

HACIA LA HOLOTV

J.J. Lunazzi, Instituto de Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP Brasil

RESUMEN

En trabajos anteriores hemos demostrado la creación por medio de computadoras de figuras animadas y con textura que pueden ser visualizadas en perfecta tercera dimensión, sin necesidad de accesorios y para varios observadores simultáneamente. Introducimos aquí la posibilidad de televisión con esas características, partiendo del mismo dispositivo electroóptico de proyección e indicando las características de un dispositivo de captación de imágenes.

ABSTRACT

In early works we have showed computer aided creation of moving figures and with a texture that can be visualized perfectly in three dimensions without accessories by several observers at the same time. We introduce here the possibility of television with these characteristics, coming from the same electrooptic projecting device and we suggest how should the image caption device must be.

1. INTRODUCCION

Una imagen plana no iguala a una imagen tridimensional. Hay recursos gráficos como la perspectiva, el uso de sombras, la oclusión, variación de textura y otros que ayudan a representar la profundidad en lo que podríamos llamar de representación 2.5 D. Existen varios intentos para representar imágenes que no se distinguen de las originales [1, 2] conteniendo la disparidad ocular y el paralaje, con los que se busca eliminar la necesidad de accesorios visuales. Las aplicaciones en representación científica, telepresencia y diseño por computadora destacan la importancia del tema. En trabajos anteriores mostramos la técnica que desarrollamos con ese objetivo [3, 4, 5, 6, 7, 8] y que llegó a la animación de figuras computarizadas.

2. UN SISTEMA PARA HOLOIMAGENES

Definimos como holoimágenes aquellas que contienen todos los elementos de una imagen verdadera (según el sentido de "holo" = completo) y que no necesitan de accesorios para el observador (como en la holografía). La técnica que logramos para esto la llamamos de *holoproyección* [4, 5, 6]. Se basa en el uso de una pantalla difractiva y solo le falta para ser completa el paralaje en el sentido vertical, de manera semejante a como ocurre en algunos tipos de hologramas. Utiliza una fuente de luz blanca, una red de difracción, dos objetivos para proyección, una pantalla difractiva ("holográfica") y una computadora que contiene la información, controla un espejo que gira rápidamente y lanza secuencialmente planos de la escena que son vistos en la pantalla, ocupando espacio tanto por delante como por detrás. La pantalla holográfica [9] se parece en su estructura a una lente difractiva pues concentra toda la luz que

recibe en una pequeña región, a la que damos la forma de una faja vertical para aumentar el campo de observación verticalmente. Al mismo tiempo, distribuye horizontalmente la luz según su longitud de onda, lo que le permite ofrecer diferentes puntos de vista para cada región de observación (posición del ojo del observador). Nuestro sistema de proyección pone a cada plano representado en una posición oblicua a la pantalla, y se lo ve como una imagen flotante en el espacio atravesando la pantalla. Desde cada posición en que esté el observador ve todos los planos que pasaron en una secuencia como si fuera un solo cuadro gracias a la persistencia en la retina.

Las fetas de imagen fueron creadas por una versión modificada de un programa de trazado de rayos tridimensional y son proyectadas sobre una red de difracción desde donde las imágenes del primer orden de difracción son nuevamente proyectadas sobre la pantalla a través de un espejo que gira horizontalmente en sincronismo con las fetas que son lanzadas en secuencia, llenando el volumen de exhibición. El proyector es un proyector de video convencional del que se usa la entrada RGB para recibir la información que sale de la computadora PC486 por medio de una placa de salida de video TARGA +32.

3. RESULTADOS

El prototipo fue capaz de mostrar una animación de 12 cuadros con tres fetas en cada uno a la frecuencia de 14 Hz.

Las imágenes tienen paralaje horizontal continuo y están limitadas en la frecuencia de cuadros por la frecuencia de exhibición del proyector, de 60 Hz.

La imagen se proyectó en una pantalla de 0,75 m de ancho por 1,14 m de altura (con altura efectivamente ocupada de 0,5 m) con un volumen de 50 litros aproximadamente.

Los pares estéreo fueron registrados con cámara de video a una distancia de 2 m donde había un campo de visión de más de 30 cm .

4. TELEVISION

Para que el sistema demostrado pueda mostrar imágenes de televisión diseñamos un sistema de captura de planos de una imagen real, consistente en una línea de luz blanca generada a partir de un largo filamento vertical de lámpara halógena. Así pudimos capturar por medio de una cámara de video convencional (Sony 8 mm) y una placa de captura de video (TARGA +32) una secuencia de fetas sobre objetos fijos. La proyección que debería darnos la representación de la imagen fue hecha en una secuencia lenta, porque nuestro programa de control de información que la placa de vidrio recibe y lanza no está aún preparada para recibir información de manera rápida.

O sea, que si bien tenemos en mano todos los elementos para el registro y transmisión de televisión, aún no lo hemos hecho en el ritmo de

visión natural por no tener los elementos apropiados. Elementos que, por otra parte, son cada día más comunes en el mercado de televisión, y pretendemos pasar a otra generación de computadora y placa de captura y lanzamiento de video para, por medio de programa que incluya el accionamiento de un motor de paso, generar verdaderas imágenes de televisión que hasta podrían llegar a ser simultáneas, considerando las altas velocidades y grandes capacidades de almacenamiento de los elementos actualmente en el mercado.

5. CONCLUSION

El sistema genera animaciones de escenas con paralaje horizontal continuo para más de tres observadores simultáneos que no necesitan de elementos auxiliares para la visión, a un ritmo suficiente como para compararlo a las primeras imágenes del cine. Con las nuevas tecnologías emergentes de video digital será posible aumentar el ritmo de muestreo y también el brillo de la imagen, lo que será una verdadera televisión que podrá ser llamada "holográfica". Con la frecuencia de transferencia de 2kHz podremos mostrar escenas perfectamente tridimensionales con 64 planos componentes a 30 Hz, o 100 planos a 20 Hz, llegando a una demostración de factibilidad completa.

REFERENCIAS

- [1] CLIFTON III, T.E. and F. WEFER (1993): "Direct volume display devices", **IEEE Computer Graphics & Applications**, 57-65, July.
- [2] DODGSON, N.A. (1996): "Analysis of the viewing zone of the Cambridge autostereoscopic display", **Applied Optics** 35, 1705-1710, April.
- [3] LUNAZZI, J.J. (1993): "Pseudoscopic Imaging by Means of a Holographic Screen", Proc. of SPIE 16th. Congress of the International Commission for Optics, Optics as a Key to High Technology, Volume 1983 in Part Two, 583-584.
- [4] DIAMAND, M. (1994): "Sistema para Visualização Holográfica de Figuras Geradas por Computador", Master Thesis, Faculdade de Engenharia Elétrica, UNICAMP (<http://www.geocities.com/CapeCanaveral/Lab/6146/tese.md.html>).
- [5] LUNAZZI, J.J. and M. DIAMAND (1995): "3D display system based on holographic screen and microcomputer driven galvanometers", **Applied Optics** 34, 4697-4699.
- [6] _____ (1999). "Volume images vector display based on a diffractive screen", **Optical Review** 6(6), 513-517. [Http://www.pagina.de/holografia](http://www.pagina.de/holografia)
- [7] FONSECA, E.G. da, C.F.X. de MENDONÇA N. and J.J. LUNAZZI (1997): "A holographic animation system based on holoprojection", Proc. of the Symposium of Laser and Applications SLA'97, Campinas, Brasil, December, 70-73. Also technical report IC-97-19, Institute of Computing UNICAMP (<http://www.dcc.unicamp.br/reltec-ftp-97-19.ps.gz>).
- [8] LUNAZZI, J.J.; E.G. da FONSECA, C.F.X. de MENDONÇA N. and P.L. de GEUS (1998): "A Holographic Animation System", Sexto Encuentro Latinoamericano de Optica, Laseres y sus Aplicaciones OPTILAS'98, e 3ra Reunión Iberoamericana de Optica - RIAO, Cartagena de Indias, Colombia, Septiembre 28 a Octubre 2, Anales publicados en CDROM.
- [9] LUNAZZI, J.J. (1992): Patente Francesa No. 8907241.

EQUIPO PARA LASERTERAPIA CON ARREGLO SUPERFICIAL DE DIODOS (DUCHA LASER)

Gustavo F. Pérez Puig, Josué Arteche Díaz, Arlene M. Pérez González, José A. Espinosa Martínez y Danny Rodríguez, Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

Este trabajo consiste en la construcción de un dispositivo para la laserterapia de grandes áreas afectadas por quemaduras u otras lesiones dermatológicas, con el objetivo de favorecer la cicatrización y la regeneración tisular. Su construcción se ha basado en un arreglo de doce diodos láser de 670 nm de longitud de onda y 5 mW de potencia cada uno. Los periodos de tratamiento son controlados por otro equipo (Lasarmed 670nm), el cual además suministra el voltaje de alimentación.

ABSTRACT

This work deals with the manufacturing of a device for laser therapy of wide areas that have been damaged by burning or some other dermatological lesions, with the purpose of helping healing and tissue regeneration. This device is made up by a twelve laser diodes array, each one being able to radiate with a power of 5 mW and a 670 nm wavelength. An equipment (Lasarmed 670) that supplies power, also controls the treatment periods.

INTRODUCCION

Ya desde la época de los faraones egipcios era empleada la luz con fines médicos, pero no es hasta mediados de este siglo que se realizan investigaciones científicas para tratar de explicar los efectos de la radiación óptica sobre el cuerpo humano. Esto trajo como consecuencia el auge de algunas aplicaciones, entre ellas la de la laserterapia blanda con fines terapéuticos y de bioestimulación [1, 2]. A principios de los años 80 aparecen numerosos equipos comerciales para su uso en diferentes ramas de la medicina, y con ello se acrecientan las investigaciones en este campo y aumentan las patologías a tratar, para cada una de las cuales se hace necesario optimizar los parámetros dosimétricos y la longitud de onda de la radiación a emplear.

El desarrollo optoelectrónico de nuestros días ha significado la obtención de láseres semiconductores con líneas de emisión en un amplio intervalo de longitudes de onda y de diferentes potencias. El abaratamiento de estos dispositivos, sus reducidas dimensiones y largo tiempo de vida ha conllevado a su uso en diversas ramas de la medicina y la biofísica en general. En los últimos años se ha incrementado el empleo de diodos láseres como fuente de radiación en equipos de laserterapia y bioestimulación, específicamente en la zona visible del espectro.

En nuestro país se ha alcanzado un notable desarrollo en la construcción de equipos para laserterapia blanda, los que han sido empleados en el tratamiento de numerosas y disímiles patologías; y que no sólo han utilizado como fuente de radiación

los láseres gaseosos, sino también láseres semiconductores con emisión tanto en el infrarrojo como en el visible.

Actualmente se han comenzado a comercializar exitosamente, en el mercado extranjero, equipos con varios diodos láseres como fuente de luz. Esto significa el tratamiento de zonas mayores a las tratadas anteriormente y por consiguiente una disminución en el tiempo de tratamiento y en las molestias causadas al paciente. Estos nuevos equipos en su casi totalidad han sido desarrollados con láseres infrarrojos, a pesar de que numerosos trabajos científicos reportan resultados satisfactorios en el tratamiento con luz roja, en el rango de 630 a 690 nm [3, 4]. El desarrollo de un aparato con arreglo superficial de diodos láseres con emisión en la zona roja del espectro, permite realizar tratamientos eficaces en el campo de la dermatología y caumatología, donde el empleo del láser contribuye marcadamente a la curación del paciente.

Tomando en cuenta lo antes dicho, el objetivo a cumplimentar con este trabajo es el diseño y construcción de un dispositivo para laserterapia con un arreglo de 12 diodos láser de 675 nm de longitud de onda y de 5 mW de potencia cada uno, que permita el tratamiento de grandes zonas afectadas, ya sea por quemaduras u otro tipo de lesión dermatológica, aplicable además en tratamientos de estética. La ducha láser será empleada como dispositivo adicional, acoplado al equipo Lasarmed 670 producido por TECE, S.A., siendo este último el encargado de controlar los periodos de exposición del paciente a la radiación láser.

CARACTERISTICAS TECNICAS:

- Cantidad de diodos láser del arreglo: 12 unidades.
- Potencia emitida por cada diodo: 5 mW.
- Longitud de onda de la luz radiada: 670 nm (luz roja).
- Control automático del tiempo de tratamiento con el equipo Lasermed 670.
- Potencia eléctrica: 3 W.

APLICACIONES Y VENTAJAS DE LA DUCHA LASER

Dado que esta longitud de onda es ampliamente utilizada para la regeneración tisular, se ha construido este dispositivo para tratar patologías de índole dermatológica, en las cuales con muy alta frecuencia es necesario irradiar áreas relativamente grandes. Como ejemplo de estas se pueden citar entre otras, las quemaduras, la celulitis, herpes y úlceras.

Actualmente existen equipos para laserterapia, en varios centros hospitalarios del país, con características de emisión de radiación en cuanto a densidad de potencia y longitud de onda similares al que se ha construido; pero con la limitante, para algunas aplicaciones, de ser equipos con un sólo emisor láser, por lo que se necesita un tiempo grande para lograr la exposición terapéutica de toda la región dañada, lo cual resulta tedioso no solamente al paciente sino también al personal médico. El empleo en laserterapia de un equipo como este permite el tratamiento de áreas mayores que las que pueden ser tratadas por los equipos que solo disponen de un emisor láser y por consiguiente disminuye el tiempo de tratamiento y las molestias que este causa al paciente.

En el mercado internacional recientemente se han venido comercializando equipos de este tipo con precios que oscilan entre los 4000 y 10 000 dólares. Aún en el caso de que el sistema de salud nacional esté en condiciones de importarlos, se requeriría además de un fondo para reparación y mantenimiento, actividad que tendría que ser realizada por la firma productora, o que de realizarse por instituciones nacionales no dejaría de ser difícil y costosa por las necesidades de un correcto aseguramiento técnico. Este aparato tiene en cuenta las sugerencias realizadas por el personal médico para lograr mayor funcionalidad, lo cual lo hace atractivo; pero su mayor ventaja es el precio al cual podría obtenerse, además de que se ofrecería el servicio de mantenimiento y reparación del mismo lo que significa un ahorro en la inversión a realizar por el MINSAP. Destaquemos, además, que el uso de la

laserterapia blanda significa un sustancial ahorro por concepto de medicamentos y disminución del tiempo de recuperación y por tanto de incorporación del paciente a la vida social.

PROGRAMA DE SIMULACION

Como parte del trabajo se realizó una simulación computarizada de la densidad de potencia de la mancha, en dependencia de la cantidad y disposición de los diodos empleados, la que puede ser usada como herramienta en el diseño de próximos equipos. Este programa calcula la geometría de la mancha generada por los diferentes arreglos de diodos, el área total de esta y su densidad de potencia. Además permite graficar la distribución de intensidades de dicho spot, según una escala de colores presentada, haciendo corresponder al rojo el máximo de intensidad. Por otro lado, dada una geometría determinada del spot permite buscar el arreglo de diodos que más se le aproxime.

En la Figura 1 se puede observar la simulación de las imágenes obtenidas para diferentes distribuciones de los 12 diodos del arreglo y para diferentes distancias entre el aparato y el objeto irradiado.

Las figuras 1a y 1b representan imágenes para la distancia de 5 mm entre el equipo y el objeto irradiado pero en el caso 1b la separación entre diodos es algo menor.

La figura 1c representa la imagen para la distancia de 10 mm entre el equipo y el objeto irradiado y la separación entre diodos es menor que en los casos 1a y 1b.

La figura 1d representa la imagen para la distancia de 15 mm entre el equipo y el objeto irradiado y la separación entre diodos es la menor de todas.

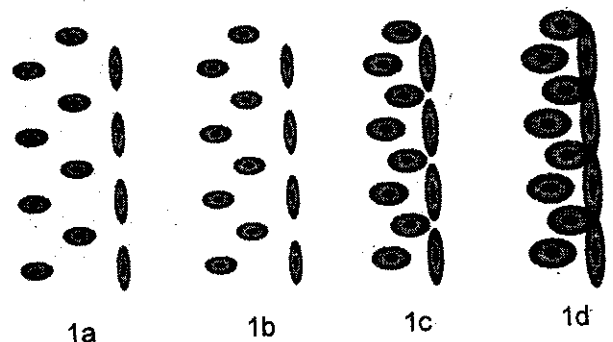


Figura 1. Ejemplos de distintos spots para un arreglo de 12 diodos.

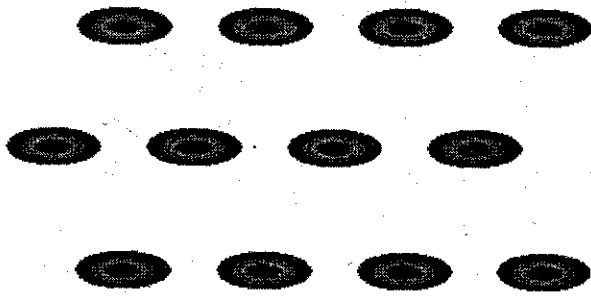


Imagen modelada

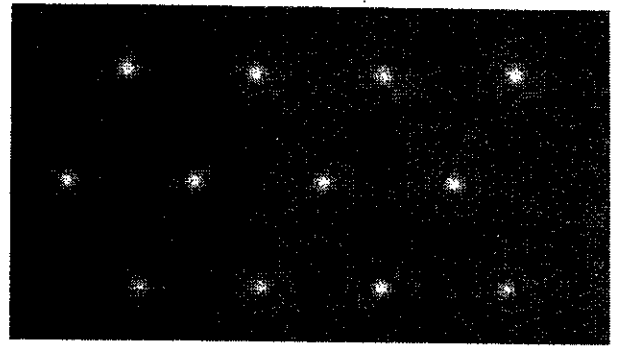


Imagen real

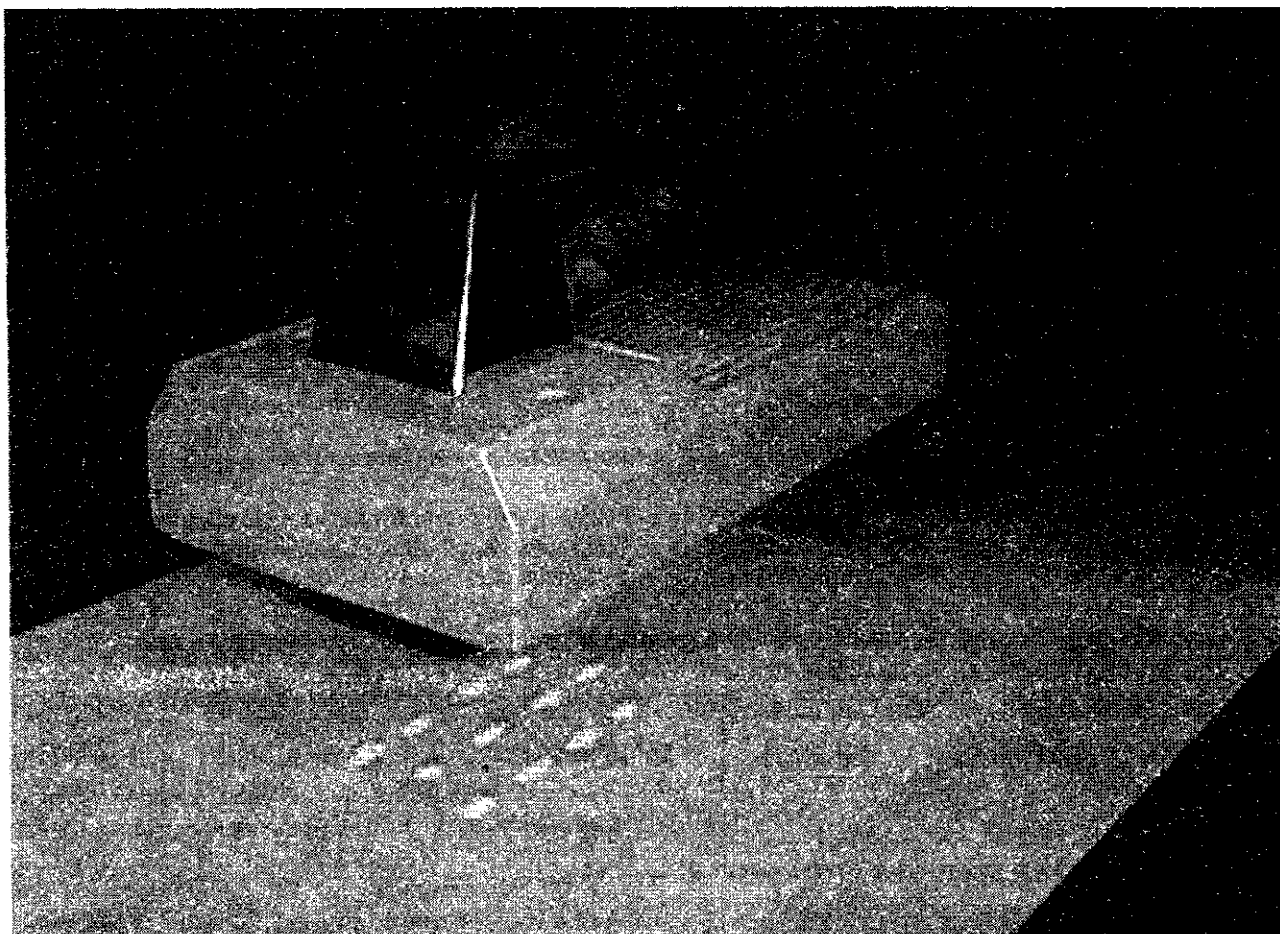
Figura 2. Spot obtenido para la ducha láser a una distancia de 15 mm .

En la Figura 2 se observan los spots real y simulado de la ducha láser para una distancia de 15 mm respecto a la superficie irradiada y en la

Tabla 1 se muestran las densidades de potencia de cada uno de los diodos del arreglo para la misma distancia.

Tabla 1. Resultado obtenido por el programa de simulación para distancia de 15 mm entre equipo y objeto.

DIODO	X [Pixels]	Y [Pixels]	DP [MW/CM ²]	AREA [CM ²]	IO [MW]
1	170	35	142.93	0.46	5
2	90	79	144.51	0.91	5
3	248	79	143.98	1.37	5
4	170	123	144.51	1.82	5
5	90	167	144.19	2.28	5
6	248	167	143.98	2.74	5
7	170	211	144.28	3.19	5
8	90	255	144.11	3.65	5
9	248	255	144.33	4.10	5
10	170	299	144.19	4.56	5
11	90	343	144.07	5.02	5
12	248	343	144.24	5.47	5



CONCLUSIONES

Se llevó a término la construcción del prototipo tecnológico de un arreglo superficial de diodos para laserterapia que corresponde a los requerimientos antes planteados y se le entregó al cliente, el que

manifestó su total conformidad con los parámetros técnicos del mismo. La realización de los ensayos clínicos de la ducha láser se llevará a cabo en la clínica reconstructiva del hospital Luis de la Puente Uceda, centro que ha manifestado un gran interés y disposición para desarrollar dicha actividad.

REFERENCIAS

- [1] KRIUK, A.C. y otros (1986): "Efectividad terapéutica de la radiación de baja intensidad", Editorial Ciencia y Técnica, Minsk.
- [2] PROJONCHUKOV, A.A. and N.A. ZHINZHINA (1986): "Láseres en estomatología", Editorial Medicina, Moscú.
- [3] Abstracts of the first congress of the world association of laser therapy. Jerusalem Israel, **Laser Therapy** 8(3), 185-190, 1996.
- [4] FAROUK , A.H., AL. WATBAN and XING YANG ZHAN: "Comparison of the effects of laser on wound Healing using different wavelengths", **Laser Therapy** 8(3), 127-135.

FUNDAMENTOS Y ACTUALIDAD DE LOS DIODOS LASERES

Pedro J. Larrea Cox, Margarita Cobas Aranda y Andrés Combarro Romero
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC), Cuba

RESUMEN

Se presentan las características técnicas generales de los diodos láseres, así como sus múltiples aplicaciones, haciéndose particular énfasis en las tendencias de estos dispositivos semiconductores, los cuales han ido introduciéndose aceleradamente en los últimos años y reemplazando a otros tipos de láseres en diferentes esferas cotidianas. Son destacadas, además, sus actuales limitaciones y las vías para atenuarlas lo más posible.

ABSTRACT

General technical specifications of diode lasers, as well as their multiple applications, are presented, emphasizing particularly into the tendencies of these semiconductor devices, which last years have been quickly introduced themselves, and have been replacing another kind of lasers in several daily spheres. Their modern limitations, and the ways for possible attenuation, are besides established.

1. LOS DIODOS LASERES

Aunque el principio de los diodos láseres fue demostrado desde 1962, sólo en esta última década su tecnología ha tenido uso común.

La mayoría de los diodos láseres son fabricados con mezclas de materiales semiconductores (ver Tabla I) de los grupos III-V de la tabla periódica (GaAs, InP, InAs, y compuestos complejos como AlGaAs e InGaAsP).

La longitud de onda (λ) de la luz emitida por los diodos láseres está determinada [1], en general, por la banda prohibida del material láser. Los compuestos binarios tienen bandas prohibidas fijas,

mientras las bandas prohibidas de los compuestos ternarios y cuaternarios pueden ser variadas, dentro de un intervalo, cambiando su composición.

Hasta hace muy poco tiempo su λ estaba restringida a la región del IR cercano y roja del espectro.

También hay λ más cortas, en el caso de los láseres sólidos bombeados por diodos (DPSSL) doblados en frecuencia (SHG), emitiendo verde, y de diodos láseres SHG, emitiendo azul.

Solo en 1999 [2] se logró un diodo láser emitiendo azul, con un tiempo de vida de $10^4 h$, el mínimo [3] demandado para sistemas comerciales.

Tabla I. Materiales semiconductores que provocan efecto láser.

