desarrollo, su uso puede ser muy útil, fundamentalmente, para profesores noveles en formación y sin experiencia en el grado. Por otra parte no existe una actualización en la orientación metodológica, se cuenta con la del 1980 que fuera editada, en correspondencia con el modelo pedagógico para esa etapa. El proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en el preuniversitario para el duodécimo grado, está basado en la sistematización y profundización de los contenidos, bajo la concepción del principio didáctico del carácter científico de la enseñanza. En tal sentido esta unidad de estudio reviste gran importancia para los estudiantes, a partir del hecho en que se argumenta, el hecho experimental de la existencia de un límite superior para la velocidad de los cuerpos y que el valor de la velocidad de la luz no depende del sistema de referencia elegido, se interpretan los postulados fundamentales de la Teoría Especial de la Relatividad y se analizan algunas de sus consecuencias cinemáticas: la relatividad de los intervalos espaciales y temporales. Por la importancia social y cultural que reviste ésta unidad de estudio, se propone una metodología, que permitirá a los profesores conducir el proceso de enseñanza-aprendizaje, a partir 2 proceder metodológico (Construcción lógica del contenido e Integración con las unidades estudiada en el preuniversitario)

The objective of this research work, is to support the teachers' work at the time of teaching the unit "Special Theory of relativity". In their study must facilities a better content interpretation corresponding to every class, it offers suggestions about effective forms to their development, its use could be very useful, mainly for novel professor in-formation and without any experience in the grade. On the other hand this is not any actualization in the methodological orientation; it is used one from 1980 that was edited, in correspondence with the pedagogical model for that time. The teaching-learning process of Physics in senior high school for twelfth grade is based on the systematization and deeping of contents, under the didactic conception and principle of scientific character of teaching. In this sense this unit of study has a great importance for the students, to split the fact, that it was argued the experimental fact of the existence of a higher limit for the speed of the body and the value of the light speed do not depend of reference system chosen it was interpreted the main postulated of the especial Theory of Relativity and it was analyzed some of its kinematical consequences, the relativity of especial and temporal intervals. For the social and cultural importance that rever this unit of study, it is proposed one methodology that with permit to the teachers to lead the teaching-learning process to split two methodological procedures (logical construction of the content and integration with the studied units in senior high school).

Palabras claves. Metodología [01.40 FK] Didactica [01.50 Ht] methodological [01.40 FK] didactic [01.50 Ht]

INTRODUCCIÓN

El desarrollo social exige la necesidad de formar hábitos de trabajo individual y colectivo hacia la formación de una cultura, junto a esta necesidad, la tarea fundamental de la escuela es de dar a conocer en los jóvenes fundamentos de la ciencia, a través del legado que ha dejado aquellos hombres de ciencia, es decir educar, dar conocimiento y cultura.

La historia de la Física muestra que su desarrollo se encuentra indisolublemente relacionado con la aparición de nuevas tareas, donde ese sistema único de ideas, lleva precisamente el nombre de cuadro físico del mundo.

La Física es una de las ciencias fundamentales, esta ciencia concentra todos sus esfuerzos en esclarecer las Leyes y Princi-

pios básicos de la naturaleza. En la práctica de la enseñanza, es significativo que al salir del aula todo buen maestro se pregunta ¿Qué cosa innecesaria he dicho en esta clase? Mientras los maestros de menor experiencia se preguntan ¿Qué otra cosa hubiera podido decir en esta clase?.

Para dar respuesta a lo anterior, la metodología de de la enseñanza de la física, refiere una dosificación o formación estricta del proceso docente, tanto en lo que refiere al volumen de contenido que debe desarrollarse como a su exposición con un carácter de secuencia; además de brindar los ejemplos más sencillos y asequible que transmitan a los alumnos las regularidades del desarrollo de la Física como ciencia

En el programa de Física en la enseñanza preuniversitaria en Cuba, se plantea como tarea garantizar conocimiento sólidos acerca de los fundamentos de esta ciencia, así como la asimilación, por parte de los alumnos, de los principales conocimientos que contribuyan a formar en ellos una concepción materialista del mundo. Igualmente, garantizar la formación laboral en correspondencia de los avances de la ciencia y la tecnología, tomando en consideración las necesidades que plantea la sociedad. [1]

Esa necesidad en la enseñanza preuniversitaria de mantener este ritmo dinámico, llevo a plantear determinada regularidades, hacia el perfeccionamiento de los programas de física, que implicó la elevación del nivel metodológico.

En la década de los 80 esta temática se impartía en el décimo grado, con el nuevo perfeccionamiento, se comienza a impartir como tema seleccionado en el grado duodécimo, es decir el docente en la preparación de la asignatura seleccionaba los temas.[2]

A partir del curso 2010/2011 se desarrolla la unidad como parte del programa del grado duodécimo con 5h\c con las siguientes temáticas Introducción. Postulados de la TER de Einstein,[3]

Relatividad de los intervalos temporales, Relatividad de los intervalos espaciales, Ejercicios, La energía y la cantidad de movimiento lineal la Teoría Especial Relatividad y Experimento con los μ .

PROPUESTA METODOLÓGICA.

Las profundas transformaciones en la ciencia y la técnica a las que asistimos en nuestros días imponen la necesidad de un continuo perfeccionamiento de el proceso de enseñanza aprendizaje, con énfasis en los asociados a la contribución de las ciencias exactas y naturales, encargadas de establecer las bases y conocimientos esenciales para la comprensión y transformación del mundo. En esta dirección es necesario promover variantes pedagógicas, didácticas y metodológicas que contribuyan al propósito de consolidar los aprendizajes de estas ciencias y al mismo tiempo promover

niveles eficientes de orientación y reafirmación profesional y vocacional.

La propuesta, constituye una variante de gestión didáctico-metodológica expresada en la integración creadora de la actividad y comunicación de docentes y estudiantes, sustentada en elementos de investigación dirigida y participativa, que deviene en estilo de pensamiento y modo de actuación permanente y tiene como finalidad la contribución a la formación integral de los estudiantes y el perfeccionamiento constante del proceso de enseñanza aprendizaje.

Proceder metodológico construcción lógica del contenido.

Construcción lógica.

Planteamiento de situaciones indagativas integradoras de aprendizaje a los alumnos en diversos entornos.

Revelación por el estudiante de la problemática planteada.

Valoración conjunta profesor-alumno de las preconcepciones de los alumnos sobre el tema propuesto.

Valoración por el estudiante de hipótesis o alternativas de solución a la tarea.

Complejidad o acotamiento del problema o tarea abierta planteada.

Construcción de primeros significados, aportación de elementos del conocimiento que puedan conducir a la solución final de la tarea.

Integración con las unidades estudiadas

Sobre elementos del conocimiento estudiado, sus limitaciones en relación a esta teoría.

Establecimiento de los nexos entre los elementos aportados a partir del carácter integrador.

• Síntesis integradora de la relación entre los elementos aportados.

Para el desarrollo de la metodología se propone las siguientes problemática de la unidad, considerando que el 12 grado se sistematiza y profundiza el curso de física.

La existencia de un límite superior para la velocidad de los cuerpos y que el valor de la velocidad de la luz no depende del sistema de referencia elegido.

Interpretar los postulados fundamentales de la Teoría Especial de la Relatividad y se analizan algunas de sus consecuencias cinemáticas: la relatividad de los intervalos espaciales y temporales.

Consecuencias de la TER, particularmente la relación entre la masa y la energía

Habilidades a desarrollar en los alumnos, relacionado con la temática.

Habilidad	Contenido de la unidad
-----------	------------------------

Definir	Sistema de referencia. Relatividad de la simultaneidad. Relatividad de los intervalos de tiempo y de la longitud.
Interpretar	Los postulados de la Invarianza de las leyes Físicas Transformaciones de Lorentz. Mecánica newtoniana y relatividad
Analizar y resolver	Diversas situaciones problemáticas cualitativa y cuantitativa relacionado con: Dilatación del tiempo Contracción de la longitud Trabajo y energía relativista.

Temática: Introducción. Postulados de la TER de Einstein.

Se recomienda en esta clase, introducir el concepto de Sistema de referencia, así como la interpretación de los postulados de la teoría de la relatividad de Einstein, importante para interpretar los contenidos posteriores de la unidad.

Es recomendable, para una mejor interpretación del tema, por parte de los alumnos, utilizar simbólicamente, a partir de un sistema de coordenadas "XOY" el uso de dos sistemas de referencia inerciales, tratados en las limitaciones de las leyes de Newton

1. Llamado "S" para el observador situado en la tierra en el plano cartesiano "XOY"

2. Llamado "SI" para el observador situado en la tierra en el plano cartesiano " $X^I O^I Y^I$ "

Se recomienda, plantear que los ejes X en los dos sistemas están situados sobre una misma recta, pero el origen, "OI en SI", se mueven en relación a "O en S" con velocidad constante v^I a lo largo de un eje común ($X - X^I$), desde el sistema "XOY" se fija el tiempo de manera que coincidan para $t=0$ de modo que la separación entre ellos.

Invarianza de la Física.

Primer postulado de Einstein (Principio de la Relatividad)

"Las leyes de la física son las mismas en todos los sistemas de referencia inercial"[3]

Se procede a la interpretación del postulado: si las leyes fueran diferentes, esa diferencia permitiría diferenciar un sistema inercial de otro o hacer que un sistema fuese más correcto que otro.

Se hace referencia que este postulado es una generalización de del principio de la relatividad de Galileo cuadro mecánico del mundo. Se sugiere además sobre el cuadro electrodinámico, hacer referencia al experimento realizado por Faraday sobre el fenómeno de inducción magnética para demostrar el primer postulado.

Segundo postulado de Einstein

"La velocidad de la luz en el vacío es la misma en todo sistema de referencia inercial y es independiente del movimiento de la fuente"[4]

Interpretación: es imposible para un observador material viajar a la velocidad de la luz en el vacío.

Ejemplo: el lanzamiento de una nave espacial sistema móvil (SI), se mueve respecto a la tierra a una $v=1000$ m/s, dispara un cohete de reconocimiento a una velocidad $v=2000$ m/s relativa a la nave:

De la mecánica relativista de Galileo, Ley de composición de velocidades, el observador en el sistema fijo (Tierra), diría que la velocidad del cohete es de 3000 m/s.

Relacionando esta teoría con la onda luminosa, la mecánica newtoniana predice que el cohete viajaría a una velocidad de $c + 100$ m/s. Contradiendo el segundo postulado.

Si esta misma nave viaja a la velocidad de la luz, respecto a un observador situado en la tierra S, la nave emite un haz de luz, para el segundo postulado se interpreta como que los dos observadores se mueven juntos y están siempre en el mismo punto en el espacio.

Se concluye el hecho de que la velocidad de la luz en el vacío sea independiente del estado de movimiento de la fuente, conduce a una variación sustancial de los conceptos espacio y tiempo, establecido en la mecánica newtoniana y no contradice el principio de la relatividad de Galileo, sino a las ecuaciones de transformación de Galileo, pues estas fueron deducidas sobre la base de considerar el tiempo y espacio absolutos.

Temáticas Relatividad de los intervalos temporales.

Para el desarrollo de esta temática se precisa hablar de sucesos para poder registrar intervalos de tiempo. Todo suceso tiene definido posición y tiempo como un acontecimiento.

Ejemplo: un estudiante al entrar a su escuela y su reloj registra las 7:30 am, ambos sucesos ocurrieron simultáneamente. El problema fundamental es medir intervalos de tiempo, pues en general dos sucesos que son simultáneos en un sistema de referencia, no lo son, en un segundo sistema de referencia que se mueve respecto al primero, incluso si ambos son inerciales. Se propone la siguiente problemática.

Ejemplo: un vagón se mueve a velocidad constante en sentido positivo de las (x) y emite un haz de luz del centro del vagón. ¿qué observan dos observadores uno interior del vagón y otro en el exterior del vagón?

Observador interior.

La señal luminosa parte del foco y alcanza, simultáneamente las paredes del vagón, con igual velocidad en todas direcciones.

Observador exterior.

-La señal luminosa alcanzará la pared que se aleja, algo más tarde que aquella que se acerca.

Interpretación: comparando las predicciones de los dos observadores contradice la física clásica de new-ton, en esta se registra ambos suceso con un reloj, donde los sucesos “antes” y “después” tienen un significado absoluto, la teoría especial de la relatividad modifica este concepto, dos sucesos en un sistema de referencia no son necesariamente iguales en un segundo sistema de referencia en movimiento relativo al primero, para la teoría de la relatividad puede existir otro reloj aún cuando esté sincronizado.

Se toma en consideración que la velocidad de la luz debe ser la misma (c), ¿qué relación existe entre los intervalos de tiempo en cada sistema de referencia?

Se define intervalo de tiempo propio (Δt), como el intervalo de tiempo medido en determinado sistema de referencia.

Se expresa la relación matemática para obtener la ecuación para intervalos temporales, se puede deducir, a partir del teorema de Pitágoras, considerando que para ambos observadores se forma un triángulo rectángulo, dado por la trayectoria de la luz.

Para un sistema de referencia S se cumple:

$$\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Para un sistema de referencia SI se cumple:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Conclusiones: ambas ecuaciones no tienen contradicción, Ambas expresan el tiempo propio medido por el reloj en el cual se está en reposo.

Se destaca el carácter relativo de los intervalos temporales, no viene dado por la naturaleza del reloj, sino por el hecho que la velocidad de la luz en el vacío es independiente del movimiento de la fuente, la relatividad de los intervalos temporales, Es consecuencia de hechos experimentales verificados, el tiempo no es absoluto como se consideraba en la mecánica newtoniana.

Temáticas Relatividad de los intervalos espaciales.

Se sugiere al docente para el estudio de esta temática, relacionarla con el tema anterior:

No sólo el intervalo de tiempo entre dos sucesos depende del sistema de referencia del observador, también la distancia en-

tre dos puntos puede depender del sistema de referencia que esté el observador.

Ejemplo: supongamos que se desea medir la longitud de un automóvil en movimiento por ambos observadores situados en diferentes sistemas de referencia, como consecuencia si no es medido en el mismo intervalo de tiempo no se tendrá la misma longitud.

Es importante que para la explicación de esta temática, se desarrollará tomando como elemento una regla dentro de un vagón en movimiento, donde desea medir por dos observadores uno interior y otro exterior.

Como resultado ambos observadores obtienen diferentes medidas.

Explicar longitud propia, es la longitud medida desde cualquier sistema de referencia que se encuentra el objeto en reposo junto al observador.

Longitud medida desde el otro sistema de referencia Se concluye que la longitud medida en otro sistema de referencia que no sea la propia siempre es menor.

Cuidado esto no es ilusión óptica, este efecto se denomina contracción de la longitud.

Para un mismo sistema

$$l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$l_0 = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

Temáticas La energía y la cantidad de movimiento lineal la Teoría Especial Relatividad.

Se recomienda al desarrollar esta temática, recordar las expresiones de la mecánica newtoniana referente a ley de conservación de la cantidad de movimiento y de la energía mecánica.

Se precisa que estas responden a determinadas condiciones en el movimiento. La teoría especial de la relatividad, modifica estas leyes, al introducir el concepto de masa de los cuerpos depende de la velocidad según la siguiente relación.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Masa del cuerpo medida en su sistema de referencia inercial respecto al cual el cuerpo se encuentra en reposo.

Masa medida desde un sistema de referencia inercial respecto al cual el cuerpo se mueve con velocidad V

Una partícula de masa m_0 , se mueve a una velocidad v la cantidad de movimiento relativista viene dada por:

$$p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Se le hace referencia, que si se obtiene el resultado previsto por la mecánica newtoniana de que $m = m_0$, la masa no depende de la velocidad.

Temática Experimento con los μ .

Se le hace referencia, a que los mesones μ , son partículas materiales elementales cargadas, su poder de desintegración es muy corto aproximadamente en 2.10^{-6} s (tiempo propio), son originados en las altas capas de la atmósfera bajo la influencia de los rayos cósmicos, aproximadamente a 9km de altura y atraviesan radialmente la atmósfera terrestre con velocidad $0.998c$, y pueden ser detectado a nivel del mar.

Se concluye la distancia d , que pueden recorrer estos mesones bajo el supuesto de que se desintegre, es 598m.

Para los observadores terrestre, respecto al cual los mesones, poseen una velocidad de $0.998c$ el tiempo que tardan en desintegrarse es de 3.17×10^{-5} , donde para ese tiempo recorren una distancia de 9491 m.

Interpretación: para los observadores terrestres, es válido este análisis, para un observador en reposo respecto al mesón no podría recorrer esa distancia que lo separa de la superficie terrestre al nivel del mar, realmente no hay contradicción, para un observador ligado al mesón, la superficie de la tierra se acercará con una velocidad de $0.998c$, y recorrería una distancia de 567m.

Temática Ejercicios

Se proponen ejercicio del libro de texto 10mo grado edición 1987 página 96 hasta 104.

Estrategia para resolver problemas.

- Establecer la magnitud que se desea buscar.
 - Definir sistema de referencia S y SI con velocidad constante respecto a S, en dirección positiva de las x.
 - Se necesita las ecuaciones de la coordenadas se realiza una lista (x, t, x_1 y t_1).
 - Los problemas de transformación de velocidades, las velocidades en cada sistema de referencia inercial.
- Al evaluar los resultados, parece no tener sentido común, no se desanime, un resultado que sería ser erróneo, es una rapidez mayor que c.

Conclusiones

Teniendo en cuenta la falta de bibliografía destinada al tratamiento metodológico de esta temática que aparecen en el programa de física del preuniversitario, a modo de ejemplo, en este trabajo se muestra como realizar un análisis metodológico de la unidad del programa de duodécimo grado, a la vez puede servir de guía a los profesores de experiencia pero fundamentalmente para los profesores egresados y a los profesores en formación es de gran utilidad ya que se indica el procedimiento a seguir en cada una de las clases de la temática analizada. Se indican aspectos fundamentales en los que hay que profundizar, como tratar o introducir algunos de los conceptos, así como la interpretación coherente de la teoría especial de la relatividad y la propuesta de metodología para la resolución de problemas concerniente a este tema.

[1] Programas de la Educación Preuniversitaria Editorial Pueblo y Educación 2006 pag 46.

[2] Folleto enviado por el MINED 2000.

[3] Programa enviado por el MINED, para el curso 2010- 2011.

UNA APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

I DELGADO, M HERNÁNDEZ^A, M SÁNCHEZ^B, B SÁNCHEZ^C, O CHAVIANO^D Y B COMPANIONI^E.

Facultad de Enseñanza Técnica Profesional. Universidad de Ciencias Pedagógicas Cienfuegos. isae@ucp.cf.rimed.cu.

a.Dirección Provincial de Educación. Cienfuegos. mirtat@dpe.cf.rimed.cu

b.Dirección Municipal de Educación de Palmira. Cienfuegos

c.Dirección Provincial de Educación. Cienfuegos. babysan@dpe.cf.rimed.cu

d.Politécnico Informática José Gregorio Martínez. onielcd@ipicfg.rimed.cu

e.Facultad de Enseñanza Técnica Profesional. Universidad de Ciencias Pedagógicas Cienfuegos. bcompanio-ni@ucp.cf.rimed.cu

El trabajo contiene una compilación de los resultados de investigaciones como ejercicios de culminación de estudios postgraduados de los autores, que al ser integrados pueden favorecer la enseñanza de la Física en los estudiantes desde la primaria hasta media superior, en correspondencia con los objetivos de los programas de las Ciencias Naturales y Física en un tema trascendente como es la Energía, como resultado se obtiene un producto informático que contiene un módulo de contenidos por cada una de las educaciones en el que se evidencia, la utilidad de estas asignaturas a través textos, imágenes, videos, glosario de términos y simulaciones, aprovechando los medios que brindan las tecnologías de las redes informática en particular la Internet. La esencia es contribuir al aprendizaje del contenido de la Física y a la Educación Energética, desde la escuela, para su preparación en y para la vida.

The work contains a compilation of the results of investigations, that can favor to the being integrated the teaching of Physics in students from the even half superior primary school in mail as is the Energy, with the objectives of the programs of Natural Sciences and Physics in a transcendent theme, like exercises of culmination of postgraduate studies of authors as a result an information-technology produce obtains itself that it contains a module of contents for each of educa-tions that it becomes evident in, the utility of these subjects of study across texts, imagery, videos, glossary of terms and simulations, making good use of them Means that offer the technologies of information-technology nets in particular the Internet. The essence is to contribute to the learning of the contents of Physics and to the Energetic Education, from the school, for his preparation in and for life.

Palabras claves. Informática Enseñanza Física

INTRODUCCIÓN

La inserción de la tecnología y el uso de la Informática en el proceso de enseñanza aprendizaje, como elemento auxiliar, es ya una realidad en el espacio físico de las aulas. La introducción de las herramientas computacionales y los software educativos poseen grandes potencialidades educativas y si se utilizan correctamente pueden convertirse en importante apoyo para proporcionar la calidad de los contenidos como un nuevo acceso al conocimiento, tanto de profesores como de alumnos. Hace poco, el Comandante hacía una reflexión acerca de la forma en que se estaba educando, pues decía que en los momentos actuales, las personas no comprenden las ideas que transmiten los profesores y propone revisar los métodos empleados para que sean efectivos y a través de las clases se siembren valores, se toma conciencia de producir bienes materiales y de usar racionalmente los recursos, lo cual repercutirá en bien de la sociedad.

Este colectivo de autores concuerda plenamente con estas ideas, de que el maestro como arma ideológica en la sociedad tiene una misión especial que no se puede limitar a transmitir conocimientos, este tiene que lograr que el estudiante los com-

prenda, los interprete y los vincule a la vida cotidiana utilizándolos en su propio beneficio.

Es significativo que el tema energía se estudia en todas las educaciones, formando parte al menos de una unidad en las Ciencias Naturales en quinto y sexto grado en la Primaria, en octavo en la Secundaria Básica y en el Preuniversitario como parte de la asignatura de Física.

Si se analizan dichos contenidos estos en todas las educaciones preparan al hombre para enfrentarse al mundo que le rodea, logrando integrar la educación energética dentro del currículo escolar.

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO



EDUFI en Energía,

Producto informático para la Enseñanza de la Física en Energía es un sitio WEB que recoge contenidos y ejercicios de energía en las diferentes educaciones, artículos y

bibliografías adicionales relacionados con el tema, además se acompañan de imágenes y videos así como un glosario que propician la comprensión de los términos principales. 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, permite editar el contenido de un sitio Web de manera sencilla. Dicha aplicación de código abierto programada mayoritariamente en PHP bajo una licencia GPL. Este administrador de contenidos puede trabajar en Internet o intranets y requiere de una base de datos MySQL, así como, preferiblemente, de un servidor HTTP Apache.

La creación de menús de navegación y sus hipervínculos proporciona un método potente y flexible para ayudar a los usuarios a navegar con facilidad.

La página principal del sitio está estructurada como aparece en la figura siguiente:



En la parte superior aparece el menú principal desde el cual se accede a cada una de las educaciones, las que contienen un módulo de contenido y otro de ejercicios en correspondencia con el grado en que se imparten, el resto de este menú contiene una sección Para el Maestro, Galería de Imágenes, Galería de Videos y un Glosario.

Dando un clic sobre cada opción del menú de las educaciones aparecen los submenús, una vez seleccionado uno de estos, se muestra en la parte izquierda del área de trabajo el menú del contenido y en la parte derecha el texto correspondiente a cada uno, la sección Para el Maestro muestra, una sistematización del aprendizaje del tema energía desde Primaria hasta Media superior y orientaciones de cómo utilizar el sitio en el proceso de enseñanza aprendizaje, al dar clic en el Glosario se presenta el mismo en toda el área de trabajo, la galería de imágenes está diseñada en 4 categorías, que corresponden con las formas de energía cinética, potencial, de radiación y las fuentes de energía, al elegir una, esta muestra en el área de trabajo las imágenes correspondiente al tema en miniatura y al dar clic sobre ellas permite verlas en su tamaño original, además posee la opción de ver la siguiente o cerrarla según convenga al usuario, al dar clic en la galería de videos aparece en la parte izquierda el menú del contenido, que al realizar la selección presenta

el mismo, de forma tal que permite reproducirlo con la opción de verlo en toda la pantalla.

Además de estas opciones del menú, también aparecen en el área de trabajo en forma de columnas alineadas en cuatro párrafos sintetizados los temas que son comunes a todas las educaciones, con la opción de ver el contenido completo de los artículos:

IMPORTANCIA DE LA FÍSICA

La Física es la Ciencia más antigua que se ocupó del estudio de la naturaleza, debido a que la palabra griega Phycis significa naturaleza, por eso llamaron Física a la ciencia sobre la naturaleza. Luego a partir del siglo XVII, comenzó a desarrollarse, paulatinamente se separaron de ellas nuevas ciencias, por ejemplo la Química y denominaron Ciencias Naturales a las ciencias que estudian los fenómenos de la naturaleza, cuyo fin fundamental es descubrir las regularidades y leyes a los que están sometido los fenómenos naturales, así como estudiarlos y utilizarlos en beneficio de la humanidad.