Compuesto	Longitud de onda (λ) [nm]	Compuesto	Longitud de onda (λ) [nm]
InGaN	390 - 420	GaAs/GaAs (puro)	904
GaN	417	GaAs	905, 940
AlGaAs (2X)	428	In _{0.2} Ga _{0.8} As	980
ZnSSe	447 - 480	In _{0.2} Ga _{0.5} As/GaAs	980 - 1050
ZnSe	463, 510, 520	In _{1-x} Ga _x As _y P _{1-y}	1100 - 1650
ZnCdSe	490 - 525	InGaAsP/InP	1100 - 2100
AlGaInP/GaAs	610 - 690, 1300	In _{0.73} Ga _{0.27} As _{0.58} P _{0.42}	1310
Al _x Ga _{1-x} As	620 - 895	In _{0.58} Ga _{0.42} As _{0.9} P _{0.1}	1550
AlGaInP	630 - 680	InGaAsSb	1700 - 4400
Ga _{0.5} In _{0.5} P	670	AlGaAsSb/InGaAsSb	2000 - 3000
Ga _{0.5} In _{0.5} P/GaAs	670 - 686	PbCdS	2700 - 4200
InGaAsP/GaAs	680 - 880	PbEuSeTe	3300 - 5800
AlGaAs	730, 780, 830, 855, 880	PbSSe	4200 - 8000
AlGaAs/GaAs	750 - 880	PbSnTe	5500 - 30000
InGaAs/GaAs	880 - 1100	PbSnSe	8000 - 30000

CARACTERISTICAS P-I e I-V

- En la curva P-I (Figura 1) [4-6] se determina el punto de operación del láser (corriente de control) y la corriente umbral (comienzo del efecto láser).

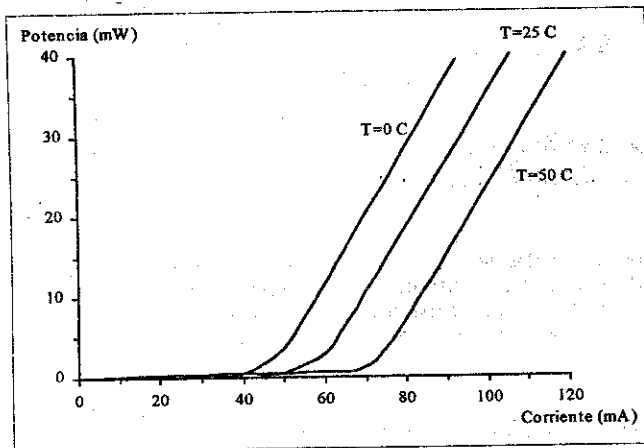


Figura 1. Curvas de potencia óptica vs. corriente de control (P-I) para un diodo láser típico.

Por debajo del umbral hay solo emisión espontánea, mientras en el umbral y por encima predomina la emisión estimulada.

- Los diodos láseres tienen curvas I-V (Figura 2) similares a otros diodos [4]. Se controlan más fácilmente por corriente, ya que una pequeña fluctuación en el voltaje provocaría gran fluctuación en la corriente.

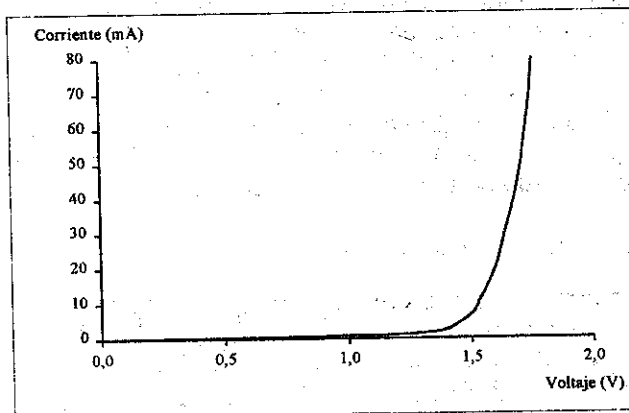


Figura 2. Curva de corriente vs. voltaje (I-V) para un diodo láser típico.

Estructura de modo transversal. La mayoría de los diodos de potencias baja y media ($< 200 \text{ mW}$) presenta el modo transversal de más bajo orden, con perfil de intensidad pseudo-Gaussiano (Figura 3), análogo al TEM_{00} de muchos láseres gaseosos [5].

Eficiencia diferencial. Relación entre la variación principal en la potencia óptica de salida y la variación en la DC de alimentación. Aunque no varía tanto como un cambio de umbral, decrece con la temperatura (Figura 4).

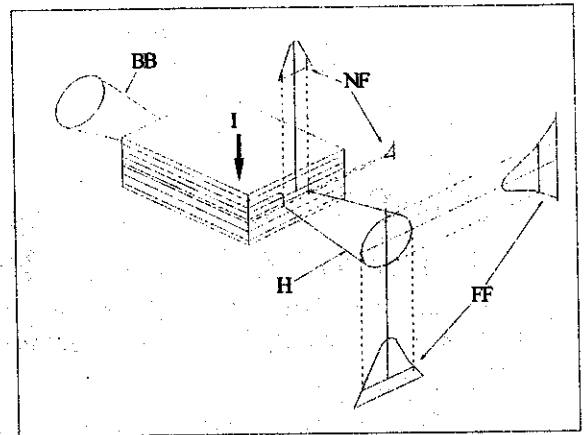


Figura 3. Distribución característica del modo transversal del haz de un diodo láser. I: corriente, BB: haz de la faceta posterior, H: haz láser, NF: patrones de campo cercano, FF: patrones de campo lejano.

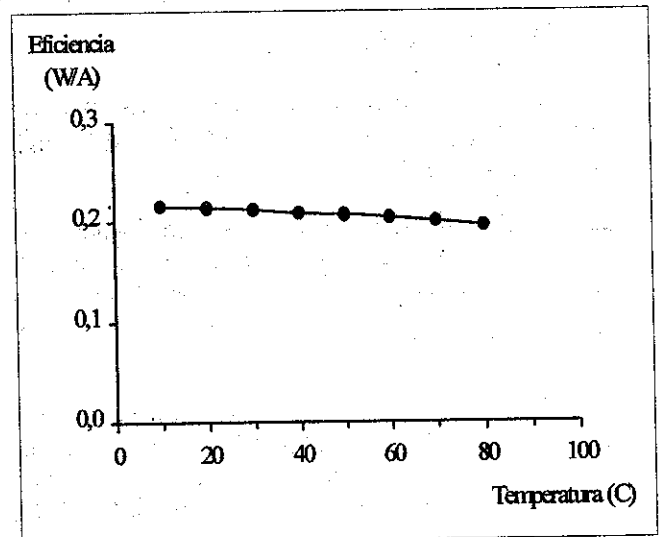


Figura 4. Eficiencia diferencial vs. temperatura de operación de un diodo láser típico.

Tiempo de vida útil. Son comunes tiempos que excedan las $50\,000 \text{ h}$. En general, se duplica por cada reducción de $10 \text{ }^\circ\text{C}$ y viceversa, recomendándose [7] usar disipadores de calor.

Los diodos láseres de baja potencia ($P < 30 \text{ mW}$) generalmente superan las 10^5 h .

Control de la temperatura. La temperatura puede afectar a los siguientes parámetros [8,9]: λ , potencia de salida, amplitud de ruido del haz, estructura modal y tiempo de vida útil.

El sobrecalentamiento es la mayor causa de fallos, que pueden ser rápidos y catastróficos, o por degradación gradual del dispositivo.

Divergencia. Define cuanto se ensancha el tamaño de un haz al propagarse. En un diodo láser con modo transversal simple, la divergencia ocurre según la teoría de propagación del haz Gaussiano [4,7]. En aproximación, es inversamente proporcional al radio de la cintura del haz. Varía de un láser a otro, pero esa asimetría propia puede corregirse con una óptica anamórfica apropiada.

Astigmatismo. La mayoría de los diodos láseres son astigmáticos, debido al desplazamiento entre los puntos de emisión paralelos y perpendiculares a la juntura semiconductor, causado por una dependencia direccional con el índice de refracción de la cavidad láser.

Los diodos láseres visibles tienen valores típicos de 5 a 15 μm , lo que puede corregirse con un montaje óptico adecuado, usando lentes cilíndricas tenues, o ventanas ópticas delgadas en el camino del haz, a cierto ángulo, para adicionar poder a un eje o sustraerlo del otro.

Seguridad y protección. Los diodos láseres son *excesivamente* delicados. Pueden destruirse fácilmente por [4]: descargas electrostáticas (ESD's), transientes de corriente, o excesiva corriente o voltaje. Si son conectados correctamente, la posibilidad de daño accidental por ESD es muy reducida. Sin embargo, los "pinchos" bruscos de corriente, causados por los circuitos, pueden ser fatales.

2. VENTAJAS

Los diodos láseres han sido llamados "pequeños dispositivos maravillosos" [6]. Tienen todas las ventajas de los semiconductores son compactos, de costo efectivo y superiores en muchas formas a otros láseres.

Su tecnología progresa rápidamente. La potencia de salida se duplica cada año, el costo se reduce a la mitad y, como promedio, la λ se acorta 10 nm por año.

Otras ventajas sobre los láseres tradicionales [10]:

- Larga vida ($\sim 10^5$ h).
- Alta eficiencia de conversión de electricidad en luz. Eficiencia total del 20 % (80 % diferencial) y bajo voltaje de operación, hacen del diodo una indudable elección.
- Puede ser directamente controlado, aún por un circuito impreso. Generalmente, existe un fotodiodo en su misma cápsula, y la potencia de salida puede ser controlada, retroalimentada a través de un circuito electrónico, aportando gran estabilidad.
- La pequeña geometría y la naturaleza de la cavidad láser simplifican la modulación de la salida incluso hasta más de 1 GHz.

Ahora los diodos láseres son rivales de los láseres gaseosos, pues son mucho más pequeños, consumen menos potencia, son altamente confiables y capaces de operar cientos de miles de h sin problemas [5], acoplándose correctamente con otros dispositivos electrónicos.

3. APLICACIONES

- **Telecomunicaciones.** Transmisión de voz, datos, televisión por cable (CATV) y bombeo en amplificadores de fibra dopada con Er (EDFA's). Constituyen la mayor aplicación, con casi el 69 % del mercado mundial de diodos láseres.

Tabla II. Comportamiento del mercado mundial de diodos láseres [11].

Aplicaciones	1996		1997		1998		1999		2000	
	M u	M \$	M u	M \$	M u	M \$	M u	M \$	M u	M \$
Telecomunicaciones	1,0	960	1,5	1153	2,0	1378	2,0	2178	2,9	2977
Almacenamiento óptico de datos	170,0	542	213,2	41	264,4	490	302,5	702	335,0	1024
Entretenimiento y exhibiciones	11,4	66	12,5	91	11,8	73	10,6	59	9,7	60
Registro de imágenes	11,4	66	12,5	91	11,8	73	10,6	59	9,7	60
Procesamiento de materiales	2,0	6	8,0	28	9,9	35	7,2	17	16,0	35
Terapéutica médica	1,0	2	3,3	19	7,0	23	4,2	25	7,5	34
Bombeo de láseres sólidos	0,0	0	35,3	60	36,6	53	51,8	54	70,9	67
Otras	0,5	12	0,8	20	1,4	29	5,0	67	7,3	91
Totales	197,3	1654	287,1	1503	344,9	2154	393,9	3161	459	4348

M u: millones de unidades,

M \$: millones de dólares.

- **Almacenamiento óptico de datos.** Láseres multihaces aumentan las velocidades de escritura y lectura en: equipos de CD y DVD, monitoreo de discos, maneto-óptica, ROM's ópticos y almacenamiento holográfico. Es la segunda aplicación, con más de 300 millones anuales.
- **Entretenimiento y exhibiciones.** Exhibiciones lumínicas, pantallas informativas, punteros láseres, pantallas holográficas y proyección de videos láseres.
- **Registro de imágenes.** Impresoras, máquinas de fax, registradoras de imágenes, sistemas comerciales separadores de color, impresoras de elevado volumen, y dispositivos de salida para "scanners", radares y satélites.
- **Procesamiento de materiales.** Diodos de alta potencia, en arreglos o barras, para procesamiento de metales (soldadura, corte, fundido, taladrado), producción de semiconductores y microelectrónica (litografía, inspección, control, análisis y reparación de defectos, surcado de vías); marcaje de materiales incluyendo plásticos, metales, Si, etc.
- **Terapéutica médica.** Oftalmología (cirugía refractiva y fotocoagulación), cirugía general, terapia (fotodinámica, tratamiento de próstata), imágenes y cosmética (depilación).
- **Bombeo (DPSSL's).** La vía más eficiente para excitar láseres de Nd:YAG y Yb:YAG.
- **Láseres semiconductores sintonizables.** Varios módulos permiten sintonizar de 780 a 1060 nm, sin necesitar bombeo, con una manipulación más simple y menos costosa.
- **Diodos emitiendo rojo.** Lectores de códigos de barras y discos ópticos, punteros láseres, sistemas de almacenamiento óptico y herramientas de alineación.
- **Diodos con SHG.** Grandes densidades de potencia permiten el doblaje de frecuencia directo, desde el IR cercano hasta el azul.
- **Otras aplicaciones.** Aeroespacial, aviación militar y comercial, sistemas militares tales como: telémetros, satélites, pirotecnia láser, y computación, incluidas redes ópticas.
- **USA:** SDL, Opto Power, E-Tek Dynamics, McDonell Douglas y JDS Uniphase (alta potencia, $P > 10 W$).
- **Alemania:** Siemens AG (barras de diodos de alta potencia) y Jenoptik Laserdiode (línea de diodos usando barras).
- **Holanda:** Philips.
- **Corea:** Samsung y LG Group.
- **Taiwán:** Electron Co. (diodos visibles).

Ya se producen diodos láseres comerciales, emitiendo algunos mW en el entorno de $\lambda = 633 nm$ [12,13], que sustituyen al láser de He-Ne en aplicaciones tales como: lectores de códigos de barras, herramientas de construcción y alineación, y lectores de discos ópticos. A medida que aumente la potencia de salida, disminuyan los precios y aumente el surtido, se producirá la sustitución gradual de los láseres de He-Ne en otras aplicaciones.

Durante más de tres décadas los investigadores siguen buscando nuevas estructuras, a partir de semiconductores convenientemente dopados, que produzcan emisión láser.

Por su parte, los fabricantes necesitan disminuir el costo, mientras se mantengan la calidad del haz y la facilidad de empleo [14].

En el ocaso del siglo XX [15] surgió el diodo láser azul, el cual estará destinado inicialmente a aplicaciones de almacenamiento óptico de alta densidad. La demanda será dominada particularmente por el nuevo DVD y los CD-ROM's de computadoras de alta velocidad.

Los diodos láseres azules también prometen en varios campos [15]: pantallas a color, impresoras láseres, memorias holográficas, y otros. Para eso, se necesita estabilizar al menos $10^4 h$ de operación, y $10^6 h$ para telecomunicaciones.

Una vez superados los problemas productivos, podrán cubrir todo el espectro visible y bien adentro el IR, por lo que continuarán erosionando los mercados para láseres sólidos y gaseosos convencionales en casi todas las aplicaciones, desde médicas e industriales hasta investigación y desarrollo (R&D). Se espera un significativo progreso de las aplicaciones de los diodos láseres en todas las esferas.

4. ACTUALIDAD Y PERSPECTIVAS

Principales compañías productoras y suministradoras:

- **Japón:** Sony, Rohm, Sharp, Matsushita (baja potencia, $< 100 mW$), Toshiba (azul), y Nichia Chemical (violeta).

Convertidos en una realidad [16], el problema más serio es que la sensibilidad de los detectores ópticos comunes (*Si-pin*) disminuye abruptamente en la región de operación ($\approx 420 nm$). Otras consecuencias incluyen problemas convencionales de diseño, tales como la reducción del ruido debido a la reflexión de la luz hacia el interior del láser, y la reducción del precio.

Dadas sus ventajas, los diodos láseres permiten reducir las dimensiones de los equipos, haciéndolos más portátiles y baratos. Combinados con componentes electro-ópticas de avanzada, proporcionarán el mejor funcionamiento a los instrumentos, por lo que

constituirían una potente herramienta en el análisis de trazas, por citar un ejemplo.

Por tanto, el futuro resultará promisorio [5], por muchos años, para esta elegante tecnología.

REFERENCIAS

- [1] LERNER, E. J. (Feb. 1997): **Laser Focus World**, 33(2): 109.
- [2] STEELE, R. V., (Feb. 1999): **Laser Focus World**, 35(2):52.
- [3] KOBAYASHI, C., (Jan. 1995): **Photonics Spectra**, 90.
- [4] MELLES GRIOT (1995/96): "Optics, Opto-Mechanics, Lasers, Instruments".
- [5] SEASTAR OPTICS Inc. (1993): "Optical Devices & Laser Diode Instrumentation", Product Catalog.
- [6] HERTSENS, T., (Feb. 1989): ILX Lightwave. Application Notes, No. 5. Lasers & Optronics.
- [7] EDMUND SCIENTIFIC (1997): Optics & Optical Instruments Catalog.
- [8] POWER TECHNOLOGY INC. (1995): Laser Diode OEM Systems and Components.
- [9] HODGSON, D., K. NOONAN, et al.: ILX Lightwave. Application Notes, No. 11.
- [10] IMASAKA, T., and N. ISHIBASHI (1990): **Anal Chem.**, 62(6), 363A.
- [11] STEELE, R. V., (Feb. 2000): **Laser Focus World**, 36(2), 70.
- [12] TSUFURA, L. and BARANSKY, O., (Mar. 1995): **Laser Focus World**, 31(3), 83.
- [13] SCIFRES, D. R.: (Jan. 1994): **Photonics Spectra**, 84.
- [14] SATO, M., (Jan. 1997): **Photonics Spectra**, 88.
- [15] LASER & OPTRONICS (1996): **The International Applications Magazine**, 15.
- [16] MORTENSEN, P., (Mar. 1997): **Laser Focus World**, 33(3), 26.

EL DENSITOMETRO CON DIODO LASER: SOLUCION TECNOLOGICA

Pedro J. Larrea Cox, Rolando Miranda Veitia, Danny Rodríguez Mederos, René Y. Díaz Martínez, Margarita Cobas Aranda, Humberto Fernández Lechuga y Aurora C. Escobar Uña
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC), Cuba

RESUMEN

Luego de analizar varios modelos de densitómetros existentes en Cuba, convencionales o no (láseres), se presenta una nueva versión del equipo que incluye un diodo láser visible como fuente de luz, así como un sistema microcontrolador integrado para automatizar las operaciones y garantizar un correcto funcionamiento. Ello permitió optimizar el diseño, en aras de lograr una mejor solución tecnológica, reduciéndose las dimensiones y el costo total, comparándolo con equipos similares.

ABSTRACT

After the analysis of several models of densitometers that there are in Cuba, conventional or not, a new version of the equipment, which includes as light source a visible diode laser, as well as an integrated microcontroller system for automatization of the operations and to assure an adequate performance, is presented. This let to improve the design, in order to achieve a better technological solution, minimizing the total cost and dimensions, compared with similar instruments.

1. INTRODUCCION

Los densitómetros se emplean para realizar determinaciones cualitativas y cuantitativas de diferentes sustancias (ADN, proteínas, ácidos grasos, colorantes, etc.), basados en mediciones de absorción óptica (OD) en substratos que transmitan parte de la radiación luminosa que sobre ellos incide. Entre estos medios se encuentran: separaciones electroforéticas (geles de agarosa, almidón y poliácridamida, láminas de acetato de celulosa), placas de rayos X, difractogramas, fotografías, diapositivas y placas de cromatografía de capa delgada (TLC).

Los densitómetros existentes en el país son insuficientes. Muchos están obsoletos y discontinuados, además de ser comercializados por firmas de países desarrollados. Los modelos actuales tienen un precio elevado, siendo realmente imposible renovar los equipos instalados.

El láser de He-Ne ha sido una fuente de luz adecuada en densitometría por transmisión. Debido a la posibilidad de emplear diodos láseres que emiten en la región visible del espectro, junto a la racionalización de componentes ópticas, electrónicas y mecánicas, se logró diseñar un nuevo modelo de densitómetro, con mejores características técnicas, y menores dimensiones y costo que los precedentes, sin comprometer los parámetros logrados con la tecnología existente.

2. DENSITOMETROS CONVENCIONALES

Los primeros aparatos de este tipo fueron contruidos con lámparas halógenas o de tungsteno, y diferentes filtros para seleccionar la longitud de onda (λ) necesaria para los análisis.

Por lo general, las firmas productoras conservan esas líneas de equipos, debido fundamentalmente a:

- La posibilidad de seleccionar la λ adecuada, aún cuando no se alcanza mayor sensibilidad que 3,0 OD; ni mejor resolución que 100 μm .
- La estabilidad del producto y su prestigio dificultan el cambio a una nueva variante.

Los modelos existentes en la mayoría de los laboratorios del país (ver Tabla I-A) están obsoletos, por lo que no tienen garantizada la reparación ni el mantenimiento, o simplemente están fuera de servicio.

Tabla I-A. Algunos densitómetros convencionales existentes en el país.

Marca	País	Intervalo de OD	Resolución [μm]
Digiscreen-M Scanner, Gelman Sc.	USA	0 - 1	-
Desaga Quick Scan, Helena Labs.	USA	0 - 3	150
Hoefer GS 300	USA	0 - 2.5	-
Kayagaki ADC-20EX	Japón	0 - 2	300
CAMAG TLC Scanner II	Suiza	0 - 3	100

Su precio oscila entre 10 000 y 40 000 USD, por lo que la introducción está muy limitada.

3. DENSITOMETROS LASERES

El láser produce un haz de luz adecuado para obtener elevada resolución. Por su gran intensidad, puede penetrar muestras densamente coloreadas, con suficiente luz como para hacer mediciones precisas [1]. La incorporación del láser permitió mejorar significativamente las características de los equipos, fundamentalmente: sensibilidad y resolución.

El precio de esos equipos oscila entre 40 000 y 80 000 USD. Aunque en el país existen varios modelos suecos (ver Tabla I-B), estos se encuentran en laboratorios de los principales centros de investigación de perfil biomédico. Su elevado precio limita la extensión a otros laboratorios.

Tabla I-B. Densitómetros láseres existentes en el país.

Marca	País	Intervalo de OD	Resolución [μm]
LKB 2202 UltraScan	Suecia	0 - 4	50
UltraScan XL, Pharmacia	Suecia	0 - 4	40
DENSYSTEM LD-01, CEDEIC	Cuba	0 - 4	50
DENSYSTEM LD-02, CEDEIC	Cuba	0 - 4	50

Ahora los diodos láseres son rivales de los láseres gaseosos, pues son mucho más pequeños, consumen menos potencia, son extremadamente confiables y capaces de operar cientos de miles de horas sin problemas, acoplándose correctamente con otros dispositivos electrónicos.

Hasta el momento no se conoce ningún densitómetro comercial con diodo láser. Debido a la aparición de diodos láseres con λ dentro de la región visible del espectro, se propone su empleo como fuentes de luz en densitometría por transmisión. Combinándolo con componentes electro-ópticas de avanzada, se dará el mejor funcionamiento a un equipo.

4. FUENTE DE LUZ

Al surgir diodos láseres comerciales [2] con λ próximas a los 632,8 nm del He-Ne (Tabla II), y perfiles de intensidad pseudo-Gaussianos, análogos al modo TEM₀₀ de muchos láseres gaseosos, se vio la posibilidad de utilizarlos en la densitometría por transmisión.

Tabla II. Características comparativas entre un láser de He-Ne y un diodo láser análogo.

Características	Láser de He-Ne	Diodo Láser visible
Longitud de onda (λ) [nm]	632.8	≈ 670
Ancho de banda del espectro de emisión [kHz]	1	$\approx 20\,000^{(a)}$
Astigmatismo típico [μm]	-	5-15 ^(b)
Divergencia (mrad)	≈ 1	$\approx 10^2^{(c)}$
Consumo [W]	≈ 10	≤ 1
Eficiencia total [%]	≈ 0.1	> 20
Tiempo de vida [h]	20 000	$> 50\,000^{(d)}$

- (a) El ancho de banda corresponde a un intervalo de ± 10 nm, similar a la mayoría de los filtros en los densitómetros convencionales de luz blanca
- (b) El astigmatismo se corrige con un montaje óptico adecuado [3], usando ventanas ópticas delgadas o, como en este caso, lentes cilíndricas tenues.
- (c) Aunque puede variar de un láser a otro, la "gran divergencia" (en lo que a láser concierne) se reduce hasta el orden de 1 mrad, con un sistema óptico simple.
- (d) Son comunes tiempos de vida que excedan las 50 000 h. En general, se duplica por cada reducción de 10 °C, y viceversa, por lo que se emplea disipador de calor.

5. PRINCIPIO DE MEDICION

La luz emitida por el módulo del diodo láser (Figura 1) es enfocada con una lente cilíndrica,

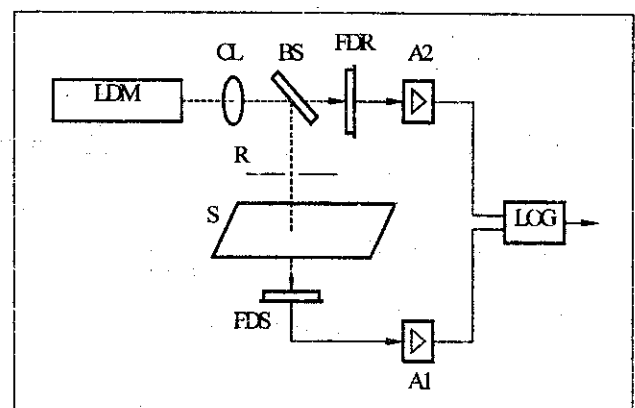


Figura 1. Principio de medición del densitómetro automático con diodo láser.

LDM: módulo del diodo láser,
 CL: lente cilíndrica, BS: semiespejo,
 FDR: fotodiodo de referencia, R: rendija,
 S: portamuestras, FDS: fotodiodo de medición; A1, A2: amplificadores;
 LOG: amplificador logarítmico.

generándose un haz en forma de línea. Este haz incide sobre un semiespejo, transmitiéndose una parte hacia un fotodiodo de referencia (FDR), cuya función es monitorear continuamente la salida del láser y producir una señal que compense las variaciones en la intensidad de la luz.

La otra parte del haz es reflejada hacia la muestra (S), después de atravesar una rendija que evita el paso de luz indeseada. La porción de luz que atraviesa S incide sobre el fotodiodo de medición (FDS).

Las fotocorrientes de FDS y FDR se suministran, respectivamente, a los amplificadores A1 y A2, que las convierten en voltajes y alimentan a un amplificador logarítmico diferencial, cuya señal es linealmente proporcional a la absorción de la muestra.

En el módulo del diodo láser se incluyen: su fuente de alimentación, el diodo y la óptica asociada. Además, el FDR garantiza la obtención de fondos de absorción muy estables.

6. BLOQUES ELECTRONICOS

Funcionalmente, el sistema electrónico [4] se divide en los siguientes bloques (Figura 2):

Control y procesamiento. Dirige el trabajo de los demás bloques y realiza el procesamiento de datos y señales. El microcontrolador 8751 [5] tiene 4 puertos bidireccionales y un puerto serie "full-duplex". No posee EPROM interna y su espacio de RAM interna disponible (128 bytes) es insuficiente, por lo que trabaja como microprocesador. Es una computadora

de propósito específico, con gran cantidad de periféricos y facilidades para conectar otros, además de posibilitar la comunicación eficiente con una computadora personal.

Interfase con el usuario. Teclado matricial (4x4) y módulo LCD alfanumérico, LM105L [6].

Adquisición de datos. Mide la OD de las muestras y entrega su valor al microprocesador. Se compone de un circuito analógico y un AD574 [7]. El circuito analógico está formado por un amplificador logarítmico (LOG), al que se conectan dos amplificadores, uno para el FDS y otro para el FDR. A la salida del LOG se obtiene un voltaje igual a la OD medida.

Impresión de la curva y Reporte de los resultados. Mini-impresora de 40 columnas [8], con gran flexibilidad gráfica. Reproduce la curva de OD vs. posición y el reporte con: los picos, su posición, altura, porcentaje de área respecto al total, y concentración de cada fracción si se introduce por teclado el total de proteínas.

Comunicación en serie. Interfase RS232, hacia computadora o videoterminal.

Alimentación. Todos los voltajes para el sistema electrónico.

SISTEMA XY DE "BARRIDO" (Figura 3). Gracias a relaciones de engranajes, dos motores de paso [9] facilitan el desplazamiento del sistema óptico a lo largo y ancho del portamuestras, en un área de **150 x 100 mm²**, lográndose precisiones de **80 μm** en la localización de las muestras (eje X) y de **10 μm** en el eje Y ("barrido", para la medición).

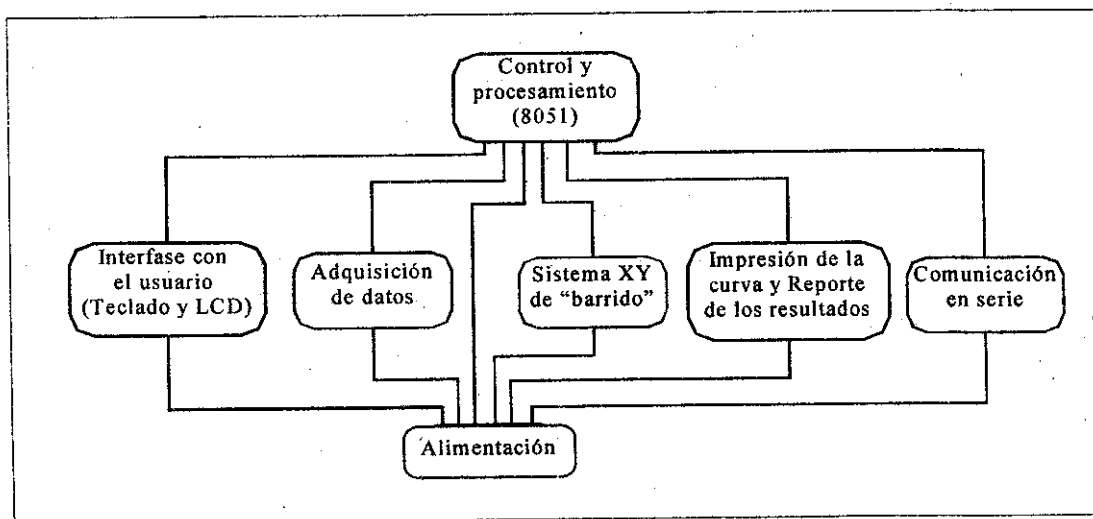


Figura 2. Diagrama en bloques del sistema electrónico.

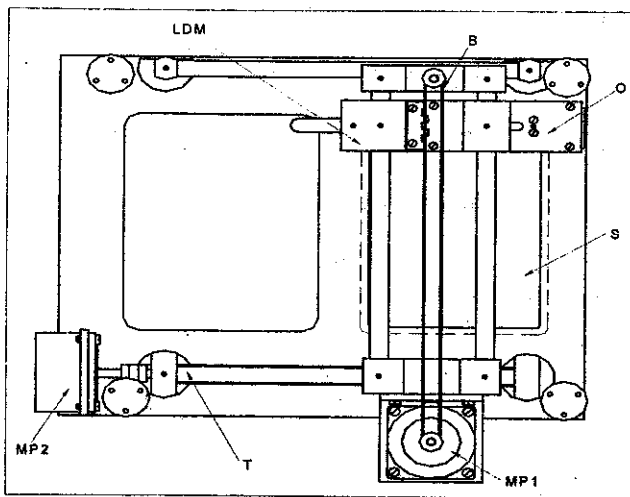


Figura 3. Vista superior del subconjunto del sistema XY.
 LDM: módulo del diodo láser,
 O: caja óptica, S: portamuestras;
 B: correa dentada, T: tornillo micrométrico;
 MP1, MP2: motores de paso.

7. ANALISIS SOCIOECONOMICO

Se ha diseñado un equipo de mayores posibilidades y mejores características técnicas, con mayor nivel de integración y considerable reducción de componentes, disminuyendo el costo por concepto de materias primas y materiales.

En este caso, los principales destinos serán: laboratorios clínicos de hospitales, bancos de sangre, laboratorios de control de calidad de la industria médico-farmacéutica y laboratorios de centros de investigación de perfil biológico y biotecnológico.

Los precios de otros equipos son elevados (ver Tabla III), superando significativamente la parte requerida en divisas (< 4 000 USD) para el desarrollo de este prototipo.

Tabla III. Principales firmas que comercializan densitómetros.

Firma	País	Precio [USD]
LKB	Suecia	16 000
Bio-Rad	USA/Bélgica	14 000
Bioimage	USA	80 000
Mol. Dynamics	USA	29 000
SF Soft Laser	USA	14 000
Beckman	USA	26 000
Shimadzu	Japón/USA	26 000
Joyce-Loebl	Inglaterra/RFA	32 000
Hirschman	RFA	26 000
Camag	Suiza	36 000
Sebia	Francia	14 000
Pharmacia LKB	Suecia	40 000
Helena Labs.	USA	22 000
Pharmacia Biotech	Suecia/USA	10 500

Ventajas del nuevo prototipo:

- Menor precio en divisas. En algunos casos representa la tercera y hasta la cuarta parte.
- Garantía de reparación. La carencia de servicios técnicos equivaldría a perder la inversión.
- El láser de He-Ne asegura elevadas monocromaticidad, resolución, sensibilidad y larga vida (20 000 h), superiores a las fuentes halógenas y de tungsteno más comunes. Los diodos láseres visibles son mucho más pequeños, económicos y tienen vida superior a 50 000 h, pudiendo llegar incluso hasta 10^5 h.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El diodo láser es una potente herramienta como fuente de luz para detectores cromatográficos o de electroforesis, incluidos los densitómetros por transmisión. Dadas sus ventajas, permite reducir las dimensiones de los equipos, haciéndolos más portátiles y baratos, sin comprometer los niveles de precisión y sensibilidad obtenidos con la técnica láser. Combinándolo con componentes electro-ópticas de avanzada, se da el mejor funcionamiento a estos instrumentos.

Se diseñó una nueva versión de densitómetro láser, con mejores características técnicas y mayores potencialidades, que emplea el microcontrolador 8751, con un mayor nivel de integración y reducción considerable de componentes, disminuyendo el costo por concepto de materias primas y materiales.

Aprovechando el 8751 se pudieran lograr mejores resultados, si se sustituye la pantalla LCD alfanumérica por una LCD gráfica, en la que se muestre la curva densitométrica, se interactúe directamente con ésta y se obtenga el reporte final de los cálculos realizados.

Utilizando la posibilidad de transmisión de datos hacia una computadora, debe trabajarse en el desarrollo de softwares o programas de aplicación, a través de los que se puedan realizar valoraciones mucho más precisas y útiles de las curvas densitométricas.

Al concluir la etapa productiva, se realizarán ensayos y pruebas para lograr su caracterización (certificación metrológica), registro y posterior comercialización, contribuyendo a mejorar la eficiencia y la calidad del diagnóstico.

Aunque no se satisface la demanda existente, éste constituye el punto de partida para la introducción de los equipos de producción nacional.

REFERENCIAS

- [1] Larrea, P.; M. COBAS et al., (1994): **Revista Colombiana de Física**, 26(2), 1.
- [2] IMASAKA, T., and N. ISHIBASHI (1990): **Anal Chem.**, 62(6), 363A.
- [3] POWER TECHNOLOGY INC. (1995): Laser Diode OEM Systems and Components.
- [4] BUSTO, E. D., y A. CASTIÑEIRAS, A., (1996): Diseño de un Densitómetro Láser Basado en el Microcontrolador 8031, Trabajo de Diploma, ISPJAE, La Habana.
- [5] INTEL (1994): Microcontroller Handbook.
- [6] FARNELL ELECTRONIC COMPONENTS (Mar. 1994): Liquid Crystal Character Display Modules.
- [7] Analog Devices (1981): Data Acquisition, Components and Subsystems.
- [8] Datac 1641SB Printer Controller Board (1989): Users Manual.
- [9] Sanyo Denki Co., Ltd. (1992): Stepping Motors Manual.

CARACTERIZACION DE LA ESTABILIDAD DE UN POLARIMETRO LASERPOL 3M

Humberto Fernández Lechuga, Josué Arteché Díaz, Víctor Fajer Avila y Luis W. Mora Mazorra
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

Se presenta el método empleado por los autores para la caracterización de la estabilidad en las mediciones de los polarímetros a través de la salida de las señales por el puerto RS 232 del equipo con interfaz del programa de adquisición de datos WINDMILL y posterior tratamiento estadístico en EXCEL para el análisis del comportamiento en el tiempo. También se exponen los distintos regímenes de trabajo referidos tanto a qué placas polarimétricas van a tener un orden de medición determinado como a las condiciones de climatización y cambios en la fuente de alimentación.

ABSTRACT

A method employed by authors is shown in order to characterize the stability of the measurements of polarimeters by mean of signals from a RS 232 polarimeter port and WINDMILL data acquisition software and later statistical treatment in EXCEL software for time behaviour analysis. Also different regimens of work are exposed to evaluate the influence of measurement order of polarimetric standards, climatic conditions and voltage source changes.

INTRODUCCION

Los polarímetros LASERPOL 3M tienen su aplicación en la industria azucarera para la medición de la concentración de sacarosa de productos intermedios y finales durante el proceso de fabricación. Esto permite que los polarímetros sean utilizados como control de la producción y la calidad y de ahí la importancia de la precisión de las mediciones.

Para conocer el comportamiento de las desviaciones en las mediciones en el polarímetro cuyo número de serie es 97-03-104 se ha conectado la salida de señales por el puerto RS-232 con la computadora por medio del paquete de programas WINDMILL y el EXCEL.

DESARROLLO

La familia de los polarímetros LASERPOL 3M [1] tienen una precisión de $\pm 0,1$ °Z (sacarimétrico) y con vistas a obtener una caracterización más precisa se han habilitado tres cifras decimales en la pantalla visualizadora en vez de una y así se obtiene el valor que se va a procesar en la computadora a través de la salida de datos por el puerto RS-232 del equipo.

El intervalo de medición del polarímetro es desde -20 °Z hasta +105 °Z y la comprobación de la precisión del mismo se realiza por medio de placas patrones polarimétricas de cuarzo certificadas metrológicamente por lo que se establecieron distintos regímenes de

medición de estas placas patrones para conocer el comportamiento del equipo en la mayor parte de la escala y la influencia sobre el cero del equipo, o sea sin placa, cuando se colocan en su cámara de muestras distintos tipos de placas patrones.

Los regímenes de trabajo que se estudiaron fueron: sin placas patrones (medición del cero), con placas patrones en orden ascendente, en orden descendente y aleatoriamente combinadas.

En el caso de utilizarse las placas patrones, en cualquier tipo de régimen seleccionado, lo que interesa en este trabajo es poder evaluar cuál ha sido el comportamiento del equipo cuando se retira la placa después de un conjunto de mediciones, o sea, cuánto se alejó el valor del cero actual del anterior a la colocación de la placa.

Otro aspecto a tener en cuenta es el cambio de la precisión o falta de estabilidad en función del tiempo de trabajo ya que se ha observado la susceptibilidad al cambio de la temperatura y para este fin se hicieron las mediciones en forma tal que empeoraran las condiciones de evacuación del calor por medio de poner o no la tapa o cubierta (mueble) superior y así evitar que se estableciera el correcto tiro forzado del aire circundante exterior por medio del electroventilador.

El local donde se realizaron las mediciones está climatizado con temperatura promedio de 25 °C ± 2 °C y siempre el tiempo de calentamiento del equipo fue no menor de media hora antes de

comenzar las mediciones para que sus componentes tuvieran la debida estabilidad térmica.

Se realizaron mediciones del cero durante trece días y en cada día se tomaron muestras de no menos de 20 mediciones en el lapso de 6 minutos, las que se repetían en el transcurso de la mañana a la tarde alrededor de 16 veces para un total de 320 mediciones diarias. A cada conjunto de estas mediciones realizadas durante 6 minutos se le halló el promedio y la desviación estándar para posteriormente confeccionar un gráfico de cada día con el promedio de las desviaciones diarias contra el tiempo transcurrido [2-4].

Se analizaron los trece gráficos para determinar cuáles serían los más representativos desde el punto de vista que tuvieran la mayor cantidad de promedios y horas de medición, seleccionándose finalmente diez de ellos.

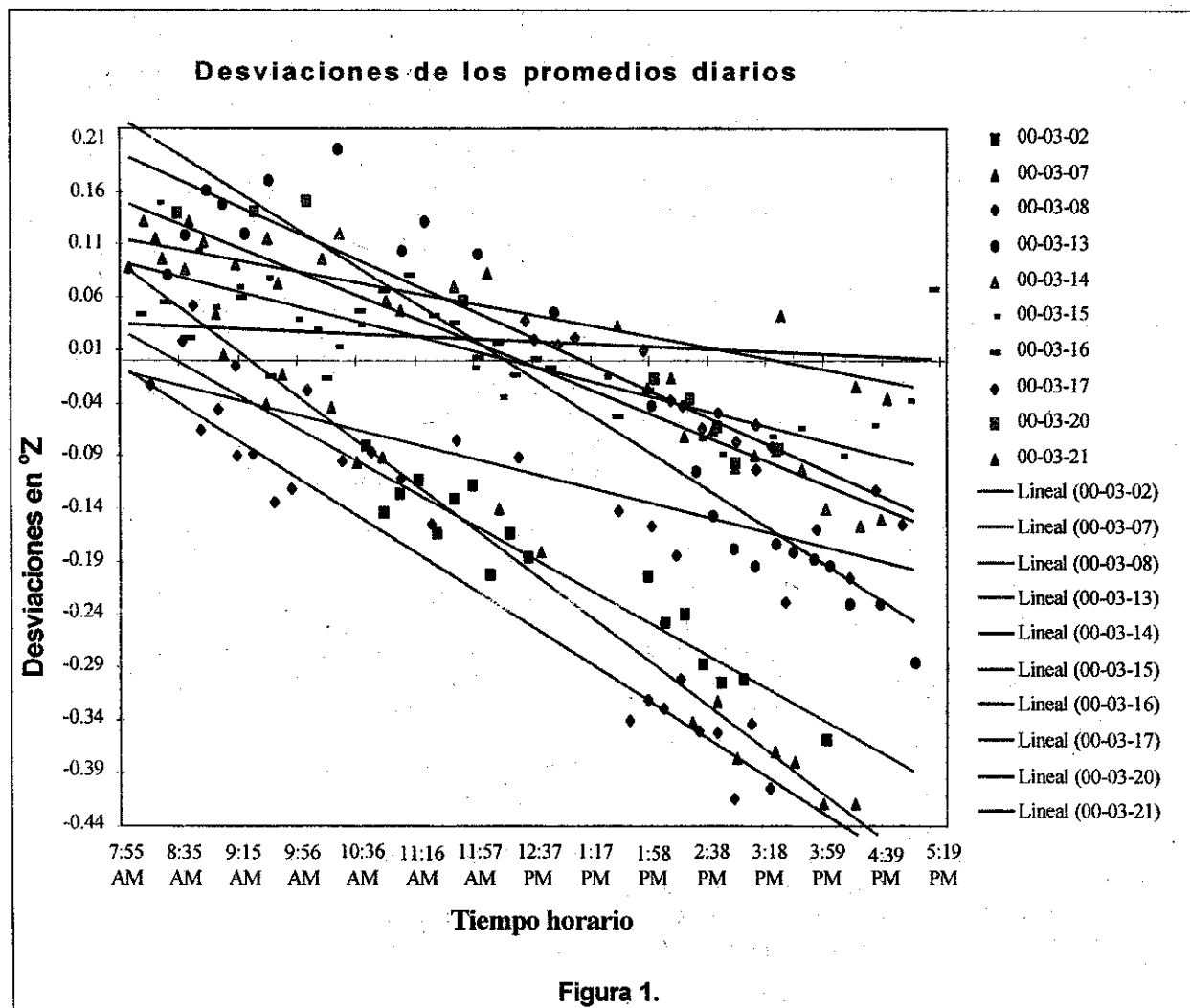
El tipo de gráfico seleccionado para cada día fue el de dispersión en el cual se trazó la mejor recta que caracterizara los datos, no sin antes haber evaluado otras líneas de tendencia del tipo polinómica que aún siendo la más real para cada día no fue la que mejor pudo ofrecer, en el universo de

los gráficos, una idea coherente en el conjunto de los días debido fundamentalmente a la gran dispersión de los datos.

Sin embargo, la mejor recta permitió observar un comportamiento de disminución de los valores promedios de las mediciones realizadas durante el transcurso del día.

En el gráfico de la Figura 1 se muestran las líneas de tendencia lineal del comportamiento diario de las desviaciones del cero.

A partir del día 13 se diseñó y acopló un circuito regulador de voltaje electrónico para disminuir el ruido de la fuente de alimentación de la rampa de corrientes lográndose reducir de 2 V a 160 mV y se observó que, a igualdad de horas de trabajo del equipo antes y después de este diseño, hubo aproximadamente una disminución del 32,9% del intervalo entre los valores máximo y mínimo de los promedios diarios al ponerse en funcionamiento dicho circuito ya que las variaciones promedio diarias antes de la aplicación del mismo eran de 0,392 °Z y después fueron de 0,263 °Z.



La desviación estándar promedio para los intervalos de medición de 6 minutos fue de 0,047 °Z antes de poner en funcionamiento el circuito y para después fue de 0,049 °Z.

En el propio gráfico de la Figura 1 se destaca que las líneas de tendencia lineal de los días 00-03-02, 00-03-07 y 00-03-08, correspondientes a las mediciones antes de la incorporación del circuito (excepto el propio día 13), tienen una pendiente negativa mayor que aquellas que se realizaron posteriormente, evidenciándose la mejoría en la repetibilidad.

Asimismo, no podemos expresar igual criterio respecto a los valores de la desviación estándar de estos promedios diarios ya que se mantiene casi inalterable.

En el gráfico de la Figura 2 se muestra la línea de tendencia lineal que contiene todos los datos del período completo de medición de forma tal que es la que nos orienta sobre las posibles acciones a realizar para reducir el desplazamiento o tendencia a disminuir en el tiempo la variación del valor del cero.

Al diseñar el experimento se expresó que se debía saber la influencia de las distintas placas patrones

sobre la estabilidad del cero y para ello se harían mediciones sin o con placas patrones de la forma ya descrita (ascendente, descendente y aleatoriamente). Una vez recogida la información y realizado los gráficos se evidencia que no se ha notado cambio alguno.

Es sabido que equipos automáticos de alta precisión como el que se está caracterizando, normalmente tienen una interacción con el usuario para la calibración del cero cuando su lectura está dando valores fuera del intervalo de la precisión o después del calentamiento previo antes de comenzar las mediciones ordinarias, aspecto este que no se utilizó durante las mediciones con el fin de tener una caracterización más real.

Podemos además, una vez caracterizada la estabilidad del cero y conociendo la ecuación de esta recta diseñar un algoritmo que una vez introducido en el programa de trabajo reduzca esta tendencia indeseada.

Entre los aspectos a conocer estaba el comportamiento del transformador de 2 A que alimenta a la fuente de alto voltaje, a los solenoides para el cambio automático de las placas de cuarzo y a la rampa de corrientes para lo cual se sustituyó éste por otro de mayor corriente (3 A) y aunque su

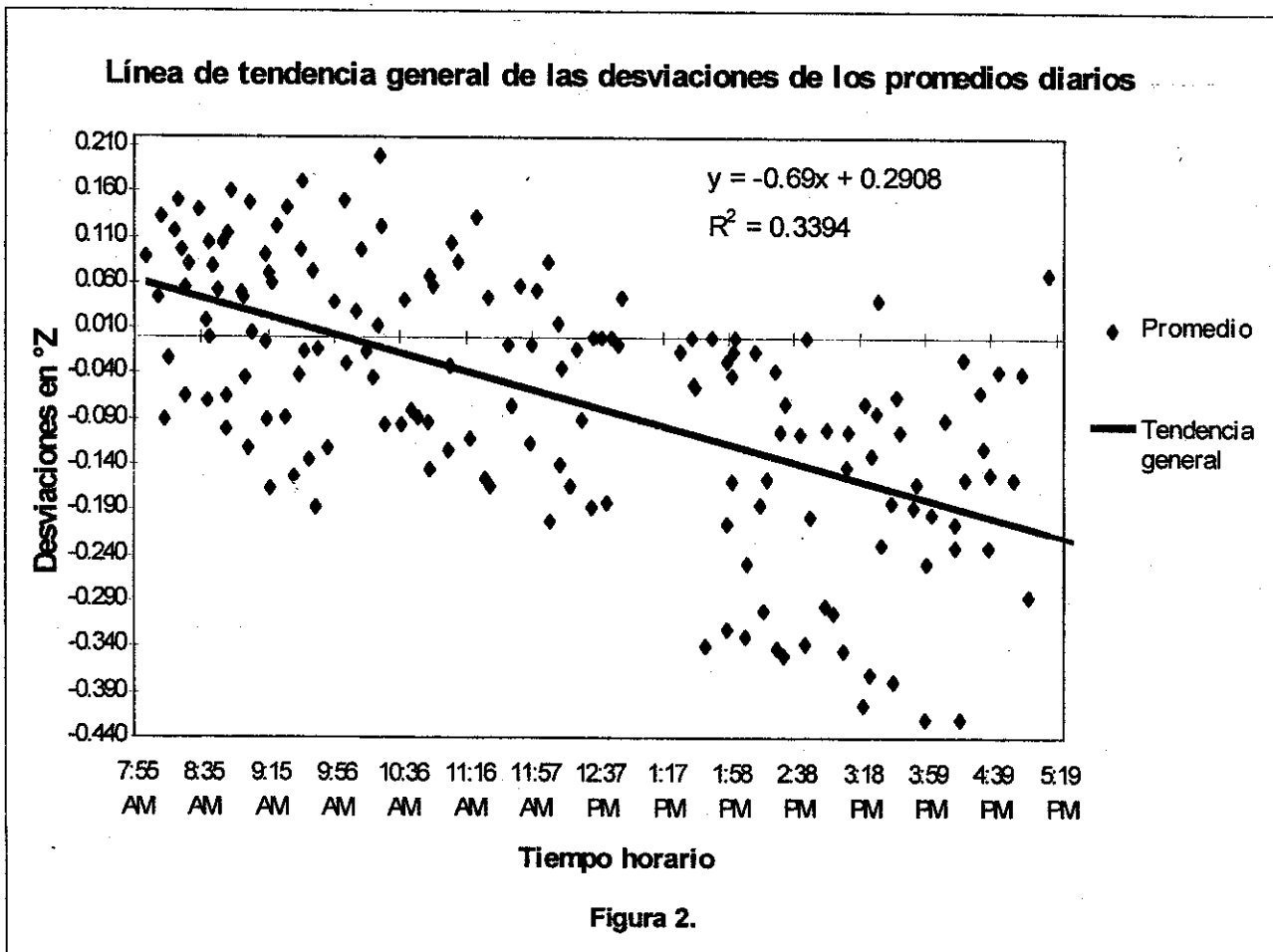


gráfico no se utilizó para la caracterización de la estabilidad del cero por no reunir las premisas prefijadas en cuanto a tiempo de medición y promedios realizados sí se observó que su gráfico, el cual da tanto los promedios antes y después del cambio, muestra que inmediatamente hubo una mejoría sustancial en la estabilidad de los promedios como se puede ver en el gráfico de la Figura 3 aunque la desviación estándar tuvo un comportamiento similar al resto de las mediciones.

Esto sugiere, a pesar de la poca recogida de muestras, que se tome en cuenta la posibilidad de colocar un transformador de mayor potencia para atender las actividades señaladas y restablecer la toma de muestras en un período mayor en donde se pueda confirmar la mejoría en la estabilidad.