La explicación científica de los fenómenos de la naturaleza ha permitido erradicar falsas ideas y creencias oscurantistas que niegan que se pueda conocer el origen de los fenómenos y que tratan de explicarlo de forma sobrenatural.

La Física en particular solo se ocupa del estudio de los fenómenos físicos tales como: mecánicos, térmicos, eléctricos, luminosos y magnéticos. El hombre al estudiar dichos fenómenos pudo darse cuenta que estos están sujetos a leyes y de la estrecha relación que existe entre ellos, por ejemplo la caída de los cuerpos y el movimiento de la Luna alrededor de nosotros son consecuencias de la atracción que la Tierra ejerce sobre ellos. En su práctica cotidiana, el hombre observó que las leyes de la naturaleza son expresión de determinadas propiedades de los objetos y que son completamente independientes de su voluntad. Sin embargo, el hecho de que estas leyes sean independientes de nosotros no significa de ninguna manera que seamos impotentes ante ellas, al contrario, los hombres necesitan precisamente de la Física para su actividad práctica y transformadora de la sociedad.

Actualmente la Física nos proporciona los principios básicos en que se sustenta la tecnología contemporánea, así por ejemplo el descubrimiento de las leyes que rigen el comportamiento de las ondas electromagnéticas constituyen el precedente del impetuoso desarrollo de las telecomunicaciones, la radio y la televisión. Los descubrimientos de la Física sobre la estructura del átomo y del núcleo atómico, han garantizado el desarrollo sostenido de la energética nuclear, que ha de contribuir en gran medida a solucionar los problemas energéticos del siglo XXI.

IMPORTANCIA DE LA "ENSEÑANZA DE LA FÍSICA".

En el proceso de enseñanza de la Física sistemáticamente se llevan a cabo cambios de menor o mayor envergadura cada

cierto tiempo. Ello está determinado por la obligación del análisis didáctico desde sus componentes, teniendo en cuenta las exigencias de la sociedad en una época dada, y también por el desarrollo alcanzado en las concepciones que se tienen acerca del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Si nuestra pretensión es avanzar en la transformación de la enseñanza en las escuelas, se requiere elaborar propuestas concretas basadas en las nuevas concepciones, llevarlas a las aulas y analizar detalladamente los resultados obtenidos. Esta labor es tema de diversos colectivos, lo que permite discutir los puntos comunes y las divergencias de las distintas propuestas, profundizando en las ideas teóricas que las sustentan, mejorándolas y, concretándolas tanto para la preparación de los profesores como la de los alumnos en el trabajo diario que llevamos a cabo.

Hoy se trata de transformar en profundidad la educación, con una práctica escolar que conlleve a un aprendizaje que tenga resultados satisfactorios con un desarrollo de conocimientos, de hábitos y habilidades. Desde nuestro punto de vista ello se explica, por importantes cambios socioculturales que han tenido lugar durante las últimas décadas, es tal el impacto de la ciencia y la tecnología en la cultura contemporánea. Los cambios que se producen requieren, pues, reelaborar los objetivos, el contenido, los métodos y formas de trabajo en la enseñanza de la Física, a fin de ponerlos en una mejor correspondencia con las actuales condiciones, si la Ciencia, y en particular la Física, es una actividad sociocultural, con profundas repercusiones en el desarrollo de la humanidad, con variados métodos y formas de trabajo, entonces ella ha de ser enseñada y aprendida como tal, y no como ha sido habitual hasta ahora, centrando la atención, casi exclusivamente, en conocimientos y habilidades específicos, por lo que a partir del desarrollo alcanzado se fundamenta la necesidad de que la enseñanza sea participativa y que el aprendizaje sea activo.

En el estudio que hacemos reafirmamos la utilización adecuada de transmitir conocimientos mediante recursos informáticos en la solución de problemas del proceso de enseñanza aprendizaje de la Física

Existen amplias posibilidades para utilizar este recurso en muchos de los temas de Física, pues esta tecnología da una respuesta satisfactoria a algunas de las barreras más importantes, por ejemplo, el tiempo real de los alumnos para cumplir con sus obligaciones docentes, los recursos materiales disponibles y las percepciones subjetivas y objetivas de los profesores, por lo que dicha tecnología vinculada a la actividad investigadora son elementos centrales del cambio cultural que se está operando.

Organizar el aprendizaje con estas características contribuye a elevar su calidad: conduce a la formación de conceptos más profundos y sólidos, desarrolla importantes capacidades y actitudes en los estudiantes.

IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE LA “ENERGÍA”.

La energía interviene en todas las actividades de los seres vivos sobre el planeta, incluido los seres humanos. Algunos autores expresan, que la energía es el motor impulsor de todo proceso o fenómeno que se produzca en el universo. El estudio de la energía es un factor crítico para el desenvolvimiento y la toma de decisiones en la sociedad de hoy y constituye un elemento esencial para la cultura general integral de cualquier persona del siglo XXI.

En correspondencia con lo planteado este tema se estudia en todas las educaciones, formando parte al menos de una unidad en las Ciencias Naturales en quinto y sexto grado en la Primaria, en octavo en la Secundaria Básica y en el preuniversitario como parte de la asignatura de Física.

En la Educación Primaria, el estudio de este tema se realiza con un carácter cualitativo y fenomenológico, sobre la base del método inductivo. No se pretende definir conceptos, sino iniciar la formación de estos, mediante la descripción de varios ejemplos, los cuales buscan el acercamiento de los alumnos con los fenómenos naturales y de la vida cotidiana, permite el conocimiento de los objetos, fenómenos y procesos naturales, se abordan en sus relaciones causales, ya sea de carácter biológico, astronómico, geográfico, físico o químico, tratando en los casos posibles, que sean analizados desde distintos puntos de vistas, lo cual facilita la familiarización de los alumnos con algunos métodos de las ciencias como son: la observación y la experimentación.

En la Educación Media Básica, en el octavo grado, se amplían los contenidos estudiados sobre la naturaleza que permitan comprender sus aplicaciones, que es fundamental en la preparación para la vida. Por otra parte, también se ampliarán el conocimiento de los contenidos físicos asociados con la caracterización de la energía, los fundamentos de las transformaciones implicadas en la producción de la energía eléctrica, las causas físicas de los cambios climáticos y de los fenómenos catastróficos que nos amenazan, y los razonamientos físicos asociados al uso eficiente de la energía y a las medidas del ahorro energético.

Especial atención tiene la comprensión de la caracterización de la energía, pues para que se produzcan cualquier tipo de cambio es necesario que se ponga en juego cierta cantidad. Este concepto se destaca desde una concepción microscópica hacia una macroscópica. Se parte del estudio de la energía de las partículas que componen a los cuerpos para llegar a la energía de los propios cuerpos. Los conceptos fundamentales que se tratan parten de la conceptualización de la temperatura, la energía cinética de las partículas que componen a los cuerpos y el equilibrio térmico, para continuar con la definición de calor, la relación entre este y el trabajo y las formas en que el mismo se propaga. De ahí que se propongan ejemplos concretos, del concepto de energía estudiado, atendiendo al origen de los

cambios e identificar los diferentes tipos de energía, también es necesario dedicarle tiempo a la resolución de problemas cualitativos y cuantitativos sobre los diferentes aspectos que se abordan, haciendo énfasis en la ley de conservación y transformación de la energía la cual se basa en una idea con una lógica muy sencilla y consiste en que si existe una cantidad de algo que permanece constante, es decir, que no varía, y se conoce una parte de esa cantidad, entonces es posible determinar el resto que no conocemos.

La obtención, transmisión, consumo, ahorro de energía y los daños que esto ocasiona al medio ambiente es un aspecto de mucha importancia y actualidad, por cuanto es uno de los problemas globales y territoriales a los que se enfrentan las sociedades contemporáneas.

En la Educación Media Superior, la enseñanza de la Física desde las nuevas transformaciones establece que el alumno debe dominar aprendizajes esenciales sobre los temas energéticos, sus principales fuentes, el impacto medioambiental, el uso de las fuentes renovables de energía y las condiciones termodinámicas de comportamiento de la naturaleza. El ahorro de energía como la vía obligada y exigencia para enfrentar las condiciones actuales del agotamiento progresivo de las fuentes de combustibles fósiles, y como requisito indispensable de la construcción del socialismo.

Las ideas esenciales declaradas en el programa van dirigidas a cambiar la lógica del pensamiento, siempre comenzando por la limitada visión del comportamiento mecánico de los objetos físicos. Todo parece indicar que futuras transformaciones apuntan a una visión termodinámica del comportamiento de la naturaleza, teniendo como centro el concepto de energía y su papel preponderante en el curso del planeta y la sociedad. Un enfoque de la Física en que, por ejemplo, el concepto de energía juegue el papel central, y se desarrolle de forma compacta y coherente en sus aspectos de transformaciones y transferencias, y de las relativas limitaciones debidas a sus distintas cualidades, como requiere el Segundo Principio de la termodinámica pues en resumidas cuentas, el problema del movimiento de los cuerpos, el problema dinámico, no juega ningún papel específico en el desarrollo y en el significado de los aspectos energéticos: las leyes de conservación se aplican más bien cuando el problema dinámico para muchos cuerpos no se sabe resolver.

Priorizar el concepto de energía equivaldría de alguna manera a reemplazar el papel central de la dinámica en el enfoque tradicional por la termodinámica, que es propiamente la ciencia de la energía, y no necesita o más bien es alternativa la resolución del problema dinámico.

IMPORTANCIA DE LA EDUCACIÓN ENERGÉTICA.

“Energía”, tema recurrente en el mundo de hoy, para el cual la mayoría de los países asumen una postura de ahorro de la misma. Cuba al igual que estos países establece un programa de ahorro de electricidad (PAEC), que dentro de sus decisiones estuvo incorporar al Sistema Nacional de Educación a esta batalla por la conservación de los recursos energéticos y del medio ambiente del país creando el Programa de Ahorro de Energía en el Ministerio de Educación (PAEME) que indica el ahorro de energía eléctrica en la escuela, también existe el PAURA) programa de ahorro y uso racional del agua, como otra vía en la implementación de acciones encaminadas a la educación energética en todos los espacios educativos

Dentro de las actividades que desarrolla la escuela para llevar a la práctica las exigencias de estos programas se han celebrado festivales, concursos, círculos de interés, turnos de reflexión y debate con la participación de niños de diferentes educaciones.

Es imposible pensar en el desarrollo contemporáneo y mucho menos en el desarrollo sostenible sin tener en cuenta la “Energía”. Posibilidades del uso del sitio en el proceso de enseñanza aprendizaje.

El profesor podrá utilizar el sitio para motivar a los alumnos durante su clase en cualquiera de los temas que imparte, para apoyar el tratamiento del nuevo contenido mediante la proyección de imágenes o la reproducción de un video.

Posibilita, de manera más efectiva, la atención a las diferencias individuales, de los alumnos propiciando una mayor explotación de las capacidades de cada cual.

Permiten la ejecución de nuevos métodos y modelos instructivos que antes resultaban imposibles de aplicar.

Reducción del tiempo de transmisión y asimilación de los contenidos.

Brinda la posibilidad de estudiar procesos que no es posible observar directamente por la representación visual del objeto estudiado.

Orientar nuevos problemas que estimulen el espíritu de investigación científica, propiciando la motivación y el desarrollo de hábitos y habilidades en los estudiantes.

CONCLUSIONES

El Sitio permite la motivación de los estudiantes por el estudio de las Ciencias Naturales y la Física, consolidar los contenidos relacionados con la Energía y su uso sostenible y contribuye de manera consciente a la Educación energética.

SISTEMA DE ACTIVIDADES METODOLÓGICAS PARA LA INTERDISCIPLINARIEDAD EN LAS CIENCIAS NATURALES DESDE FÍSICA A PARTIR DEL NODO INTERDISCIPLINARIO ENERGÍA EN OCTAVO GRADO

M. CORRALES.

Facultad de Formación de profesores para la Educación Media, Universidad de las Ciencias Pedagógicas Enrique José Varona, Cuba. magalyscs@ucpejv.rimed.cu

Este artículo constituye una herramienta de trabajo para la preparación de los docentes de la asignatura Ciencias Naturales en octavo grado. La Física se imparte dentro de la asignatura Ciencias Naturales en el octavo grado de la secundaria básica cubana. En este artículo se ofrecen algunos sustentos teóricos y metodológicos básicos de un sistema de actividades metodológica que se implementa a partir de las potencialidades del nodo interdisciplinario energía. En el mismo se elaboró estructuras de nodos para establecer las relaciones interdisciplinarias entre las ciencias naturales y Física.

The present article constitutes a work tool for 8th grade teachers. This offers the theoretical and methodological basic supports of a methodological activities system to develop the potentialities of the inter-disciplinary node energy. In the same way is built a nodes structures that is able to establish the inter-disciplinary relationships between natural sciences and Physics.

Palabras claves. Interdisciplinariedad, nodo interdisciplinario, energía.

INTRODUCCIÓN

La interdisciplinariedad está relacionada con el camino recorrido por la ciencia y la tecnología. Las revoluciones científicas nos dan una idea lo suficientemente clara de cómo la interdisciplinariedad ha estado relacionada con el empeño del ser humano, de explicar los fenómenos a través de los vínculos existentes entre ellos. Las ciencias naturales se destacaron en este sentido en el siglo XIX, entre los descubrimientos más importantes de la época que demuestran el auge alcanzado por estas ciencias son: ley de transformación y conservación de la energía, la estructura celular de los organismos vivos y la teoría de la evolución de las especies. Estos descubrimientos influyeron en el desarrollo de la técnica, permitieron confirmar la idea fundamental de la dialéctica y marcaron una etapa importante en la segunda revolución científica.

Por otra parte los grandes pensadores y pedagogos de la época manifestaron sus preocupaciones por el saber fragmentado y buscaron nuevas formas y métodos de trabajo, en aras de la unidad del saber. En Cuba Félix Varela, José de la Luz y Caballero, Enrique José Varona y José Martí: nuestro Apóstol; defendieron la idea de la unidad del saber para el desarrollo del aprendizaje.

Con el de cursar del tiempo la integración de los conocimientos de las ciencias alcanzó mayor amplitud atrapando en su radio de acción nuevas ciencias. Actualmente la revolución científico-técnica está relacionada con el rápido progreso general de todo el saber científico, siendo uno de sus rasgos es la integración de las ciencias. El saber científico alcanzado se refleja en el desarrollo de la técnica, la tecnología la producción y los servicios. La influencia del acelerado desarrollo científico-técnico en la sociedad ha permitido comprender la necesidad de concebir la interdisciplinariedad en el proceso de enseñanza-aprendizaje para contribuir a la formación integral de las nuevas generaciones.

A tono con los tiempos que vivimos se lleva a cabo en la Educación Secundaria Básica Cubana transformaciones en las cuales aún se mantiene la interdisciplinariedad en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, una de las problemáticas más actuales en la Educación Secundaria Básica es la concepción interdisciplinaria en el enfoque de las asignaturas. En este sentido es digno señalar que no ha estado exenta la Física, lo que se ha constatado en la práctica docente: no siempre el docente reconoce los nodos cognitivos para establecer los vínculos entre las ciencias naturales.

Herminia Hernández citada por Martha Álvarez considera que un nodo cognitivo es un punto de acumulación de conocimientos (conceptos, proposiciones, leyes, principios, teorías, modelos) en torno a un concepto o una habilidad (Álvarez, 2004, p: 8).

La problemática planteada anteriormente se fundamenta además en que los docentes presentan dificultades para establecer las conexiones entre los nodos cognitivos existentes en la Física y el resto de las ciencias naturales. Esto se afirma porque es insuficiente el uso de las tareas docentes que expresen las relaciones interdisciplinarias en clases y evaluaciones propuestas. Por consiguiente se ha limitado el carácter activo-consciente del aprendizaje y se ha materializado una disminución de la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje de la Física en lo relacionado al establecimiento de las relaciones interdisciplinarias. Para contribuir a la solución de esta problemática se elaboró un sistema de actividades metodológicas dirigido a los docentes para la instrumentación de las relaciones interdisciplinarias en las ciencias naturales desde el contenido acerca de la energía en la Física del octavo grado, la cual se aplicó en la secundaria básica "Juventud Heroica" y luego se extendió a otras en el municipio Lisa y Cerro.

DESARROLLO

La imposibilidad de soslayar la interdisciplinariedad en la enseñanza contemporánea y en particular de las ciencias radica en que actualmente es, como nunca antes, una necesidad objetiva del desarrollo de la actividad humana (F. Perera, 2000, p.81).

"La interdisciplinariedad es un proceso y una filosofía de trabajo, es una forma de pensar y proceder para conocer la complejidad de la realidad objetiva y resolver cualquiera de los complejos problemas que esta plantea" (F. Perera, 2000, p.83). Asumir la interdisciplinariedad como proceso y filosofía de trabajo implica el cambio en la forma de pensar y proceder que se materializa en la práctica mediante actividades de aprendizaje variadas y encaminadas a la formación integral del conocimiento del objeto de estudio aprovechando los nexos entre los contenidos (conocimiento-habilidades-valores) de las ciencias naturales a partir de una estructura de nodos cognitivos que se clasifican en principales e interdisciplinario.

Los nodos cognitivos principales son aquellos que se distinguen por su relevancia cultural o sus aplicaciones en la práctica y los nodos cognitivos interdisciplinarios son aquellos que se conectan a los nodos principales de las distintas disciplinas (Álvarez M, 2004, p: 9).

El sistema de actividades metodológicas se caracteriza fundamentalmente por la elaboración de estructura de nodos en torno a las potencialidades del sistema de conocimientos que acumula el contenido sobre la energía y la aplicación de la estructura de nodos en la elaboración de actividades de aprendizaje producto del trabajo metodológico interdisciplinario realizado por los docentes.

Es preciso señalar que un componente importante en la estructura de nodos es el sistema de conocimientos y la intencionalidad política y formativa con que está asociado. Lo anterior se explica al considerar que en dependencia del conocimiento que acumula el nodo determinado y el análisis realizado puede ser denominado nodo cognitivo principal o interdisciplinario.

En el caso del concepto energía es considerado en la asignatura Física como un nodo principal por su relevancia cultural y sus aplicaciones. Este mismo nodo se comporta como interdisciplinario ya que a él se conectan otros nodos principales del resto de las ciencias naturales (ver figura 1).

Los conceptos sistemas y cambios se le dan tratamiento en todas las unidades correspondiente al programa de Física por lo que se pueden distinguir como nodos principales de la asignatura. Estos mismos nodos se distinguen como nodos interdisciplinarios entre las ciencias naturales porque a ellos se conectan otros nodos principales del resto de las asignaturas analizadas, además, los conocimientos que integran permiten elevar el nivel cultural y tienen aplicación en la ciencia y la tecnología al satisfacer necesidades humanas, espirituales y prácticas.

El sistema de actividades metodológicas está formada por 14 actividades relacionadas entre sí que persiguen un fin determinado, establecer las relaciones interdisciplinarias entre las ciencias naturales desde Física a partir del contenido sobre la energía con orden lógico al ir de las más sencillas a las más complejas.

Las principales temáticas de Física relacionadas son: relación entre los cambios y energía, importancia del estudio de la utilización, transmisión y obtención de la energía, formas básicas de energía, vías para la transmisión de la energía, trabajo, calor y radiación, transformación y conservación de la energía, fuentes renovables y no renovables de energía, ahorro de energía y conservación del medio ambiente.

Desde la didáctica de las ciencias naturales la propuesta se sustenta en las ideas generales siguientes: su orientación sociocultural en la enseñanza de las ciencias, concebir en su enseñanza aspectos esenciales de la actividad investigadora contemporánea y brindarle especial atención a las características fundamentales de la actividad psíquica humana (Valdés, Valdés, 2001).

Para la elaboración y puesta en práctica del sistema de actividades metodológicas elaboradas se realizaron un conjunto de acciones. A continuación se plantean estas acciones y su ejemplificación.

Diagnosticar a los docentes. Esta acción está dirigida a la caracterización actual de los docentes en cuanto al dominio de los conocimientos que presentan acerca de las relaciones interdisciplinarias en las ciencias naturales.

Determinar el problema que debe ser resuelto en la práctica pedagógica para garantizar una correcta proyección y desarrollo de las relaciones interdisciplinarias en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales.

El problema considerado para ser resuelto con el colectivo pedagógico es el siguiente: ¿cómo propiciar que los alumnos comprendan la relación interdisciplinaria del contenido sobre la energía con los conceptos sistema y cambio estudiados en Física y el resto de las ciencias naturales?

Determinar los objetivos que se deben priorizar de acuerdo con el contenido del problema que se desea resolver.

En un trabajo en equipo con los directivos metodológicos del grado se realizó un estudio de los documentos rectores determinándose como objetivo: valorar responsablemente la repercusión que para la ciencia y en particular las naturales, el medio ambiente y en general para la sociedad, tienen el estudio del contenido sobre la energía.

Socializar el objetivo y el problema considerado en el colectivo pedagógico del grado.

Analizar los componentes: cognitivo, metodológico y axiológico del problema considerado.

Componente cognitivo: Se les orientó tareas a los docentes encaminadas a: analizar, determinar, argumentar, valorar, aplicar, elaborar y exponer en el trabajo con el equipo el sistema de conocimiento de la asignatura Física y el sistema de conocimientos de las ciencias naturales relacionado con el contenido seleccionado desde Física.

Componente metodológico: Se analizaron los métodos y formas de trabajo sobre la base de las ideas básicas de la didáctica de la ciencia expuesta anteriormente, se pusieron en práctica el trabajo en equipo e intercambio entre ellos, exponer, elaborar informes, uso de la computadora, entre otros.

Componente axiológico: Se analizó el sistema de valores y actitudes a fortalecer en los alumnos a partir del contenido seleccionado haciendo uso de los documentos rectores del grado. Reconocer los nodos cognitivos principales de cada asignatura que se conectan con el nodo interdisciplinario energía y elaborar la estructura de nodos.

Se reconocieron en elaboración conjunta con los docentes los siguientes nodos principales: medio ambiente, fuente de energía, PAEME, sistemas y cambios. Estos mismos nodos se distinguen como nodos interdisciplinarios entre las ciencias naturales a ellos se conectan otros nodos principales del resto de las asignaturas analizadas.

Aplicar la estructura de nodos de forma que permita organizar el pensamiento de los docentes y dirigir sus acciones hacia los objetivos propuestos

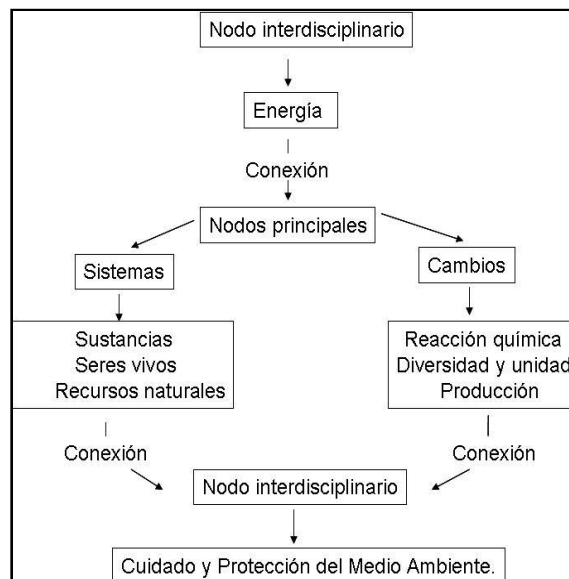


Figura 1. Estructura de nodos a partir del concepto energía.

Evaluar a los docentes durante y después de la actividad metodológica.

El sistema de actividades metodológicas se caracteriza además por ser flexible, abierto, por tener un carácter sistémico y predominar durante el trabajo metodológico interdisciplinario las relaciones dialógicas entre los sujetos que intervienen en el proceso.

A continuación mostramos un ejemplo de una actividad de la propuesta.

Actividad No 4: Energía

Objetivo: Analizar el concepto de energía a partir de las definiciones de nodos y sus conexiones con los principales nodos de cada asignatura.

Desarrollo

Comprobar el dominio de los conocimientos alcanzados a partir de su autopreparación.

A partir del concepto de sistema analizado como nodo, solicitar en el equipo de trabajo a los profesores ejemplo de sistemas estudiados en el resto de las ciencias naturales. De acuerdo con las definiciones de nodos precisar qué tipo de nodo es y por qué. De igual forma realizar el análisis para el concepto de cambio.

Realizar preguntas que conlleven a caracterizar el concepto de energía como nodo principal en Física y como nodo interdisciplinario.

En elaboración conjunta diseñar la estructura de nodos a partir del nodo interdisciplinario energía (ver figura 1).