CONCLUSIONES

Se acopló la salida de señales del polarímetro con la computadora a través del programa WINDMILL en donde la recogida de las mediciones realizadas demuestra que el equipo tiene un corrimiento del cero tendiente a disminuir su valor con el tiempo de trabajo como se puede apreciar en los gráficos donde todas

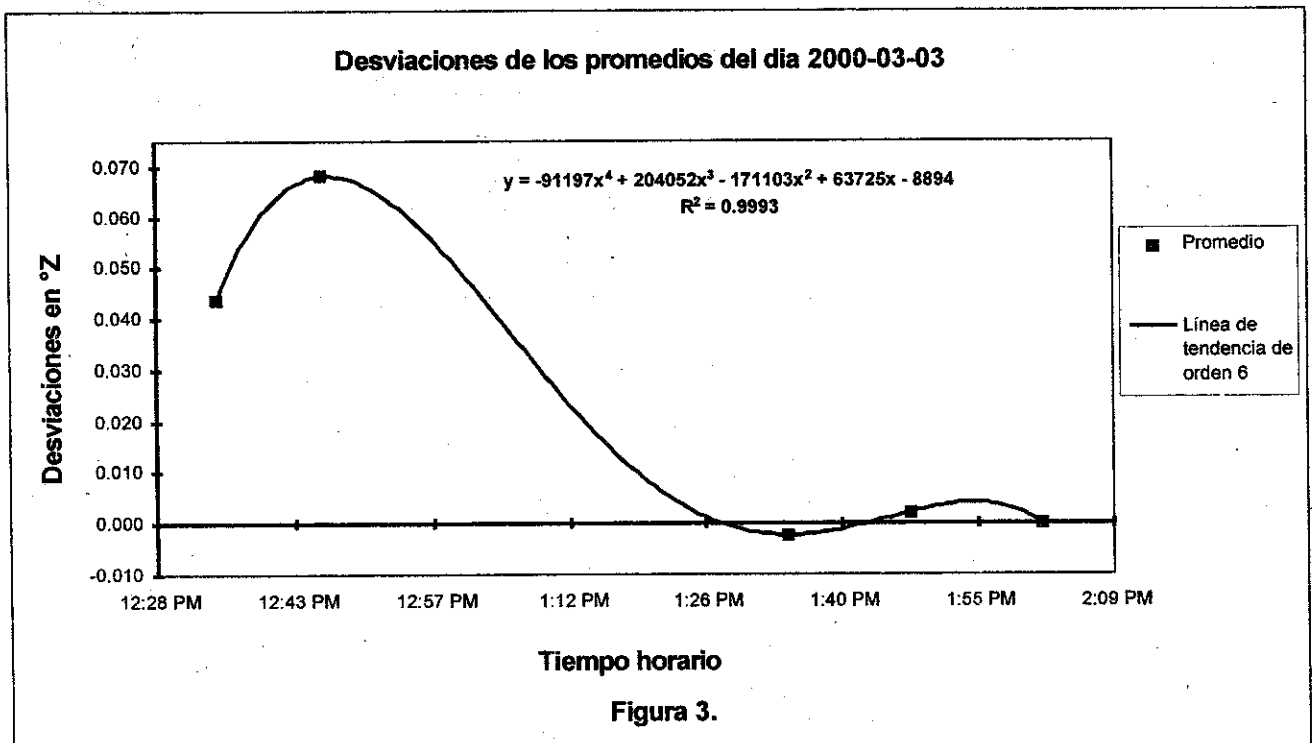
las curvas diarias tienen pendientes negativas aunque difieren entre sí.

El cambio de transformador por uno de mayor potencia originó un aumento en la estabilidad de los promedios del cero no observado en el resto de las evaluaciones aunque la desviación estándar se mantiene en niveles parecidos al resto de las mediciones.

Al disminuir las fluctuaciones de voltaje presentes en la fuente de alimentación de la rampa de corrientes las variaciones del cero fueron reducidas en un 32,9 % obteniéndose valores promedios máximos diarios de 0,263 °Z.

RECOMENDACIONES

Evaluar en un período mayor la estabilidad del cero con un transformador de mayor potencia así como independizar la alimentación de la rampa de corrientes, que es la señal de medición, de la fuente de alto voltaje, que es generadora de ruido a través del fotomultiplicador, y los solenoides para disminuir el ruido y aumentar la repetibilidad y estabilidad del equipo.



REFERENCIAS

- [1] FAJER, V.; W. PINEDA; W. MORA y H. FERNANDEZ (1999): "Polarímetro LASERPOL 3M para la automatización de los laboratorios de los centrales azucareros". **Revista Cubana de Física**, 16(2): 65-68, Cuba.
- [2] GMURMAN, V. E. (1979): "Teoría de las probabilidades y estadísticas matemáticas", Editorial Pueblo y Educación, URSS.

[3] CARTAYA, O. (1982): "Introducción al laboratorio de Física. Fundamentos de la teoría de los errores", Taller de ediciones del ISPJAE, Cuba.

[4] KOROLIUK, V. S. (1986): Manual de probabilidades y estadística matemática, Editorial MIR, URSS.

DISEÑO DE UN EMISOR LASER PARA LA NIVELACION DE TERRENOS

O. Morales Valdés, S. Fernández Yanes, D. Rodríguez Mederos, A. Combarro Romero, R. Díaz Martínez y J. Ravelo Triana, Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

Se describe el diseño y el principio de funcionamiento de un equipo que se emplea como guía para la elaboración de superficies y terrenos con alta calidad como son: pistas de aeropuertos, carreteras de alta velocidad, obras de construcción, también para los cultivos de arroz y en otros sectores de la agricultura. Este aparato utiliza como fuente de luz un diodo láser y mediante un mecanismo de rotación de un pentaprisma, se genera un plano de referencia a partir de la emisión del haz del diodo láser. El diseño está concebido para que el equipo disponga de un sistema de autonivelación que permita el establecimiento de pendiente con precisión de ± 20 arcseg, además de un mecanismo que permita establecer pendientes en 2 direcciones de $\pm 10\%$.

ABSTRACT

The design and principles of operation of an equipment used as a guide for the elaboration of high quality land surfaces like airtrips for airports, high-speed highways, building works, rice cultivation and other agriculture sectors, is described. A laser diode is used as a light source, and a mechanism rotates a penta-prism that generates a reference plane, starting from the laser diode emission. The equipment contains a self-leveling system that allows the establishment of slopes with a precision of ± 20 seconds of arc, and to establish two-direction slopes with $\pm 10\%$.

INTRODUCCION

En la actualidad los sistemas de referencia con emisor láser son fabricados por un número muy reducido de compañías en las que se destacan la firma norteamericana Spectra-Physics y la Laser Aligment, las cuales tienen presentado un grupo de patentes que protegen sus productos, además existen otros 2 productores reconocidos que son la firma Topcon de Japón y la Leica de Suiza. El dominio de esta tecnología por pocas firmas hace que su precio sea aún muy elevado, de aproximadamente 25 000 USD para un set (1 emisor y 3 receptores). La aplicación de esta tecnología tiene sus inicios en los finales de la década del 80 y principios del 90. Esto hace que el desarrollo de este equipamiento tenga presente el dominio de tecnologías novedosas y un valor económico sustancial para nuestro país, porque existe una necesidad inmediata de aplicar esta tecnología en diferentes cultivos, ya que su desarrollo permitirá un aumento de la eficiencia y calidad en la nivelación de terrenos, lo que propicia además, en el caso de los cultivos de arroz un incremento del rendimiento y un ahorro considerable de combustible y agua ya que se logra un drenaje adecuado en los terrenos arroceros.

Los sistemas de referencia desarrollados, como se puede apreciar en la Figura 1, están compuestos por:

El **emisor láser** es el alma de todos los niveladores de terrenos y es el encargado de generar un plano

de referencia a partir de la rotación de un haz de luz; él va montado sobre un trípode y colocado en el terreno o área a elaborar de forma tal que permita el control de los restantes elementos del sistema. Estos aparatos en sus inicios emplearon láseres de He-Ne pero ya en la actualidad se han sustituido por diodos láseres semiconductores y los mismos presentan grandes ventajas como son: pequeñas dimensiones, gran estabilidad en la emisión, larga vida útil y precios muy inferiores a los láseres de He-Ne. La introducción y propagación vertiginosa de estos diodos láseres semiconductores en esta tecnología ha permitido disminuir tamaño y costo de este equipamiento.

El **receptor** es un elemento fotoeléctrico que controla la posición del plano de luz láser. Él es el encargado de sensar a que altura está el plano de referencia en la posición en que se encuentra y electrónicamente emite señales a la estación de control sobre la posición del plano de luz relativo al centro (si está por encima, por debajo o en línea). Los receptores están formados por arreglos lineales de fotodiodos para sensar la luz láser y según la actividad a que están destinadas así se conforman.

En los sistemas de levantamiento topográfico estos están unidos a una regla telescópica lo que permite al técnico conocer la altura de ese punto en el terreno.

En los sistemas de levantamiento topográfico estos están unidos a una regla telescópica lo que permite al técnico conocer la altura de ese punto en el terreno.

El **tablero de indicación/control** es un instrumento que toma decisiones e indica las lecturas (si está por encima, por debajo o en línea) de los niveles al operador mientras que éste hace el trabajo de levantamiento topográfico del campo, o controla el borde cortante de la trailla halada por el tractor. Esto lo hace pasando la información del receptor y orientando las señales de subir o bajar a la caja de válvulas solenoide que controla los pistones hidráulicos que accionan la cuchilla de la trailla. Este tablero de indicación/control se utiliza en la nivelación de terrenos sobre tractores que arrastran las traillas sin fondo o compactas (acarreadoras), donde se necesita una inspección y un control automático de la cuchilla [1].

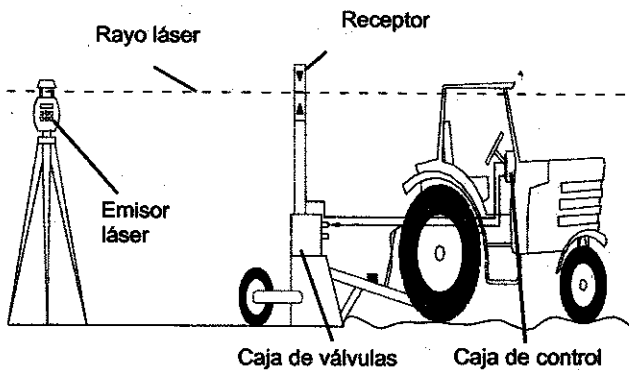


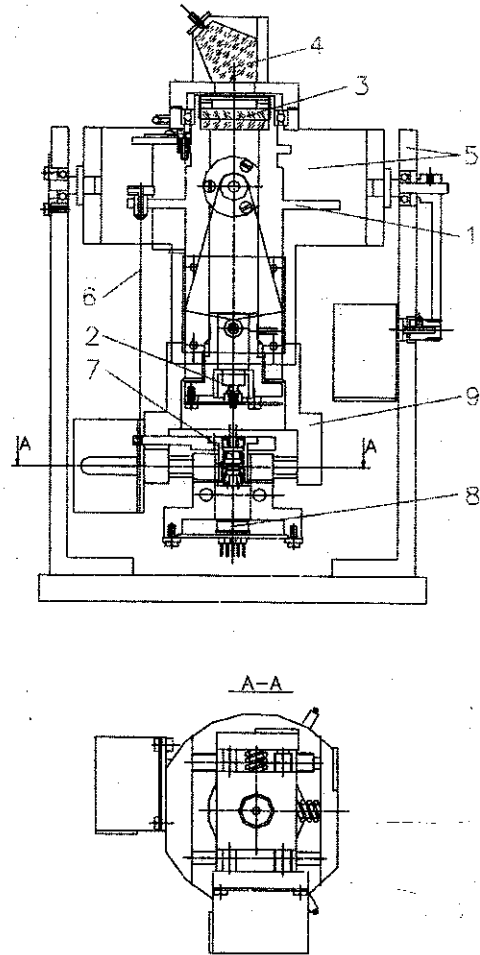
Figura I. Sistema de referencia.

DESARROLLO

Después de haber analizado cada uno de los elementos que trabajan con el emisor láser y de conocer como interaccionan, es importante explicar detenidamente como funcionará el emisor láser diseñado:

La central de transmisión consta de un emisor láser, una base elevadora y un trípode. Dicha central se localiza en un sitio conveniente en el campo, el emisor láser genera un haz de rayos láser rojo que rota 5 veces por segundo en un plano horizontal. Con esta velocidad el rayo forma un manto de luz plano que cubre un área de trabajo de hasta 250 m de radio, con una precisión de $\pm 20''$. Este plano de luz se utiliza como referencia a partir del cual se controla la trailla. El transmisor es totalmente autonivelable y de manera constante mantiene la pendiente o las pendientes deseadas, sin ser afectado por vibraciones de la tierra o cambios del viento. El resto del sistema está montado sobre el tractor.

El emisor láser es una unidad sellada para proteger del medio ambiente el láser, el sistema óptico y sus mecanismos. En la Figura II se



muestran las partes que componen el sistema.

Figura II. 1. Núcleo central, 2. Diodo láser, 3. Lente, 4. Pentaprisma, 5. Mecanismo de establecimiento de pendiente, 6. Péndulo, 7. Puntero láser, 8. Fotodiodo de cuatro cátodos, 9. Sistema x-y.

El sistema consta de un núcleo central (1) como se muestra en la Figura II, que contiene un diodo láser (2) de baja potencia que emite hacia arriba un haz de luz roja. Este haz incide en una lente (3) para enfocar a la distancia de 250 m una mancha de 20 mm de diámetro, posteriormente el haz incide en un pentaprisma (4) que origina que él mismo se proyecte a 90° respecto al de incidencia, este pentaprisma gira de forma constante y de esta manera se describe un plano de referencia a láser. Esta unidad central está soportada sobre un mecanismo de establecimiento de pendiente (5), compuesto por dos marcos giratorios dispuestos a 90° , simulando los grados de libertad de un giróscopo; cada marco es accionado por un motor

de paso con un sistema de reducción que permite alcanzar resoluciones de ± 20 arcseg . Para la selección de la pendiente se cuenta con un sistema de péndulo (6) sujeto al núcleo central, y que contiene a un puntero láser (7), cuyo haz incide sobre un fotodiodo de cuatro cátodos (8) soportado por un sistema x-y (9). Este sistema x-y permite seleccionar la pendiente mediante el desplazamiento del fotodiodo de cuatro cátodos, en la dirección x-y con una precisión de $\pm 10 \mu\text{m}$.

Este emisor láser cuenta con un circuito electrónico que tiene como función principal la de mantener la pendiente del plano que se genera según el valor prefijado por el usuario en las dos direcciones, lo que se logra mediante un sistema a lazo cerrado. También tiene como funciones adicionales la posibilidad de variar la pendiente del plano generado, en las dos direcciones anteriormente mencionadas, así como variar la velocidad de rotación del haz de luz que genera dicho plano, para lo cual se utiliza un pequeño teclado de 6 teclas y una pantalla alfanumérica de cristal líquido donde se muestra en todo momento el estado del equipo.

La célula fundamental del sistema es el sensor que determina la desviación del ángulo del plano respecto al valor prefijado por el usuario y con ello el sistema mantiene dicho ángulo constante. Este sensor está constituido por un fotodiodo de cuatro cátodos como detector y su circuito asociado; además consta de un diodo emisor de luz cuyo haz, enfocado sobre el área sensible del fotodiodo, funciona como "puntero", la desviación de este puntero respecto al centro del detector estará determinada por la desviación que existe entre el ángulo en que se genera el plano y el fijado por el usuario exteriormente mediante el teclado.

En régimen normal de operación, el emisor debe generar el plano con un ángulo igual al prefijado, pero se permite una desviación de 30 mm a 250 m de distancia por lo que se han identificado tres zonas de trabajo para el sistema de autonivelación: punto central, zona límite y fuera de zona.

Punto Central: En estas condiciones el puntero incide en el mismo centro del detector lo que significa que el sistema está nivelado; es decir, el ángulo del plano generado coincide con el prefijado.

Zona Límite: El ángulo del plano generado no coincide con el prefijado, pero se encuentra dentro del error permisible y a pesar de que se mantiene su generación, el sistema de autonivelación está funcionando para llevarlo a las condiciones del punto central.

Fuera de Zona: En estas condiciones se detiene la generación del plano, pues la desviación respecto al valor prefijado es mayor que la permisible por lo que el sistema de autonivelación está funcionando

con el objetivo de restablecer las condiciones que permitan continuar generando dicho plano.

En cada una de las condiciones anteriores, en la pantalla se indica el estado en que se encuentra el instrumento, es decir, si está nivelando o no.

Además de lo expresado con anterioridad el equipo cuenta con una protección para cuando no es posible la nivelación automática, debido a que el sistema mecánico, donde se monta la óptica que se encarga de generar el plano, está desplazada un ángulo mayor de $\pm 10^\circ$ respecto al cuerpo exterior del aparato, situación en la cual se detienen todas las operaciones de autonivelación y se da una indicación a través de la pantalla para que el operador realice una nueva orientación del aparato. También el equipo posee una protección contra el bajo nivel de la batería que alimenta todo el sistema con su correspondiente indicación.

El sistema está controlado por un microcontrolador 8751, el cual procesa los datos digitalizados de la salida del sensor y genera los códigos necesarios para el movimiento de los motores de paso, tanto los que ajustan la pendiente en cada dirección como los que accionan el sistema de nivelación automática del ángulo del plano.

En cuanto al programa que rige todo el proceso, está constituido por tres subrutinas principales: atención al teclado, ajuste de las pendientes y nivelación.

La subrutina de **atención al teclado** se encarga de chequear constantemente si se oprime una tecla y en ese caso ejecutar la función correspondiente a ella.

La subrutina de **ajuste de las pendientes** es la responsable del movimiento de los motores que posicionan al detector para lograr el ángulo deseado en el plano, en las dos direcciones, teniendo en cuenta el sentido de rotación de cada motor y la cantidad de pasos necesarios a dar por cada uno de ellos.

La subrutina de **nivelación** tiene como tarea sensar la posición del puntero a través del sensor de posición y mover los motores de paso del sistema de autonivelación en caso de ser necesario.

En la Figura III se muestra un diagrama en

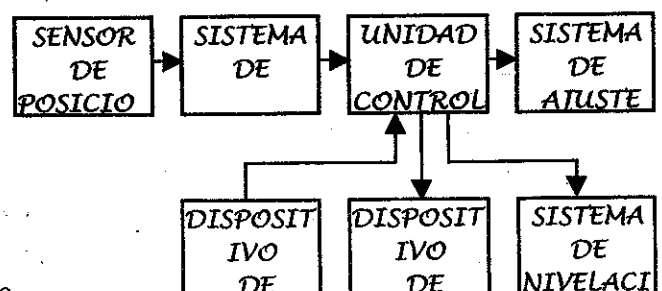


Figura III Diagrama en bloques

Para garantizar que los resultados sean consistentes y repetibles se necesita que el plano de luz permanezca estable, para ello es importante proporcionar la base más estable posible al emisor, para que de esta forma tengan que funcionar menos los mecanismos de autonivelación del mismo. Con el fin de minimizar cualquier tendencia a vibraciones o desviaciones, el emisor láser se ha diseñado cuidadosamente, utilizando componentes y materiales pesados.

CONCLUSIONES

Como resultado de este trabajo se desarrolló un sensor de nivel horizontal a partir de un sistema óptico compuesto por láser, una lente y un fotodiodo de cuatro cátodos, que permite alcanzar una precisión de $\pm 0,01$ % de pendiente.

Además se alcanzó el diseño de un emisor láser para la nivelación de terrenos que permite nivelar terrenos de 250 m de radio con pendientes de hasta ± 10 % y con una precisión de ± 20 arcseg.

REFERENCIAS

- [1] Manual del operador del sistema Laserplane, Laser Alignment inc.
- [2] Manual de operación "The laser Beacon LB-4", Laser Alignment inc.
- [3] Lineal Databook I. National Semiconductor Corporation, 1987.
- [4] Microprocessor and Peripheral Handbook. Volume II. Peripheral. Intel Corporation, 1988.
- [5] Manual de operación modelo 1145, Spectra Physics inc.
- [6] Introducción a los microcontroladores, hardware, software y aplicaciones. Libro de texto. ISPJAE.
- [7] Patente: 4. 062. 634 System for controlling attitude of Laser beam plane (Diciembre 77).
- [8] Patente: 4. 653. 910 Remote indicator for a laser alignment system (Marzo 87).
- [9] Patente: 4. 676. 634 Detector device for a rotating light beam (Junio 87).
- [10] Patente: 4. 830. 489 Three dimensional laser beam survey system (Mayo 89).

DESTENIDO DE MEZCLILLA POR LASER

S.E. Acosta-Ortiz, T. Dascalu, M. Ortiz-Morales, G.A. Pérez-Herrera e I. Compean-Martínez
Centro de Investigaciones en Óptica, A.C, Aguascalientes, México

RESUMEN

Se demuestra que el láser puede remover de manera eficiente el colorante índigo con que se tife la mezclilla. Se presentan los resultados obtenidos al destefir mezclilla con láser de Nd:YAG (1064 nm y 532 nm) y con láser de CO₂, determinándose los parámetros óptimos de fluencia y densidad de potencia. Estos parámetros fueron determinados sobre la base del análisis de los espectros de reflectividad durante la irradiación con láser. El coeficiente de reflectividad difusa fue del orden del 17% para la mezclilla irradiada, comparado con 7% de la mezclilla sin irradiar.

ABSTRACT

It is shown that laser can remove indigo color from textil tissue. Nd: YAG (1064 nm and 532 nm) and also CO₂ laser were employed. Best parameters for the task were determined . For doing so the reflectivity spectral analysis was done. Diffuse reflectivity coefficient was measure from the tissue and compared with non radiated one.

INTRODUCCION

Como es bien sabido, el gasto de agua anual debido al proceso de destefido de mezclilla con los métodos actuales, asciende a varios billones de litros de agua. Además, la contaminación por aguas residuales debida a este proceso constituye ya un problema en algunos estados del país, entre ellos los estados de Guanajuato y Aguascalientes; por otra parte el proceso actual reduce la resistencia de la mezclilla en un 50%. Por esta razón es importante buscar alternativas no contaminantes que permitan destefir la mezclilla sin desgastar significativamente la prenda.

El destefido de mezclilla por láser ha demostrado ser una alternativa viable para sustituir algunos procesos industriales, que tiene la ventaja de ser no contaminante, utilizar poca agua y no afectar la resistencia de la mezclilla.

El proceso de destefido de mezclilla con láser se describe a continuación:

El rayo láser se mueve a lo largo de la pieza a ser destefida por medio de un conjunto de espejos controlados por computadora. La interacción del láser con la mezclilla produce una decoloración en el área del material irradiada. El colorante residual es eliminado de la superficie del material.

El proceso de destefido con láser tiene tres etapas:

1. Mapeo generado por computadora, del área que será irradiada con diferentes niveles de fluencia, de acuerdo con el patrón deseado.

2. Transmisión de los comandos al sistema láser, al sistema de escaneo y al sistema de movimiento (1).

3. Proceso de destefido láser.

Nos concentraremos en la última etapa:

La interacción láser-material depende de dos tipos de parámetros: parámetros del rayo láser y parámetros del material. Consideramos como parámetros del rayo láser a la energía por pulso, la frecuencia de repetición, la duración del pulso, la longitud de onda y la densidad de potencia del láser. Como parámetros del material consideramos la difusividad térmica, el coeficiente de reflexión y el calor de vaporización.

Para remover material en materiales no-metálicos, es muy importante la absorción del material a la longitud de onda del láser. Por eso hay que tomar en cuenta el coeficiente de absorción del material a diferentes longitudes de onda, para poder seleccionar adecuadamente el láser a utilizar.

Además, la energía del láser se puede perder por reflexión de la superficie, o en nuestro caso, por transmisión a través de las fibras textiles. Dependiendo de la duración del pulso, la longitud de onda y la densidad de potencia, pueden ocurrir varios fenómenos. La remoción del índigo (colorante utilizado para teñir mezclilla) sin que se afecte la tela, involucra cuatro fenómenos físicos: vaporización, fotoablación, ablación inducida por plasma y ondas de choque (2-5).

¹E-mail:sacosta@cioags.com.mx

EXPERIMENTO

Para llevar a cabo los experimentos, se utilizó un láser de Nd:YAG (Spectron SL400 Systems) con una energía por pulso de 40 mJ y frecuencia de repetición de 60Hz. Las longitudes de onda utilizadas fueron 1.064 μm y su segundo armónico a 532 nm. La longitud del pulso láser se midió con un fotiododo Melles Griot (13DAH005) y un osciloscopio (PM3323 Philips Fluke).

También se utilizó un láser de CO₂ con longitud de onda de 10.6 μm y frecuencia de repetición del pulso de 5kHz.

Para lograr un buen posicionamiento del láser, se utilizó una mesa X-Y controlada por computadora. La irradiación con diferentes densidades de potencia se logró utilizando diferentes distancias focales. La variación de la fluencia láser, en el caso del láser de Nd:YAG a 1.064 μm se obtuvo controlando el número de pulsos láser que llegaban a determinada área. La irradiación se hizo utilizando una energía por pulso de hasta 8.5 mJ y una frecuencia de repetición de 60 Hz.

Durante la irradiación con el láser Nd:YAG en su segundo armónico a 532 nm, la fluencia fue controlada por el movimiento del área irradiada. La energía por pulso fue de hasta 2.2 mJ. En el caso de la irradiación con láser de CO₂, la fluencia se controló por el tiempo de irradiación. Las pruebas se realizaron fuera del plano focal de las 5 lentes con diferentes distancias focales. El tiempo de irradiación para cada pequeña área fue de 8 a 12 mseg y la potencia de salida varió de 5 a 20 W. Para tiempos de irradiación más largos, se observa un quemado muy rápido de la fibra de la tela.