Solicitarles a los docentes: determinar los nexos de interrelación en elaboración conjunta a partir de la estructura de nodos, exponer cómo está presente el nodo interdisciplinario

energía en el sistema de conocimientos seleccionado y elaborar las conclusiones parciales.

Conclusiones

Elaborar y exponer las conclusiones generales y evaluar a los docentes.

Tareas para la próxima actividad metodológica.

Con ayuda de los documentos de trabajo determine el sistema de conocimientos de las demás ciencias naturales que se relaciona con las formas y fuentes de energía.

CONCLUSIONES

Después del estudio se arribó a las siguientes conclusiones:

1. Las relaciones interdisciplinarias son las vías que propician la interrelación dada por los enlaces de contenido, metodología y los aspectos formativos que aportan las diferentes asignaturas para obtener una visión y apropiación integradora del objeto de estudio. Deviene además en una vía para elevar la calidad del proceso enseñanza-aprendizaje porque exige del docente una adecuada preparación profesional y al alumno le aporta conocimientos sólidos, habilidades y una formación integral.

2. Para la puesta en práctica del sistema de actividades metodológicas se realizaron acciones como: diagnosticar a los docentes, determinar el problema que garantice el desarrollo de las relaciones interdisciplinarias, analizar los componentes cognitivo, metodológico y axiológico del problema considerado, aplicar la estructura de nodos, y evaluar a los docentes.

3. El trabajo metodológico interdisciplinario realizado por los docentes se concretó en un sistema de actividades metodológicas que contribuyó al establecimiento de las relaciones interdisciplinarias entre las ciencias naturales desde Física en el octavo grado de la secundaria básica cubana.

BIBLIOGRAFÍA DE REFERENCIA

- [1] M. Álvarez, La interdisciplinariedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), p. 8.
- [2] F. Perera, La práctica de la interdisciplinariedad en la formación de profesores, en La interdisciplinariedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), p. 81.
- [3] F. Perera, La práctica de la interdisciplinariedad en la formación de profesores, en La interdisciplinariedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), p. 83.
- [4] M. Álvarez, La interdisciplinariedad en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), p. 9.
- [5] P. Valdés y R. Valdés, Características del proceso de enseñanza-aprendizaje de la física en las condiciones contemporáneas, Rev. Enseñanza de las Ciencias. 16, 2 (1999).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. Addine, Didáctica: Teoría y Práctica, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), p. 251.
- [2] D. Salazar, Didáctica, interdisciplinariedad y trabajo científico en la formación del profesor, en Teoría y Práctica, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), pp. 198-199.
- [3] J. Fiallo, La interdisciplinariedad: un concepto "muy conocido", en Interdisciplinariedad, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2004), pp. 20-25.
- [8] P. Valdés, R. Valdés et al, en Física elemental, 1ra Ed. (Pueblo y Educación, 2002), pp. 3-6.

MOVIMIENTO PLANETARIO E HISTORIA DE LA CIENCIA

TORRES, Y. I.¹, ARÉVALO, J. R.¹ Y GONZÁLEZ, M. H.².

1Grupo de Investigación Enseñanza de las Ciencias y la Astronomía. tjarevaloch@gmail.com. jotorres.fis@gmail.com , 2Grupo de Instrumentación Científica & Didáctica. mhgonzalm@gmail.com.
Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia.

Algunos autores indican que los paradigmas tradicionales se muestran incapaces de lograr una apropiación de los conceptos, requiriéndose replantear el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias puesto que se evidencian algunas visiones deformadas del conocimiento científico y de la ciencia. Se presenta el análisis de una experiencia pedagógica desarrollada desde la perspectiva de incorporar elementos del enfoque contemporáneo de la historia de la ciencia en la enseñanza y el aprendizaje de la física. En el desarrollo de la experiencia, se estudiaron problemas y modelos explicativos sobre el movimiento planetario, ubicándolos en el contexto en el que se produjeron y destacando elementos relativos a la naturaleza de la ciencia. La experiencia se adelantó con estudiantes de primer semestre del Proyecto Curricular de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital en el año 2010. La experiencia contribuye en la caracterización de visiones alternativas de la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico. Palabras claves: Historia de la ciencia, naturaleza de la ciencia, conocimiento científico

Some authors suggest that traditional paradigms are incapable of achieving an appropriation of concepts, requiring rethinking the teaching and learning of science as demonstrated through some distorted view of scientific knowledge and science. We present the analysis of educational experience developed from the perspective of incorporating elements of contemporary approach to history of science in teaching and learning of physics. In the development of experience, we studied problems and explanatory models of planetary motion, placing them in the context in which they were produced and highlighting elements of the nature of science. The experience was ahead with students in the first half of the Curriculum Project Degree in Physics from the University Distrital in 2010. The experience contributed to the characterization of alternative visions of the nature of science and scientific knowledge.

Keywords: History of science, nature of science, scientific knowledge

INTRODUCCION

Realizar el estudio del fenómeno movimiento planetario desde la perspectiva de incorporar elementos del enfoque contemporáneo de la historia de la ciencia, en procura de transformar la idea de naturaleza de la ciencia existente, exige: a) esclarecer cuales son los elementos de la historia de la ciencia que se pretenden involucrar, b) investigar cuál es la imagen de naturaleza de la ciencia predominante en el grupo y c) establecer los aportes de la historia de la ciencia en la construcción de nociones de naturaleza de la ciencia acordes a la visión contemporánea. De este modo, consideramos que abordar la enseñanza y el aprendizaje de los fenómenos naturales desde la historia de la ciencia puede favorecer: a) la construcción de problemas que originan y suscitan las teorías aceptadas por las comunidades científicas; b) los aciertos y desaciertos de las ciencias; c) los cambios y dificultades del conocimiento en su desarrollo; d) el estudio y comprensión, de parte de los y las estudiantes, de todos los elementos constitutivos de la ciencia (física), y e) la transformación, entre los futuros docentes, tanto de la imagen que actualmente, comparten, sobre la naturaleza de la ciencia, como sus diseños metodológicos de enseñanza.

En la fundamentación de la actividad desarrollada convergen las aportaciones de la historia de la ciencia con los hallazgos de la didáctica de la física. Para el caso que se desarrolló aquí, se construyeron cuatro categorías de análisis, con el objeto de analizar el fenómeno a la luz de estas categorías.

PROBLEMA

En la actividad docente confluyen diversas ideas acerca de la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias, las cuales son influenciadas por concepciones referentes a la naturaleza de la ciencia y el conocimiento científico. Estas concepciones, definen el proceso de construcción de conocimiento tanto del saber físico como del saber pedagógico y se fundamentan en los siguientes aspectos acerca de la forma habitual de la enseñanza de la física: a) Se enseña de acuerdo al modelo de transmisión de conocimientos, b) Las acciones de aula se fundamentan en la epistemología aristotélico-empirista, que se puede sintetizar en los siguientes elementos: La experiencia es la única fuente de conocimiento, la observación y las teorías son procesos di-

ferentes, la lógica de la ciencia física se reduce a la comprobación de teorías, el uso que se hace de la historia de la ciencia suele limitarse al empleo esporádico de biografías o a la mención de algunas anécdotas. De manera general los currículos de ciencia se centran en el desarrollo de contenidos. Se rigen por la lógica interna de la ciencia; olvidándose de aspectos referidos a la naturaleza de la ciencia, tales como: las influencias externas y cómo estas han influido en su construcción; los métodos usados para su validación: la naturaleza de la comunidad científica; los vínculos con los sistemas tecnológicos y viceversa; los aportes de esta a la cultura y viceversa. (Acevedo, Vázquez, Martín, Otros, 2005[1]; Mattheus, 1994[2]) De esta manera la actividad científica queda reducida a libros de texto y a catálogos de aspectos puntuales en donde lo que cuenta es la ley establecida, el descubrimiento efectivo y no las ideas que guiaron hacia los descubrimientos

Desde esta perspectiva, es pertinente investigar, acerca de las potencialidades del uso de la historia de la ciencia en la formación de licenciado en física, por cuanto se estudia una alternativa para el mejoramiento del proceso de enseñanza aprendizaje de la física fundada a partir del problema de superar el modelo tradicional, y que se aborda desde las actuales tendencias y alternativas de innovación en la enseñanza de las ciencias y desde la incorporación de la historia de las ciencias.

ANTECEDENTES

La experiencia aquí presentada hace parte de un estudio más amplio orientado a analizar las potencialidades didácticas de la historia de la ciencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física, al estudio de concepciones y nociones sobre imagen y naturaleza de la ciencia de algunos maestros de Bogotá (J. Arévalo, Y. Torres, J. Ortiz D, G. Lopez. 2006)[3] y al estudio de las estrategias metodológicas utilizadas en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la física en el Proyecto Curricular de Licenciatura en Física de la Universidad Distrital.

Para realizar el desarrollo y análisis de la experiencia se tomaron como referente cuatro categorías (J. Granes, (2001)[4]: Carácter del fenómeno y del problema; modelos explicativos; el contexto externo; papel de la Observación. En el cuadro uno se presenta la descripción y caracterización de cada una de las categorías desde las perspectivas tradicional y contemporánea de la historia de la ciencia. Se presentan aquí, los resultados referidos al análisis de las categorías uno y dos.

METODOLOGIA

La experiencia tiene como elementos iniciales las concepciones de los y las estudiantes, sobre la naturaleza de la ciencia e historia de la ciencia. Dichos resultados mostraron, particularmente, falencias en la fundamentación en Historia de la física, lo mismo que un profundo desconocimiento de las diversas perspectivas sobre la naturaleza de la ciencia (particularmente de la física) y sus posibilidades, en torno a las prácticas de aula (J. Arévalo, Y. Torres. (2010)[5]

La experiencia se adelantó, durante un trimestre, con una intensidad de 2 horas semanales, y se desarrolló en la línea de investigación cualitativa, particularizado en estudio de caso.

La actividad se centró en el análisis en profundidad de un grupo de 5 estudiantes participantes del curso. Se desarrolló en dos etapas: 1) una de exploración, en la que se realiza la explicitación de las concepciones de los estudiantes y la construcción de problemas e interrogantes alrededor del fenómeno de estudio, y 2) una de implementación en la que se realiza el estudio del fenómeno desde la perspectiva ya mencionada, acudiendo a revisiones bibliográficas y discusiones, se realiza también una salida de campo y elaboración de modelos didácticos.

1.Etapa de exploración

Basados en la idea de Bachelard [6]: “Todo conocimiento es la respuesta a una cuestión”; en esta etapa se busca identificar y explorar las ideas previas de los estudiantes, así como favorecer la construcción e identificación de problemas alrededor del suceso: movimiento planetario. Para esto se tienen en cuenta tres aspectos: a) la motivación como uno de los factores de aprendizaje, b) la importancia de asociar explícitamente la construcción de conocimiento a problemas, y c) la inclusión de conflictos cognitivos entendidos como un trabajo de profundización en el que unas ideas (tomadas como hipótesis) son sustituidas por otras (igualmente validas a las anteriores).

2.Etapa de implementación

Se aborda el estudio del fenómeno, buscando no solo esclarecer sus alcances e implicaciones en el contexto de la enseñanza y aprendizaje de la física, sino procurando también reinterpretar sus contenidos, apelando a las categorías elaboradas desde la historia de la ciencia. Se realizan actividades de observación, entendiendo la observación no como un acto en el cual el sujeto es impresionado por la realidad externa; sino como un proceso cargado de teorías o preteorías o de conceptos y preconceptos, que le permite al sujeto, en interacción mutua con su entorno, construir, no solo problemas e interrogantes; sino también al mismo entorno o fenómeno.

Actividad 1:

Se realiza una indagación sobre las ideas propias de los estudiantes. Aquí, se trata de evidenciar que, algunas de las ideas de los estudiantes (consideradas algunas veces como incorrectas) se corresponden con algunas propuestas científicas, en determinado período histórico. Para esto, los estudiantes presentan un escrito en el que, además de mostrar su visión sobre el movimiento planetario, construyen preguntas y problemas a cerca de él.

Categoría (Utilizada para el análisis)	Características de la categoría desde la perspectiva tradicional de la historia de la ciencia	Características de la categoría desde la perspectiva contemporánea de la historia de la ciencia
El carácter del fenómeno y problema en la ciencia	No se construyen ni fenómenos, ni problemas, estos parecen existir, sin rupturas, ni cambios. Se consideran una aproximación real, mas, del la razón humana a la naturaleza. No depende de las comunidades científicas, ni de los intereses sociales de cada época. Tiene carácter universal.	El fenómeno y el problema poseen un carácter construido. Son subjetivos y esta mediado por los intereses socio-culturales de la época. Aborda situaciones que originan interrogantes comúnmente aceptados en un momento histórico. No tienen carácter universal y son construidos en acuerdo por las comunidades científica. T. Khun. (2007) [7].
Modelos explicativos	Centrados en la narración de hechos externos al sujeto. Es cuantitativo, aislado, ahistóricos. Considera verdadero un único modelo: Lineal, continuo y validado por el método experimental. Se presenta como acabado y único en los libros de texto.	Parte de la consideración del carácter construido del fenómeno y el problema. Articulan los diferentes modelos sus rupturas y controversias. No hay un único modelo explicativo válido. Los resultados de la experiencia están ligados al sujeto.
El contexto externo	Este, no influye en la construcción de los problemas, ni de las explicaciones, más bien al contrario este es influenciado, unidireccionalmente, por las ciencias	Factor relevante en la escogencia de los problemas y construcción del modelo conocimiento.
La Observación	Es directa e independiente del sujeto que observa, de sus teorías, conceptos y preconcepos.	El sujeto observa desde la teoría que posee. La observación construye los fenómenos y problemas a estudiar y en cierta medida la realidad.

Noción de ciencia	Es única, lineal, continua, determinista-predictiva, realista. La verdad es única y universal: la verdad científica. Desconoce la validez de otros saberes. La soporta e instituye el método experimental o científico. Es ascendente o positiva, no considera los "errores" como para del proceso de construcción sino como un obstáculo en su ascenso.	No es lineal, ni continua, ni universal. No es absoluta, sino relativa. El sujeto interviene en la construcción de los fenómenos y problemas. Es indeterminista-no predictiva. La realidad y los fenómenos de la naturaleza son un resultado de la experiencia humana. Solbes, J. Y Traver, M. (2001) [8].
-------------------	--	--

Actividad 2:
Se realiza el estudio de textos relacionados, desde la perspectiva de identificar los problemas que suscitaron los diferentes modelos explicativos elaborados por la ciencia en diferentes momentos. Se estudian obras como: Sobre las revoluciones (de los orbes celestes). N. Copérnico. El mundo o el tratado de la luz. R. Descartes. El mensaje y el mensajero sideral, Galileo. El sistema del mundo. I. Newton., Isaac Newton. Obra y Contexto. J. Granés.

En este aparte también se busca que el estudiante elabore un escrito o documento, en el cual muestre los problemas y modelos explicativos identificados durante la lectura. Escrito que, se presupone, elaborado desde la perspectiva de indagar desde de las categorías de análisis propuestas.

INTERPRETACION DE RESULTADOS

Se presentan algunos de los resultados obtenidos en el desarrollo de la experiencia, destacando los registros sucedidos con mayor frecuencia y relevancia para el grupo.

Acerca de la Actividad 1
Se logra un documento escrito en el cual se registran las preguntas que mayoritariamente se repiten sobre los sucesos celestes. De las cuales se resaltan:
-Porqué se mueven la tierra y la luna?.
-Cómo se mueve el sol?
-Porqué la luna me sigue?.
-Cómo se mueven los planetas?.
-Cómo se sabe que el universo se está expandiendo?.
-Quién fue el primero en estudiar el movimiento de la tierra?.
-Afecta el movimiento de la tierra el clima?.
-Cómo observaría el movimiento del sol si estuviera en el polo norte?.

Las preguntas evidencian, la dificultad que existe entre los y las participantes para la elaboración de problemas y de preguntas, pues no hay planteamientos de hipótesis de trabajo, se constata que los problemas y las preguntas, carecen de un marco

o modelo explicativo. Estas se presentan, como fragmentos de conceptos, ecuaciones, leyes que responden a preguntas predeterminadas. Lo cual puede mostrar que los estudiantes comparten una idea de ciencia, consistente en un conjunto de resultados científicos, carentes de problemas y de preguntas. En el conjunto de ideas y de concepciones elaboradas por los estudiantes acerca del movimiento planetario, se resaltan las siguientes:

-“El universo se originó a partir del big-bang, una gran explosión de materia así, que se originó cuando el espacio y el tiempo se crearon, seguido los planetas se mueven en torno al sol por la gravedad que existe entre ellos.”

-“Los planetas se mueven en el espacio como si estuvieran en torbellinos, como cuando una piedra cae en el agua y genera una onda”

El primer fragmento parece mostrar que el estudiante, reproduce lo que lee o lo que ha escuchado, pues se hace uso de conceptos “intuitivos”, que no se han abordado, es decir sobre los que no hay un desarrollo conceptual. Por los términos usados, las ideas previas de los estudiantes, parecen, basarse en lo escuchado en clases o leído en algún texto. Además, de una u otra manera las respuestas se repiten.

El segundo aspecto, referido, muestra como hay correspondencia con las ideas del movimiento de los cuerpos por torbellinos dada por Descartes, lo que muestra como algunas ideas previas de los estudiantes se relacionan con ideas dadas por la ciencia. Ahora, a pesar de ser esta una oportunidad para que el estudiante emita hipótesis, no se reflejan ni en el escrito ni en las discusiones. Se está preparado para aprender conceptos, ecuaciones, leyes que contestan a preguntas predeterminadas, y no para cuestionar. Aspecto este que muestra, que la idea de ciencia que prevalece en el grupo es una idea de ciencia acabada, constituida solo por aciertos científicos, progresiva y sin “errores”. Es decir, una ciencia aproblemática y ahistórica. Visión que no se corresponde con los planteamientos actuales de naturaleza de la ciencia.

Acerca de la Actividad 2

Se realiza el estudio y análisis del fenómeno movimiento planetario bajo la luz de las categorías definidas, explicitando sus rasgos comunes más sobresalientes, se analizan principalmente los problemas y modelos explicativos, construidos alrededor del fenómeno.

Algunos problemas identificados por los (las) estudiantes, en torno del Movimiento Planetario.

Se presentan algunos de los problemas identificados por los estudiantes, a través de las lecturas y las discusiones realizadas: -“formación del sol y de los planetas a través de las trayectorias y movimientos circulares”

-Qué movimiento hemos de suponer para dar cuenta del movimiento de los planetas?

-Porque se mueve un planeta siguiendo la trayectoria observada?

-La velocidad de un planeta dependía de la distancia con respecto al sol?

-Cuál es la forma de las orbitas?

-Cuál es la relación entre el período de revolución de un planeta y el radio de la órbita?

-Número, magnitud y movimientos de las orbes celestes.

-Hooke, planteo el problema a Newton: Cómo encontrar la trayectoria de un móvil que se mueve bajo la acción de una fuerza de atracción que varía con el inverso del cuadrado de la distancia hacia un centro?.

-Halley, en agosto de 1684 visita a Newton y le plantea un problema que ha estado discutiendo con Hooke y con Wren:Cuál es la trayectoria de un planeta que es atraído hacia el sol con una fuerza que varía con el inverso del cuadrado de la distancia?

En un primer momento se observa que a pesar de las lecturas y las discusiones realizadas, el estudiante no logra identificar los problemas particulares que suscitan el estudio. En principio, hay desconocimiento acerca de lo que es un problema.

En un segundo momento, se logra identificar los diferentes y múltiples problemas que originan el estudio del fenómeno. Evidenciando que: existen problemas que se mantenían sin solución tras largos periodos de tiempo, que los problemas son fuente de explicación, y que resulta más fácil comprender una explicación cuando se conocen los problemas que lo originaron.

Algunos modelos explicativos identificados

Se presentan parte de los escritos realizados por los estudiantes:

Modelo explicativo 1:

“Teoría de los torbellinos o de los vórtices, (Modelo creado por Descartes 1569-1650) No existe el vacío todo el espacio se encuentra lleno de una sustancia sutil: éter, que se mueve en torbellinos alrededor del sol y de las demás estrellas y el mundo se divide en cielos propios para cada estrella. Alrededor del sol, flotando en el éter y arrastrados por su torbellino giran los planetas. El mundo se extiende indefinidamente y lo que lo unifica es el tejido del éter”.

Modelo explicativo 2:

“Las leyes de Kepler, Los planetas se mueven en orbitas elípticas con el sol en uno de sus focos, da respuesta a la pregunta formulada por Kepler acerca de cuál era la forma de las orbitas...” También se observa que las leyes no fueron inventadas por Kepler de una sola vez, la primera y segunda fueron publicadas en 1609, la tercera, la de la relación entre la primera

y la segunda ley, fue publicada en 1618. Se rompe con el círculo en la constitución del cielo, mostrando los datos una trayectoria elíptica.

Modelo explicativo 3:

“Ley de gravitación universal. Es otra de las explicaciones construidas para tratar de entender el movimiento de los planeta, estudia matemáticamente el movimiento de los cuerpos celestes a partir de principios básicos, refuta la idea cartesiana de los torbellinos de éter de Descartes, para explicar el movimiento de los planetas en torno al sol, y uno de sus ejes orientadores es el sistema de las tres leyes de Kepler”

Emerge una nueva concepción del mundo, la unidad del universo ya no depende de una conformación geométrica de cuerpos o de un tejido sustancial que conecta los cuerpos y les comunica movimiento sino de un principio mucho más matemático y geométrico, la ley de gravitación universal.

Es posible interpretar de este fragmento, diciendo que los estudiantes logran reconocer las explicaciones previas y pueden relacionar los diferentes modelos explicativos y reconstruir el modelo explicativo de Newton.

4.Resultados y conclusiones

Con el desarrollo de la actividad se observa que estudiar el movimiento planetario, desde una perspectiva contemporánea de la historia (siguiendo, en la medida de lo posible, la construcción de los problemas y explicaciones) fundamenta la comprensión de los conceptos y teorías involucradas en las explicaciones.

Los aspectos que se resaltaron al finalizar la actividad, fueron:

a)Es importante tener en cuenta el papel de la duda y la invención, como factor creativo y constructor de rupturas epistemológicas, ontológicas, conceptuales, etc. y, no solamente, lo que supone tratamiento riguroso y controlado

b)Realizar actividades en las que se evidencien los “errores” de las ciencias, permite conocer los distintos caminos por donde

transitaron en su construcción. Muestra, además, el carácter humano de esta actividad. Muestra que los conocimientos no se construyen, con la aparente facilidad, con la que se pretende, que los estudiantes los adquieran.

c)Existe una cierta semejanza entre las explicaciones de los estudiantes y las concepciones históricas que han sido desplazadas por conocimientos hoy aceptados por las comunidades científicas.

d)El análisis histórico, muestra que el desplazamiento de un modelo explicativo por otro o los cambios conceptuales y metodológicos sucedidos en el devenir de las ciencias o de cualquier saber, no se suceden, de modo, fácil y rápido; por lo tanto es procedente pensar que, lo mismo, ocurrirá con los cambios en las concepciones y estructuras cognitivas de los y las estudiantes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. A. Acevedo y col, Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias,2(2),121-124 (2005).
- [2] M. Matthews., Revista de Enseñanza de las ciencias., 12(2).255-277 (1994)
- [3] J. Arevalo, Y. Torres, J. Ortiz, G. Lopez. Revista Científica y tecnológica Instituto Técnico Central ET. p. (2006).
- [4] J. Granes. Gramática de una controversia científica. Santa Fe de Bogotá. Unibiblos. (2001). pp. 2-25; 97-143
- [5] J. Arevalo, Y. Torres., en VIII Taller Internacional “La enseñanza de la física y la química” y I Taller “Enseñanza de las Ciencias Naturales”, ISBN 978-959-18-0575-1, (Matanzas ,Cuba 2010).
- [6] G. Bachelard. La formación del espíritu científico. México. Siglo XXI editores, pp. 8-9, 17-26 (1984)
- [7] T. Khun, La estructura de las revoluciones científicas, México. Ed. fondo de cultura económico. pp. 29,50,57-58,281,284. (2007)
- [8] J. Solbes. y M. Traver. Revista Enseñanza de las ciencias.19 (1), pp. 151-161 (2001)

LA ENSEÑANZA DEL CAMPO ELÉCTRICO DESDE LA CARACTERIZACIÓN INICIAL DEL CONOCIMIENTO DIDÁCTICO DEL CONTENIDO DE UNA PROFESORA DE SECUNDARIA

L. MELO[†], F. CAÑADA, V. MELLADO Y M. DÍAZ^A

Dpt. Didáctica de las Ciencias Experimentales y las Matemáticas. Facultad de Educación, Universidad de Extremadura, Badajoz, España. lv-melo@unex.es[†],

a) Colegio Santa María, Bogotá, Colombia. mdiaz175@cibercolegios.com

[†]autor para la correspondencia

Los trabajos desarrollados sobre la enseñanza del campo eléctrico tanto a nivel universitario como de secundaria, han centrado su atención en el desarrollo de propuestas innovadoras, sin incidir directamente en las formas predominantes en las que los docentes articulan su Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC). Este estudio analiza la caracterización inicial de este conocimiento, de un profesor de física colombiano de educación secundaria. Los resultados muestran los factores que median su modelo didáctico, y condicionan la manera cómo piensa la enseñanza de este tema: la interpretación que realiza sobre la relación entre la física y la matemática, el papel asignado al experimento dentro la enseñanza de la electrostática, y el valor asignado a la evaluación.