La superficie textil se mantuvo plana y ligeramente estirada durante el proceso. Se utilizaron mezclillas coloreadas en diferentes tonos de azul, de acuerdo a las que se utilizan en la empresa. Se realizaron pruebas sobre tela con engomado y sin él (el engomado consiste en aplicar una sustancia de goma a la tela con el fin de que sea más fácil su confección).

Después de la irradiación, la tela se enjuagó con agua sin detergentes y se secó normalmente. Los cambios de reflectancia fueron medidos utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer (Lamba 12) con una precisión de 0.1 nm.

RESULTADOS

Para poder determinar el espectro de absorción del colorante índigo, se examinó con el espectrofotómetro una solución acuosa de índigo con una concentración de 0.001 gr/mol. El espectro de absorción se muestra en la Figura 1. Se puede

observar que el coeficiente de absorción a 532 nm es de 37.2 % mientras que a 1.064 μm es de 4.6 %. Por esta razón la interacción láser-mezcilla es más efectiva a 532 nm.

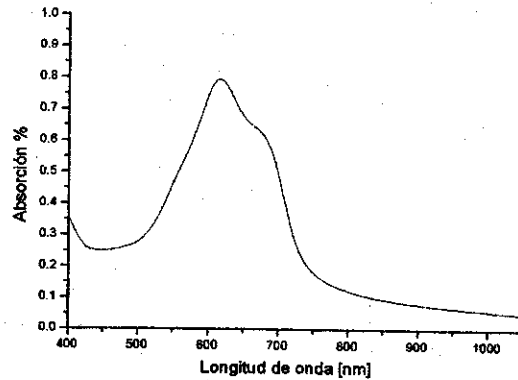


Figura 1. Coeficiente de absorción del índigo.

Se calcularon la fluencia total del láser, F y la densidad de potencia, D , para cada caso, utilizando la divergencia del láser, el diámetro del haz láser, la energía por pulso y la longitud del pulso.

En el caso de la irradiación con láser de Nd:YAG, hubo un cambio notable en la reflectividad difusa del área de tela irradiada cuando la fluencia y la densidad de potencia pasaron un nivel de umbral. Los fenómenos de interacción involucrados fueron fotoablación y generación de ondas de choque. Se observó la pluma del plasma y un sonido audible cuando el pulso láser interactuaba con la tela. A una longitud de onda de 532 nm, el nivel de umbral para la fluencia fue de 40 J/cm^2 y para la densidad de potencia fue de 100 MW/cm^2 .

En la Figura 2 se muestran los espectros de reflectancia difusa para la irradiación con láser de Nd:YAG a 532 nm. Se observa que para diferentes combinaciones de fluencia y densidad de potencia es posible obtener diferentes niveles de destefido.

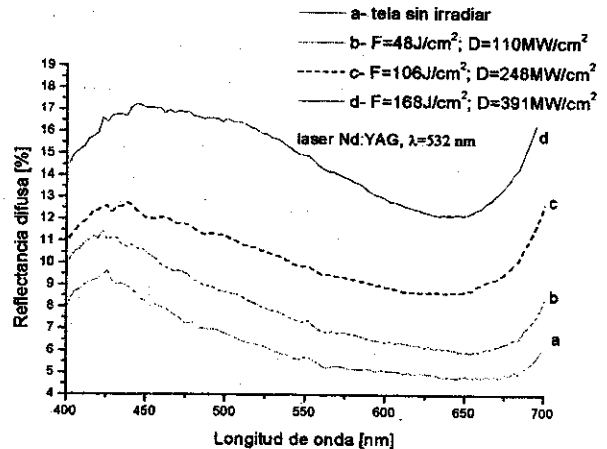


Figura 2. Espectros de reflectancia difusa para el láser de Nd:YAG a 532 nm.

En general un cambio en la densidad de potencia afecta mucho más la reflectividad difusa, que un cambio en la fluencia. Esto se puede explicar por el hecho de que solamente para el primer pulso láser, el coeficiente de absorción tendrá el valor inicial. El pulso láser que sigue al primer pulso encontrará un coeficiente de absorción más bajo. Así, la eficiencia de la interacción depende de la densidad de potencia láser de los primeros pulsos. Un resultado importante es que la forma de la curva para la tela irradiada es similar a la de la tela sin irradiar, lo que demuestra que la tela no es dañada por la irradiación con láser a esta longitud de onda.

En el caso de la irradiación con láser de Nd:YAG a 1064 nm, se observa también que variaciones grandes de fluencia producen solo pequeños cambios en el coeficiente de reflectividad. Sin embargo es necesario llegar a niveles de fluencia y densidad de potencia más altos que en el caso del láser a longitud de onda a 532 nm, para obtener los mismos niveles de desteñido.

La Figura 3 muestra los resultados obtenidos para la irradiación con láser de CO₂. El proceso de interacción en este caso es mucho más efectivo y la remoción del índigo se efectúa a través de los procesos de calentamiento y vaporización. Sin embargo, el proceso afecta también la fibra, como se comprueba al observarse en el microscopio y en las curvas de la Figura. Generalmente, después de la irradiación con el láser de Nd:YAG tanto a 532 nm como a 1.064 μm , la reflectividad espectral tiene la misma forma que para la tela sin irradiar. Sin embargo, para el área irradiada con láser de CO₂ el espectro de reflectividad cambia de forma, lo que nos permite suponer que las fibras fueron afectadas.

En la Figura 3, la curva *b* tiene una densidad de potencia más baja ($D = 408 \text{ W/cm}^2$), pero una fluencia mayor ($F = 4.08 \text{ J/cm}^2$) que la curva *c* ($D = 816 \text{ W/cm}^2$ y $F = 3.67 \text{ J/cm}^2$). Como se puede observar en la figura, la curva *c* tiene un coeficiente de reflectividad difusa mayor que la curva *b*. La observación de que la densidad de potencia es más importante que la fluencia continúa siendo válida en este caso.

La Figura 4 presenta los espectros de reflectividad difusa para las tres diferentes longitudes de onda. Las curvas *c* y *d* fueron obtenidas usando la longitud de onda fundamental y el segundo armónico del láser de Nd:YAG (1.064 μm y 532 nm, respectivamente). La fluencia ($F = 168 \text{ J/cm}^2$) y la densidad de potencia láser ($D = 391 \text{ MW/cm}^2$) de la curva *c* son menores que los valores respectivos para la curva *d* ($F = 867 \text{ J/cm}^2$ y $D = 1980 \text{ MW/cm}^2$). Sin embargo, el coeficiente de reflectividad difusa es mayor en el caso de la irradiación a 532 nm que a 1.064 μm . Por ello, podemos decir que los parámetros más importantes en el desteñido con

láser son primeramente la longitud de onda del láser y enseguida la densidad de potencia del mismo.

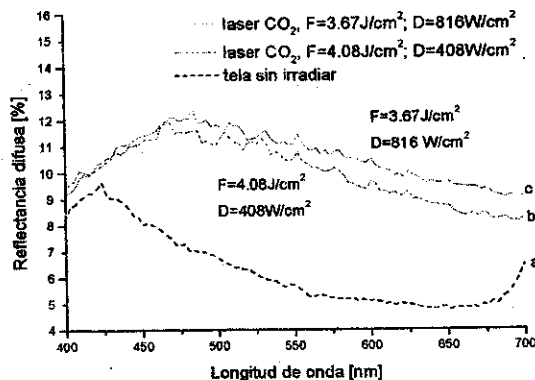


Figura 3. Espectros de reflectancia difusa para el láser de CO₂.

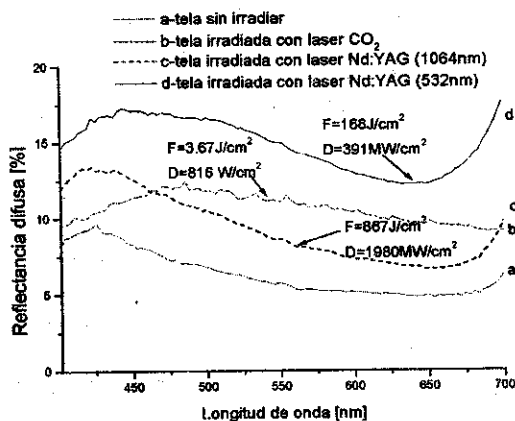


Figura 4. Espectros de reflectancia difusa para tres longitudes de onda diferentes.

DISCUSIO Y CONCLUSIONES

Los resultados alcanzados hasta ahora a nivel de laboratorio, nos han permitido determinar que sería necesario utilizar un láser de 5000 W de Nd:YAG, para transferir la técnica a la industria. Con esta potencia se puede desteñir 1 metro cuadrado de tela en 1.5 minutos, lo que representa el doble de tiempo de lo que le toma a la industria desteñir con el método actual, que es de aproximadamente 200 pantalones en 90 minutos, por lavadora.

Por esta razón, se considera que la aplicación más inmediata del desteñido con láser, sería en la sustitución del método de "sandblast" con el cual se destiñen áreas determinadas del pantalón, utilizando en la actualidad un método costoso, peligroso y lento, que consiste en aventar arena a alta presión sobre los pantalones. Igualmente, se pueden diseñar logotipos o patrones de desteñido especiales, con la ventaja de no tener que cambiar el proceso, sino solamente el programa de computadora.

Sin embargo, a pesar de que en las condiciones actuales es más lento el desteñido de mezclilla por láser, es importante tomar en cuenta la ventaja de la disminución con esta técnica, de la cantidad de contaminantes por aguas residuales.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo forma parte del proyecto No. 19980205019, apoyado por el Sistema de Investigación Miguel Hidalgo, CONACYT-MEXICO.

REFERENCIAS

- STEEN, W. (1998): "Láser Materials Processing", Springer Verlag, London.
- NIEMZ, M.H. (1996): "Láser-Tissue Interactions", Springer Verlag, Berlin.
- GRIGORYANTIS, A. (1994): "Basis of Láser Material Processing", MIR Publishers.
- READY, J.F. (1997): "Industrial Aplications of Láser", Academic Press.
- KOECHNER, W. (1996): "Solid State Láser Engineering", Springer Verlag.

DIVISOR DE VOLTAJE CAPACITIVO CON UN ANCHO DE BANDA DE 125 MHZ PARA EL ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO TEMPORAL DEL VOLTAJE EN UN LASER DE NITROGENO

L. Baly, M. R. Otazo y H. Lubian, Centro de Estudios Aplicados al Desarrollo Nuclear (CEADEN)

RESUMEN

En el presente trabajo se describe la construcción de un divisor capacitivo para la determinación de la evolución temporal del voltaje en un láser de nitrógeno. El divisor se planeó para tener un ancho de banda de 200 MHz y poder medir pulsos de voltaje de hasta 20 kV de amplitud. De la evaluación de las características del divisor se determinó que el ancho de banda real del mismo alcanza 125 MHz y un coeficiente de división de 4900. A pesar de que el ancho de banda real es inferior al planificado, por sus características puede ser empleado en la determinación de la evolución temporal del voltaje en un láser de nitrógeno.

ABSTRACT

Construction of a capacitive divisor for determining temporal evolution of nitrogen laser voltage is described. It was planned to have a bandwidth of 200 MHz and then measure voltage pulses up to 20 kV. There are differences between planned and real bandwidth values but it doesn't restringe its capabilities for doing the measurement of the voltage evolution.

1. INTRODUCCION

La determinación de la evolución temporal en los condensadores del láser es importante para el estudio de los mismos. A partir de las curvas de voltaje pueden ser calculadas la historia de la resistencia e inductancia de las descargas gaseosas en el láser [1,2,3]. Permite también correlacionar de forma más objetiva el funcionamiento con la eficiencia del láser. Para la comprensión más profunda de los procesos en el láser de nitrógeno es necesario correlacionar los resultados obtenidos con la dinámica del láser (voltaje, resistencia e inductancia). Esto justifica el desarrollo de un sistema que permita determinar, con suficiente precisión, la evolución temporal del voltaje en los láseres. La medición de la evolución temporal del voltaje en los láseres de nitrógeno debe resolver dos aspectos fundamentales: el primero, convertir la magnitud del voltaje característica de los láseres de nitrógeno (18-20 kV) a magnitudes asequibles para los instrumentos de medición (osciloscopios); el segundo, reproducir con fidelidad los procesos que por su naturaleza son rápidos y susceptibles de distorsión por ruidos electromagnéticos generados por las altas tensiones. Con tal propósito han sido desarrollados distintos dispositivos, entre los cuales se destacan los divisores de voltaje capacitivos y resistivos [4], y los cinturones de Rogowski [5]. En el presente trabajo se describe la construcción y caracterización de un divisor capacitivo para el estudio de la evolución temporal de un láser TEA de nitrógeno.

2. GENERALIDADES

A continuación se relacionan un grupo de fórmulas relacionadas con la fidelidad con que se puede reproducir una señal en dependencia del ancho de banda B del sistema. T es el tiempo de subida del sistema [6]

$$T_{\text{sistema}} = \frac{0.35}{B} \quad (2.1)$$

$$T_{\text{registro}} = \sqrt{T_{\text{señal}}^2 + T_{\text{sistema}}^2} \quad (2.2)$$

3. DIVISOR CAPACITIVO

El divisor de voltaje capacitivo es el dispositivo más apropiado para la determinación de la evolución temporal del voltaje en los condensadores del láser, por ser el de mayor ancho de banda, además de no recargar el sistema [4]. En la Figura 3.1 se muestra el esquema de un divisor capacitivo con capacidades concentradas.

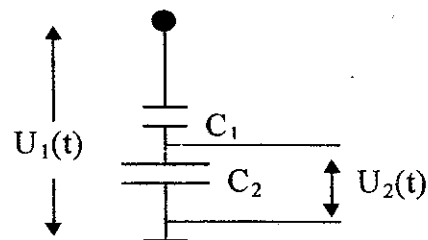


Figura 3.1. Divisor capacitivo de alto voltaje.

En el caso ideal la relación de atenuación se determina por la relación:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (3.1)$$

Esta relación es válida hasta una frecuencia máxima f_{\max} dada por las condiciones [6]:

$$f_{\max}^2 \leq \frac{1}{100 \cdot (2\pi)^2 \cdot L_1 \cdot C_1} \quad (3.2)$$

$$f_{\max}^2 \leq \frac{1}{100 \cdot (2\pi)^2 \cdot L_2 \cdot C_2} \quad (3.3)$$

$$f_{\min} = \frac{1}{(2\pi) \cdot R_{\text{osc}} \cdot (C_2 + C_1)} \quad (3.4)$$

4. CONSTRUCCION

En la Figura 4.1 se muestra el esquema del divisor capacitivo. El divisor fue construido sobre la base de capacitores planos, utilizando como material dieléctrico Teflón. Los capacitores son independientes y están unidos por un cable de 3 cm de largo. El primer capacitor tiene una capacidad de 0.27 pF y el segundo 1320 pF lo que da una relación de atenuación de 4900.

De las ecuaciones 3.2 y 3.3 se puede apreciar que por lo general debe ser C_2 quien determine la frecuencia máxima, ya que los requerimientos hacia la inductancia se hacen mayores. Por tal motivo en la construcción de C_2 se prestó mucha atención para que la frecuencia máxima no sobrepasara los 200 MHz.

Este condensador fue construido con una lámina de Teflón de 80 micrones de espesor y láminas de aluminio adhesible. Para determinar la inductancia de este capacitor se utilizaron las expresiones para el capacitor plano:

$$L = \mu_0 \frac{a}{b} \text{ henrys/m} \quad C = \epsilon \epsilon_0 \frac{b}{a} \text{ farads/m} \quad (4.1)$$

donde: a es el grosor del dieléctrico y b el ancho del dieléctrico.

La sustitución de las fórmulas 4.1 en 3.3 da la siguiente expresión [7]:

$$f_{\max} \leq \frac{1}{20 \cdot \pi \cdot \sqrt{\mu_0 \epsilon \epsilon_0} \cdot l} \quad (4.2)$$

donde: l es el largo del capacitor visto como línea de transmisión. Para el caso del Teflón con $\epsilon_{\text{teflon}} = 2.1$, se determina que l no puede ser mayor que 13 mm si la frecuencia de corte es menor que 259 MHz. O sea, las dimensiones de C_2 pueden ser cualquiera pero su largo no puede ser mayor que

13 mm. En nuestro caso esto da que el ancho del capacitor es de aproximadamente 330 mm.

5. COMPROBACION DE LAS CARACTERISTICAS DEL DIVISOR

Para comprobar las características del divisor se montó un esquema sencillo. Dicho sistema consistía en un osciloscopio de 200 MHz de ancho de banda y un generador de pulsos, con el cual se simuló un pulso de 5V y 5 nseg. La comparación entre el pulso del generador y el pulso después de pasar por el divisor permitiría comprobar la relación de atenuación y determinar la deformación de la señal sufrida en el divisor. Los resultados de esta comparación se pueden observar en las Figuras 5.1 y 5.2 donde se muestran las dos señales reconstruidas a partir de varios puntos determinados en la pantalla del osciloscopio.

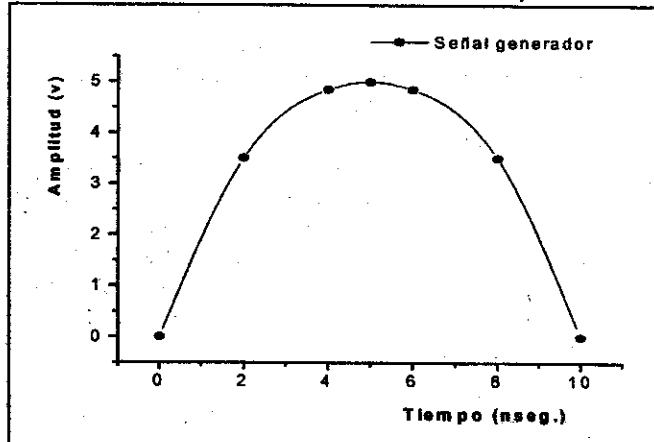


Figura 5.1. Forma del pulso del generador.

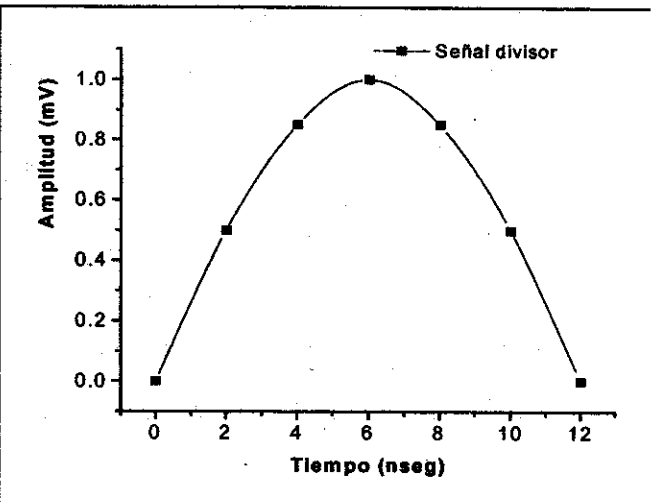


Figura 5.2. Forma del pulso del divisor de voltaje.

Como puede observarse, el divisor aumenta el tiempo de subida de la señal al menos en un nanosegundo. Teniendo en cuenta la relación 3.2 y 3.1 podemos calcular, dentro del margen de error de la determinación experimental del tiempo de subida de la forma del pulso del divisor:

$$T_{\text{sistema}} = \sqrt{T_{\text{registro}}^2 - T_{\text{señal}}^2 - T_{\text{osc}}^2}$$

$$T_{\text{sistema}} = \sqrt{36 - 25 - 3} = \sqrt{8} = 2.8 \text{ nseg.}$$

Por tanto el valor experimental obtenido del ancho de banda **B** es el siguiente:

$$B = 0.35/2.8 \text{ nseg} = 125.7 \text{ MHz.}$$

A pesar de que los valores experimentales no se corresponden con lo esperado, un ancho de banda de 125 MHz es suficiente para analizar la evolución temporal del láser. Por ejemplo, en casi la totalidad de los trabajos publicados recientemente se utiliza la punta divisora Tektronix P6015 de solo 75 MHz de ancho de banda.

En lo que respecta al coeficiente de división, este se corresponde con gran exactitud con el calculado. Esto se debe a que ambas capacidades fueron medidas con gran precisión.

Sobre la frecuencia mínima, vale señalar que la frecuencia mínima que se puede observar depende de la resistencia de entrada del osciloscopio. Sin embargo, dado que para observar procesos rápidos es necesario conservar el acople entre el cable

coaxial y la resistencia de entrada del osciloscopio es necesario poner un terminal de 50 Ohms a la entrada del osciloscopio. Esto reduce drásticamente las posibilidades de ver procesos lentos como la carga del capacitor producto de que la frecuencia mínima aumenta considerablemente.

En el futuro sería recomendable tratar de mejorar el ancho de banda mejorando el diseño a partir del análisis de las posibles causas de la disminución del ancho de banda.

6. CARACTERISTICAS

Finalmente, las características del divisor construido son las siguientes:

Coficiente de División: 4900

Ancho de Banda: 125 MHz.

CONCLUSIONES

Se obtuvo un divisor de voltaje que permite realizar mediciones en los láseres de nitrógeno. Este dispositivo permitirá realizar una serie de estudios en los láseres desarrollados en el centro, así como en otras instalaciones donde sea necesario la determinación de pulsos de alto voltaje.

REFERENCIAS

1. PERSEPHONICS, P.; V. GIANNETAS; A. IOANNOU and J. PATHENIOS (1995): *Jpn. J. Appl Phys*, 34, 36.
2. PERSEPHONICS, P.; A. IOANNOU; J. PATHENIOS; C. GEORGIADES and V. GIANNETAS (1998): *Appl. Phys B*, 66, 39.
3. PERSEPHONICS P.; K. VLASHOS; C. GEORGIADES and J. PATHENIOS (1992): *J. Appl. Phys* 71, 4755.
4. RIABOV, B.M. (1983): "Izmiriene Bicokij Impulsov Napriachenia", (en ruso) Leningrad. Energoatomizdat.
5. ROSA, J. de la, W.H. FONSECA; P.A. CALVA; R. LINARES and A. VAZQUEZ MARTINEZ (1994): *Meas. Sci and Technol.* 5, 1109.
6. SCHWAB, A. J. (1981): *Hochspannungsmess Technik*, Springer-Verlag, 66.
7. ROSA, J. de la (1990): *Acta Mexicana de Ciencia y Tecnología*, VII, 25-28, 141.

PHOTOACOUSTIC SPECTROSCOPY APPLIED TO THE STUDY OF PROTOPORPHYRIN IX INDUCED IN MICE

Ramón Gallegos, E.¹, E. Stolik S.^{2,3}, C. Ponce Parra², G. López Bueno⁵, A. Cruz-Orea^{2,3}, J. Pérez Zapata¹, A. Calderón³, R.A. Muñoz Hernández⁴ y F. Sánchez-Sinencio⁴

¹Laboratorio de Citopatología Ambiental, Dpto. de Morfología, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN, México D.F.

²Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología IPN, México D.F.

³Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC), Cuba*

⁴Centro de Investigación y de Estudios Avanzados IPN, México D.F.

⁵Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN, México D.F.

RESUMEN

El desarrollo de la Terapia Fotodinámica la cual es una técnica prometedora en el tratamiento de diferentes tumores ha conducido a investigar un gran número de materiales como sensibilizadores. Los sensibilizadores endógenos que pueden ser inducidos por otras sustancias son algunos de los más interesantes debido a sus ventajas respecto a los efectos colaterales. Se estudia por espectroscopia fotoacústica la inducción de Ptoporfirina IX en ratones con el uso del ácido aminolevulinico ALA.

ABSTRACT

The increasing development of the Photodynamic Therapy (PDT) as a promising technique in the treatment of different tumours has lead to investigate a great number of compounds as photosensitizers. The endogenous photosensitizers which could be induced by other substances are one of the most interesting due to their advantages in respect with the side effects. A study of the aminolevulinic acid (ALA) induced Ptoporphyrin IX (PpIX) in mice by Photoacoustic spectroscopy is presented.

INTRODUCTION

Aminolevulinic acid (ALA) is used to induce protoporphyrin IX (PpIX) accumulation, it is one of the photosensitizers most powerful and specific for Photodynamic Therapy (PDT), this is accumulated in high concentrations in cancerous cells and in low concentrations in normal cells [1]. It is important to measure the distribution of the PpIX in tissues and to study the products of its photobleaching in order to find possible collateral effects and to optimize the PDT. Among the not conventional techniques, that allow us to accomplish these studies, The Photothermal Techniques (PT) stand out because of allow us to obtain information about the samples that present inherent difficulties to the high dispersion of the light, and of structures that vary with the depth (for example: semiconductors, mineral, vegetable and animal tissue) [2].

Objectives: To determine the PpIX in situ accumulation in skin from mice exposed to different ALA concentrations, to obtain the optical absorption spectrum of PpIX in situ, to calculate the degradation time of this molecule when irradiated at its maximum optical absorption wavelength and to obtain the optical absorption coefficient as a function of the wavelength radiation.

MATERIALS AND METHODS

Five groups of seven CD1 female mice were used, four of which were exposed by intraperitoneal route to different ALA concentrations: 40, 80, 160, 320 mg/Kg, they were sacrificed to 0.5, 0.75 and 1 h after their exposition respectively. One group was treated with physiological saline solution and after one hour it was sacrificed. Mouse skin biopses (1cm²) of the abdominal zone were obtained, these were stored to - 20°C until their analysis. In order to obtain their optical absorption spectra by Photoacoustic Spectroscopy the samples were defrosted, shaved and dried. From the optical absorption spectra will be determined the optical absorption coefficient as a function of the wavelength. Also, from the difference between the external and internal face absorption spectra, it will be identified the zone of the epithelium with greater concentration of PpIX. To determine the degradation time of PpIX, it will be performed an in vitro study of this molecule which will be irradiated in its maximum absorption wavelength and by monitoring the evolution of the photoacoustic signal it will possible to obtain this time. The optical absorption spectra were obtained in the range of 300-700 nm by the use of a PA spectrometer. The experimental set-up consists of a 1000 W Xenon lamp (Oriol), a variable frequency mechanical chopper set at 17 Hz, a monochromator, an air filled

brass cell with a condenser microphone and a lock-in amplifier. The sample compartment is a cylindrical chamber. The PA signal obtained is detected by a lock-in amplifier (SR-850), interfaced to a personal computer, which simultaneously displays the wavelength-dependent signal amplitude and phase.