The investigations developed on electric field's teaching, both at university and secondary school have focused their attention on developing innovative approaches, but these don't affect the forms in which teachers articulate their pedagogical content knowledge (PCK). This study examines the initial characterization of this knowledge, of one high school Colombian physics teacher. The results revealed the factors that mediate her personal teaching model, and the factors that determine the way she thinks the teaching of this subject: her interpretation about the relationship between physics and mathematics, the role assigned to the experiment in teaching electrostatics, and the value assigned the assessment.

Palabras clave: Teacher training, 01.40.J-, Teaching methods in Physics education, 01.40.gb, Electric field electromagnetism, 41.20.-q.

INTRODUCCIÓN

Dos de las mayores dificultades habituales dentro de la enseñanza del concepto campo eléctrico en la secundaria colombiana, se centran en: la simplificación explicativa de tipo descriptiva-operacional [1, 2], de un cúmulo de fenómenos sobre los cuales poca referencia tiene el estudiante, y el fuerte énfasis que mantiene aún el currículo sobre la idea de acción a distancia tan poco usual en la física actual.

Este hecho ha privilegiado rutas de enseñanza que vinculan estrategias que parten siempre de la fenomenología más simple a la más compleja [3], esto es desde la electrostática a la electrocinética, olvidando el papel del campo eléctrico en este tránsito. Propiciar cambios sobre esta mirada implica una profunda revisión de los modelos de enseñanza que los profesores de física han construido a lo largo de sus experiencias en la práctica del aula, tanto en su formación inicial como en su etapa profesional. Cambios que tienen que partir del conocimiento y la reflexión de lo que el profesor piensa y hace en la enseñanza

de este concepto, contando con su participación activa en un proceso de reflexión metacognitiva [4].

El sustento fundamental del trabajo lo constituye el Conocimiento Didáctico del Contenido (CDC), que es nuestro punto de partida y el elemento de reflexión constante desde donde caracterizamos nuestro problema de investigación: ¿Cuál es el CDC inicial de los Profesores de Física de Educación Secundaria Colombianos sobre el Concepto Campo Eléctrico?

De acuerdo con Shulman (1986) el conocimiento didáctico del contenido (CDC) es desarrollado por los profesores para ayudar a otros a aprender, y es construido en tanto ellos enseñan tópicos específicos de su área de saber [5].

El CDC es entonces, un conocimiento con su propia estructura, fuentes, componentes, naturaleza y filtros que lo posibilitan [6] y, sobre todo, legitima a la enseñanza como una profesión.

Recientes investigaciones vinculan como elemento incluyente, dentro de las componentes que describen al CDC, el dominio afectivo y las emociones. Esto sugiere que los buenos profesores, además de destacarse por lo cognitivo, sus estrategias de enseñanza y su eficacia para lograr aprendizaje asertivo, están llenos, también, de actitudes y emociones positivas hacia sí mismos, hacia su trabajo y hacia sus alumnos [7].

Dentro de la gama de modelos que describen el CDC, en este estudio se ha asumido el propuesto por Friedrichsen et al. [8], por la ubicación asignada a las orientaciones sobre la enseñanza de las ciencias, elemento que permea e influye sobre las cuatro componentes del CDC; el conocimiento del currículo, de las estrategias instruccionales, de los estudiantes y de la evaluación.

DESARROLLO

La investigación se desarrolló con una profesora, licenciada en física, con edad de 26 años y experiencia docente de 5 años. La edad de sus estudiantes oscilaba entre los 17 y los 19 años.

Los procedimientos de recogida y análisis de datos que se utilizaron para caracterizar el CDC fueron entonces: a) un cuestionario de preguntas abiertas sobre lo que el profesor considera que son las estrategias de enseñanza en física y el papel de la planificación en el proceso de enseñanza-aprendizaje; b) el material curricular utilizado por los profesores; c) la plantilla dispuesta por De Pro [9] para realizar planificaciones; y d) la matriz diseñada por Loughran, Berry y Mulhall como representación del contenido (ReCo) [10], a la que se le realizaron algunas modificaciones en cuanto al número de preguntas y a la forma de seleccionar las ideas centrales sobre la enseñanza del campo eléctrico.

El estudio se configuró en tres fases: documentación, actuación y reflexión, donde la profesora debía desarrollar una tarea específica. En la primera fase se utilizaron los instrumentos a) y b). El objetivo era determinar el papel asignado por la profesora al ejercicio de planificación y la concepción predominante sobre la enseñanza y su articulación con las estrategias instruccionales que propone durante la enseñanza del campo eléctrico.

En la segunda fase, se le solicitó que efectuaran una planificación que involucrara la temática de análisis mediante la herramienta c). El formato, permite ver “la secuencia de actividades –y los materiales correspondientes– que el profesor utiliza en el desarrollo de una lección. Un buen punto de partida para conocer realmente los argumentos de los docentes, sus creencias y teorías” [11] tal como lo muestran, Friedrichsen et al. [8], Loughran, Berry y Mulhall [12], y Van der Valk y Broekman [13] en sus investigaciones, al hacer uso de las planificaciones de clase como herramienta para captar el CDC.

La tercera fase, tuvo como objetivo, indagar y poner de manifiesto, mediante la reflexión sobre su hacer, el conocimiento de la profesora en cuanto al currículo, la evaluación, las comprensiones de sus estudiantes frente a la electrostática, las es-

trategias de enseñanza y sus orientaciones sobre la ciencia. El instrumento d) se utilizó para este fin. Una matriz compuesta por filas y columnas que deben ser relacionadas. Las columnas contienen las ideas que son consideradas indispensables dentro de la enseñanza del tópico y las filas preguntas elaboradas que atienen a las componentes del CDC.

Cada etapa fue pensada dentro de la investigación cualitativa desde la perspectiva de la fenomenología hermenéutica.

El sistema de categorías de análisis considerado es tomadas directamente de las componentes del CDC del modelo seguido: 1) visión y propósitos sobre la enseñanza de las ciencias, 2) el conocimiento sobre el currículo en ciencias, 3) el conocimiento sobre las estrategias de enseñanza, 4) el conocimiento sobre los estudiantes y 5) el conocimiento sobre la evaluación.

RESULTADOS

Después de la codificación de cada uno de los instrumentos y la triangulación de la información, se construyó un perfil resumen de la profesora participante, atendiendo a nuestra pregunta problema. El perfil facilita la reducción de datos y proporciona una síntesis de los resultados por cada categoría [8], el cual se describe a continuación.

3.1 Visión y Propósito sobre la enseñanza de las Ciencias

La descripción de esta categoría se realiza desde dos subcategorías: Ideas sobre la física y el Campo Eléctrico, e Ideas sobre la Enseñanza y el Aprendizaje.

Ideas sobre la física y el Campo Eléctrico: Son cuatro los elementos que resultan relevantes para la profesora relacionados con el concepto de campo: fuerza eléctrica, cuerpo cargado, representación geométrica del espacio alrededor de un cuerpo cargado (geometrización del espacio), y la caracterización matemática del campo.

La profesora asume que el concepto de carga es uno de los elementos generadores y relevantes para poder abordar el concepto de campo, tanto es así que en la planeación anual que realiza, distribuida por bimestres, lo ubica como el tema principal del que se desprenden los otros elementos a trabajar durante el bimestre, aunque en su planeación la temática que mayor cobra importancia es la presentación de la ley de Coulomb y la intensidad del campo.

El fuerte énfasis realizado sobre la ley de Coulomb, se establece por su cercanía con la interpretación realizada en el caso gravitacional. Las investigaciones citan que esta interpretación no permite que los estudiantes establezcan diferencias conceptuales entre fuerza y campo eléctrico [14].

El carácter formal de física, dado desde sus procesos de formalización y matematización, juega un papel relevante dentro de su proceso de enseñanza, pues organiza varias sesiones alrededor de la aplicación de algoritmos y demostraciones, que

determinan la aparición de la representación de la intensidad del campo a partir de la fuerza eléctrica.

La actividad experimental se considera una estrategia para desarrollar en los estudiantes la observación, actitudes científicas, la curiosidad, la creatividad, entre otras dimensiones necesarias para la construcción de conocimiento [15]. El laboratorio lo asume como un lugar motivador donde se recrea lo que los científicos realizan en su cotidianidad, «toma mucha importancia al permitirle al estudiante OBSERVAR lo que la teoría plantea y captar su atención motivándolo hacia el tema». Ideas sobre la Enseñanza y el Aprendizaje: La profesora considera que aprender y enseñar física, tiene una fuerte relación con el lenguaje, bien sea verbal o escrito, por lo tanto centra su actividad en la exposición, actividades demostrativas o lecturas como recurso didáctico de aprendizaje, que se desarrollan de forma ordenada y clara, lo cual debe permitir posteriormente al estudiante aplicar lo visto en clase cuando se le colocan ejercicios propios de su libro de texto.

El libro de texto se convierte en un factor determinante, como apoyo y guía en el proceso de enseñanza. Es la fuente que provee los ejercicios o “problemas” que los estudiantes desarrollan en clase y justifica la organización de los contenidos.

Aunque conoce recursos como laboratorios virtuales, applets, y videos de corta duración, para la enseñanza del campo eléctrico, considera que no son del todo las representaciones más sencillas sobre el campo para sus estudiantes, lo cual constituye un verdadero problema en su enseñanza.

Los problemas o ejercicios que dispone en el aula cumplen una doble función, tienen un carácter aplicativo y evaluador, y a la vez suponen un medio para la adquisición de habilidades cognitivas.

3.2 Conocimiento del Currículo

Las estrategias que esta profesora describe como las más utilizadas en la enseñanza de la física se juxtaponen a las que considera para la temática campo eléctrico: laboratorios, explicaciones orales, resolución de ejercicios de lápiz y papel o virtuales.

Dentro de su diseño curricular, en su programación anual los objetivos formulados son genéricos y no explicitan las intenciones de aprendizaje para la electricidad. Sin embargo, la profesora ha conceptualizado cada objetivo (metas ocultas de aprendizaje), que están presentes en la planificación realizada en la fase 2, y son los parámetros que utiliza para evaluar. Estas metas ocultas aluden a contenidos de tipo conceptual y procedimental.

La organización de los contenidos siguen las disposiciones presentes en los libros de física general y a la estructura de los programas universitarios de electricidad y magnetismo. Se parte de la electrificación hasta llegar al campo, para después abordar lo referente a circuitos de corriente continua. Los

marcos teóricos desde donde contempla el programa, privilegian los campos vectoriales y la visión mecanicista.

3.3 Conocimiento sobre los Estudiante

La profesora comparte la idea de que “las tendencias didácticas que atienden a la perspectiva constructivista deben plantearse actuar sobre las concepciones alternativas de los estudiantes y propiciar el cambio epistemológico sin el cual no se puede producir el cambio conceptual” [16].

Sin embargo, encuentra grandes dificultades en identificar este tipo de aspectos. Añade que la construcción misma de la electricidad, le ha mostrado como los fenómenos que configuran la necesidad de la introducción de una mirada de campo eléctrico, no son del acontecer cotidiano inmediato del estudiante, por lo tanto la mayoría de las dificultades que sobre la comprensión de esta temática se construyan, dependen de la instrucción dada.

Menciona, además, que aspectos de tipo actitudinal como la repulsión que sus estudiantes mantienen frente a la matemática, y como el manejo, comprensión y uso de las expresiones formales de la física, siguen siendo uno de los factores que justifica los altos índices de fracaso escolar en esta temática. Por lo tanto, cree que se deben realizar mayores esfuerzos en cursos precedentes tanto en las asignaturas de física como matemáticas, para que el estudiante, al menos, tenga conocimientos sólidos sobre principios del álgebra vectorial y mejore su interpretación sobre el uso de algoritmos.

3.4 Conocimiento sobre las Estrategias de Enseñanza

Las concepciones didácticas de este profesor nos muestran “una tendencia mayoritaria a concebir la enseñanza como una actividad centrada en la explicación del profesor, con los contenidos como eje director de la dinámica de la clase y, controlada y dirigida por el profesor” [17], no obstante, al mismo tiempo es consciente de que las estrategias y las actividades varían dependiendo del grupo y las condiciones que se den en el aula a medida que se desarrolla la temática, o de las dificultades que pre-senten las mismas actividades que se propongan.

No hay una declaración que muestre el uso exclusivo de las actividades para este tema, o la idoneidad de su uso dentro de la enseñanza del campo eléctrico. Esto es, todos los ejercicios que propone, dentro del programa en física, mantienen los mismos objetivos generales de aprendizaje y pretenden desarrollar las mismas habilidades, lo único que cambia son los contenidos a los que hace alusión.

La poca reflexión sobre su conocimiento sobre “las estrategias dominio-específicas no le permite al profesor pasar de manera consciente de una estrategia a otra sin generar confusión en los estudiantes” [18].

La secuencia didáctica que plantea la profesora se extrae del análisis de los instrumentos b) y c). Parte de una introducción, luego disponen de un espacio para que el estudiante asimile el

tema y lo aplique, y finalmente se realiza una evaluación final de la unidad.

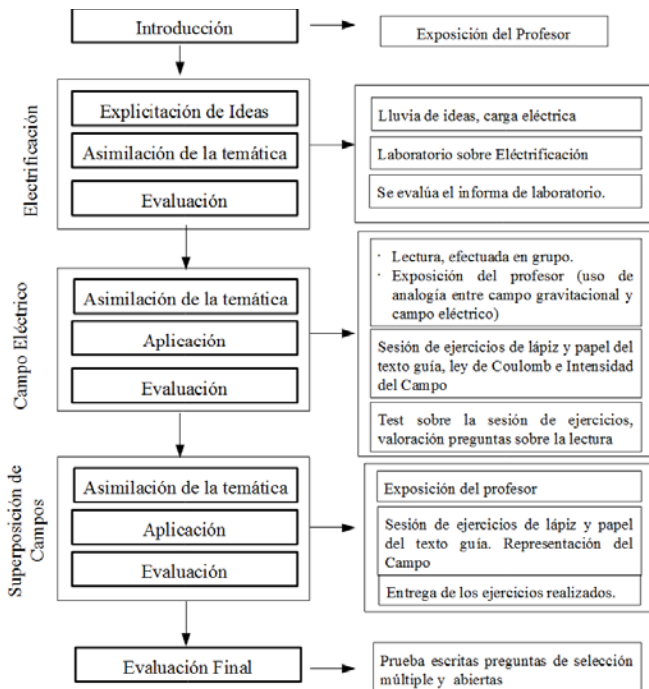


Figura 1: Secuencia de enseñanza y actividades propuestas para la enseñanza del campo eléctrico

La secuencia se compone de bloques sucesivos que describen las formas como la profesora planea la enseñanza de cada uno de los contenidos vinculados con la comprensión del campo eléctrico (figura 1). Los bloques constituyen microsecuencias de enseñanza que se repiten durante sus sesiones de clase, en las que el estudiante asimila la temática, la aplica y es evaluado.

3.5 Conocimiento sobre la evaluación

Para la profesora, la evaluación tiene las siguientes características: es continua, sumativa, y cumple una doble función; determinar si sus estudiantes han adquirido los conocimientos mínimos acordados desde los objetivos de aprendizaje dispuestos, y promover la autonomía de sus estudiantes frente al aprendizaje.

Los momentos de mayor relevancia dentro de su estrategia de evaluación, se deben a políticas institucionales: la coevaluación y la retroalimentación, por parte del profesor, de lo realizado a sus estudiantes. Dos espacios que requieren de la participación activa del estudiante y una profunda revisión de los objetivos de aprendizaje.

Utiliza diversos instrumentos y técnicas para evaluar, pues cree que la utilización conjunta da una mayor fiabilidad sobre su determinación frente al rendimiento de sus estudiantes. Atendiendo a los resultados y el propósito del estudio, la tabla 1 muestra los aspectos más significativos sobre el conocimiento didáctico del contenido de la profesora implicada en este análisis, su relación con la enseñanza del campo eléctrico, y cómo estos aspectos relatan apartes definitivos que caracterizan su instrucción.

Tabla 1 Aspectos del CDC y su relación con la Enseñanza del Campo Eléctrico		
Aspectos del CDC	Relación con la Enseñanza del Campo Eléctrico	Características de la Instrucción
Visión y Propósito sobre la Enseñanza de las ciencias.	Los marcos teóricos que sustentan la enseñanza del campo eléctrico son: el álgebra vectorial y la visión coulombiana de la electricidad.	Los contenidos de mayor énfasis durante la instrucción son la fuerza eléctrica e intensidad del campo.
	La matemática es considerada una herramienta para la física.	Durante la enseñanza se le atribuye una especial importancia a la aplicación de las ecuaciones y las relaciones que mantienen, así el estudiante no comprenda los conceptos vinculados.
Conocimiento del Currículo	Las metas de aprendizaje describen dominios generales dentro de la enseñanza de las ciencias.	Los contenidos conceptuales son considerados una excusa para el desarrollo de habilidades científicas.
Conocimiento de los estudiantes	Los estudiantes no tienen referentes inmediatos cotidianos sobre los fenómenos electrostáticos.	El profesor se encarga de presentar la información de manera detallada, ya que las dificultades que sobre la comprensión de esta temática se construyan, dependen de la instrucción dada.
Conocimiento sobre las estrategias de enseñanza.	No hay una declaración que muestre el uso exclusivo de las actividades para este tema, o la idoneidad de su uso dentro de su enseñanza.	Las actividades que se consideran más eficaces dentro de la enseñanza de la física son: clase magistral, laboratorios y la resolución de problemas.
Conocimiento sobre la evaluación	Diversos instrumentos y técnicas de evaluar, dan una mayor fiabilidad sobre el proceso de evaluación.	Se realizan actividades evaluativas de tipo grupal e individual.

CONCLUSIONES

La profesora considera que las actividades más eficaces en la enseñanza de la física son los ejercicios de lápiz y papel, la exposición por parte del profesor y los laboratorios, independientemente del paradigma que adopta sobre la enseñanza y el aprendizaje.

La lógica que articula la proposición de los contenidos, no tiene en cuenta las reflexiones que la profesora realiza sobre las necesidades y dificultades de sus estudiantes sobre el aprendizaje del campo eléctrico.

La estrategia de enseñanza que presenta el profesor refuerza la idea de que la matemática es una herramienta para la física, por lo tanto el estudiante debe adquirir con antelación una cierta cantidad de contenidos matemáticos para abordar un problema de estudio en física, sin previa justificación de su necesidad. Además, sugieren una orientación cercana al modelo de transmisión-recepción.

La definición de la evaluación se centra en los logros y habilidades que deben adquirir sus estudiantes. Sin embargo, no se puede asegurar que los métodos de evaluación empleados y la naturaleza del seguimiento sean compatibles con la instrucción planteada por la profesora.

Los factores que median su modelo didáctico personal son: la interpretación que realiza sobre el currículo institucional, el tiempo del que disponen para desarrollar la temática, la relación entre la física y la matemática y la consideración de las estrategias más eficaces para la enseñanza de la física.

Los resultados que hemos obtenido son sólo una imagen estática de la profesora, con relación a la enseñanza del campo eléctrico. Será necesario un estudio longitudinal que nos aporte

datos frente a la relación que mantiene de los distintos enfoques de enseñanza que vincula y el aprendizaje de sus estudiantes [19].

-
- [1] J. Martín y J. Solbes, *Enseñanza de las Ciencias*. 19 (3), 393-403 (2001).
 - [2] C. Furio y J. Guisasola, *Enseñanza de las Ciencias*. 19 (2), 319-334 (2001).
 - [3] L. Colombo de Cudmani, y P.A. Fontdevilla, *Enseñanza de las ciencias*. 8 (3), 215-222 (1990).
 - [4] V. Mellado, C. Ruiz, M.L. Bermejo, & R. Jiménez, *Science & Education*. 15(5), 419-445 (2006).
 - [5] S. K. Abell, *Handbook of Research on Science Education*, (S. K. Abell & N. G. Lederman, 2007), pp. 1105-1140
 - [6] E. Morín, *El método*. IV, Las ideas: su hábitat, su vida, sus costumbres, su organización. (1992) pp. 8-12
 - [7] V. Mellado, A. Garritz, y M. Brígido, en VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, editado por C. Azcárate y M. Izquierdo (*Enseñanza de las Ciencias*, Barcelona, 2009).
 - [8] P. Friedrichsen, S. Abell, E. Pareja, & P. Brown, *JRST*, 46(4), 357-383. (2009).
 - [9] A de Pro, *Enseñanza de las ciencias*, 17 (3), 411-429 (1998).
 - [10] J. Loughran, P. Mulhall, & A. Berry, *JRST*, 41 (4), 370-391 (2004).
 - [11] A de Pro, *Alambique*, 15, 18 (1999).
 - [12] J. Loughran, A. Berry, & P. Mulhall, *Understanding and Developing Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge*. (2006) pp. 185-218
 - [13] Van der Valk & H. Broekman, *EJTE*, 22 (1), 11-22, (1999).
 - [14] A. Llancaqueo, M. Caballero, y M. Moreira, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 25(4), 402 (2003).
 - [15] E. Machado, y Martínez, Las tareas experimentales en la enseñanza de la química, documento web (<http://www.monografias.com/trabajos24/experimento-quimico-docente/experimento-quimico-docente.shtml?monosearch>)
 - [16] J. Guisasola, *Análisis crítico de la enseñanza de la elec-trostática en el bachillerato y propuesta alternativa de orientación constructivista*, Memoria para optar al título de Doctor: San Sebastián. Universidad del País Vasco. (1996) pp. 104
 - [17] R. Porlán, A. Rivero, y R. Martín del Pozo, *Enseñanza de las ciencias*. 16(2), 274 (1998).
 - [18] E. Tamayo, y M. Orrego, *Revista Educación y Pedagogía*, Medellín. 17(43), 22 (2005).
 - [19] V. Mellado, *Revista de Enseñanza de la Física*. 11(2), 31 (1998).

UNA MODELACIÓN DIDÁCTICA PARA PROMOVER LA CULTURA SÍSMICA EN EL CURSO DE FÍSICA GENERAL

L. M. MÉNDEZ PÉREZ^A

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente,
Cuba. lmendezp@cnt.uo.edu.cu

La educación ambiental es el resultado de una reorientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas que facilitan la percepción integrada de los problemas del medio ambiente, haciendo posible una acción más racional y capaz de responder a las necesidades sociales.

Los Sismos son fenómenos geológicos de carácter repentino que ocurren producto de la liberación súbita de la energía acumulada en una zona en el interior de la Tierra, causado por un deslizamiento brusco de la corteza sobre una falla, los que se pueden explicar por El Movimiento Oscilatorio y Ondulatorio de los cursos de Física General. Por tanto es factible desde el propio proceso de instrucción al explicar el curso de Física General propiciar la educación ambiental. Por lo que se pretende mostrar una modelo didáctica que permita desde la física aumentar la cultura ambiental, sísmica de los alumnos, desde un enfoque científico, aspecto de vital importancia en la zona sísmogénica de Santiago de Cuba.

Environmental education stems from a reorientation and articulation of diverse disciplines that make easy the perception integrated of the problems of environment, making a more rational and capable action to respond to social needs and educational experiences.

The Seisms are geological phenomena of sudden character that occur accumulated product of sudden liberation of energy at a zone in the inside of the Earth, caused for a sudden slide of the crust on a fault similar of The Oscillatory and Wave Motion of the Physical General's courses. Therefore it is feasible from the own process of instruction when explaining Physical General's course to propitiate environmental education. That intends to evidence a didactic model itself that it permit from the physics increasing the environmental, seismic culture of the pupils from a scientific focus,, vitally important aspect at the sismogenic's zone of Santiago de Cuba.

Palabras clave: General 01.55.+b, Sismología 91.30.-f, Propagación de ondas 94.20.Bb

INTRODUCCIÓN

El Medio Ambiente se considera como el entorno que afecta y condiciona especialmente las circunstancias de vida de las personas o la sociedad en su conjunto. Incluyendo los valores naturales, sociales y culturales existentes en un lugar, en un momento determinado, que influyen en la vida del hombre. Los fenómenos naturales pueden afectar seriamente a un escenario expuesto en la medida en que no se conozca adecuadamente el peligro y la susceptibilidad que presenta éste ante ellos.