RESULTS AND CONCLUSIONS

The optical absorption spectra from the skin samples, external and interna face, indicated that the PpIX is mainly accumulated in the dermis. From absorption spectra also were found the optical absorption coefficient as a function of the wavelength. See Graphic 1. The determination of this optical coefficient is very important in PDT in order to determine the light penetration in the skin.

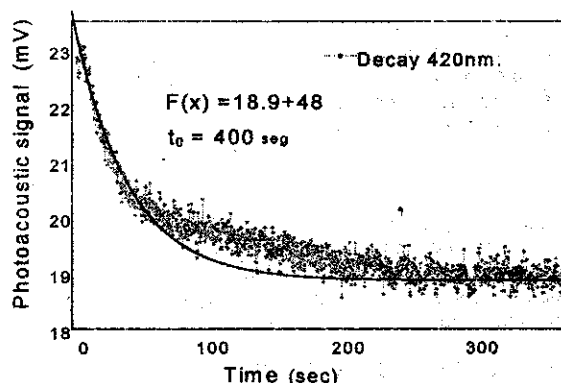
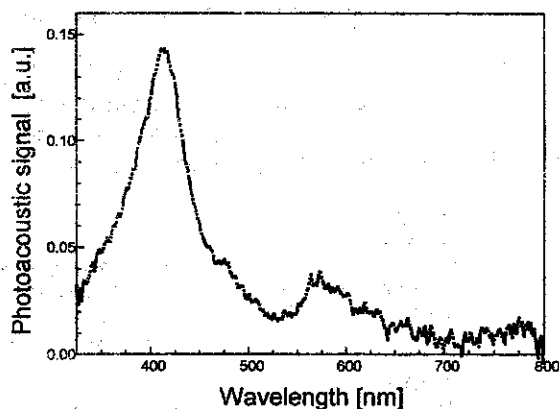


Figure 1. Photobleaching of the PpIX diluted in

Considering that the photobleaching process could be approximate to an exponential decay the PpIX

degradation time was found around of 510 sec of exposition at the maximum absorption wavelength, what will allow us to have a criterion for the radiation time used in PDT. The graphic obtained for the photobleaching and the fitted exponential decay are presented in Graphic 1.

The photoacoustic absorption spectra of the PpIX in acid chloride 25 N is presented in Graphic 2. It is clearly seen a Soret band peak at 417 nm and secondary peaks at 565 nm, and 620 nm.



Graphic 2. Photoacoustic spectra of PpIX.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank Miss Esther Ayala for her continuous support in our day after day research work and to Miss Patty Rodriguez for her patience preparing the solutions.

REFERENCES

1. KENNEDY, J. C.; R.H. POTTIER and D.C. Pross (1990): "Photodynamic Therapy with endogenous protoporphyrin IX: basic principles and present clinical experience", *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 6:143.
2. ALMOND, D. and P. PATEL (1996): "Introduction and elements of Photoacoustic spectroscopy", *Photothermal Science and Techniques*, Ed. Chapman & Hall.
3. POTTER, W. R.; T.S. MANG and T.D. DOUGHERTY (1987): "The theory of Photodynamic Therapy dosimetry: Consequences of photodestruction of sensitizer", *Photochem. Photobiol.*, 46:97-101.
4. KONIG, K.; H. SCHNECKENBURGER; A. RUCK and R. STEINER (1993): "In vivo photoproduct formation during PDT with ALA-induced endogenous porphyrins", *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.* 18:287-290.
5. ROTOMSKIS, R.; G. STRECKYTE and S. BAGDONAS (1997): "Phototransformations of sensitizers 2. photoproducts formed in aqueous solutions of porphyrins", *J. Photochem. Photobiol. B: Biol.*, 39:172- 175
6. GEORGAKOUDI, I. and T.H. FOSTER (1998): "Singlet oxygen versus nonsinglet oxygen mediated mechanisms of sensitizer photobleaching and their effects on photodynamic dosimetry", *Photochem. Photobiol.*, 67:612-625.

PHOTOACOUSTIC MEASUREMENT OF ETHYLENE AS A "REAL TIME" BIOMARKER OF LIPID PEROXIDATION PROCESS IN MICE

Stolik, S.^{1,3}, E. Ramón-Gallegos³, M. Pacheco¹, S.A. Tomás^{1,4}, A. Cruz-Orea^{1,4}, A.J. Pérez-Zapata³, R. Gaebler⁵, F. Sánchez-Sinencio⁴

¹Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología IPN. México D.F.

²Lab. de Citopatología Ambiental. Dpto. de Morfología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas IPN. México D.F.

³Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)*

⁴Centro de Investigación y de Estudios Avanzados IPN, México D.F.

⁵Gaebler Trace Gas analysis. Germany.

RESUMEN

En algunas enfermedades como la porfiria intermitente aguda la acumulación de ácido δ -aminolevulinico (ALA) endógena con pH de 7 a 8 conlleva un proceso de enolización que produce radicales libres (O_2^- , OH, H_2O_2 y ALA). Se espera que la mayor parte de la ALA suministrada de manera exógena a un organismo sano sea convertida en protoporfirina IX (Pp IX), y finalmente al grupo hem, pero una pequeña acumulación de ALA iniciara un proceso de peroxidación lipídica debido a la generación de especies reactivas de oxígeno. Algunos de los productos finales comúnmente hallados en la peroxidación lipídica incluyen etano y pentano así como otros hidrocarburos tal como etileno, propano, iso' y n' butano. Como estos gases son normalmente producidos a niveles de traza, se necesitan técnicas muy sensibles para detectarlos. En este trabajo se emplea el efecto peroxidativo del suministro de ALA de modo exógeno a ratones hembras CD1 estudiado por detección fotoacústica de trazas de gas. El etileno exalado por los ratones inoculados con ALA alcanza niveles de pocos ppb V 30 minutos después de recibir ALA.

ABSTRACT

In some diseases like the acute intermittent porfiria and lead poisoning the accumulated endogenous δ -aminolevulinic acid (ALA), with a 7 to 8 pH, undergoes an enolization process that produces free radicals (O_2^- , OH, H_2O_2 and ALA). It is expected that most of exogenously-supplied ALA in a healthy organism will be converted into protoporphyrin IX (PpIX), and ultimately to the hem group, but a small accumulation of ALA, when present, will initiate a lipid peroxidation process due to generation of oxygen reactive species. Some of the end products commonly found in lipid peroxidation include ethane and pentane, as well as other hydrocarbons like ethylene, propane, iso- and n-butane, isopentane and isobutene. As these gases are normally produced at trace levels, sensitive techniques are needed for their measurement. In this work, the peroxidative effect of exogenously-supplied ALA in female CD1 mice has been studied by photoacoustic trace gas detection. Exhaled ethylene from ALA-inoculated mice reached levels of the order of few ppbV for approximately 30 minutes, after supplying of ALA.

INTRODUCTION

Lipid peroxidation and free radical reactions in human disease and toxicology have increasingly attracted the attention of a number of authors. Probably the evidence most frequently quoted in support of the involvement of free radical reactions in tissue damage by disease and toxins is the measurement of elevated end-products [1]. In addition to ethane and pentane, other hydrocarbons like ethylene, propane, iso- and n-butane, isopentane and isobutene have been measured in studies of the peroxidative effect of a number of chemicals. [2]. The previous reported experiments on measuring the ethylene concentration as a biomarker of lipid peroxidation process were performed in a closed volume, so that these experiments could only give an

idea of the amount of exhaled ethylene after long periods of integration time. The laser-driven photoacoustic detection method has proven to be very well suited for the on-line detection of trace gases emitted from biological material. [3]. Exhaled ethylene, used as a biomarker for lipid peroxidation in the skin of human subjects exposed to ultraviolet radiation, has been measured by this technique [4].

EXPERIMENTAL METHODS

The used system is a photoacoustic spectrometer with a CO_2 waveguide laser which emits radiation at wavelengths between 9 and 11 μm . With this laser it is possible to obtain approximately 80 lines distributed in four branches. The photoacoustic cell operates in an intracavity mode, so we can achieve

* Fax(537) 33 8707 E-mail:cedaic@ceniai.inf.cu

more laser power through the studied gas. Similar systems have been reported before. [6].

For the study of the exhalations of the mice, it was developed a system to supply, clean, warm, split and filter the carrying air with the gas traces from the animals. A diaphragm pump supplies the air, the pumped air goes through a catalizer, so we have a "zero air supply". Before the air enters the cuvet, it passes through a gas heater, which allows to keep an appropriate temperature of the mice environment. The cuvet was built of pyrex glass, it has two holes permitting the entrance of clean air and the exit of the air with the exhalations, besides there is an additional entrance to inject from outside the gas system the studied mouse.

After the air passes the mouse cuvet, it is divided, because for the photoacoustic analysis only a small part of the flow is needed. The gas flow of few l/h to be measured goes through a several scrubbers and a cooling trap in order to absorb CO_2 , NH_3 and H_2O molecules which interfere with the ethylene measurements.

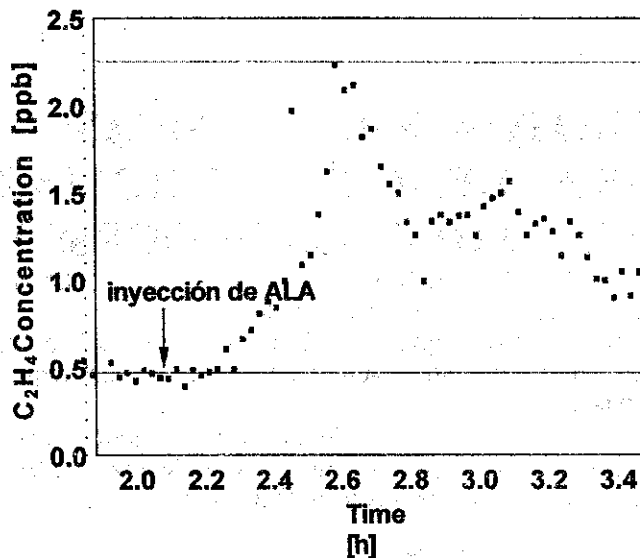
Female CD-1 mice 4-5 years old were used. The mice were anesthetized with pentobarbital (90 mg/Kg) before introducing them inside the cuvet. After reaching the background level of ethylene emission the mice were intraperitoneally injected with 0, 80, 160, or 320 mg/Kg of ALA without opening the cuvet.

RESULTS

The ethylene concentration in the exhaled air starts to increase after some time depending on the dose of ALA administered to the mouse. Also, the total amount of ethylene emission induced by lipid peroxidation processes depends on the ALA dose. Graphic 1 presents a typical curve of exhaled ethylene concentration as a function of time. The arrow indicates the moment that the ALA was injected.

The results obtained by the photoacoustic method were compared with those obtained by the reactive substances to tiobarbituric acid technique. This

comparison shows a very good agreement between both results.



Graphic 1. Ethylene emission after ALA administration.

CONCLUSIONS

In the present work, the authors suggest and have proven the feasibility to monitor the ethylene emission of laboratory animals using a photoacoustic spectrometer as a real time biomarker of the lipid peroxidation process.

This proposed method could be applicable as a new powerful technique in preclinical trials of new pharmaceutical drugs, which if administered in excess could lead to a delivery of reactive species detectable by ethylene emission monitoring.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank Leonardo García for his wonderful job manufacturing all the glass devices used in the gas system of the experiment and to Miss Esther Ayala for her continuous support in our day after day research work. The financial support to carry on this work was given by the CEGEP1 Project 990445 of the Instituto Politécnico Nacional de México.

REFERENCIAS

1. GUTTERIDGE, J.M.C. and B. HALLIWELL (1990): **TIBS** 15, 129-135.
2. FRANK et al. (1980): **Toxicology and applied Pharmacology** 56, 337-344.
3. HARREN, F.J.M. and J. REUSS (1997): Encyclopedia of Applied Physics (Ed.) G.L. Trigg 19 VCH, Weinheim, 413.
4. HARREN, F.J.M. et al. (1999): **Applied Physics Letters** 74, 12.
5. ZHAROV, V.P. and V.S. LETOKHOV (1986): "Laser Optoacoustic Spectroscopy", Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

6. SIGRIST, M.W. (1994): "Air monitoring by Spectroscopic techniques", John Wiley & Sons, New York.
7. MOECKLI, M.A. et al. (1998): **Appl. Phys. B**, 67,449-458.
8. HARREN, F.J.M. (1988): "The photoacoustic effect, refined and applied to biological problems", PhD thesis Katholieke Universiteit Nijmegen.
9. VRIES H.S.M. de et al. (1995): **Infrared Phys. Technol.** 36, 483.
10. Photodynamic Therapy of Neoplastic Disease, I. ed. D. Kessel. CRC Press. 1990.
11. SPIKES, J.D. (1997): "Photodynamic action: from paramecium to photochemotherapy", **Photochem. Photobiol.**, 65:142-147.
12. STUMMER, W. et al. (1998): **Neurosurgery**, 42(3):518-526.
13. SZEIMIES, R.M. et al. (1995): **J. Invest. Dermatol.**, 105:672-677.

EVALUACION DEL FRACCIONAMIENTO CROMATOGRAFICO UTILIZANDO EL POLARIMETRO LASER LASERPOL 101-M Y COMPROBACION MEDIANTE ESPECTROMETRIA UV-VISIBLE

A. Fernández¹, M. Martínez², C. Hernández¹, J. Iglesias¹, J. Carral³, S. Cañete¹, I. Sánchez⁴ y M.E. Cañizares¹

¹Centro de Biomateriales

²Dpto. de Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana

³Hospital Naval "Luis Díaz Soto", MINSAP

⁴Laboratorio de Bioinorgánica, Facultad de Química, Universidad de La Habana

RESUMEN

En este trabajo se realiza el fraccionamiento cromatográfico, mediante cromatografía líquida en columna por el método de exclusión por tamaños, de la heparina de bajo peso molecular, la cual presenta actividad óptica por ser un glucosaminoglicano. Se efectuaron un total de 12 corridas. Las fracciones se monitorearon mediante medidas del ángulo de desviación de la luz polarizada (α), en grados sacarimétricos, cuyos resultados se comprueban midiendo la absorbancia de los eluatos a 215 nm en un espectrómetro UV-visible 4054 UV/Visible Pharmacia. Biotech y el Espectrofotómetro Pharmacia LKB Ultrospec III con lámpara de deuterio. Se observa una buena correlación dentro de cada método y en comparación con los dos métodos, por lo que se recomienda el uso del equipo para este tipo de determinaciones.

INTRODUCCION

La heparina sódica es una preparación que contiene la sal de sodio de un glicosaminoglicano sulfatado presente en los tejidos de los mamíferos (1). Con el objetivo de evaluar su funcionalidad en la elaboración de un adhesivo con propiedades anticoagulantes se realiza este estudio.

En este trabajo se presentan resultados obtenidos del fraccionamiento del producto realizado mediante el monitoreo de los eluatos de las fracciones teniendo en cuenta las características químicas de la heparina: absorción de la luz en UV y capacidad de desviar el ángulo de la luz polarizada. Para el fraccionamiento de la muestra se empleó el método de cromatografía líquida de elución por tamaño (2-4). Para la evaluación polarimétrica se utilizó un polarímetro Laserpol 101-M como equipo de medición con la finalidad de usarlo durante el resto de la investigación.

MATERIALES Y METODOS

Se preparó una solución acuosa de heparina liofilizada al 1.5 % en agua destilada estéril, de estos se aplicaron 2 mL a una columna previamente empaquetada con Sephadex G 25 de 25 x 2.5 cm, utilizando agua destilada estéril como fase móvil y flujo de 0.5 mL/min. Se recogieron 100 fracciones de 2 mL cada una y se realizaron

12 corridas. Para efectuar el estudio espectrofotométrico se utilizaron dos equipos diferentes, el espectrofotómetro 4054 UV/Visible Pharmacia. Biotech y el Espectrofotómetro Pharmacia LKB Ultrospec III y se leyó cada eluato a 215 nm.

Estos mismos eluatos se leyeron en grados sacarimétricos en un Polarímetro LASERPOL 101-M, se utilizó agua estéril como blanco, y la propiedad de la heparina de ser destrozada. Previo a las corridas se prepararon soluciones de heparina de diferentes concentraciones para conocer el límite de detección del equipo, teniendo en cuenta que el método cromatográfico está asociado a dilución de las muestras.

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

Los gráficos I, II, III y IV son una muestra representativa de las diferentes determinaciones que se efectuaron durante la investigación. Los gráficos I y II constituyen una pareja entre el polarímetro Laserpol 101-M y espectroscopía UV, al igual que los III y IV por lo que se puede concluir que existe buena reproducibilidad del método.

En ambas parejas puede verse que a cada fracción obtenida por el método polarimétrico corresponde un máximo del método espectrofotométrico, lo cual indica que es aplicable el método polarimétrico para seguir el fraccionamiento, como se deseaba.

En los gráficos puede apreciarse además bastante coincidencia entre los volúmenes de elución de las fracciones con un máximo de elución, que fueron las tres fracciones que se separaron para posteriores estudios.

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado podemos concluir que el método polarimétrico es aplicable para la confección de las curvas de elución de las muestras de heparina u otros compuestos análogos, con propiedades ópticas.

Gráfico I

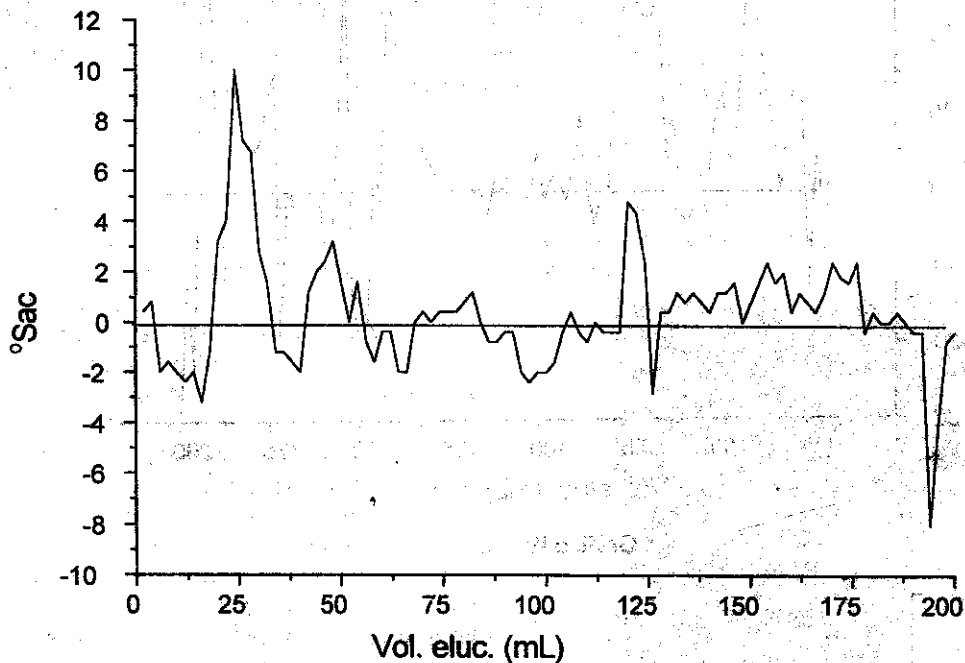


Gráfico II

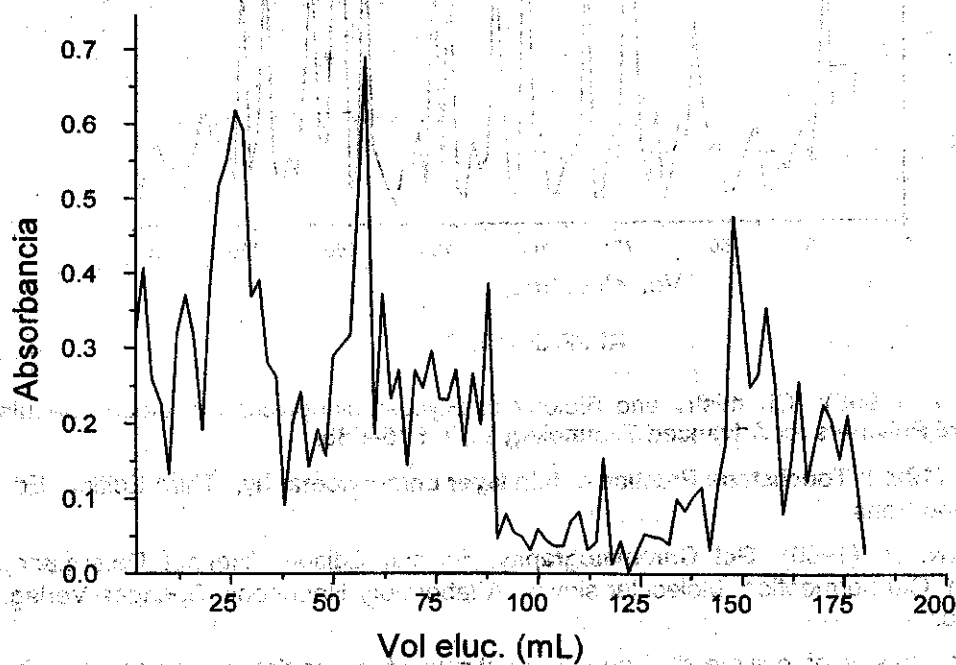


Gráfico III

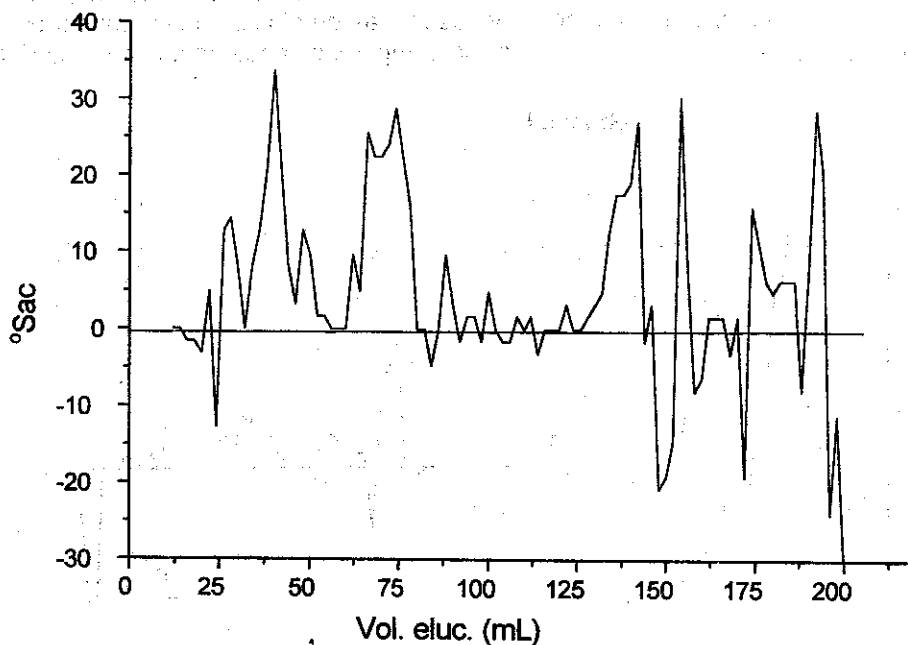
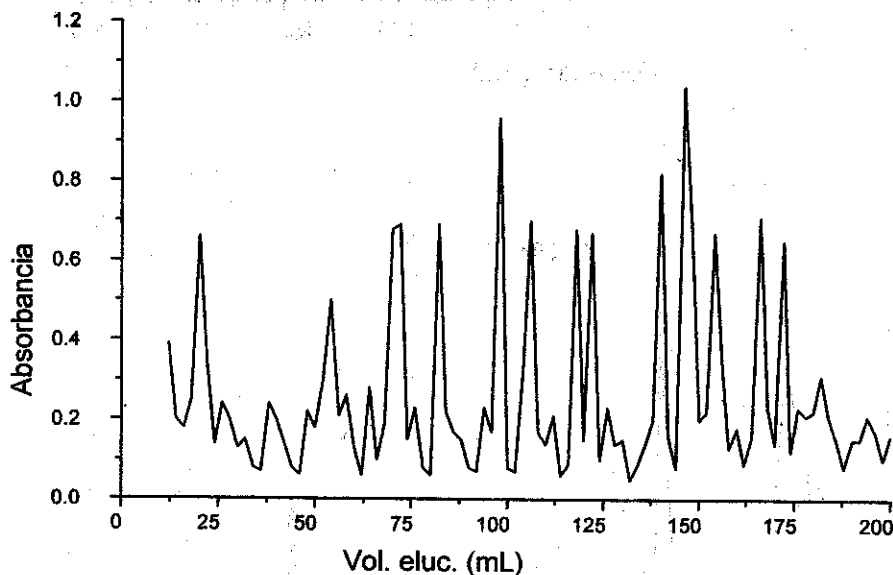


Gráfico IV



REFERENCIAS

1. BARBUCCI, A. (1996): "Chemistry and Biology of Glycosaminoglycans in blood coagulation", **Magnani Polymers for Advanced Technologies**, 7, 675-685.
2. JOSEPH, C. (1992): **Touchstone Practice of thin layer chromatography**, Third Edition. Ed. John Wiley and Sons.
3. DETERMANN, H. (1969): **Gel Chromatography**, Second Edition. (Helmut Determann). Gel filtration. Gel permeation. Molecular sieves. A laboratory Handbook. Springer-Verlag. New York Inc.
4. "Analytical chemistry of polymers". Parte II, **Analysys of molecular structures and chemical groups**, Editted Gordon McKline, Interscience publishers, (1962).