Por ello ya, desde la Conferencia Intergubernamental de Tbilisi en el año 1977 se consideró como algo de gran valor patrimonial la educación ambiental planteándose [1] que: "La educación ambiental es el resultado de una reorientación y articulación de las diversas disciplinas y experiencias educativas que facilitan la percepción integrada de los problemas del medio ambiente, haciendo posible una acción más racional y capaz de responder a las necesidades sociales". En el Congreso sobre Educación y Formación Ambiental, Moscú 1987, se definió a ésta [2] como: "...un proceso permanente en el cual

los individuos y las comunidades adquieren conciencia de su medio y aprenden los conocimientos, los valores, las destrezas, la experiencia, y también la determinación que les capacitará para actuar individual y colectivamente, en la resolución de los problemas ambientales presentes y futuros".

Al ser Santiago de Cuba una zona sísmogénica típica, la educación ambiental ante la peligrosidad sísmica de la misma es de gran valor para capacitar a los individuos y al colectivo a actuar de una manera consecuente y con ello evitar mayores perjuicios.

La Física como ciencia natural y exacta estudia las formas más simples y generales del movimiento de la materia bajo la acción de los diversos campos de interacción, por tanto es factible desde el propio proceso de instrucción al explicar los cursos propiciar la educación ambiental. En el presente artículo se pretende mostrar una modelación didáctica desde el punto de vista de la física de la zona simogénica de Santiago de Cuba con el fin de

aumentar la cultura ambiental, sísmica de los alumnos, desde un enfoque científico.

ALGUNAS CONTRIBUCIONES DE LA FÍSICA AL DESARROLLO DE LA CULTURA SÍSMICA

En los cursos de Física General el sistema de conocimiento suele clasificarse en los campos: Mecánica, Termodinámica, Electromagnetismo, Óptica y Física Moderna (Física Atómica, Nuclear y del Estado Sólido)

Entre los temas de la Mecánica de los cursos de Física General están:

- 1.El Movimiento Oscilatorio
- 2.El Movimiento Ondulatorio

Por otra parte es conocido[3]:

1.Los Sismos, Temblores o Terremotos son fenómenos geológicos de carácter repentino que ocurren producto de la liberación súbita de la energía acumulada en una zona en el interior de la Tierra.

2.Las zonas sismogénicas son las zonas o regiones de la corteza terrestre donde se producen periódicamente sismos, como es la de Santiago de Cuba. Si los terremotos ocurren en fallas geológicas son llamados tectónicos.

3.Un terremoto es causado por un deslizamiento brusco de la corteza sobre una falla.

El sistema de conocimiento presentado de la Mecánica de los cursos de Física General es posible vincularlo de manera directa con los fenómenos sísmicos, mediante la modelación de estos fenómenos naturales con dicho sistema de conocimiento; lo que puede contribuir en el marco de la extensión intrauniversitaria, por ejemplo en los mismos cursos de física general que se imparten a los alumnos de la propia carrera de Física, como a las de las otras ciencias naturales e ingenierías a:

- 1- Fomentar actitudes positivas de los alumnos hacia la Física.
2. Comprender mejor la materia científica, dentro del campo de la Física.
- 3- Atenuar el dogmatismo con que se presenta la Física en las aulas.
- 4- Sugerir metodologías y vías de modelar fenómenos naturales.
- 5- Mostrar la relación física-técnica-sociedad.
- 6- Comprender la naturaleza.
- 7- Elevar la cultura sísmica.

MODELACIÓN DIDÁCTICA

Esta modelación busca la interrelación entre el sistema de conocimiento físico impartido en la asignatura de Mecánica en el tema de Oscilaciones y Ondas con conocimientos sismológicos y a su vez la interrelación de los conocimientos teóricos impartidos en las conferencias con el desarrollo de habilidades

de cálculo, modelación y explicación que se desarrollan en los seminarios y clases prácticas, como se muestra en el esquema (ver figura 1).

Para lograr lo propuesto en el esquema se interrelacionan entre sí los sistemas de conocimientos básicos, tanto del tema de Oscilaciones y Ondas del curso de Mecánica con los de la Sismología partiendo de una modelación física, muy simple de los sismos, comentada en las conferencias y un sistema de ejercicios y problemas a resolver en las clases prácticas y promoviendo una discusión en seminarios.

1.Sistema de conocimiento de la Mecánica

a) Movimiento Oscilatorio

- Energía de las oscilaciones.
- Frecuencia de las oscilaciones.
- Amplitud de las oscilaciones.

b) Movimiento Ondulatorio

- Ondas transversales y longitudinales.
- Velocidad de propagación de las ondas.
- Frecuencia y longitud de onda.
- Energía de las ondas.

2.Sistema de conocimiento de Sismología

•Los sismos como un deslizamiento brusco de la corteza terrestre sobre una falla. Las fuerzas en la corteza, presionan ambos “lados” de la falla, mientras que la fricción la mantiene juntas hasta que la tensión acumulada es suficiente como para vencer dicha fricción, y hacer que ambos lados de la falla se deslicen bruscamente, liberando energía en forma de ondas.

•Los sismos se clasifican según el esfuerzo principal en los diferentes tipos de fallas, entre ellas, las fallas de cizalla (ver figura 1), típica de la zona sismogénica de Santiago de Cuba, en la que una se desliza por la superficie lateral de la otra.

•Magnitud de la energía que se libera durante la ocurrencia de un sismo y que se registra en forma de ondas en las Estaciones Sismológicas en dependencia de la amplitud y periodo de esta. La más conocida es la escala Richter. La magnitud del sismo en la escala Richter se define como:

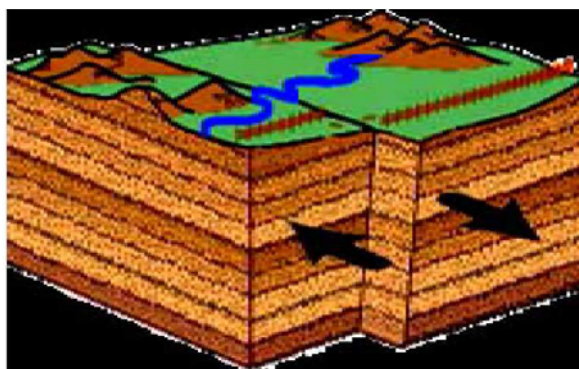


Figura. 1 Fallas de cizallamiento

$m = \frac{1}{2} \log_{10} \mathcal{E}$ siendo $\mathcal{E}$ la energía liberada en el deslizamiento de las fallas.

Esta magnitud se plantea por Sears et al.[4] que puede expresarse por la ecuación:

$$m = \log_{10} \left(\frac{Y_0}{T} \right) + B$$

siendo B una constante empírica que depende de la distancia de la estación sismológica que registra el sismo y su foco.

Con los elementos de los sistemas de conocimientos básicos de las Oscilaciones y Ondas, por una parte y del correspondiente a la Sismología expuestos anteriores se podría hacer una modelación en aproximación cero bajo las siguientes consideraciones:

- 1-Las placas que se unen en una falla de cizalla son partículas de masa m_1 y m_2 .
- 2-Dichas placas se conectan entre sí mediante un resorte de constante elástica K.
- 3-El deslizamiento de una placa sobre la superficie lateral de la otra, se refleja en la compresión o alargamiento del resorte.
- 4-La compresión o estiramiento del resorte conlleva a la acumulación de una energía potencial.
- 5-Cuando el resorte regresa a la posición original, entonces esa energía se libera, al oscilar el resorte.
- 6-Oscilaciones que se propagan por el medio en forma de una onda mecánica.

Lo expresado en las condiciones (1-3) (ver figura 2).

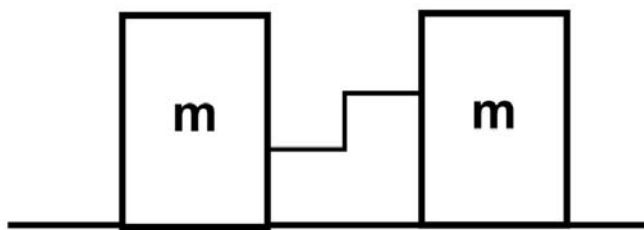


Figura 2. Modelo simple del movimiento de las fallas

En concordancia con la condición (4) se acumula una energía potencial que es la liberada cuando el resorte regresa a su posición original o a alguna otra cualesquiera, esa energía al liberarse se propaga en forma de una onda mecánica a través de las propias placas, que constituyen la falla, onda cuya amplitud y velocidad de propagación dependen de la constitución del terreno. De esta forma, la percepción de la intensidad del sismo depende del tipo de suelo sobre el cual nos encontremos, esto se llama efecto de sitio. La arena y roca poco consolidadas amplían las ondas, por lo que se siente más fuerte el sismo que en un basamento rocoso. Ya que la velocidad de propagación de la onda sísmica depende de la densidad media del terrero y de su módulo volumétrico de elasticidad (ver figura 3).

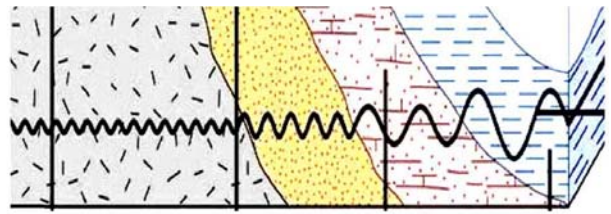


Figura 3 Propagación de la onda sísmica

Este sistema de conocimiento es impartido en las conferencias y basándose en la modelación física anterior, para las clases prácticas y seminarios se puede prever la ejercitación de las habilidades de cálculo y de explicación con un sistema de ejercicios similar al propuesto.

•Generalmente en los sismos ocurridos en nuestra falla de Santiago de Cuba, el Servicio Sismológico de los Estados Unidos al dar la magnitud del Sismo su valor es una décima por encima del resultado del Centro Nacional de Investigaciones Sismológicas sito en la carretera de Siboney. Por ejemplo en el sismo del 20 de marzo del 2010 a las 2:08 pm el CENAIIS dio el dato de 5,5 en tanto el de los Estados Unidos reporto 5,6. ¿Por qué usted cree que existe esa diferencia?

•El 20 de marzo del 2010 a las 2:08 pm (18:08 UTC) a 20 km al sur de la Playa de Sigua y a una profundidad de 10 km ocurrió un sismo de magnitud 5,5 en la escala de Richter según el reporte del CENAIIS.

¿Qué energía se libero en ese sismo?

•Las ondas sísmicas S tienen una velocidad de propagación de aproximadamente 6400 m/s.

¿Qué longitud de onda tiene una onda S cuyo periodo es de 2,0 s?

Calcule la magnitud m Richter del sismo que produjo la onda S del inciso anterior, si un sismómetro localizado a una distancia de 10 000 Km del epicentro detecta oscilaciones de amplitud , a esa distancia $B = 6,8$.

CONCLUSIONES

El modelo propuesto permitió diseñar dentro del tema de oscilaciones y ondas del curso de Mecánica de la Física General un sistema de clases consecutivas de conferencias, clases prácticas y seminarios en que a la par de los estudiantes ir recibiendo el sistema de conocimientos propios de la asignatura se iban incluyendo otros relacionados con la sismología, a modo de ejemplos concretos y prácticos en un momento en que la actividad sísmica de la ciudad en que está enclavada la ciudad era alta.

Con esto se logró una reorientación y articulación de la disciplina y experiencias educativas que facilitan la percepción integrada de los problemas del medio ambiente, en particular de los sísmicos, elevando la cultura de los alumnos en este sentido.

-
- [1] UNESCO. La Educación Ambiental: Las grandes orientaciones de la Conferencia de Tbilisi.-Paris, 1980...pág. 73.
- [2] Congreso Internacional sobre Educación y Formación Ambiental "Diez Años después de Tbilisi", Moscú, 1987.
- [3] T. J. Chuy Rodríguez Conferencia "Sismicidad y peligro sísmico", Universidad de Oriente, 22 de marzo del 2010.
- [4] F. Sears, M. Zemansky., H. Young., A. Freedman . Física Universitaria, novena edición volumen I Parte II, Capítulo 19, Editorial Félix Valera, La Habana, Cuba, 2008.
- 

¿QUÉ TAN RÁPIDOS SON LOS SENTIDOS?

L. R. MOREJÓN-HERNÁNDEZ, A. RODRÍGUEZ-MANSO, O. CALZADILLA^A

Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas; lmorejon@instec.cu†

†autor para la correspondencia

a) Facultad de Física, Universidad de la Habana.

Se propone un método de medición del tiempo de respuesta de una persona mediante una computadora como problema útil para prácticas introductorias de laboratorio. Como parte del proceso de medición es necesario determinar las incertidumbres, para lo cual presentamos un análisis y proponemos un método (Imitación Rítmica) para lidiar con la incertidumbre inherente al instrumento usado. Se muestran mediciones realizadas usando un software sencillo de nuestra autoría, y el correspondiente cálculo de las incertidumbres mostrando concretamente los métodos propuestos. Creemos que este sencillo problema pudiera usarse para introducir a estudiantes de física en conceptos relativos a la medición, ya que, por ser diferente a los usuales experimentos físicos, permite la discusión y reflexión en una situación algo diferente.

We propose a way for measuring a person's response delay using a computer. We present an analysis of the uncertainties inherent to the computer, and propose a method (Rhythmic Imitation) for dealing with them. Measurements are made using a simple software created by us, and processed as discussed. We think this simple problem could be used for introducing physics students into the concepts relative to measurement, allowing discussion within a rather different situation.

INTRODUCCIÓN

En la formación de un físico el trabajo de laboratorio es fundamental, como bien se conoce. Por eso, la comprensión y asimilación de conceptos como el de medición, incertidumbre, calibración, etc., debe atenderse especialmente, invitando a la reflexión, partiendo del razonamiento. Es muy interesante en este sentido los trabajos de las ref. [1,2,3].

Por otra parte, en pocas ocasiones puede el estudiante estar en contacto con el proceso de diseño de una práctica de laboratorio, por diversas razones. Pero sería muy provechoso realizar una práctica presentada como un problema de determinación de un valor experimental, donde tuviera que analizar qué quiere medir, como hacerlo, cómo procesar los datos, etc. Claro que esta práctica debería estar preparada de modo que su desarrollo fuera guiado por un profesor, conduciendo las ideas.

En este trabajo presentamos un problema sencillo que bien podría usarse para una práctica de este tipo: la medición del tiempo de respuesta de una persona usando una computadora. Como no requiere de ninguna especificidad técnica, se elimina la necesidad de conocimientos particulares sobre un instrumento, y permite centrar la discusión en lo conceptual. Discutimos las incertidumbres inherentes al uso de este instrumento no diseñado especialmente para la medición precisa del tiempo, y cuyas características temporales, en general, desconocemos.

DISCUSIÓN DEL MÉTODO

El tiempo de respuesta t_r de una persona ante una señal externa depende del tipo de esta señal y de la respuesta involucrada. Lo más sencillo en nuestro caso es generar señales auditivas y visuales y medir como respuesta el presionar una tecla. Para esto escribimos un programa sencillo en Delphi, capaz de generar sonidos y mostrar cuadros de colores, recibir eventos del teclado y registrar los intervalos de tiempo entre estos dos instantes. La generación de señales se realiza de modo aleatorio, con el objetivo de que la persona no pueda anticiparlas.

Ahora el intervalo medido t_m de esta manera será el tiempo de respuesta de la persona sólo en el caso de que pueda desprejiciarse el tiempo de demora de la computadora (en generar la señal y en registrar el evento de teclado). ¿Podrá desprejiciarse ese tiempo? Y en caso de que no, ¿cómo determinamos en este caso el tiempo de respuesta? Para estimarlo usamos lo que llamamos Imitación Rítmica: El objetivo es realizar mediciones en las cuales se manifieste solamente el tiempo retardo t_d de la computadora. Para eso suponemos que este tiempo es el mismo bajo condiciones de trabajo similares. Entonces generamos señales con cierta periodicidad de modo que una persona (no necesariamente la que realiza las mediciones) pueda reproducir el ritmo. De esta manera obtenemos los instantes en que se generan las señales y en los que se pulsan las teclas, como

muestra la Figura 1. En general la persona no será capaz de reproducir exactamente el ritmo, pero en media sí. Esto significa que el valor medio de los Δt_k mostrados en la figura debe ser cero, en el caso ideal de que no hubiera tiempo de retardo. Pero en caso de que el tiempo de retardo no sea nulo, la medida de su valor es el promedio de estos Δt_k , y la desviación estándar de estos, la incertidumbre del valor determinado.

Una vez obtenido el valor del tiempo de retardo, el tiempo de respuesta de la persona será:

$$t_r = \langle t_m \rangle - \langle t_d \rangle$$

y su incertidumbre u_{tr} , a partir de la incertidumbre de los valores medidos según ref. [4]:

$$u_{tr} = \sqrt{\sigma_{tm}^2 + \sigma_{td}^2}$$

donde σ_{tm} y σ_{td} son respectivamente las desviaciones estándar de los valores medidos de t_m y t_d .

RESULTADOS

Primero veamos los tiempos de retardo de la computadora usada. Mostramos en las Figuras 2 y 3 los histogramas correspondientes a los Δt_k para las señales visuales y auditivas respectivamente. En cada caso se realizaron 100 mediciones, y se obtuvo (21 ± 33) ms de tiempo de retardo en las señales visuales y (14 ± 14) ms en el caso de las auditivas. Como puede verse los valores de tiempo de retardo obtenidos son pequeños y las desviaciones estándar relativamente grandes. Sin embargo estos no son despreciables en relación a los tiempos de respuesta medidos.

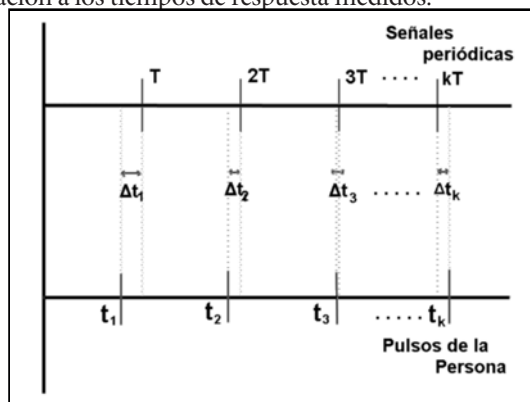


Figura 1. *Imitación Rítmica*. Instantes en que ocurren las señales periódicas y los pulsos de teclado

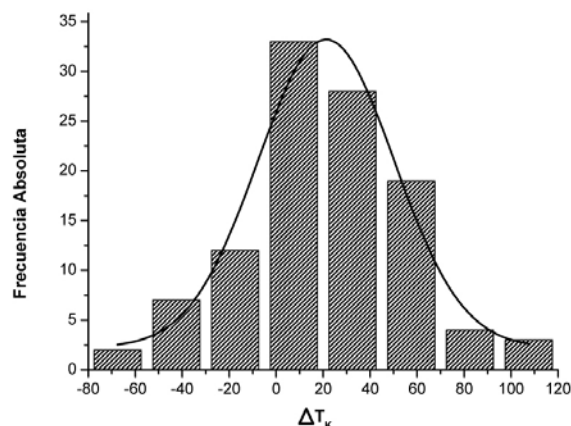


Figura 2. Mediciones hechas para el tiempo de retardo en el caso de señales visuales.

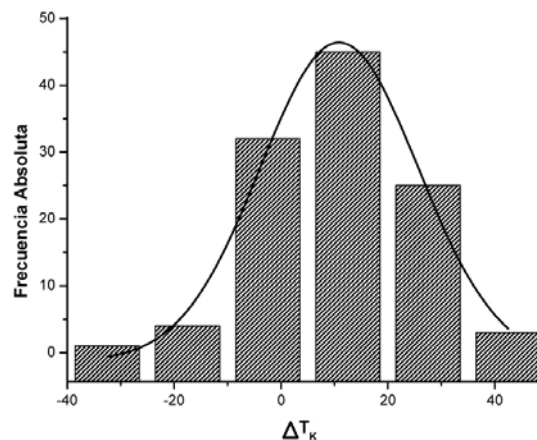


Figura 3. Mediciones hechas para el tiempo de retardo en el caso de señales auditivas.

En la Tabla I mostramos los tiempos de respuesta obtenidos al medir a 9 personas. Se realizaron 20 mediciones para cada persona, para cada tipo de señal. Las incertidumbres fueron calculadas según mencionamos anteriormente, usando las desviaciones estándar de los tiempos de retardo correspondientes ya presentados. Como puede verse la precisión de las medidas no es óptima, y depende de la dispersión de los valores medidos en cada caso; realizando suficientes mediciones, puede lograrse una incertidumbre relativa entre el 15% y el 20 %. Pero para el objetivo de ilustrar el papel del instrumento y el del físico en la medición de magnitudes, es suficientemente adecuado.

CONCLUSIONES

Hemos presentado un problema sencillo que puede usarse en la docencia para introducir los conceptos relativos al proceso de medición mediante la discusión de sus aspectos. Tiene la ventaja de no precisar de instrumentos específicos, sino de una computadora arbitraria, lo que a la vez presenta un punto de partida a discutir con los estudiantes ¿cómo caracterizar mi instrumento de medición? Para lo cual proponemos un método: *Imitación Rítmica*. Este marco inmediatamente llevaría al debate sobre la fiabilidad de los instrumentos, el papel de la calibración, la veracidad de un valor experimental, significado de la incertidumbre y su cálculo, etc. Consideramos que puede realizarse un buen práctica docente a partir de este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo surgió a partir de un problema propuesto por el profesor Octavio Calzadilla (Univ. de La Habana) durante el curso de posgrado "Procesamiento Estadístico de Datos" impartido por él. Le agradecemos el intercambio de ideas y el apoyo.

Tabla I: Mediciones de tiempos de respuesta e incertidumbres para las señales auditivas y visuales (ms).

Personas	Visuales	Incert.	Auditivas	Incert.
1	205	46	220	49
2	257	62	232	39
3	234	43	217	36
4	239	42	303	46
5	199	47	-	-
6	203	39	223	28
7	250	39	194	22
8	239	45	233	39
9	194	46	210	37

[1] A. Buffler and S. Allie, F. Lubben and B. Campbell, "Introduction to Measurement in the Physics Laboratory" ver. 3.5, University of Cape Town, South Africa (2006).

[2] L. Kirkup and R. B. Frenkel, An Introduction to Un-certainty in Measurement. (Cambridge University Press, Cambridge, 2006).

[3] S. Allie, A. Buffler, B. Campbell, D. Evangelinos, F. Lubben, D. Psillos and O. Valassiades. "Teaching measurement in the introductory physics laboratory." The Physics Teacher 41 7(2003) 394-401.

[4] Working Group 1 of the Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG 1), "Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement", First edition September (2008).



MODELO TEÓRICO PARA CONCEBIR LAS CLASES DE FÍSICA SEGÚN LA ORIENTACIÓN SOCIOCULTURAL DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

LUIS H. SOSA, WUILLMER TÉLLEZ^a, ANA E AGUILAR^b Y GUALBERTO BAZÁN^c

Coordinador de la carrera Física Matemática Filial Universitaria Pedagógica. Jobabo. Las Tunas jobabo@ucp.lt.rimed.cu

a) Subdirector Filial Universitaria Pedagógica. Jobabo. Las Tunas, wilmer @ucp.lt.rimed.cu

b) Secretaria Docente Filial Universitaria Pedagógica. Jobabo. Las Tunas, jobabo@ucp.lt.rimed.cu

c) Coordinador de la carrera Informática Filial Universitaria Pedagógica. Jobabo. Las Tunas, jobabo@ucp.lt.rimed.cu

Como parte de la Revolución Educacional y para dar tratamiento a las problemáticas que se presentan en el proceso de enseñanza aprendizaje de la física en el preuniversitario, se ha decidido concebir los nuevos programas de estudios teniendo en cuenta la orientación didáctica "La Orientación Sociocultural de la Educación Científica", de ahí que la preparación de los profesores de esta asignatura para concebir las clases según las ideas que fundamenta dicha orientación constituye una prioridad. Es por ello que el diseño de un modelo teórico en el cual se integren los aspectos esenciales a tener en cuenta para explicar a los docentes como concebir las clases de física según estas ideas constituye el objetivo de nuestra investigación. Para ilustrar como funciona el modelo y lograr una mayor comprensión por los docentes tomamos ejemplos del programa de estudio del onceavo grado. Además definimos dimensiones e indicadores que nos permitieron valorar la efectividad y viabilidad del modelo para cumplir el objetivo propuesto, delimitando los aspectos menos comprendidos por la muestra de profesores escogidos.

As part of the Educational Revolution to give treatment to the problematical that it presents in the teaching learning process of the physics in the senior high school students, It has been decided conceiving the new curriculum taking into account the didactic guidance "the guidance of the Sociocultural Scientific Education" the preparation of the teachers at this subject of study to conceive lessons according to the ideas that bases the aforementioned guidance constitutes a priority. A design of the theoretical model in which integrate the essential aspect to take into account to explain to the teachers like conceiving the lessons of physics, according to these ideas it constitutes the objective of our investigation. In order to illustrate as the model function and achieving a bigger understanding for teachers taking examples of the syllabus of eleventh grade. Besides we defined dimensions and indicators that allowed us to evaluating the effectiveness and viability of the model to fulfill the objective proposed, delimiting the less understood aspects by the sample of teachers

Palabras clave: Proceso de enseñanza aprendizaje, orientación sociocultural, educación científica

INTRODUCCIÓN

Uno de los retos del Sistema Educativo Cubano, es tener en cuenta en los nuevos planes y programas de estudios, el desarrollo científico tecnológico alcanzado por la humanidad y su influencia en el desarrollo de una cultura general integral en los educandos.

En tal sentido, la Educación Preuniversitaria ha transformado los programas y planes de estudios de las diferentes asignaturas, no solo en la introducción de modernos medios de enseñanza, sino en la actualización de los contenidos y la didáctica para impartirlas.

En la asignatura de Física para dar tratamiento a esta y otras problemáticas existentes en la enseñanza aprendizaje en este nivel de educación, se exige desarrollar los programas según

La Orientación Sociocultural de la Educación Científica¹.

De ahí que es de gran importancia la preparación de los profesores de esta asignatura, para preparar las clases sobre la base de esta orientación didáctica, esto ayudaría a elevar la calidad del proceso de enseñanza.

En la actualidad se ha precisado con claridad las ideas centrales que fundamentan el proceder de los docentes teniendo en cuenta una Orientación Sociocultural de la Educación Científica^{2, 3, 4, 5}, desde diferentes contenidos de los programas de estudios para dar tratamiento a dicha orientación^{6, 7} y los aspectos para concebir las contenidos en secundaria básica teniendo en cuenta estas ideas⁸, sin embargo es insuficiente el tratamiento dado para explicar cómo desarrollar las clases teniendo en cuenta estas

nuevas orientaciones, si sabemos que la clase es la forma fundamental de organizar el proceso de enseñanza aprendizaje, las nuevas precisiones, no solo implican una actualización de los contenidos en los programas de estudio vinculados al desarrollo científico tecnológico alcanzado por la sociedad y los problemas globales que lo afectan, sino una forma novedosa de impartir las clases rompiendo con el tradicionalismo persistente en los docentes, a pesar del esfuerzo y los estudios realizados en el campo de la didáctica de la física para elevar la calidad de la enseñanza aprendizaje de esta asignatura.⁹

Es por ello que nos propusimos diseñar un modelo teórico que recoja los aspectos esenciales a tener en cuenta para explicar como concebir las clases de física según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica y con ello propiciar el modo de actuación de los profesores según esta orientación.

ASPECTOS ESENCIALES DEL MODELO TEÓRICO

Al realizar una sistematización de las ideas fundamentales que sustenta el modo de actuación de los docentes en la clase de física según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica^{2,3,4,5}, nos percatamos que eran poco comprendidos los aspectos abordados en relación con el tema, teniendo en cuenta lo novedoso y revolucionario de estas ideas, que implican una actualización por parte de docentes con experiencias de algunos contenidos incluidos en los programas y el cambio radical de una concepción de aprendizaje centrada en la transmisión, recepción de conocimiento, por una nueva que centra su atención en la participación activa del estudiante en la búsqueda del conocimiento, destacado sus carencias y potencialidades, donde el profesor se convierte en una especie de tutor, que brinda las herramientas necesarias a los estudiantes para dar solución a las problemáticas que se les presentan las clases.

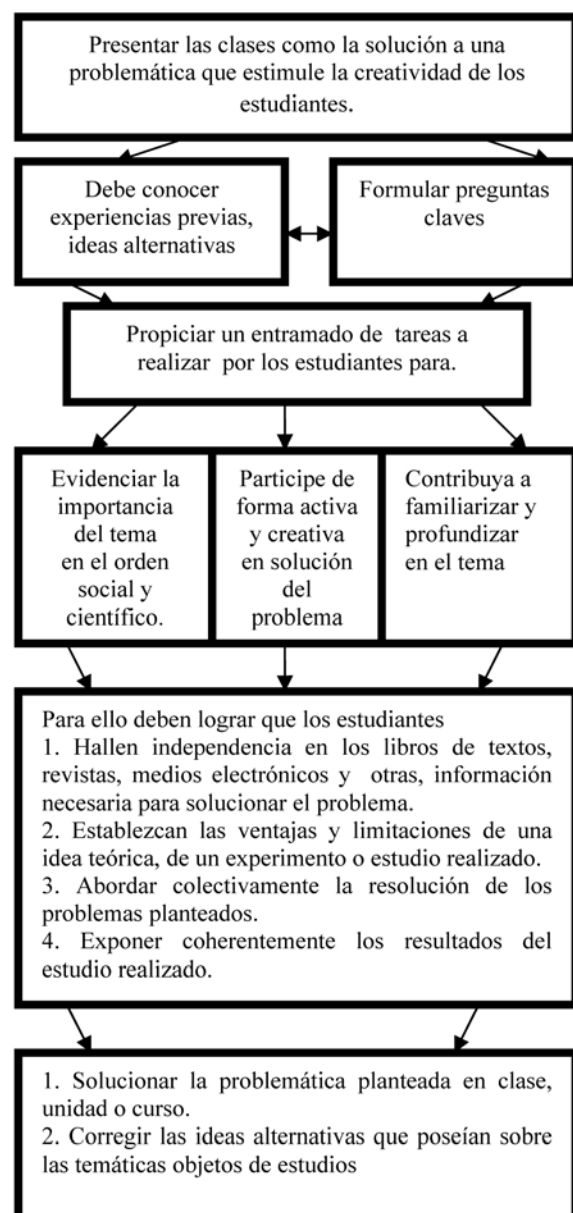
Este modelo parte de la idea de concebir las clases como la solución a una problemática que despierte el interés y estimule el desarrollo de la creatividad de los estudiantes.

Si tomamos como ejemplo la siguiente problemática del programa de estudio de oncenso grado^{10,11},

¿Bajo qué condiciones las actuales tecnologías energéticas, basadas en la quema de combustibles fósiles, pueden contribuir a la satisfacción de la creciente demanda de la sociedad para el desarrollo garantizando su sostenibilidad?

Para ello el profesor debe conocer las experiencias previas que poseen los estudiantes, así como las ideas alternativas sobre los contenidos tratados en grados o clases anteriores, que les permita tener una mayor comprensión sobre los contenidos de las problemáticas a tratar en las clases.

Figuras.1 Modelo teórico para concebir la clase según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica.



Ejemplo de experiencias previas: De grados anteriores dominan, el concepto de energía. Las formas básicas de energía; energía cinética y potencial. Vías, procesos o mecanismos de transmisión de la energía; trabajo, intercambio de calor y radiaciones térmicas, Forma de obtención de energía, Fuentes de energía; renovable y no renovable. La necesidad de la eficiencia energética. Ahorro de energía y preservación del medio ambiente.

Ejemplo de ideas alternativas: Identificar calor con trabajo. Considerar que la temperatura mide la cantidad de calor que tiene un cuerpo, piensan que el calor y el frío son dos fluidos materiales y opuestos, asignan un carácter sustancial al calor, identifican el trabajo y la energía; son procesos distintos y Confunden las fuentes de energía con sus tipos.

Teniendo en cuenta estos aspectos se formulan preguntas claves en cuyas respuestas están los conocimientos que deben poseer los estudiantes para dar solución a la problemática planteada.

Ejemplo

Pregunta No 1:

¿Cuáles son las principales fuentes de energía?

Para poder responder esa pregunta el estudiante debe conocer: Las Fuentes de energía, fuentes renovables y no renovables y los combustibles fósiles.

Con el objetivo de responder estas preguntas se les plantean un entremados de tareas a realizar por los estudiantes que contribuyan a evidenciar la importancia del tema objeto de estudio en el orden científico y social, la familiarización y profundización en el tema y la participación de forma activa y creativa en la solución de la problemática; es decir propiciar que el estudiante elabore proposiciones, diseñe modelos físicos y matemáticos, participe en diseños experimentales, se plantee hipótesis y soluciones a problemas de la vida práctica.

Ejemplo

Tarea No 1 Mencione algunas actividades humanas relacionadas con el aprovechamiento de la energía térmica.

Tarea No 2 Relacione algunas de las consecuencias que traería para el medio ambiente y la salud de las personas, del uso de las tecnologías para el aprovechamiento de la energía térmica.
Tarea No 3 ¿Por qué se afirma que las demandas de energía son crecientes y constituyen un problema global?

Para dar respuesta a esta tarea los estudiantes deben recolectar datos de la prensa, revista, programas de televisión, la computadora y otras fuentes de información existentes en el municipio o provincia acerca de:

- Crecimiento de la demanda y la extracción de petróleo, gas natural y carbón.
- Crecimiento de la población mundial.
- Consecuencias medioambientales.

Para lograr los aspectos anteriores el profesor debe lograr que los estudiantes

1. Hallen independencia en los libros de textos, revistas, medios electrónicos y otras, información necesaria para solucionar el problema.
2. Establezcan las ventajas y limitaciones de una idea teórica, de un experimento o estudio realizado.
3. Abordar colectivamente la resolución de los problemas planteados.
4. Exponer coherentemente los resultados del estudio realizado.

Esto debe permitir que los mismos den solución a las problemáticas planteada en clases, la unidad y el curso y corrijan las ideas alternativas que poseía sobre las temáticas objetos de estudio.

3. Verificación de la efectividad de la aplicación del modelo en la preparación de los docentes

Para verificar la efectividad y viabilidad del modelo planteado en la preparación a los docentes para concebir las clases según esta orientación, así como la comprensión por parte de ellos de los aspectos esenciales de la misma, consideramos pertinente la elaboración de dimensiones e indicadores¹⁰ a medir en un estado inicial y final.

Dimensión 1. Conocimiento que posee sobre las principales problemáticas abordadas en el curso de Física.

Indicadores.

1.1 Conocimientos que poseen para presentar todas las clases, a través de la solución de problemáticas, que desarrollen la capacidad creativa de los estudiantes.

1.2 Conocimientos que poseen para evidenciar en las clases la importancia del tema objeto de estudio en el orden social y científico.

1.3 Conocimientos que poseen para concebir en las clases tareas para profundizar y familiarizar al estudiante con la problemática objeto de estudio.

Dimensión 2. Conocimientos que poseen para propiciar que los estudiantes hagan un estudio cualitativo de las situaciones problemáticas planteadas y tomen decisiones.

2.1 Conocimientos que poseen para revelar en los estudiantes su experiencia previa en relación con los contenidos del nivel precedente.

2.2 Conocimientos que poseen para promover en los estudiantes el análisis cualitativo, global y desde múltiples perspectivas, de la cuestión considerada.

2.3 Conocimientos que poseen para promover la búsqueda de información necesaria en otros medios para solucionar un problema.

2.4 Conocimientos que poseen para promover que el estudiante valore la importancia y las implicaciones del estudio realizado.

Dimensión 3. Conocimientos que poseen para orientar el tratamiento científico de los problemas planteados en las clases.

3.1 Conocimientos que poseen para lograr que los estudiantes establezcan las ventajas y limitaciones de una idea teórica, de un experimento o estudio realizado.

3.2 Conocimientos que poseen para promover que los estudiantes participen en el diseño de modelos físicos y matemáticos, algoritmos e instalaciones experimentales.

3.3 Conocimientos que poseen para promover la confección del informe sobre la solución de un problema en clases.

Dimensión 4. Conocimientos que poseen para plantear en manejo reiterado de los nuevos conocimientos en una variedad de situaciones para el afianzamiento y profundización de los mismos.

4.1 Conocimientos que poseen para abordar en las clases tareas o problemas que respondan a necesidades de la actividad social, productiva o científica.

4.2 Conocimientos que poseen para promover que los estudiantes solucionen problemas relacionados con la técnica, la producción y los servicios a la sociedad.

4.3 Conocimientos que poseen para promover que el estudiante aborde colectivamente la resolución de los problemas planteados.

4.4 Conocimientos que poseen para promover que los estudiantes expongan coherentemente (de forma oral o escrita) el resultado obtenido.

Para evaluar el comportamiento de estos indicadores tomamos una muestra de 6 profesores que imparte la asignatura de física en los Preuniversitarios de municipio Jobabo en la provincia de Las Tunas. Al comparar el comportamiento de los indicadores en un estado inicial, (antes de preparar a los profesores para concebir las clases según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica) y un estado final (después de impartir una preparación en los relacionado a los referentes teóricos y las ideas esenciales que sustentan esta orientación, así como la implementación de actividades metodológicas para explicar como a través de las clases explicar el modelo propuesto), pudimos obtener los siguientes resultados tal y como se muestran en las graficas 1 y 2.

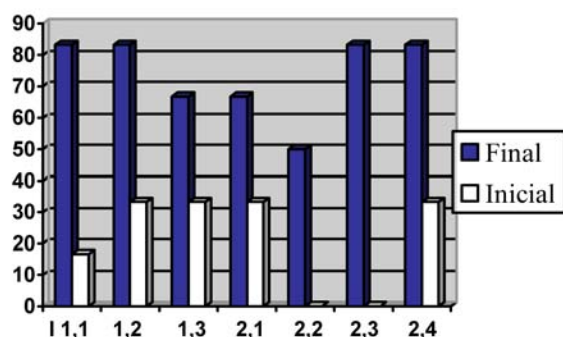
Al hacer una comparación del comportamiento de los indicadores en el estado inicial y final según la categoría de bien, se pudo apreciar que se produce un incremento del 33.7 % en el menor de los casos y hasta un 83.3% en el mayor de los casos de forma general.

Pero consideramos que más que relacionar en este momento cuales han sido los incrementos por indicadores, que evidencien la efectividad del modelo, consideramos más factible detenernos a realizar un análisis del comportamiento de aquellos indicadores más afectados, reflejando la falta de comprensión por parte de los profesores de algunos de los aspectos recogidos en el modelo.

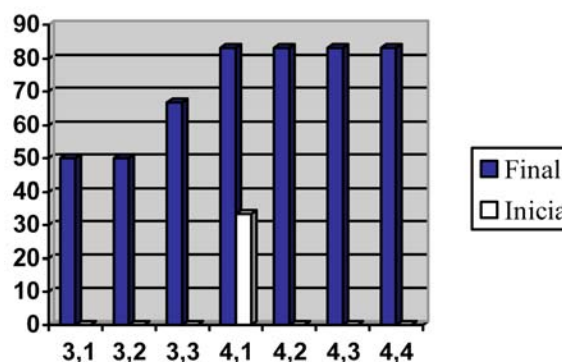
De la gráfica 1 podemos observar que el más afectados es el 2.2 conocimiento que posee para promover en los estudiantes el análisis cualitativo, global y desde múltiples perspectivas, de la cuestión considerada; en la cual solo se logra el 50 %; equivalente a tres profesores, logren promover de manera efectiva estos aspectos, el 33.3 % lo logra con categoría de regular; equivale a dos

profesores y uno se mantienen en la categoría de mal; en esta caso coincide con un profesor que aunque es licenciado, y lleva más de 3 cursos trabajando con la signatura, no es especialista en las misma, sino graduado de Educación Laboral.

Grafica 1 Comparación de los indicadores de la dimensión 1 y 2 en el estado inicial y final según la categoría de bien



Grafica 2 Comparación de los indicadores de las dimensiones 3 y 4 en el estado inicial y final según la categoría de bien



Al hacer un análisis semejante en la grafica 2 podemos observar que los indicadores más afectados son el 3.1 y 3.2, los cuales se refieren al conocimiento que posee para lograr que los estudiantes establezcan las ventajas y limitaciones de una idea teórica, de un experimento o estudio realizado y conocimientos que poseen para promover que los mismo participen en el diseño de modelos físicos y matemáticos, algoritmos e instalaciones experimentales respectivamente. Como los indicadores anteriores solo se logra que 3 profesores se evalúen de bien, pues si se analiza el contenido recogido en cada uno de estos indicadores, requiere sin dudas de que el profesor tenga pleno dominio del contenido ha impartir, a ello se le puede sumar el pobre desarrollo de habilidades experimentales que poseen nuestros estudiantes, lo cual en gran medida dificulta el buen desarrollo de estos indicadores en las clases.

De lo ante expuesto podemos concluir que del análisis e interpretación de los resultados obtenidos con la puesta en práctica del modelo, podemos verificar la efectividad de la propuesta para explicar las ideas esenciales que fundamentan la concepción de las clases según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica, y puede implementarse de manera viable en los centros como parte de la preparación metodológica de la asignatura de física.

A pesar de los logros alcanzados existen insuficiencias que hay que mejorar, principalmente lo relacionado con los conocimientos que poseen los docentes para orientar el tratamiento científico de los problemas planteados en las clases, si queremos que ellos se conviertan en investigadores, con un amplio dominio de habilidades y experiencias en las investigaciones educacionales¹¹.

CONCLUSIONES

La preparación de los profesores de física para concebir las clases según la Orientación Sociocultural de la Educación Científica constituye uno de los objetivos principales en la Educación Preuniversitaria, pues en ella se recogen las precisiones fundamentales en aras de lograr las transformaciones que se proponen en dicha educación. De ahí que tomaremos como objetivo el diseño de un modelo para explicar cómo concebir las clases según las ideas rectoras de esta orientación y explicado con

ejemplos utilizando el programa de estudio de la asignatura para el oncenno grado. En un segundo momento consideramos pertinente valorar a través del comportamiento de indicadores la efectividad del modelo para explicar las ideas esenciales que sustentan dicha orientación, comprobando que el mismo fue efectivo, aunque algunos aspectos del modelo no fueron comprendidos con claridad por los profesores, lo recogido en la dimensión tres, conocimientos que poseen para orientar el tratamiento científico de los problemas planteados en las clases, esto implica un mayor nivel de preparación por parte de los profesores y que tengan amplia experiencia en la actividad investigativa experimental y dominio de los contenidos relacionados con las problemáticas a estudiar en clases.

[1] MINED. Programa de Física 10mo grado. En Programa Décimo Grado Educación Preuniversitario. La Habana. Ed: Pueblo y Educación. 2006. P44-85.

[2] Valdés Castro, P y R, Valdés Castro. Características del proceso de en-

señaza aprendizaje de la Física en las condiciones contemporáneas ". En Revista Enseñanza de la ciencias, vol.1. No 3, La Habana 1999 a P 521-531.

[3] La educación científica y los rasgos fundamentales de la Actividad investigadora contemporánea. En: Revista Varona No 33. La Habana. Julio-diciembre 2001 P: 37-45.

[4] La Orientación cultural de la educación científica .En: Revista Varona No 31. La Habana, julio –diciembre 2000.P 10-18.

[5] Las características esenciales de la actividad psíquica humana en la educación científica ". En: Revista Varona No 32. La Habana, enero-junio.2000. P. 30-38.

[6] Pedroso Camejo ,F . Transformaciones en el curso de Física de décimo grado: Unidad 5 "Energía y su uso sostenible". En CD IV Taller Internacional de Didáctica de las Ciencias. C. Habana 2006.

[7] Travieso Carrillo, P. Un enfoque sociocultural del proceso enseñanza-aprendizaje de la Física en décimo grado. En CD IV Taller Internacional de Didáctica de las Ciencias Pinar del Río. 2005.

[8] Valdés Castro, P y R, Valdés Castro. La enseñanza de la Física elemental, Editorial Pueblo y Educación, La Habana, 2002.

[9] Gil, D y Otros. Temas escogidos de didáctica de la Física. Ed: Pueblo y Educación. La Habana 1996.

[10] Roque Álvarez, L. Temas Metodológico Física 11no grado. Video clase 4. TVE-CINED. La Habana 2004.

[11] MINED. Programa de Física 11no grado. En Programa Onceno Grado Educación Preuniversitario. La Habana. Ed: Pueblo y Educación. 2006. P34-77.

“EL ENTRENAMIENTO DE LOS PROFESORES A TIEMPO PARCIAL DE FÍSICA DE LA U.C.P PARA LA E.T.P EN EL CONTEXTO DE LA UNIVERSALIZACIÓN”

S.BAHAMONDE

Dpto. Física-Química, Fac. de Informática y Formación General, U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar", Cuba; sanbahpa@ucpetp.rimed.cu

La Universalización de la enseñanza ha planteado nuevos retos al sistema de educación cubano. Uno de ellos fue revelado por el diagnóstico realizado a la población de profesores a tiempo parcial de Física de la U.C.P " Héctor Alfredo Pineda Zaldívar" que evidenció que estos presentaban algunas insuficiencias para desarrollar, exitosamente, los encuentros en las Sedes Universitarias. La solución a este problema se vislumbró dentro del campo de las modalidades de Superación a los docentes de la Educación Superior, diseñándose un sistema de Entrenamientos que incluían tanto aspectos metodológicos como del conocimiento, de los programas a impartir en los Encuentros. Los resultados obtenidos permitieron elevar la calificación de estos docentes, así como el desarrollo exitoso de estos programas en las Sedes Universitarias de la U.C.P " Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

The Universalization of teaching has set new challenges to the Cuban educational system. One of them was revealed by the diagnosis to a population of Physics part time teachers from the U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar". It showed that they had some handicaps to develop their classes successfully in their University Sites. The solution to this problem was discovered among the field of the types of training systems of teachers of Higher Education. A system of training was designed which included methodological and knowledge aspects related the syllabus to be taught in each class. The acquired results permitted to get higher level of these teachers as well as the successful development of these syllabus in the University Sites from the U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

Palabras clave: Universalization of teaching, training systems of teachers, University Sites

INTRODUCCIÓN

La Revolución, siguiendo su política de justicia social, ha decidido que la oportunidad de cursar estudios superiores esté al alcance de todos los ciudadanos. Ello se materializa en la Universalización de la Educación Superior.

Este programa de la Revolución ha constituido todo un reto para la Educación en Cuba, para ponerlo en práctica ha sido necesario la constitución de Sedes Universitarias en todos los municipios del país y ello ha conllevado la lógica incorporación de más profesores a tiempo parcial a los centros de Educación Superior, para que impartan docencia en la modalidad de Encuentros en esas Sedes.

El diagnóstico realizado entre la población de profesores a tiempo parcial del Dpto. de Física-Química de la U.C.P " Héctor Alfredo Pineda Zaldívar" que imparten alguna asignatura de la disciplina de Física, arrojó como resultado la caracterización de estos; destacándose en la misma insuficiencias en el conocimiento de:

- las peculiaridades pedagógicas del Encuentro como forma de docencia en la Educación Superior.
 - diversos temas de la disciplina tratados haciendo uso del cálculo integro- diferencial.
 - la metodología específica para la impartición de determinados contenidos acorde a los objetivos del programa de la disciplina.
 - el sistema de evaluación de la disciplina.
- Para darle solución a estos problemas se revisaron los antecedentes relacionados con la atención a profesores a tiempo parcial en el Dpto. En términos generales estos docentes impartían laboratorios o clases en los cursos para trabajadores, eran atendidos metodológicamente por el jefe del laboratorio, de disciplina o de asignatura, rara vez participaban en cursos de postgrado, casi nunca asistían a las reuniones metodológicas y de Dpto. a las que eran invita-

dos y no tenían, en general, participación en publicaciones e investigaciones.

Indagaciones orales realizadas en otros Dptos. de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar" como Matemática, Eléctrica, Mecánica y otros, arrojan resultados similares. Esta situación se refleja con toda claridad en los expedientes de cuadros, que en términos generales presentan los profesores a tiempo parcial del centro, donde se observan pocos documentos acreditativos de su actividad de superación postgraduada y científica. La caracterización de los profesores a tiempo parcial de Física del Dpto. antes del comienzo de la Universalización era la siguiente:

Docente de alrededor de 50 años de edad, con 25 o más años de experiencia en educación, con cargo en el organismo central o provincial del Ministerio de Educación y que cumplía la décima impartiendo docencia como profesor a tiempo parcial, a lo sumo se contaba con dos o tres de ellos por curso escolar. La caracterización de ellos actualmente es:

Docente de alrededor de 43 años, con 20 o más años de experiencia en el sector educacional, fundamentalmente en Enseñanza Media Superior, buena parte de ella en politécnico, que imparte clases en este tipo de centro y que generalmente es jefe de Dpto., profesor principal o tiene responsabilidades de dirección.

Ambas caracterizaciones se realizaron mediante entrevistas. Como se puede apreciar, los profesores a tiempo parcial actuales de Física, presentan los problemas antes señalados, que conspiran contra su buen desempeño en la Universalización. ¿Cómo resolver estos problemas?