DESARROLLO DEL LASER "PLC-Art" PARA RESTAURACION DE OBRAS DE ARTE

B. J. Lambert, J. Picans, L. Ponce, M. Arronte, A. Durán, T. Flores, E. Escalona y B. González
Laboratorio de Tecnología Láser, IMRE - Facultad de Física, Universidad de La Habana

INTRODUCCION

En la actualidad el procesamiento con láser, encuentra una amplia gama de aplicaciones, que abarca desde la investigación científica y la medicina, hasta las de carácter más comercial como la restauración de obras de arte [1]. Esta última experimenta un creciente auge, motivado por la incorporación al mercado de equipos láser que permiten efectuar una limpieza eficiente y selectiva de superficies de materiales tales como la piedra, el alabastro y el mármol, sin introducir modificaciones en la naturaleza de los mismos. Esta ventaja muy valorada por restauradores, va acompañada de otras como la ausencia de daño mecánico y mínimo daño térmico. Por otro lado, las causas principales que limitan la introducción de esta técnica son el alto costo y volumen del equipamiento disponible en el mercado [2,3].

OBJETIVOS

La intención de este proyecto fue el diseño y construcción de un equipo láser pulsado de estado sólido, destinado a la limpieza de obras de arte, que debía cumplir con los siguientes requisitos:

- Calidad comparable o superior a los existentes en el mundo.
- Bajo costo de producción.
- Dimensiones reducidas.
- Fácilmente reproducible en condiciones de laboratorio

ASPECTOS GENERALES

El PLC-Art es un equipo láser de Nd:YAG, destinado a la restauración y conservación de obras de arte. Ha sido diseñado en forma modular, en virtud de la cual, todos sus componentes forman parte de bloques independientes, interconectados mediante cables o fibras ópticas e incluidos dentro de un chasis de microcomputadora del tipo PC-minitower (Figura 1). Esta distribución facilita las

tareas de mantenimiento, detección y solución de averías. Gracias a sus dimensiones reducidas, puede ser usado tanto para labores de restauración en laboratorios especializados, como para el trabajo de campo.



Figura 1.

El PLC-Art, desarrollado totalmente por el Laboratorio de Tecnología Láser del IMRE-Universidad de La Habana, ha pasado el proceso para la obtención de la norma de registro europeo CE [4] y se ha comercializado en países como Italia, Suiza y Argentina.

Sus características técnicas son las siguientes.

- Longitud de onda: 1064 nm
- Régimen de trabajo: Pulsado con frecuencias entre 1 y 10 Hz
- Energía de los pulsos: 300 mJ
- Régimen del pulso: Q: Switch
- Aplicador: fibra óptica de 1 m de longitud
- Controlado electrónicamente
- Comunicación RS-232
- Enfriamiento: Aire-agua (interno).

- Alimentación: 220 VCA
- Consumo de potencia: 1.5 kW
- Dimensiones (mm): 400 x 180 x 350

DESCRIPCION DEL SISTEMA

El PLC-Art está formado por cinco módulos según se muestra en el siguiente diagrama (Figura 2):

1. Módulo de emisión láser.
2. Sistema de enfriamiento.
3. Módulo de suministro de energía.
4. Módulo de alto voltaje.
5. Módulo de control.

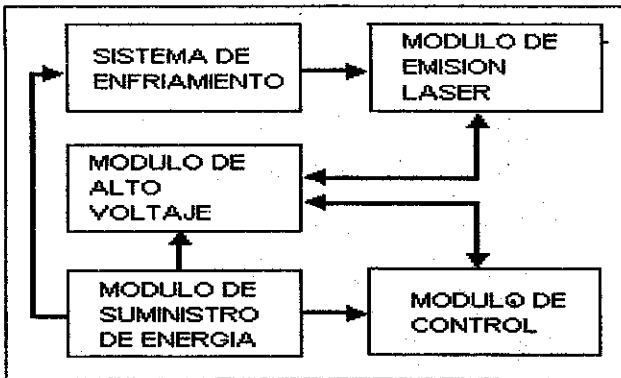


Figura 2.

Módulo de emisión Láser

En este módulo se obtiene la radiación láser (Figura 3). Lo componen los siguientes elementos:

1. Espejo trasero.
2. Q: Switch
3. Cavity reflectora
4. Lámpara flash de Xenón
5. Barra de Nd: YAG
6. Entradas de agua
7. Espejo delantero
8. Soporte para fibra óptica

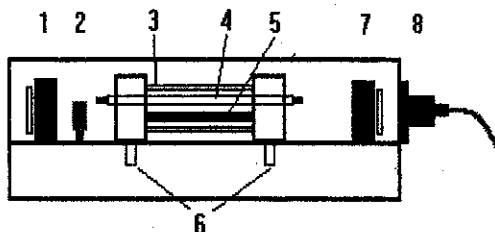


Figura 3.

La emisión de radiación láser, se logra bombeando el medio activo (barra de Nd:YAG) (5) con la luz que genera la lámpara flash (4). Ambas se colocan dentro de la cavity reflectora (3) para que el bombeo se produzca de la forma más

eficiente posible. Esta cavity se coloca dentro de un resonador formado por dos espejos dieléctricos paralelos. El espejo trasero tiene coeficiente de reflexión de 100 % y el delantero del 20 %. Entre el espejo trasero y la parte posterior del cabezal, se coloca el Q: Switch (2), dispositivo que permite la operación del láser en régimen de pulsos muy cortos de elevada potencia y que consiste en un cristal de YAG: Cr⁺³ que funciona por el principio de absorbente saturable y no necesita de circuito electrónico alguno para su funcionamiento.

Sistema de enfriamiento

Del total de energía entregada a la lámpara sólo alrededor del 1 % es transformada en radiación láser y el resto se disipa en forma de calor dentro del cabezal, originándose aquí la necesidad de disponer de un sistema de enfriamiento eficiente, capaz de estabilizar la temperatura de trabajo en 45 grados centígrados.

El sistema diseñado (Figura 4), hace circular por dentro de la cavity el líquido refrigerante, que consiste en una solución de agua destilada y dicromato de potasio que tiene la propiedad de absorber la radiación ultravioleta dañina para la barra y por lo tanto aumenta el tiempo de vida útil de esta última. Este líquido refrigerante pasa posteriormente a un radiador situado en la parte trasera del equipo en donde se le extrae el calor mediante dos ventiladores.

1. Recipiente con agua destilada y Dicromato de Potasio (K₂Cr₂O₇).
2. Cavity láser
3. Bomba de agua
4. Radiador
5. Ventiladores

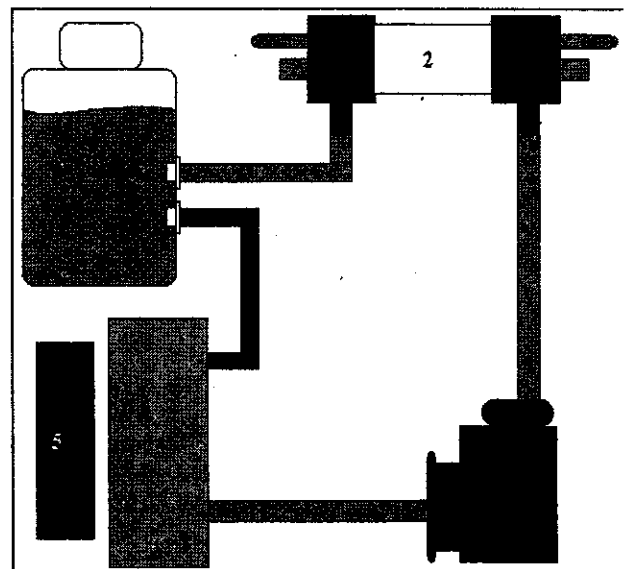


Figura 4.

Módulo de suministro de energía

Su función es entregar la energía necesaria para la emisión de la radiación láser. Está formado por un transformador elevador (220V/860V) de 1.5 kW de potencia, una cuarteta rectificadora y el capacitor del láser de 100 μ F, 2 kV (Figura 5).

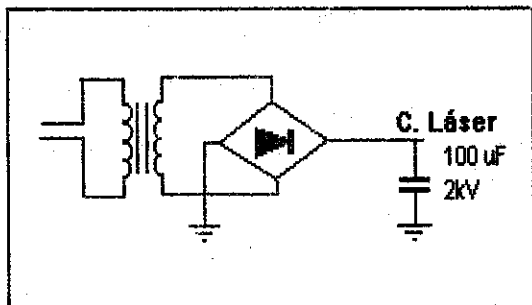


Figura 5.

Al ser energizado el equipo, el capacitor comenzará a cargarse, almacenando la energía que será entregada a la lámpara en el momento de disparo.

Módulo de alto voltaje (Figura 6):

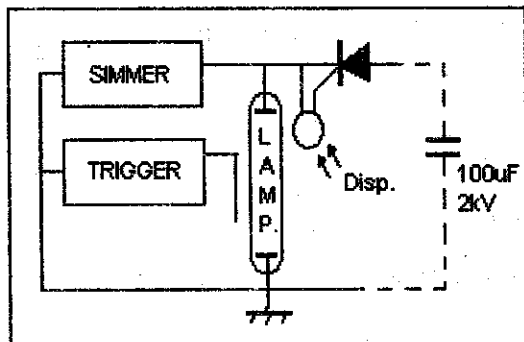


Figura 6.

Sus componentes fundamentales son:

Circuito de TRIGGER: Genera los pulsos de alto voltaje (15kV) que se aplican a la lámpara flash para que entre sus electrodos se produzca un salto capaz de ionizar el gas dentro de ella (Xenón), dejándola lista para la circulación de la corriente del SIMMER [5]

Circuito de SIMMER: Entrega una corriente estable (100 mA) que mantiene a la lámpara en estado de conducción y lista para aceptar la energía almacenada en el capacitor de 100 μ F / 2kV en el momento de disparo. Este circuito elimina la necesidad de generar un pulso de alto voltaje cada vez que se quiera producir un disparo del láser y por lo tanto contribuye a prolongar el tiempo de vida útil de la lámpara. Una vez establecida la circulación de corriente del SIMMER, se genera una señal óptica que es detectada por el módulo de control, para

que este a su vez, de la orden de interrumpir el funcionamiento del TRIGGER.

Tiristor de descarga: Este dispositivo funciona como un interruptor que se cierra cada vez que recibe desde el módulo de control la señal de disparo generada ópticamente. Cuando esto sucede, la energía almacenada en el capacitor de 100 μ F/2 kV, pasa a la lámpara y esta emite el destello que excita a la barra de Nd: YAG para obtener la radiación láser.

Módulo de control

Controla y supervisa el funcionamiento correcto del PLC-Art, mediante la generación de las señales que se relacionan a continuación:

- | | |
|-----------|---|
| LISTO | - Energiza el equipo y establece las condiciones iniciales de trabajo. |
| DISPARO | - Desencadena el mecanismo de disparo del láser a la frecuencia seleccionada. |
| APAGAR | - Desenergiza el equipo. |
| SIMMER OK | - Detecta si la lámpara está encendida, en caso de no estarlo, inhibe la generación de la señal de disparo. |

Cabe destacar que las señales que interactúan con el módulo de alto voltaje (DISPARO y SIMMER OK), lugar donde se generan las altas tensiones propias de la operación del láser, son ópticas, por lo que no existe ninguna vía de contacto eléctrico entre la electrónica de bajo voltaje asociada al módulo de control y la de alto voltaje.

El módulo de control soporta también la interfaz de comunicación serie que dota al equipo de gran versatilidad, pues permite la conexión del PLC-Art a una computadora personal, pasando a formar parte de un sistema automatizado de trabajo.

SOLUCIONES NOVEDOSAS

Con el objetivo de reducir el costo de producción, disminuir el tamaño del equipo y al mismo tiempo mantener un nivel de prestaciones comparable al de los equipos que se encuentran en el mercado, fue necesario hacer modificaciones durante el proceso de diseño del PLC-Art, algunas de las cuales son ideas originales del colectivo de desarrollo. Entre ellas se destacan:

- La carga del capacitor del láser no es controlada mediante dispositivos electrónicos, sino que mediante un proceso cuidadoso de diseño y optimización de la inductancia intrínseca del devanado primario del transformador de fuerza, se elimina este dispositivo que usualmente es un

- tiristor con características muy especiales debido a los altos niveles de corriente y voltaje que debe soportar, lo cual encarecía notablemente el equipo.
- La radiación láser se obtiene a la salida mediante Q: Switch pasivo, dispositivo duradero, de bajo costo y manejo sencillo, que permite obtener pulsos de 12 ns . de duración y de 200 mJ de energía, (medidos con un osciloscopio digital TEKTRONIX, modelo TDS 210 y un medidor de energía láser modelo LM-03, respectivamente) óptimos para la aplicación en cuestión.
 - La cavidad reflectora, dispositivo óptico de elevado costo, se diseñó y construyó por especialistas del laboratorio, usando para ello un cilindro de vidrio Pyrex, de doble pared, relleno de polvo de Mg O, evitando así el costoso proceso de sintetizado.
 - La comunicación entre los módulos de control y de fuerza, se realiza mediante fibra óptica, eliminando la posibilidad de mal funcionamiento debido a ruidos eléctricos y garantizando a la vez máxima seguridad en la operación del equipo.
 - Se usa fibra óptica flexible como dispositivo de entrega de energía, lo cual hace más fácil y flexible el manejo del equipo.
 - El sistema de enfriamiento se diseñó y construyó "a la medida" debido a la imposibilidad de encontrar en el mercado, alguno que se pudiera adaptar a las dimensiones reducidas del equipo.
 - Todo el sistema se construye en un chasis de microcomputadora, con lo que se logra que el aspecto externo de una serie de equipos producidos, sea similar.

CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y comercializó un equipo láser de Nd: YAG, para emplear en limpieza de obras de arte, en el que se incluyen un conjunto de soluciones novedosas a problemas ingenieriles. El equipo posee parámetros de emisión similares a sus análogos existentes en el mercado y a su vez, es más compacto y económico.

REFERENCIAS

1. CHEUNG, T. (1988): **CRC Critical Review in Solid State and Material Science**, 15.
2. ASMUS, J. F. et al. (1973): **Studies in Conservation**, 18(2).
3. FOTAKIS, G. (1995): **Optics and Photonic News**, 6(30).
4. EMV- Labor Wetzikon AG, Ref. No: 971212084116, 1997.
5. LITTLECHILD, J. (1989): **High Performance Flash and Arc Lamps**, Book 1, 2nd. Ed.

SISTEMA DE EXCITACION Y DETECCION DE FLUORESCENCIA

José A. Delgado Atencio, Suren Stolik Isakina, Sandra Fernández Yanes, Margarita Cunill Rodríguez, Arilene M. Pérez González y Lino E. Borroto Rivero,
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

En este trabajo se presenta un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia desarrollado para la investigación de las propiedades fluorescentes de fármacos fotosensibilizadores utilizados para el diagnóstico de tumores. El uso de un LED azul de alto brillo como fuente de excitación y de fibras ópticas para la transmisión de la señal luminosa hasta el cabezal sensor hace que el sistema presentado sea sencillo y práctico. Se describe también una fuente de excitación que emplea una lámpara de arco de mercurio de 200 W y filtros ópticos para garantizar una composición espectral adecuada. El sistema de detección está compuesto por dos bloques fundamentales, un cabezal sensor de alta sensibilidad y una unidad de lectura y selección del modo de medición. El sistema por su diseño resulta versátil por lo que puede utilizarse para el estudio de otras sustancias fluorescentes no necesariamente pertenecientes a la investigación oncológica.

ABSTRACT

A functional prototype system of excitation and detection of fluorescence was developed in order to do research of fluorescent properties of pharmacological products used in tumors diagnosis. A blue high intensity LED is used as exciting source and optic fiber for the transmission of the light signal which taken together produce a simple and practical system. Other sources as a mercury 200 W lamp and optical filters are also employed. Detection system is made of two fundamental blocks, which are described. We think the system might be used to study other kind of fluorescent substances.

INTRODUCCION

La terapia fotodinámica es una técnica novedosa para el tratamiento de los tumores, que aprovecha la reacción fotoquímica inducida en un marcador fotosensibilizador al irradiarlo con la luz roja de densidad de potencia y longitud de onda específica [1, 2, 3, 4]. Los fármacos fotosensibilizadores utilizados tienen la propiedad de fluorescer cuando son excitados con luz violeta, esto unido a su retención selectiva por los tejidos neoplásicos brinda la posibilidad de diagnosticar lesiones premalignas mediante la fluorescencia inducida [5, 6]. El estudio de las propiedades fluorescentes de fármacos obtenidos nacionalmente, así como la necesidad de contar con una herramienta para la investigación de las propiedades fluorescentes de los tejidos neoplásicos motivó a que nuestro grupo de investigación desarrollara un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia para realizar investigaciones preliminares en el campo de la oncología, especialmente en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida.

DESARROLLO

El sistema de excitación-detección que se presenta ha sido diseñado por módulos que tienen

cierto grado de independencia en cuanto a su funcionalidad. Este sistema en esencia está constituido por las siguientes partes y aditamentos:

1. Fuente de excitación
2. Portamuestras
3. Sistema de detección y lectura
4. Filtros y fibras ópticas

A continuación se presenta una descripción general y se precisan las posibilidades de operación de cada una de estas partes:

1. La fuente de excitación:

Una de las dos variantes de fuente de excitación se muestra en la Figura 1 (a) donde la fuente de luz es una lámpara de arco de mercurio (HBO 200F) de 200 W de consumo eléctrico, que se coloca dentro de un mueble metálico con una salida para la radiación óptica. Este puerto óptico está diseñado para colocar una lente colimadora, un filtro óptico para la excitación y una segunda lente para enfocar la radiación sobre una fibra óptica. Esta lámpara se soporta en un mecanismo de posicionamiento cuyo accionamiento permite que la descarga de la lámpara de mercurio sea colineal con el eje óptico del sistema.

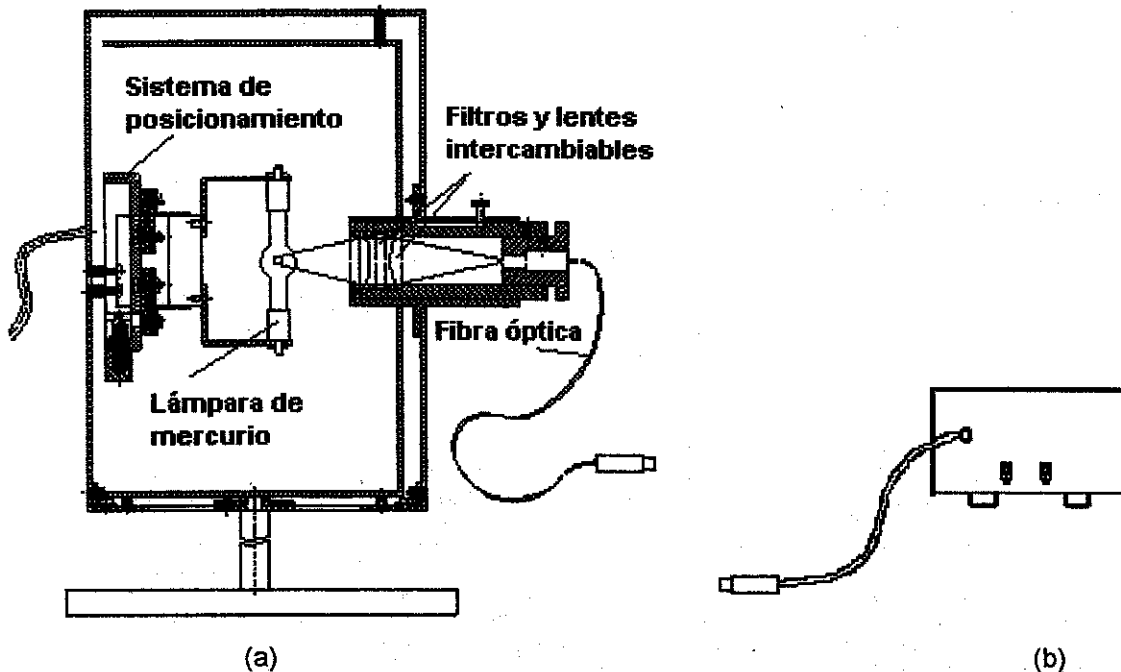


Figura 1. Fuentes para la excitación de fluorescencia.

(a) Lámpara de arco de mercurio.

(b) LED azul ultrabrillante.

El filtro óptico utilizado para la excitación es un filtro de color con una banda de transmisión centrada en 420 nm y un ancho de banda de 80 nm, la transmisión máxima es del 30 %.

La segunda variante de fuente de excitación se presenta en la Figura 1 (b) y consiste en un LED azul de alto brillo, alimentado por una fuente de corriente variable de 0-20 mA, con una longitud de onda de máxima emisión alrededor de 450 nm y una intensidad luminosa de 1 000 mCd a 20 mA de corriente de alimentación. La potencia radiante para esta corriente es de 4 mW. El LED se encuentra en el interior de un casquillo que lo protege y garantiza el acoplamiento mecánico con el portamuestras.

2. El portamuestras:

Es un mueble cerrado que impide la entrada de la luz del medio ambiente a su interior para que no se falsee la medición, como se muestra en la Figura 2. Está diseñado para realizar la detección de la fluorescencia a 90° con respecto a la dirección de excitación y definiendo ambas direcciones (excitación-detección) un plano horizontal. La radiación para la excitación penetra al portamuestras a través de un puerto de entrada que admite o bien una fibra óptica que trae la radiación excitatriz desde la fuente con lámpara de arco, como se observa en la Figura 1 (a), o el casquillo metálico que contiene al LED azul.

Para garantizar la repetibilidad de las mediciones se ha diseñado un sistema de posicionado para la

cubeta basado en el uso de una escuadra metálica contra la cual se presiona la cubeta mediante dos parejas de muelles mutuamente perpendiculares. Estos muelles contienen como elemento de contacto con la cubeta una esfera metálica.

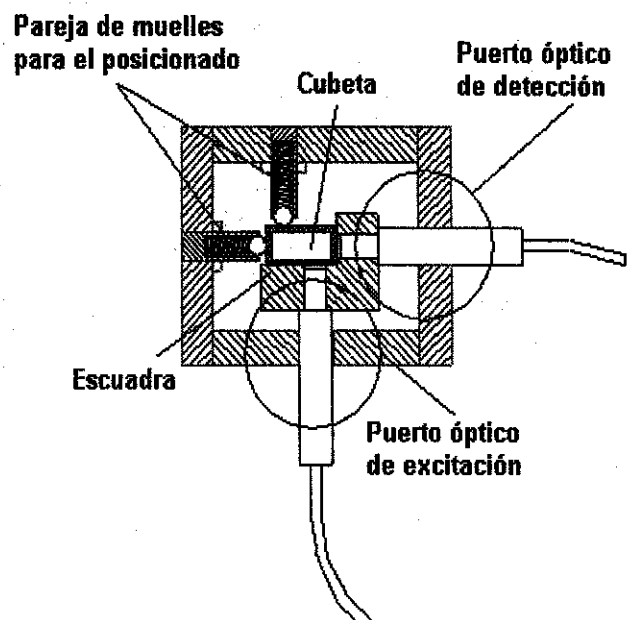


Figura 2. Vista superior del portamuestras, nótese que la detección se realiza a 90° de la dirección de excitación.

En el portamuestras existe el puerto de detección por donde se acopla una fibra óptica que lleva la señal de fluorescencia hasta el cabezal sensor.

Las dimensiones de la cubeta a emplear son las siguientes: $24 \times 11 \times 40 \text{ mm}^3$ siendo 40 mm la altura de la cubeta y 11 mm la longitud total en la dirección de la excitación, de esta longitud 5 mm corresponden al espesor del líquido y los restantes 6 mm a las caras de la cubeta.

3. Sistema de detección y lectura:

Este sistema está compuesto por dos partes fundamentales: el cabezal de detección de alta sensibilidad y la unidad de lectura.

El cabezal de alta sensibilidad está diseñado sobre la base de un sistema de detección con fotodiodo preamplificado en modo fotovoltáico, como se muestra en la Figura 3. La transimpedancia R_f de este circuito se puede variar en el intervalo de 10^3 a $10^9 \Omega$ por medio de un conmutador de posiciones. Todo el circuito de alta sensibilidad se encuentra contenido en un cabezal metálico cilíndrico que sirve de pantalla a las fuentes de ruido eléctrico y a las corrientes de aire. Además en este cabezal se pueden fijar filtros y fibras ópticas que garantizan la medición de la señal óptica deseada.

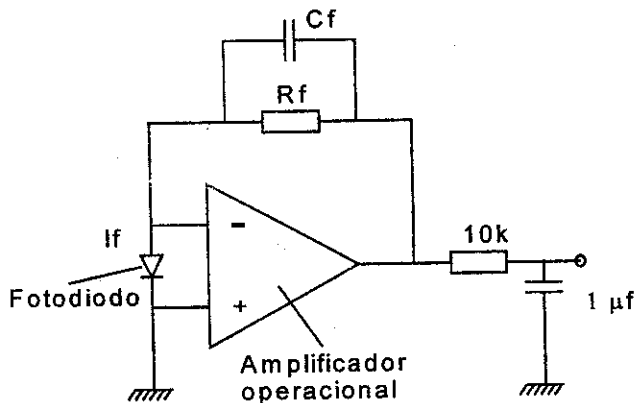


Figura 3. Esquema eléctrico básico del cabezal de alta sensibilidad.

La unidad de lectura muestra el valor de la señal eléctrica en un voltímetro digital de $3\frac{1}{2}$ dígitos con fondo de escala de 200 mV. Esta unidad contiene otro cabezal sensor para tomar una referencia ya sea de la fuente de excitación o de otra señal conveniente.

El flujo radiante umbral del sistema de detección está en el orden de 10^{-10} - 10^{-11} W.

4. Filtros y fibras ópticas:

El sistema de detección cuenta con un juego de filtros pasa altos definidos por las siguientes longitudes de onda de corte: 400, 450, 500, 600, 700 y 850 nm.