Dentro del campo de acción de la superación a los docentes de Educación Superior y en la esfera de actuación de la Pedagogía Profesional se vislumbraron las soluciones a los mismos, para lo cual se planteó la siguiente hipótesis:

Entrenando a los profesores a tiempo parcial de Física del Dpto. de Física –Química de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar", en las características pedagógicas de la forma de enseñanza llamada Encuentro en la Educación Superior y en la metodología de impartición de los temas de la disciplina Física, haciendo énfasis especial en aquellos que requieren del uso del cálculo integro-diferencial, así como en la aplicación del sistema de evaluación vigente, estos docentes podrán desarrollar de forma satisfactoria sus actividades lectivas en el marco de la Universalización.

Variable independiente: Entrenamiento a Adjuntos.

Variable dependiente: Desarrollo satisfactorio de sus actividades lectivas.

Objetivo: Entrenar a los profesores a tiempo parcial de Física, del Dpto. de Física –Química de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar", para impartir adecuadamente los programas

de la disciplina Física del centro, mediante la modalidad de Encuentro, en el marco de la Universalización.

Los métodos empleados han sido:

- Métodos teóricos: Analítico sintético.
Histórico lógico.
Análisis documental.
- Métodos empíricos: Entrevistas.
Observación de actividades.
Encuesta.

El aporte práctico del trabajo radica en el:

Diseño y ejecución de un sistema de entrenamientos para los profesores a tiempo parcial de Física, del Dpto. de Física –Química de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar", que les permita impartir satisfactoriamente la docencia de esta disciplina, en la modalidad de Encuentros en las Sedes Universitarias.

La novedad radica en que:

Por primera vez se utiliza el Entrenamiento, dentro del Dpto. de Física-Química, como forma de superación de la Educación Superior, que le permita a los profesores a tiempo parcial de Física impartir adecuadamente, los programas de la disciplina antes mencionada, en la modalidad de Encuentro, en las Sedes Universitarias.

El resultado esperado lo constituye el desempeño exitoso de estos profesores a tiempo parcial en la impartición de los Encuentros de la disciplina Física en las Sedes de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

Metodología empleada:

Se hizo el diagnóstico y teniendo en cuenta sus resultados, se diseñó el sistema de entrenamientos que fue desarrollado de forma personalizada con los profesores a tiempo parcial, procediendo finalmente a validar el impacto de los mismos.

En el desarrollo se explicita la metodología empleada para ejecutar el sistema antes mencionado.

FUNDAMENTACIÓN

La educación de postgrado es una de las direcciones principales de trabajo de la educación superior en Cuba. Constituye el nivel más alto del sistema de educación superior, dirigido a promover la educación permanente de los graduados universitarios.

El postgrado fomenta permanentemente el desarrollo sostenible de la sociedad y favorece el acceso a las fronteras nacionales e internacionales más avanzadas de los conocimientos, atiende demandas de capacitación que la sociedad reclama en el presente y se anticipa a requerimientos futuros.

La educación de postgrado se estructura en superación profesional y formación académica.

La superación profesional tiene como objetivo la formación permanente y la actualización sistemática de los graduados

universitarios, el perfeccionamiento del desempeño de sus actividades profesionales y académicas, así como el enriquecimiento de su acervo cultural.[1]

¿Cuales han sido los pilares fundamentales de este trabajo? Han sido tres:

-El Entrenamiento, como una de las formas organizativas principales de la superación profesional.

-La Pedagogía Profesional, como ciencia bajo cuyos principios se diseñaron los programas de los entrenamientos.[2]

-La metodología de la Investigación Acción Participativa, que permitió la articulación de la investigación. [3]

El artículo 22 del Reglamento de la Educación de Postgrado en su capítulo 3 plantea: "El entrenamiento posibilita la formación básica y especializada de los graduados universitarios particularmente en la adquisición de habilidades y destrezas y en la introducción y asimilación de nuevos procedimientos y tecnologías con el propósito de cumplimentar, actualizar, perfeccionar y consolidar conocimientos y habilidades prácticas. Tiene una extensión mínima de dos créditos." [1]

Según las profesoras, la Dra. Margarita León y la Dra. Caridad Pérez: "Se reconoce universalmente la existencia de una Pedagogía Profesional, que se acerca cada vez más, al área de acción profesional de quienes se preparan como profesores de Ciencias Técnicas, en su compleja y necesaria conjugación de lo general y lo singular, en el desarrollo del proceso Pedagógico Profesional.

Es importante significar, que su fundamento teórico se encuentra en la Pedagogía, como ciencia social que mueve y genera ideas básicas, para el desarrollo de esta labor en función del crecimiento de la personalidad. Así pues su sistema categorial, sus leyes y principios constituyen bases esenciales para a partir de sus diferentes expresiones y fundamentos teóricos construir las particularidades de una pedagogía para la enseñanza técnica, formando parte de su sistema general. Aportes didácticos específicos participan también del nexo esencial con los antecedentes de la Pedagogía Profesional." [4]

Para poder cumplir con el objetivo propuesto, de una forma científica, se empleó la vía de la Investigación-Acción tratando que fuera lo más participativa posible, como ya hemos apuntado.

La Investigación-Acción está inspirada en las ideas de John Dewey y en el movimiento denominado "New School", surgido después de la Primera Guerra Mundial. La segunda generación de estas ideas fue liderada por Kurt Lewis (1916). No obstante, algunas personas que han estudiado este tema consideran que Lewis fue realmente el fundador de la Investigación -Acción. En nuestros días muchos investigadores siguen estas ideas y aplican la metodología de la Investigación-Acción, en investigaciones en el campo de las Ciencias Sociales.

Aunque la Investigación- Acción nació en el campo de la psico-sociología, esta se fue extendiendo a otros sectores del quehacer humano, tales como la Educación. Durante el período de 1919 – 1953, este enfoque fue aplicado en muchos proyectos de investigación, por un gran número de profesores en Estados Unidos de Norteamérica.

En fechas más recientes, podemos encontrar los trabajos de John Elliot que ofrecen interesantes opiniones de cómo aplicar esta metodología al campo educacional.

En Australia la aplicación de este enfoque ha contribuido a la correcta articulación entre teoría y práctica en la educación, en Canadá es aplicada en campos tales como el trabajo comunitario, el laboral y también en la educación, de igual forma ocurre en E.U. y Europa.

En Latinoamérica también se ha aplicado ampliamente, pero en este contexto se le ha adicionado un nuevo término "Participativa". [5]

Uno de los primeros y principales promotores de la Investigación – Acción Participativa en la Latinoamérica es el colombiano Orlando Fals Borda. El está en desacuerdo con el academicismo de las investigaciones en Latinoamérica, en uno de sus más representativos libros titulado "Nuestra Propia Ciencia y el Colonialismo Intelectual" el aboga por la posibilidad de hacer nuestra propia Ciencia en Latinoamérica teniendo en cuenta el contexto y las necesidades, e identifica a la libertad y a las reivindicaciones de los pueblos latinoamericanos, como las principales necesidades de éstos.

EL ENTRENAMIENTO

Como ya se señaló, partiendo del diagnóstico de cada uno de estos profesores a tiempo parcial, sus condiciones y características personales, se diseñó un plan para ejecutar el entrenamiento con cada uno de ellos, de forma personalizada, partiendo de tres programas típicos denominados:

1-Metodología de la Enseñanza de la Mecánica. Programa de Industriales de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

2-Metodología de la Enseñanza del Electromagnetismo. Programa de Industriales de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

3-Metodología de la Enseñanza de la Mecánica y de la Mecánica de los Fluidos. Programa de Agronomía de la U.C.P "Héctor Alfredo Pineda Zaldívar".

Estos entrenamientos constituyen un sistema, porque los programas 1 y 2 articulan entre sí y son para los profesores a tiempo parcial que se desempeñan en las carreras Industriales y el 3 es solo para los que trabajaban con la carrera de Agronomía. Los entrenados, en una primera etapa, recibían una panorámica general de la disciplina, en la que se incluía un análisis de los objetivos del programa, las habilidades a desarrollar y el papel de la disciplina en el Plan de Estudio, posteriormente realiza-

ban la dosificación del contenido para así confeccionar el plan calendario (P1), pasando luego a adiestrarse en como impartir ese contenido en la forma de enseñanza denominada Encuentro, conociendo las características de las partes que conforman el mismo, en el caso de que sea típico y de las peculiaridades del primero y el último, que son atípicos. [6]

Se orienta entonces las confecciones de los planes de clase de cada encuentro, donde se discuten todos los elementos que lo conforman, en particular los objetivos que deben alcanzar los estudiantes, las habilidades a desarrollar en ellos, los métodos a emplear (haciendo énfasis en los métodos activos), los medios que pueden utilizarse y sobre todo las dudas que pudieran existir de aquellos aspectos del conocimiento de Física y del empleo del cálculo integro diferencial que se requiere para su desarrollo, insistiendo en la interpretación de las expresiones matemáticas.

De particular importancia resulta darles a conocer a los entrenados la forma de motivar los encuentros, de realizar los resúmenes parciales, las conclusiones, de resaltar la relación intermateria, sobre todo con las disciplinas de la carrera, aspecto este, que aunque no lo es todo, contribuye a la profesionalización.

Otro aspecto que se tiene en cuenta es como debe ser el trabajo con el texto, la literatura de consulta y la guía de la disciplina en formato digital.

Se sugiere una colección de tareas, una buena parte de ellas son problemas, convenientemente clasificados según los tres niveles de desempeño, indicándose cuales pueden ser resueltas en clase por el docente, a modo de ejemplo, para ilustrar metodologías de resolución, cuales deben realizarse mediante la elaboración conjunta, así como aquellas que deben ser desarrolladas de forma independiente por los estudiantes, de este último grupo se hace una división en dos subgrupos, las que se recomiendan abordar en el encuentro y las que se reservan para el estudio independiente. [7]

En el entrenamiento y muy relacionado con la metodología específica de resolución de determinados tipos de tareas, se le dan a conocer los rudimentos, que le permitan a los entrenados y luego ellos sean capaces de transmitirlos a sus alumnos, la confección de los esquemas de las Bases Orientadoras de la Acción (B.O.A) de segundo y tercer tipo.

Se discute el sistema de evaluación de la disciplina, íntimamente relacionado con el sistema de tareas antes mencionado, y se recomiendan algunas de ellas para la evaluación frecuente en los encuentros, así como la forma de calificación y las categorías que tiene la misma en la educación superior y las oportunidades a las que tienen derecho los estudiantes.

El interencuentro debe ser abordado al detalle, pues en general esto resulta algo nuevo para los profesores a tiempo

parcial, se le dan a conocer las actividades que usualmente se realizan en el mismo y las regulaciones que existen para su ejecución.

De forma general, en el entrenamiento, se resaltan las potencialidades educativas del contenido y las salidas que tienen los diferentes programas directores y en particular la dimensión medio ambiental en la disciplina. [8]

Cada uno de los entrenados recibió una atención personalizada, trabajándose más aquellos aspectos donde se detectaban mayores carencias en aras de alcanzar el objetivo trazado.

El entrenamiento se realizó en las propias sedes donde laboran los profesores a tiempo parcial y en algunos casos, profesores de más experiencia del centro politécnico (que es donde radican las sedes) apoyaron esta labor.

POBLACIÓN Y MUESTRA

La población está constituida por la totalidad de los profesores a tiempo parcial de Física del Dpto. de Física -Química, que se encontraban en activo, ocho en total. Por ser pocos, la muestra se hizo coincidir con la población.

De estos ocho profesores a tiempo parcial, cuatro cursaron los entrenamientos reseñados con anterioridad como 1 y 2, dos solo realizaron el 2 y los restantes dos profesores a tiempo parcial matricularon el 3.

Esta calificación se basó en el desempeño demostrado por los entrenados en la ejecución de las tareas encomendadas y su ejecutoria en el aula, donde demostraron que son capaces de poner en práctica las habilidades adquiridas en el entrenamiento. (Ver Tabla I)

Tabla I Tabla de Calificación de los Entrenados.				
Entrenamiento	Entrenados	Calificación 5 4 3	Aprobados	Desaprobados
1	4	4	4	
2	6	6	6	
3	2			2
totales	12	10	10	2

Los dos entrenados que resultaron desaprobados, abandonaron sus respectivos entrenamientos, por causas relacionadas con sus centros de trabajo.

Por esta razón ellos no imparten docencia en nuestro Dpto. El claustro de entrenadores estuvo integrado por cuatro profesores de Física del Dpto. de Física -Química de la U.C.P " Héctor Alfredo Pineda Zaldívar", uno de ellos es Licenciado en Física

graduado en la U.H, los estantes son Licenciados en Educación en la Especialidad de Física y todos son Master en Pedagogía Profesional graduados en la U.C.P " Héctor Alfredo Pineda Zaldivar", uno tiene categoría docente de Profesor Auxiliar y los restantes son Asistentes. Todos tienen más de 20 años de experiencia en la docencia en Educación Superior.

Validación:

Los programas de los entrenamientos fueron discutidos por el Grupo de Física del Dpto. y aprobados en sesión científica por el pleno de éste, lo que fue tomado como un criterio de expertos.

Las opiniones de los Jefes de las Sedes y de los alumnos de estos profesores a tiempo parcial, son muy favorables, en cuanto al trabajo desplegado por ellos en general y en particular por la calidad de los encuentros, esto último se encuentra avalado por los buenos resultados de los controles a clases realizados por los primeros.

Las opiniones de los entrenados que culminaron esta superación, fueron recogidas en una encuesta y resultaron muy favorables en cuanto a lo que les aportó el entrenamiento. Como se puede apreciar sus calificaciones fueron excelentes.

Los resultados docentes de los grupos atendidos por estos adjuntos sobrepasaron el 90% de promoción.

Del grupo de entrenados todos los que optaron por el cambio de categoría docente lo lograron.

Existe conciencia de que debe elaborarse una estrategia de superación para estos profesores a tiempo parcial que permita el desarrollo continuo de los mismos, en ella deberán contemplarse aspectos tales como las demostraciones en clase, las prácticas de laboratorio, el empleo de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en el proceso docente educa-

tivo, la actualización en determinadas áreas del conocimiento de la Física y de la Pedagogía y otros.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta lo expuesto en la validación y el hecho innegable de que estos profesores a tiempo parcial, que fueron entrenados sobre la base de los aspectos señalados en la hipótesis, desarrollaron de forma satisfactoria sus actividades lectivas en el marco de la Universalización, consideramos probada la misma.

Mantener esta forma de superación profesional (El Entrenamiento), para habilitar a los profesores a tiempo parcial que se incorporen al Dpto. y lo requieran, desarrollando una estrategia para la misma que permita la superación continua de estos docentes.

Esta experiencia puede ser aplicable en otros Dptos. o centros que requieran capacitar profesores a tiempo parcial.

-
- [1] Reglamento de la Educación de Postgrado, Ed. (M.E.S Versión 0.3, 2003). pp 1 y 5
 - [2] R. A .Regueiro, Pedagogía Profesional. Una propuesta abierta a la reflexión y al debate, Ed. (ISPETP, La Habana, 1997). pp. 27-28
 - [3] R. Cueto y S. Bahamonde, Research action as educative investigation, editado por M. Ford (Primer Evento Científico del CET de Belice City, 2001). pp 3-7
 - [4] C. Pérez y M. León, Pedagogía Profesional II. La Pedagogía Profesional: Una incuestionable necesidad de la Educación Técnica y Profesional, Ed. (I.S.P.E.T.P, C de La Habana . Cuba ,1997). pp. 1
 - [5] Colectivo de autores del CIE "Graciela Bustillos", Paulo Freyre entre nosotros, Ed.(CIE y IMDEC, La Habana, 1998). pp. 3
 - [6] Colectivo de autores del ISPETP, Metodología para las áreas profesionales, Ed.(ISPETP, La Habana, 1998). pp 60-61
 - [7] Colectivo de autores del ISPETP, Metodología de la enseñanza para áreas básicas profesionales, Ed.(ISPETP, La Habana, 1997). pp. 12-13
 - [8] S. Bahamonde, R. Cueto y E. Cruz, Las Potencialidades Educativas de la Clase en el P.P.P, editado por M. Ford. (Primer Evento Científico del CET de Belice City, 2001). pp 6-8

ENSEÑANZA PRESENCIAL VS ENSEÑANZA SEMIPRESENCIAL

L. VILLAMONTE^A y J. TORRES^B

Departamento de Física, Universidad de Camagüey, Cuba.

a) Departamento de Física, Universidad de Camagüey; leonelo.villamonte@reduc.edu.cu†

b) Departamento de Física, Universidad de Camagüey, julia.torres@reduc.edu.cu

† autor para la correspondencia

La asimilación de la Física General I en las carreras de ciencias técnicas en la modalidad semipresencial es un problema pedagógico que requiere atención y propuestas emergentes de solución didáctica y pedagógicamente bien fundamentadas, producto que dichos cursos mantienen un nivel alto del volumen de contenidos a impartir con una reducción de tiempo para la impartición y la estructuración de dichos cursos son influenciado por la modalidad presencial conjuntamente con una estructura tradicional que tiende a fragmentar desde una perspectiva eminentemente analítica y simplificadora los fenómenos físicos que son objeto de estudio lo cual propicia de manera indirecta, un aprendizaje formal de esta disciplina y origina dificultades generalmente inadvertidas para el aprendizaje de los fundamentos de esta ciencia que resultan necesarios para el desempeño de los futuros ingenieros. En la ponencia se presenta de un novedoso e inédito experimento didáctico que tiene como base una modificación revolucionaria en el diseño del curso de Física General I, teniendo como objeto fundamental el aprendizaje de las leyes y principios de mayor generalidad que regulan los procesos físicos reales lo cual permite lograr una organización más racional del curso además de posibilitar un aprendizaje cualitativamente superior, más sólido, y significativo, de los fundamentos de esta disciplina, a partir de un esquema lógico de estructuración del contenido que toma sus bases en las células generadoras que caracterizarán las magnitudes físicas necesarias y suficientes para describir el movimiento mecánico desde una lógica que responda a la construcción de un mapa conceptual inicial.

. Learning General Physics I in technical sciences of university courses in the semipresential category is a pedagogical problem which needs attention and prompt didactic solution and well – based pedagogically proposals due to the fact that these courses are designed with a great deal of contents to be taught in a rather short period time. The course are mainly influenced by presential category along with a traditional design which has a tendency to separate physical phenomena in an analytically and simplifying way. However, these physical phenomena are to be studied since they provide students with formal learning of this discipline which, at the same time, brings about unnoticed difficulties to learn the basis of this science obviously necessary for the future engineer is fulfilment. This paper shows a completely new didactic experiment based on revolutionary changes in the design of General Physics I which aims at the learning of general laws and principles that control real physical processes. This helps achieve a more rational organization of this course and makes a more firmly and better acquisition of knowledge about the basis of this discipline possible. All this is done fronts logical design of the contents which characterizes necessary magnitudes to describe mechanical movement from a logical point of view so that responds to a construction of an initial conceptual map.

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

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más complejo que enfrenta la enseñanza universitaria contemporánea y en particular las disciplinas que como la Física General que 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 habilidades que realmente poseen, es por esto que 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 I en las diferentes carreras de ingeniería donde se imparte dicha disciplina en la modalidad semipresencial.

Como una forma de aliviar esta diferencia marcada entre lo que deben saber y lo que deben verdaderamente, se han implemen-

tado los cursos introductorios, cuyo fin es garantizar el tránsito paulatino de la enseñanza media superior a las disciplinas universitarias. Pero las experiencias desde su implantación ha demostrado que no resuelve este aspecto tan importante, por lo que el propósito de este trabajo es presentarle una forma no tradicional de la enseñanza de la Física General I, haciendo énfasis en el desarrollo de habilidades para el aprendizaje, así como en la lógica y la utilización del lenguaje de la ciencia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desde la instauración de los planes D para las diferentes carreras y en especial en la modalidad semipresencial se puede observar una diferencia de horas clases entre la modalidad pre-

sencial y la semipresencial, en la asignatura de Física general I, como muestra la siguiente tabla.

Tabla I Distribución horas clases.		
	Horas clases	Horas clases
Carreras / modalidad de estudio	Presencial	Semipresencial
Ing. Química.	80	36
Ing. Mecánica.	80	40
Ing. Eléctrico.	80	48
Ing. Civil.	80	48
Ing. Informática	80	48

Pero el volumen de contenidos a impartir para ambas modalidades es el mismo, por lo que esto agrava más la calidad de los resultados en el curso semipresencial de estas ingenierías. Y conjuntamente con esto las diferentes investigaciones en didáctica de las ciencias han identificado diversas dificultades ya tradicionales en los procesos de aprendizaje por parte de los alumnos como son:

la estructura lógica de los contenidos conceptuales,
el nivel de exigencia formal de los mismos
la influencia de los conocimientos previos y preconcepciones del alumno.

Conjuntamente con esto tenemos que al desarrollar los profesores los cursos semipresenciales no se le presta la debida atención a las características de dicho curso y se prepara como un curso normal o sea un curso presencial que es donde los profesores tienen la mayor experiencia, por lo que es objetivo fundamental de este trabajo.

Por lo que ofrecemos a continuación las principales diferencias de este modelo con la forma presencial, utilizando el criterio propuesto por G. Rivera:

Tabla II Diferencia entre las modalidades de enseñanza	
Presencial	Semipresencial
El profesor y los estudiantes están siempre presentes en un mismo espacio y tiempo en las clases.	El profesor y los estudiantes no tienen que estar siempre presentes físicamente en el mismo espacio ni en el mismo tiempo, solo en determinados momentos.

Predomina el paradigma de la clase tradicional de alumnos y profesores trabajando de manera conjunta.	Elimina la rígida frontera de espacio y tiempo que impone el paradigma de la clase tradicional.
La comunicación fundamental se produce con la presencia de ambos.	Para que la comunicación se produzca, es necesario crear elementos mediadores entre el docente y el alumno.
	Demuestra que los participantes pueden aprender sin estar congregados en el mismo sitio y al mismo tiempo.

Pero al enfrentar este dilema el profesor se encuentra que su trabajo esta regulado por el cumplimiento de:

Un programa de objetivos y contenidos de obligatorio cumplimiento.

Tiempo limitado para el cumplimiento de los objetivos del programa.

Reducción del tiempo de los programas y del dedicado a las actividades de conferencia; manteniendo y en ocasiones aumentando los contenidos de programas anteriores.

Por lo que entonces aparece la duda de que imparto dentro del tiempo de encuentro con el estudiante y que indico para el estudio independiente del mismo, para lograr un aprendizaje significativo, y este se logra cuando los conocimientos son relacionados de modo no arbitrario, sino sustancial, por quien aprende con lo que él ya sabe. No obstante, para que se produzca el aprendizaje significativo, la persona debe estar dispuesta a establecer esa relación sustancial entre el material nuevo y su estructura cognitiva, así como el material que se vaya aprender debe ser potencialmente significativo para ella. Entonces para el cumplimiento de este dilema existen diferentes criterios:

Los difíciles, los imparto y los menos difíciles los oriento para el estudio independiente.

Los más importantes, los imparto y los menos importantes los oriento para el estudio independiente.

Los que serán examinados al final del curso, los imparto y los que no los oriento para el estudio independiente.

Hasta donde me de el tiempo imparto contenido y lo que sobre al estudio independiente.

Al realizar una revisión de las tendencias más generales publicadas acerca de cómo abordar los cursos semipresenciales, estas coinciden en la indicación de la utilización de las T.I.C. con todas las variantes posibles, en el desarrollo de estos cursos, pero ninguna hace referencia a la distribución de los contenidos, métodos y habilidades necesarias para el desarrollo eficiente de esta modalidad de estudio, entonces hay una pregunta cuya respuesta es la solución a esta gran disyuntiva.

¿Cómo puede mediar el profesor entre los textos y los estudiantes para lograr un aprendizaje significativo en una enseñanza semipresencial?

En la propuesta que presentamos queremos darle respuesta a la interrogante planteada y para esto señalaremos que la propuesta esta integrada por tres aspectos fundamentales:

- 1.Lo referente a como aprenden nuestros estudiantes.
- 2.La organización no tradicional de los contenidos a impartir.
- 3.La forma de evaluación a utilizar.

PROPUESTA METODOLÓGICA

¿Cómo aprenden nuestros estudiantes?

Para un adecuado desarrollo de las clases en el tiempo asignado al intercambio entre profesor y alumno en la enseñanza semipresencial es necesario que profesor tenga el conocimiento de la forma en que nuestros alumnos se apropian del conocimiento, y para esto tendremos en cuenta los diferentes estilos de aprendizajes reconocidos por la literatura científica al respecto y una definición clara al respecto es la que da Honey y Mumford (1992), “un estilo de aprendizaje es una descripción de las actitudes y comportamientos que determinan la forma preferida de aprendizaje de los alumnos”, entonces los diferentes estilos de aprendizaje son:

El activo. La pregunta que quieren responder con el aprendizaje es ¿Cómo?

El reflexivo. La pregunta que quieren responder con el aprendizaje es ¿Por qué?

El teórico. La pregunta que quieren responder con el aprendizaje es ¿Qué?

El pragmático. La pregunta que quieren responder con el aprendizaje es ¿Qué pasaría si...?

Y para poder reconocer en nuestros estudiantes que estilo de aprendizaje ellos utilizan, se puede utilizar dos formas:

A través de la aplicación del CHAEA, Cuestionario de Honey y Alonso, que es un cuestionario de 80 ítems que aparece en el sitio <http://www.ice.deusto.es/guia/test0.htm>

A través de la aplicación del cuestionario de Richard M. Felder que aparece en sitio http://www.ncsu_feld_soloman\RME.html

Pero tendremos también en cuenta que los estudiantes se pueden agrupar específicamente en tres sistemas:

Los alumnos visuales: Aprenden mejor cuando leen o ven la información de alguna manera, preferirán leer las fotocopias o transparencias que se muestran en la conferencia a seguir la explicación oral, o, en su defecto, tomarán notas para poder tener algo que leer.

Los alumnos que memorizan de forma auditiva: No pueden olvidarse ni una palabra, porque no saben seguir, estos alumnos aprenden mejor cuando reciben las explicaciones oralmente y cuando pueden hablar y explicar esa información a otra persona.

El Kinestésico: Es aquel alumno que recuerda lo que hace, ya que procesa la información asociándola a nuestras sensaciones y movimientos, a nuestro cuerpo. El sistema kinestésico es lento, mucho más lento que con cualquiera de los otros dos sistemas, pero esa lentitud no tiene nada que ver con la falta de inteligencia, sino con su distinta manera de aprender.

Entonces partiendo de estas clasificaciones le prestaremos fundamental atención a la siguiente tabla resumen.

Tabla III Estilos de aprendizajes.			
Indicadores del aprendizaje.	Visual	Auditivo	Kinestésico
Lectura	Aprende viendo y observando demostraciones.	Aprende a través de instrucciones de otros o de si mismo.	Aprende haciendo, se involucra directamente.
Memoria	Escribe las cosas, toma notas.	Recuerda por repetición oral.	Recuerda mejor lo hecho que lo visto y hablado.
Solución de problemas	Premeditado, organiza sus pensamientos y los escribe.	Habla de los problemas, busca soluciones verbalmente.	Ataca el problema, elige soluciones con gran actividad.

Con el conocimiento de la gama de estudiantes dentro del aula ya podemos planificar una conferencia que su eje direccional tome en cuenta los tres estilos de aprendizaje para no desatender los indicadores del aprendizaje par lograr un aprendizaje significativo de la signatura.

La organización no tradicional de los contenidos a impartir.

Un estudio comparativo de diversos cursos de Física General I de los últimos 50 años permite concluir que dichos cursos están elaborado manteniendo el orden histórico de evolución de la teoría mecánica clásica, por lo que el paradigma al cual se ajusta esta estructuración es discutible desde el punto de vista didáctico ya que evidencia que no aprovecha algunos nexos entre estos elementos de contenido que de manera natural aportan la lógica de la ciencia a diferencia de la lógica que dimana del desarrollo histórico- lógico de esta.

Veamos algunos argumentos a favor de esta afirmación:

- 1.El movimiento mecánico se estudia de forma fragmentada cuando es único.
- 2.La estructuración tradicional induce la concepción de que hay diferentes formas de movimiento y que el método energético esta desvinculado de las formas del movimiento mecánico, y sabemos que no es así.

3.No se revela el carácter de sistema de las magnitudes físicas necesarias y suficientes para el estudio del movimiento mecánico en todas sus formas específicas.

Estas insuficiencias bastan para que la estructura cognitiva que incorpora el alumno en relación a este tema tenga fisuras lógicas naturales que no favorecen el aprendizaje de estos contenidos en su más íntima y esencial concatenación.

La idea que sustenta este trabajo es lograr un aprendizaje de la Física General I menos formal y más significativo y sólido en los estudiantes, a partir de garantizar la asimilación consciente de núcleos de contenidos que siendo leyes o principios de la mayor generalidad posible se caracterizan por la cualidad de ser elementos de contenido que por su carácter general y su operatividad didáctica puedan constituir el fundamento de la base orientadora de la acción de los estudiantes para el aprendizaje individual y colaborativo de cualquiera de las diferentes formas de movimiento mecánico comprendido dentro de la Física General I, partiendo del objetivo fundamental de la misma que es describir los movimientos físicos que le competen, entonces debe proponerse la búsqueda de aquellas propiedades de cada movimiento, que permiten diferenciar un movimiento mecánico de otro; mostrando al estudiante como se hace esta búsqueda cuyo criterio de selección es diferenciar un movimiento de otro, a partir de las cuatro formas de movimiento:

- 1.Movimiento Mecánico de Traslación.
- 2.Movimiento Mecánico de Rotación.
- 3.Movimiento Mecánico Oscilatorio.
- 4.Movimiento Mecánico Ondulatorio

Por lo que se ha puesto en práctica por el autor un esquema lógico de estructuración del contenido tomando como base las células generadoras del conocimiento para el estudio completo de los diferentes movimientos mecánicos las siguientes: desplazamiento, tiempo utilizado durante el movimiento, espacio recorrido durante el movimiento, velocidad media e instantánea, rapidez media e instantánea y aceleración media e instantánea, podemos realizar una descripción adecuada del movimiento mecánico que realice un cuerpo.

Entonces la propuesta de organización del contenido de la Física General I sería:

- 1.A partir de la utilización de las células generadoras el profesor realizará la descripción del movimiento mecánico de traslación de forma cinemática.
- 2.Los alumnos por equipos y utilizando el trabajo colaborativo realizarán ellos de forma independiente la descripción cinemática utilizando las células generadoras y las analogías entre las formas de movimiento mecánico de rotación, oscilación y ondas.

Utilizando esta forma el profesor realizará la descripción de forma energética, dinámica y con las leyes de conservación del movimiento de traslación y los alumnos realizarán el mismo trabajo sobre las restantes formas de movimiento mecánico.

La forma de evaluación a utilizar.

La evaluación del aprendizaje es un elemento del sistema de dirección del proceso de enseñanza-aprendizaje, mediante la cual el profesor y los alumnos concientizan el grado de desarrollo de los estudiantes en la consecución de los objetivos de Aprendizaje. Pero de todos es conocido que con los actuales sistemas de evaluación que se utilizan en la enseñanza-aprendizaje de la física, no se logra, generalmente, en los estudiantes, el estudio sistemático, hábitos correctos de estudio, de trabajo, y fortalecimiento de valores que favorezcan su formación integral.

Pero la evaluación se presenta en dos direcciones interrelacionadas:

La evaluación del trabajo pedagógico: que es el proceso de comprobación y valoración del logro de los objetivos del proceso pedagógico, referido a la eficiencia del sistema didáctico, las estrategias utilizadas y la dirección pedagógica, concretado en el efecto educativo sobre el alumno.

La evaluación del aprendizaje que implica el desarrollo de la personalidad: que es en esencia; analizar cualitativamente los cambios que se han efectuado sistemáticamente en el alumno en relación con el rendimiento académico y el nivel de desarrollo de la personalidad a lo largo de un ciclo de enseñanza.

Entonces teniendo claro estas direcciones de la evaluación se hace necesario en el proceso evaluativo evaluar conjuntamente con los conocimientos, los hábitos, las habilidades y el nivel de desarrollo de la personalidad alcanzado por el estudiante, ya que la evaluación es una, en la medida que refleja la unidad entre la instrucción y la educación en el proceso pedagógico, es decir, que a un proceso único corresponde una evaluación integradora también única.

Por lo que este autor considera que para poder evaluar satisfactoriamente a un alumno se hace necesario: grado de dominio de los conocimientos, hábitos y habilidades.

- nivel de independencia alcanzado,
- nivel de actividad en la práctica social.
- nivel de responsabilidad personal,
- nivel de responsabilidad grupal.

Pero la experiencia ha demostrado que nuestros alumnos generalmente no estudian sistemáticamente, solo lo hacen para las pruebas y exámenes finales y también reconocemos que nuestros estudiantes no realizan las tareas, por lo que proponemos para contribuir a eliminar estas deficiencias un sistema de evaluación caracterizado por:

- 1.Dar a conocer a los estudiantes al inicio de cada curso todo el sistema de evaluación de la asignatura, que muestre todas las variantes posibles para alcanzar los objetivos del curso, que incluya, lo que debe saber, saber hacer, y sus modos de actuación en cada etapa del curso.

2. Valorar la posibilidad de que si un alumno mantiene a lo largo del curso una evaluación satisfactoria sea eximido de la prueba final y también a estudiantes que avanzan progresivamente, mejorando sus resultados desde un desaprobado al inicio de curso hasta el excelente.

3. Incluir la solicitud a los jefes de grupos de laboratorios y de seminario, de una evaluación de cada uno de los integrantes de su grupo, antes de la realización de las actividades de clases, confrontarla con los resultados de la clase y valorar los aciertos y desaciertos con el jefe de grupo, ante el colectivo.

4. Diversificar los medios e instrumentos de evaluación. Mayor peso a modos de evaluación informales, los proyectos individuales y colectivos, la evaluación de ejecuciones durante un período prolongado de trabajo del estudiante, La entrega y discusión de tareas, etc.

5. Repartir y pedir la entrega individual de tareas, sistemáticamente, de acuerdo a las capacidades de cada estudiante.

6. Valorar la sustitución parcial de evaluaciones por los resultados del trabajo durante el curso.

7. Estimular el desarrollo de experimentos, informes, monografías, tareas investigativas de diversa índole, desarrollo de modelos conceptuales, o completamiento de estos.

CONCLUSIONES

Realizando un análisis de los resultados académicos de los alumnos evaluados al culminar el curso de Física General I se puede apreciar que los contenidos que fueron objeto de examen final y para el vencimiento de los objetivos en los mismos los alumnos tenían que demostrar un grado de solidez en el aprendizaje, arrojaron resultados positivos en la mayor parte de los alumnos que recibieron la Física general I por células generadoras, ya que recordaron los principios físicos más generales, pudiendo formularlos y ejemplificarlos correctamente. En lo que respecta a las opiniones sobre aspectos positivos y negativos del curso veamos algunas de estas dadas por los alumnos a través de encuestas realizadas a los mismos.

Aspectos positivos:

1. Me centré más en los contenidos importantes, por lo que me creo habilidades, para analizar los procesos físicos más profundamente.
2. Que si te acuerdas de la célula generadora fundamental, es más fácil interpretar los ejercicios y lo puedes resolver.
3. Nos obligó a tener que razonar mucho más de lo acostumbrado

4. Me enseñó a desarrollar mi aprendizaje.

5. No tuve que aprenderme las ecuaciones específicas de cada ejercicio sino que, con la ecuación general llegaba al caso particular que necesitaba.

Aspectos negativos:

1. Más estudio con relación al curso que se imparte (tradicional).

2. Requirió de más esfuerzo y más dedicación por parte de nosotros.

3. Teníamos más responsabilidad.

Entonces se puede resumir en dos aspectos esenciales:

1. La estructuración por células generadoras del curso de Física General I, posibilita crear una actitud de aprendizaje conciente y cultiva el esfuerzo por aprender más que por simplemente aprobar un examen final, en consecuencia, con esta propuesta de re-estructuración del curso se puede lograr mayor solidez en el aprendizaje de la Física.

2. Dar a conocer a los estudiantes al inicio de cada curso todo el sistema de evaluación de la asignatura, que muestre todas las variantes posibles para alcanzar los objetivos del curso, que incluya, lo que debe saber, saber hacer, y sus modos de actuación en cada etapa del curso, garantiza un estudio sistemático en los estudiantes.

1. Aragón, M., Oliva, M., Bonat, M. y Mateo, J. (2005). Un estudio sobre las relaciones entre pensamiento analógico y modelos mentales de los alumnos sobre la materia. Enseñanza de las Ciencias, nº Extra: VII Congreso Internacional sobre investigación en la Didáctica de las Ciencias,

2. Asoko, H., y Deboo, M. (2001): Analogies and Illustrations: Representing Ideas in Primary Science. Hatfield, The Association for Science Education.

3. Álvarez Martínez de Santelices, C. (2009). Sitio Web "Simulaciones Computacionales de Física" publicada en <http://colos.inf.um.es/LVE/>

4. Castro Pimienta Orestes D. evaluación en la escuela: ¿reduccionismo o desarrollo? (soporte magnético)

5. González, M. 2000. Evaluación del aprendizaje en la enseñanza universitaria. CEPES. La Habana.

6. Milán Licea María Rosa y otros. La evaluación como un proceso participativo Revista Pedagogía Universitaria Vol. 9 No. 4 2004

7. Moreira, M. A.: Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza-aprendizaje de la Física y en la investigación en este campo, XX Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, 2002.

LA RESONANCIA: UN ÚNICO FENÓMENO, PERO CON MUCHAS MANIFESTACIONES

FÉLIX MTNEZ.-OLIVA¹, SANTIAGO GARCÍA DALLY¹ Y MERCEDES NAVARRO FERNÁNDEZ¹

1. Departamento de Física Aplicada, Facultad de Física, Universidad de la Habana.

La costumbre generalizada, de nuestros cursos así como textos y docentes, es tratar las diversas manifestaciones de este interesante fenómeno como si fueran problemas o situaciones diferentes, sin nada o con muy poco que ver entre sí. Así, cuando se le trata en mecánica (dentro de las oscilaciones forzadas); en electromagnetismo (dentro de los circuitos RLC, de CA); en el efecto MÖSSBAUER y en otras ramas científicas del saber, no se dan conceptos, ni criterios generales del mismo sino estrictamente locales (y aún más, en ocasiones, invirtiendo el orden de lo que puede llamarse su causa y su consecuencia más importante). Este trabajo tiene como objetivos: establecer con claridad un concepto genérico del problema, aplicable luego a las más diversas condiciones locales. También se trata de demostrar y convencer de la validez, y utilidad, de tal planteamiento, con dos ejemplos de los más simples de nuestros cursos, uno en Mecánica y el otro en Electromagnetismo. Así como propiciar la discusión de los docentes al respecto, y el enjuiciamiento crítico, que nos permita acercarnos a un enfoque más adecuado, y unificador, de dicho fenómeno.

The widespread habit, of our courses as well as texts and professors, it is to treat the diverse manifestations of this interesting phenomenon as if they were problems or different situations, without anything or with very little that to see to each other. This way, when it is treated in Mechanics (inside the forced oscillations); in Electromagnetism (inside the circuits RLC, of CA); in the effect MÖSSBAUER and in other scientific branches of the knowledge, concepts, neither general approaches of the same one are not given but strictly local (and even more, in occasions, investing the order of what can be called their cause and their consequence more important). This work has as objectives: to settle down with clarity a generic concept of the problem, applicable then to the most diverse local conditions. It is also to demonstrate and to convince of the validity, and utility, of such a position, with two examples of the simplest of our courses, one in Mechanics and the other one in Electromagnetism. As well as to propitiate the discussion of the educational ones in this respect, and the critical prosecution that allows to come closer to a more appropriate focus, and unifier, of this phenome-non.

Palabras clave: Resonancia, Enseñanza de la Física, Libros de texto.

INTRODUCCIÓN

En nuestros cursos básicos de Física, como Mecánica y Electromagnetismo, se suele discutir la resonancia, pero de un modo que si bien resuelve las necesidades inmediatas (en términos de contenidos de la asignatura y resolución de problemas), no favorece en lo absoluto la generalización del fenómeno.

Así, cada vez que el alumno se enfrenta al estudio y discusión de este importante fenómeno, no es capaz de asociarlo con lo que ya alguna vez estudió, discutió y aprendió, sino que lo interpreta como algo totalmente nuevo, desconocido y tal vez lo peor- aplicable sólo al estrecho y reducido marco de un contenido muy específico dentro de un tema de la asignatura, o capítulo del texto correspondiente.

¿Cómo estamos enseñando entonces esa idea cardinal, en el desarrollo de la Ciencia, que presupone un mínimo de leyes para abarcar un máximo de situaciones y condiciones?

Indudablemente, por esta vez al menos, seamos autocríticos, los docentes y los autores de los textos, liberando completa-

mente al estudiantado de culpa alguna, ya que es nuestra y no de ellos.

¿Cómo vamos a pedir lo que no hemos sido capaces de dar antes?

Para saldar esa deuda, es que este trabajo viene a presentar una alternativa con una suerte de “visión de conjunto” al proponer un enfoque abarcador válido en todo contexto.

DESARROLLO

Lo que planteamos, en esencia, no es un método de trabajo nuevo sino uno que resulta bien conocido por físicos y matemáticos. Piense, por un momento, en la forma con que se trabaja en Física con las llamadas “leyes de Conservación” (como la energía mecánica, el momento lineal y el momento angular) y en Matemática con los llamados “Valores Relativos Extremos (máximos y mínimos, relativos)”.

Así, vamos a desglosar el problema, en el planteamiento de tres criterios básicos. Estos son:

- a) La condición necesaria.
- b) La condición de ocurrencia.
- c) El concepto de resonancia.

a) La condición necesaria

Una forma genérica de abordar el problema, es plantearlo en término de “sistemas físicos”. Entonces, esta primera condición equivale al planteamiento de: ¿en qué sistemas puede darse dicho fenómeno?

Para que pueda ocurrir la resonancia, siempre deben estar presentes dos sistemas físicos; el primero, uno capaz de oscilar y el segundo, otro capaz de entregar la energía necesaria (al primero) para mantener dichas oscilaciones.

En un caso general, cada uno de estos sistemas, vistos como entidades separadas, tiene al menos una frecuencia propia, también llamada a veces como natural.

Debe quedar claro que, en principio, tanto la fuente de energía externa, como el sistema oscilante, pueden tener las más diversas naturalezas intrínsecas. De este modo, su carácter puede ser mecánico, electromagnético o cualquier otro, sin limitación alguna.

b) La condición de ocurrencia

Esta equivale a la pregunta de: ¿cuándo decimos que está presente la resonancia?

Esta condición, como sabemos, consiste en la igualdad numérica de las frecuencias (o de los períodos) en ambos sistemas. Típicamente, la resonancia tiene lugar cuando la frecuencia con que la fuente externa entrega su energía, coincide con una frecuencia propia, o natural, del primer sistema oscilante.

c) La condición de resonancia

Esta resulta la más interesante por cuanto es la que usualmente está ausente y, a su vez, es la que permite establecer un criterio unificador, con una total independencia de muchos factores como la propia naturaleza concreta de los sistemas involucrados.

La enunciaremos así:

Bajo la condición anterior (de la igualdad de las frecuencias) tiene lugar una situación muy peculiar: entonces, y sólo entonces, el intercambio de energía, entre los sistemas, se optimiza. Es decir, sólo bajo la condición de la igualdad de las frecuencias, sucede que la energía entregada por el primer sistema (por la fuente externa), es absorbida o asimilada al máximo por el segundo (el sistema oscilante).

Podía añadirse una cuarta condición, tal vez la más conocida y peor interpretada del fenómeno y es que la observación experimental concluye que: es en resonancia que los sistemas (oscilantes) alcanzan los valores máximos en las amplitudes de sus oscilaciones. Por supuesto que esto ocurre, pero no es más que un resultado del concepto anterior, la optimización del intercambio energético.

Así, es fácil ver que lo que a veces presentamos como “la esencia del fenómeno” no es tal sino una consecuencia de aquella.

De los planteamientos anteriores se deducen dos consecuencias importantes:

La primera es el carácter completamente general del concepto, por cuanto no compromete para nada la naturaleza particular de los sistemas físicos donde ocurre.

La segunda es la posibilidad de comprobar su validez de un modo muy directo, inmediato, al menos para el caso de algunos sistemas simples como mecánico y electromagnético. Tal vez sea una buena propuesta que otros autores lo verifiquen en sistemas diferentes.

2.1 La resonancia en un sistema mecánico

Consideremos un sistema mecánico tan simple como un niño balanceándose en su columpio o silla voladora. La fuente externa de energía la constituirá el adulto que suele acompañarlo e impulsarlo a intervalos regulares.

Simplifiquemos el sistema considerando al columpio como una partícula a la que puede aplicarse el conocido teorema del trabajo de la fuerza resultante y la variación de la energía cinética.

$$W_{RES} = \Delta K = K_f - K_i \quad (1)$$

Obviamente la variación de la energía cinética se refiere al columpio y el trabajo de la fuerza resultante (que actúa sobre el anterior) al del adulto que provee la energía.

Aceptemos que, con bastante buena aproximación, el adulto puede controlar sus acciones repetidamente; esto es mantener una frecuencia (o período) estable así como el trabajo o la cantidad de energía que emplea en “cada impulso”.

Analicemos las dos posibilidades siguientes, en cada interacción: $K_i = 0$ o $K_i \neq 0$. Por supuesto, $K_f \neq 0$. Cuando $K_i \neq 0$, resulta que $K_f < \Delta K = W_{RES}$, luego es obvio que el aprovechamiento energético no es óptimo, pues una parte de la energía entregada por la fuente no se asimiló por el sistema oscilante. Como consecuencia inmediata, lo que todos sabemos, no se logrará la amplitud máxima posible, en el columpio que oscila.

Cuando $K_i = 0$ resulta que $K_f = \Delta K = W_{RES}$ luego ahora el aprovechamiento sí es óptimo pues toda la energía entregada (por el impulsor, la fuente externa) es asimilada (por el sistema oscilante, el columpio). Claramente, ahora sí se logrará que las oscilaciones alcancen la amplitud máxima posible, dada las condiciones concretas del sistema.

A su vez, es fácil darse cuenta del significado de que $K_i = 0$, en cada interacción. Significa nada menos que el columpio ha llegado a un extremo de las oscilaciones completas, y el tiempo

entre cada interacción es exactamente un período de las oscilaciones.

Así, los períodos o frecuencias de los dos sistemas son idénticos. Entonces estaba en condición de resonancia y se cumple la tercera condición, el concepto “energético” de la resonancia.

2.2 La resonancia en un sistema electromagnético

Consideremos un circuito simple de CA, constituido por una sola malla con una R, una L y una C, en serie. La fuente externa de energía, en este caso, se representa por una fem alterna sinusoidal $\mathcal{E}(t) = V_M \sin \omega t$ (2)

La potencia media disipada en dicho circuito, puede calcularse por $\langle P(t) \rangle = V_M I_M \cos \varphi$ (3), donde se expresan las amplitudes (valores máximos) del potencial y la intensidad de la corriente, así como el ángulo de desfase entre el voltaje aplicado y la intensidad de la corriente que circula. A su vez, puede replantearse como:

$$\langle P(t) \rangle = \frac{1}{2} \frac{V_M^2 R}{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4)$$

A partir de la expresión (4), puede hallarse fácilmente su valor máximo tanto por los recursos del cálculo como por simple inspección. Tal condición de potencia máxima disipada, se alcanza cuando $X_L = X_C$. A su vez, es conocido que este resultado conlleva a que:

$$\omega = \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (5)$$

El mismo resultado puede obtenerse a partir de (3), para cuando $\varphi = 0$, aunque es un poco más indirecto.

A $\varphi \neq 0$ $\langle P(t) \rangle < \langle P_M(t) \rangle$ donde no hay aprovechamiento máximo, fuera de la resonancia. En cambio, si

$\varphi = 0$ $\langle P(t) \rangle = \langle P_M(t) \rangle$ donde el aprovechamiento es máximo y está presente la condición de resonancia.

Los dos resultados indican la misma condición física, la igual-

dad de las dos frecuencias o períodos (de la fuente de fem y del circuito RLC) y ésta es la condición de resonancia.

Queda igualmente claro, que es en esta condición, y sólo en ella, que el circuito aprovecha al máximo la energía que en cada ciclo le proporciona la fuente.

Entonces nuevamente se está en resonancia y se cumple la tercera condición, el concepto “energético” de la resonancia.

Parece suficiente lo discutido, para alcanzar el primer objetivo propuesto.

CONCLUSIONES

Se ha establecido claramente un concepto genérico del fenómeno de la resonancia, con independencia total de las condiciones particulares del sistema físico.

Se ha aplicado este concepto, satisfactoriamente, a dos situaciones convencionalmente bien distantes (mecánica y electromagnetismo) demostrándose la validez los argumentos iniciales.

Queda pendiente la posible discusión enriquecedora, de los colegas, y el paso del tiempo como juez definitivo, en este intento de una aproximación más genérica y unificadora del fenómeno.

[1] Física. D. Halliday; R. Resnick y K. S. Krane. 4ta ed. Editorial Félix Varela, La Habana 2004.

[2] Physics. Principles with applications; D. Giancoli. 6ta ed. Pearson Pentice Hall.

[3] Mecánica. S. Strelkóv. Editorial Mir Moscú