Las fibras ópticas que forman parte del sistema de excitación y detección de fluorescencia son de 2 tipos, una de ellas es de cuarzo con un núcleo de $1\ 000 \mu\text{m}$ y cubierta de polímero (cuarzo-polímero) ésta preferiblemente se emplea para excitar cuando la fuente de luz es la lámpara de arco de mercurio. La otra fibra es plástica con un núcleo de 1 mm de diámetro, utilizada preferiblemente en el canal de detección.

CONCLUSIONES

- El prototipo funcional construido se puede emplear como herramienta de trabajo en la investigación oncológica.
- Cada módulo que conforma a este prototipo puede utilizarse de forma independiente para su aplicación en otras investigaciones o en laboratorios de óptica.
- Este primer prototipo sirve de base para el desarrollo de un fluorómetro de propósito general para las investigaciones en laboratorios y centros especializados en la aplicación de esta técnica

REFERENCIAS

1. PROFIO, A.E. (1984): "Laser excited Fluorescence of Hematoporphyrin Derivative for Diagnosis of cancer", *IEEE Journal of Quantum Electronic*, QE-20(12), December.
2. PROFIO, A.E. and D.R. DOIRON (1987): "Dose Measurements in Photodynamic Therapy of cancer", *Laser in Surgery and Medicine* 7, 1-5.
3. LAMS, S; J. HUNG and B. PALCIC (1990): "Detection of Lung Cancer by ratio fluorometry with and without photofrin II", *SPIE 1201, Optical Fibers in Medicine V*.
4. KATO, H. et al. (1990): "Photodynamic Diagnosis and Therapy in respiratory malignant tumors with and excimer dye Laser System", Presented at the symposium of the Spectroscopical Society of Japan, March.

6. MARX, B.R. (1999): "Endoscopic imaging detects cancer earlier." **Laser Focus World**, 35(2), 31-32.

7. DELGADO, J.A. (1996): "La fotodetección de alta sensibilidad en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida"; Tesis de Maestría, Universidad de La Habana.

SISTEMA DE EXCITACION Y DETECCION DE FLUORESCENCIA

José A. Delgado Atencio, Suren Stolik Isakina, Sandra Fernández Yanes, Margarita Cunill Rodríguez, Arlene M. Pérez González y Lino E. Borroto Rivero,
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

En este trabajo se presenta un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia desarrollado para la investigación de las propiedades fluorescentes de fármacos fotosensibilizadores utilizados para el diagnóstico de tumores. El uso de un LED azul de alto brillo como fuente de excitación y de fibras ópticas para la transmisión de la señal luminosa hasta el cabezal sensor hace que el sistema presentado sea sencillo y práctico. Se describe también una fuente de excitación que emplea una lámpara de arco de mercurio de 200 W y filtros ópticos para garantizar una composición espectral adecuada. El sistema de detección está compuesto por dos bloques fundamentales, un cabezal sensor de alta sensibilidad y una unidad de lectura y selección del modo de medición. El sistema por su diseño resulta versátil por lo que puede utilizarse para el estudio de otras sustancias fluorescentes no necesariamente pertenecientes a la investigación oncológica.

ABSTRACT

A functional prototype system of excitation and detection of fluorescence was developed in order to do research of fluorescent properties of pharmacological products used in tumors diagnosis. A blue high intensity LED is used as exciting source and optic fiber for the transmission of the light signal which taken together produce a simple and practical system. Other sources as a mercury 200 W lamp and optical filters are also employed. Detection system is made of two fundamental blocks, which are described. We think the system might be used to study other kind of fluorescent substances.

INTRODUCCION

La terapia fotodinámica es una técnica novedosa para el tratamiento de los tumores, que aprovecha la reacción fotoquímica inducida en un marcador fotosensibilizador al irradiarlo con la luz roja de densidad de potencia y longitud de onda específica [1, 2, 3, 4]. Los fármacos fotosensibilizadores utilizados tienen la propiedad de fluorescer cuando son excitados con luz violeta, esto unido a su retención selectiva por los tejidos neoplásicos brinda la posibilidad de diagnosticar lesiones premalignas mediante la fluorescencia inducida [5, 6]. El estudio de las propiedades fluorescentes de fármacos obtenidos nacionalmente, así como la necesidad de contar con una herramienta para la investigación de las propiedades fluorescentes de los tejidos neoplásicos motivó a que nuestro grupo de investigación desarrollara un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia para realizar investigaciones preliminares en el campo de la oncología, especialmente en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida.

DESARROLLO

El sistema de excitación-detección que se presenta ha sido diseñado por módulos que tienen

cierto grado de independencia en cuanto a su funcionalidad. Este sistema en esencia está constituido por las siguientes partes y aditamentos:

1. Fuente de excitación
2. Portamuestras
3. Sistema de detección y lectura
4. Filtros y fibras ópticas

A continuación se presenta una descripción general y se precisan las posibilidades de operación de cada una de estas partes:

1. La fuente de excitación:

Una de las dos variantes de fuente de excitación se muestra en la Figura 1 (a) donde la fuente de luz es una lámpara de arco de mercurio (HBO 200F) de 200 W de consumo eléctrico, que se coloca dentro de un mueble metálico con una salida para la radiación óptica. Este puerto óptico está diseñado para colocar una lente colimadora, un filtro óptico para la excitación y una segunda lente para enfocar la radiación sobre una fibra óptica. Esta lámpara se soporta en un mecanismo de posicionamiento cuyo accionamiento permite que la descarga de la lámpara de mercurio sea colineal con el eje óptico del sistema.

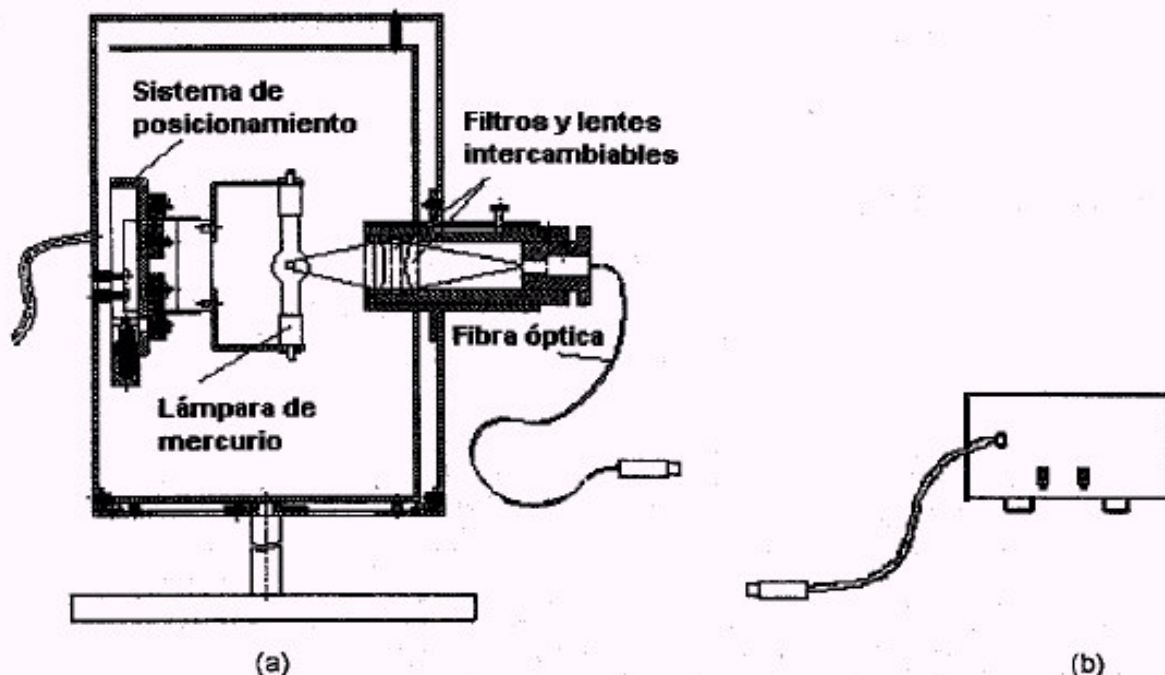


Figura 1. Fuentes para la excitación de fluorescencia.

(a) Lámpara de arco de mercurio.

(b) LED azul ultrabrillante.

El filtro óptico utilizado para la excitación es un filtro de color con una banda de transmisión centrada en 420 nm y un ancho de banda de 80 nm, la transmisión máxima es del 30 %.

La segunda variante de fuente de excitación se presenta en la Figura 1 (b) y consiste en un LED azul de alto brillo, alimentado por una fuente de corriente variable de 0-20 mA, con una longitud de onda de máxima emisión alrededor de 450 nm y una intensidad luminosa de 1 000 mCd a 20 mA de corriente de alimentación. La potencia radiante para esta corriente es de 4 mW. El LED se encuentra en el interior de un casquillo que lo protege y garantiza el acoplamiento mecánico con el portamuestras.

2. El portamuestras:

Es un mueble cerrado que impide la entrada de la luz del medio ambiente a su interior para que no se falsee la medición, como se muestra en la Figura 2. Está diseñado para realizar la detección de la fluorescencia a 90° con respecto a la dirección de excitación y definiendo ambas direcciones (excitación-detección) un plano horizontal. La radiación para la excitación penetra al portamuestras a través de un puerto de entrada que admite o bien una fibra óptica que trae la radiación excitatriz desde la fuente con lámpara de arco, como se observa en la Figura 1 (a), o el casquillo metálico que contiene al LED azul.

Para garantizar la repetibilidad de las mediciones se ha diseñado un sistema de posicionado para la

cubeta basado en el uso de una escuadra metálica contra la cual se presiona la cubeta mediante dos parejas de muelles mutuamente perpendiculares. Estos muelles contienen como elemento de contacto con la cubeta una esfera metálica.

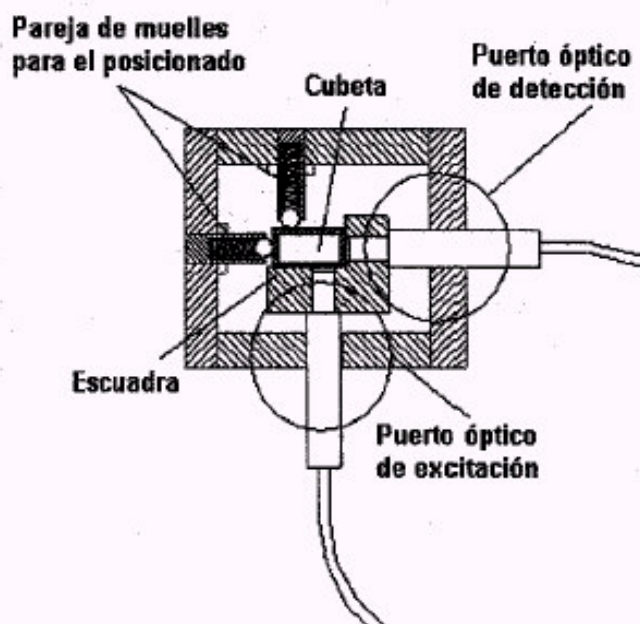


Figura 2. Vista superior del portamuestras, nótese que la detección se realiza a 90° de la dirección de excitación.

En el portamuestras existe el puerto de detección por donde se acopla una fibra óptica que lleva la señal de fluorescencia hasta el cabezal sensor.

Las dimensiones de la cubeta a emplear son las siguientes: $24 \times 11 \times 40 \text{ mm}^3$ siendo 40 mm la altura de la cubeta y 11 mm la longitud total en la dirección de la excitación, de esta longitud 5 mm corresponden al espesor del líquido y los restantes 6 mm a las caras de la cubeta.

3. Sistema de detección y lectura:

Este sistema está compuesto por dos partes fundamentales: el cabezal de detección de alta sensibilidad y la unidad de lectura.

El cabezal de alta sensibilidad está diseñado sobre la base de un sistema de detección con fotodiodo preamplificado en modo fotovoltáico, como se muestra en la Figura 3. La transimpedancia R_f de este circuito se puede variar en el intervalo de 10^3 a $10^9 \Omega$ por medio de un conmutador de posiciones. Todo el circuito de alta sensibilidad se encuentra contenido en un cabezal metálico cilíndrico que sirve de pantalla a las fuentes de ruido eléctrico y a las corrientes de aire. Además en este cabezal se pueden fijar filtros y fibras ópticas que garantizan la medición de la señal óptica deseada.

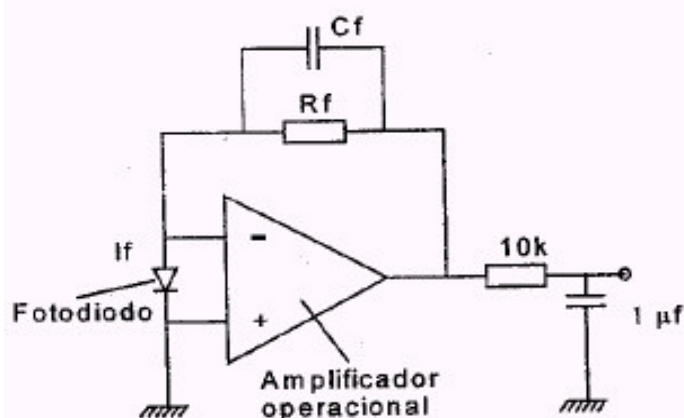


Figura 3. Esquema eléctrico básico del cabezal de alta sensibilidad.

La unidad de lectura muestra el valor de la señal eléctrica en un voltímetro digital de $3\frac{1}{2}$ dígitos con fondo de escala de 200 mV. Esta unidad contiene otro cabezal sensor para tomar una referencia ya sea de la fuente de excitación o de otra señal conveniente.

El flujo radiante umbral del sistema de detección está en el orden de 10^{-10} - 10^{-11} W.

4. Filtros y fibras ópticas:

El sistema de detección cuenta con un juego de filtros pasa altos definidos por las siguientes longitudes de onda de corte: 400, 450, 500, 600, 700 y 850 nm.

Las fibras ópticas que forman parte del sistema de excitación y detección de fluorescencia son de 2 tipos, una de ellas es de cuarzo con un núcleo de $1000 \mu\text{m}$ y cubierta de polímero (cuarzo-polímero) ésta preferiblemente se emplea para excitar cuando la fuente de luz es la lámpara de arco de mercurio. La otra fibra es plástica con un núcleo de 1 mm de diámetro, utilizada preferiblemente en el canal de detección.

CONCLUSIONES

- El prototipo funcional construido se puede emplear como herramienta de trabajo en la investigación oncológica.
- Cada módulo que conforma a este prototipo puede utilizarse de forma independiente para su aplicación en otras investigaciones o en laboratorios de óptica.
- Este primer prototipo sirve de base para el desarrollo de un fluorómetro de propósito general para las investigaciones en laboratorios y centros especializados en la aplicación de esta técnica

REFERENCIAS

1. PROFIO, A.E. (1984): "Laser excited Fluorescence of Hematoporphyrin Derivative for Diagnosis of cancer", *IEEE Journal of Quantum Electronic*, QE-20(12), December..
2. PROFIO, A.E. and D.R. DOIRON (1987): "Dose Measurements in Photodynamic Therapy of cancer", *Laser in Surgery and Medicine* 7, 1-5.
3. LAMS, S; J. HUNG and B. PALCIC (1990): "Detection of Lung Cancer by ratio fluorometry with and without photofrin II", *SPIE 1201, Optical Fibers in Medicine V*.
4. KATO, H. et al. (1990): "Photodynamic Diagnosis and Therapy in respiratory malignant tumors with and excimer dye Laser System", Presented at the symposium of the Spectroscopical Society of Japan, March.

6. MARX, B.R. (1999): "Endoscopic imaging detects cancer earlier." **Laser Focus World**, 35(2), 31-32.

7. DELGADO, J.A. (1996): "La fotodetección de alta sensibilidad en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida"; Tesis de Maestría, Universidad de La Habana.

FISSER 21, EQUIPO MULTIPROPOSITO PARA LASERTERAPIA Y LASERPUNTURA

Carlos Alberto Corcho Corcho, Andrés Combarro Romero, Sandra Fernández Yanes, José Luis Díaz Morera, y Margarita Cunill Rodríguez.

Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

RESUMEN

El FISSER 21 es un equipo médico destinado para aplicar terapia láser utilizando como fuente de luz diodos láseres semiconductores de baja potencia. Este equipo consta de una unidad central compuesta fundamentalmente por un sistema electrónico controlado por un microcontrolador del tipo 8751 y de varios aplicadores que contienen diodos láseres de diferentes longitudes de onda como son: 670, 780 y 830 nm, a los cuales se les pueden colocar puntas intercambiables de acuerdo a la aplicación. Este equipo muestra mediante un display alfanumérico de 32 caracteres por 2 renglones, todos los parámetros dosimétricos necesarios para la aplicación del tratamiento, a los cuales se tiene acceso mediante un teclado de fácil manipulación. Es un equipo confiable y de altas prestaciones, lo cual lo hace muy útil para este tipo de aplicación.

ABSTRACT

FISSER 21 is a medical equipment for laser therapy with semiconductor laser diodes as light low power source. It has a central unit made of an electronic system controlled by an 8751 microcontroller and several diode applicators with different wavelenths as 670, 780, 830 nm. There is a display in which dosis parameters can be written and it is easy to use. Because of its reliability, the system is very usefull for the therapies.

INTRODUCCION

El desarrollo de la fotomedicina convencional o utilización de la luz con fines médicos, constituyó la base fundamental de la introducción de la radiación láser en la medicina, así como de las investigaciones llevadas a cabo para conocer los efectos biológicos de la misma.

Como resultado de las investigaciones clínicas realizadas desde finales de los años 60, se ha podido confirmar la acción terapéutica de la radiación láser, identificándose una serie de propiedades y efectos [1]:

- Acción antiinflamatoria.
- Normalización de la microcirculación.
- Disminución de la permeabilidad de los vasos.
- Acción antiedematosa.
- Estimulación del intercambio en los tejidos.
- Estimulación de la regeneración tisular.
- Aumento de la resistencia de las células a los agentes patógenos, incluyendo los virus.
- Efecto analgésico.
- Estimulación de los factores de defensa inmunológica general y local.
- Acción desensibilizadora.
- Disminución de la patogeneidad de los microbios.

- Aumento de la sensibilidad de la microflora a los antibióticos.

A mediados de la década del 70 y principio de los 80 aparecen en Cuba por primera vez en el Sistema Nacional de Salud, emisores láseres de nacionalidad soviética, los cuales estaban diseñados para trabajar e investigar en los laboratorios de Física. Para utilizarlos en aplicaciones fundamentalmente de fisioterapia fue necesario realizarles algunas modificaciones sencillas.

En los primeros meses de 1987, el Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC) perteneciente al Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) tuvo listo el primer aparato láser médico cubano, de He-Ne y de 2 mW de potencia de salida (LASERMED 1), el cual comenzó a utilizarse en el hospital CIMEQ en aplicaciones de laserpuntura y fisioterapia de pequeñas lesiones dermatológicas y estomatólogicas. Con posterioridad se desarrollaron los aparatos FISSER I (1988), de He-Ne y 25 mW, el LASERMED 121 (1989) de He-Ne y 7 mW, el LASERMED 122 (1989) de He-Ne y 7 mW, el LASERMED 401 (1989) con un láser semiconductor de GaAs pulsado, una longitud de onda de 904 nm y potencia media de salida de 7 mW y el FISSER II (1990) de He-Ne y 25 mW [1].

En 1990, luego de realizadas las mejoras tecnológicas y funcionales tomando en cuenta los resultados de las pruebas llevadas a cabo a los prototipos y la opinión de los médicos, comenzó la producción de los modelos LASERMED 101M, de He-Ne y 2 mW, del LASERMED 401M, de GaAs y 7 mW y, más recientemente, del FISSER III, de He-Ne y 20 mW [1].

En la actualidad, se encuentran varios modelos de este tipo de equipos en el proceso de registro médico, para su incorporación en el Sistema Nacional de Salud. Entre ellos se encuentran, el FISSER 25, el LASERMED 401MD y el FISSER 21 el cual es el objetivo de este trabajo.

DESCRIPCION

El FISSER 21 es un equipo de mesa que basado en la técnica del láser se emplea para aplicar terapia láser en pacientes con diferentes patologías que necesitan de su uso para mejorar su calidad de vida.

El equipo está compuesto por una unidad central, ver Figura 1, que cuenta con un panel frontal con serigrafía en policarbonato donde se encuentra un interruptor de llave que limita el acceso a personas no autorizadas a dar tratamiento láser, con una pantalla alfanumérica de 32 caracteres por 2 renglones que brinda al técnico especializado información sobre todos los parámetros dosimétricos necesarios para la aplicación de los diferentes tratamientos.

En el renglón superior de la pantalla se puede observar lo siguiente: la potencia (mW), el tiempo (min y seg), la dosis (J) y la frecuencia (Hz) y en el renglón inferior se muestra: la potencia máxima disponible (mW), el tiempo total de tratamiento (min y seg), la dosis total (J), la cantidad de aplicaciones (en caso en que se realicen aplicaciones de forma continua en varios puntos o zonas) y la longitud de onda λ (nm).

A estos parámetros se pueden acceder por medio de un teclado de 5 teclas de fácil manipulación; además el equipo utiliza un fotodiodo como elemento sensor para la medición de la potencia a la salida del aplicador, la señal de salida de este fotodiodo es procesada y visualizada en la pantalla y también se cuenta con un conector de 8 vías donde van acoplados los diferentes aplicadores. En el interior del mueble se encuentra la tarjeta electrónica principal, un transformador reductor que suministra el voltaje y corriente necesarios para la correcta alimentación del equipo. En un lateral del mueble se colocan 2 ganchos que son desmontables para un mejor embalaje del equipo donde se soportan los distintos aplicadores que van a ser utilizados. El equipo presenta un panel trasero con serigrafía en policarbonato que contiene un conector de AC, un portafusible y un borne para conectar el equipo a tierra física.

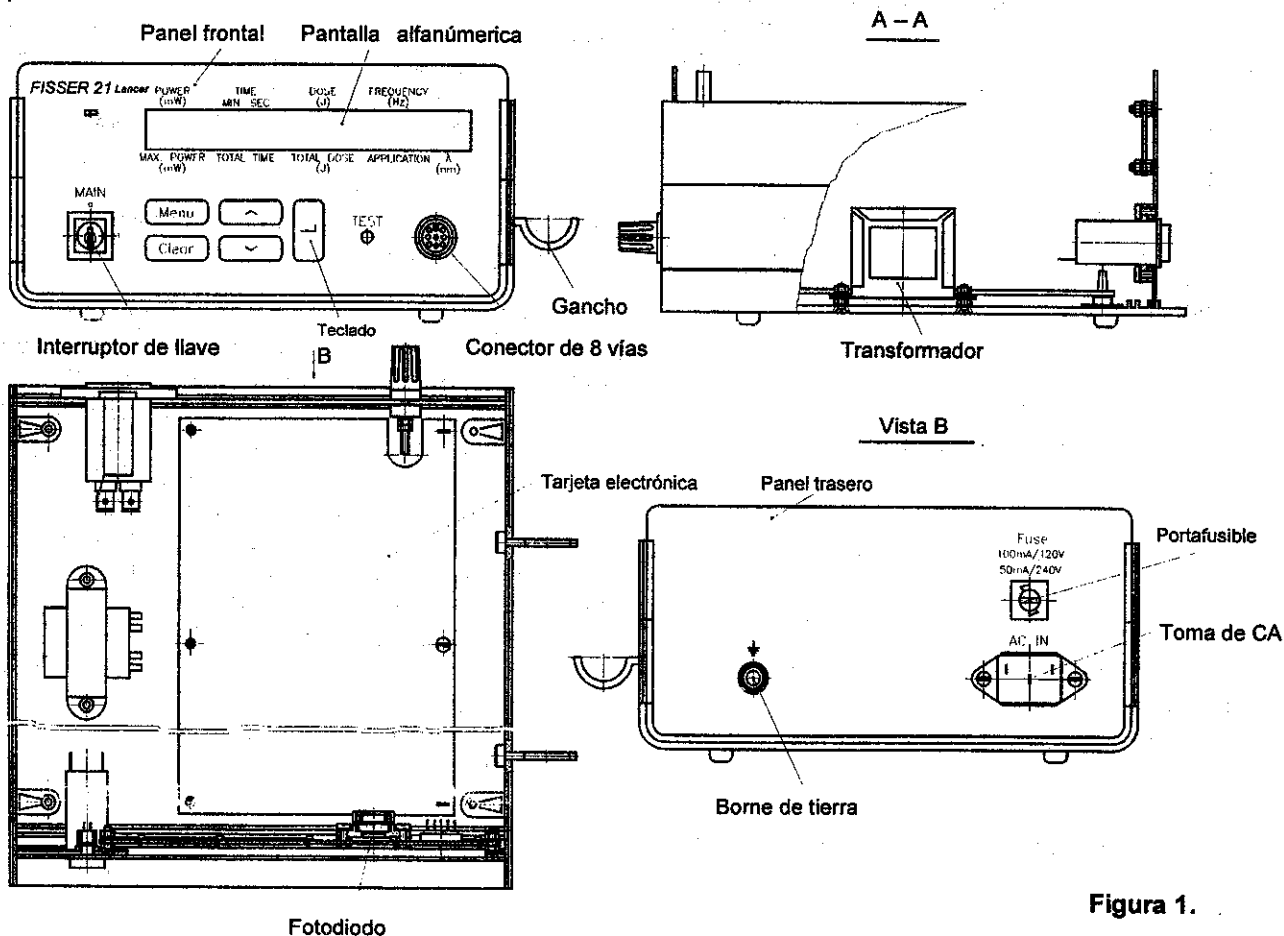


Figura 1.

Cada aplicador permite utilizar varias puntas las cuales son intercambiables. Estas puntas fueron diseñadas teniendo en cuenta algunas zonas del cuerpo donde no es fácil el acceso a ellas para aplicar el tratamiento como son: la boca, el oído, etc. Los aplicadores contienen láseres semi-conductores de diferentes longitudes de onda como 670, 780 y 830 nm que son manejados por un circuito electrónico contenido dentro del aplicador, como se muestra en la Figura 2.

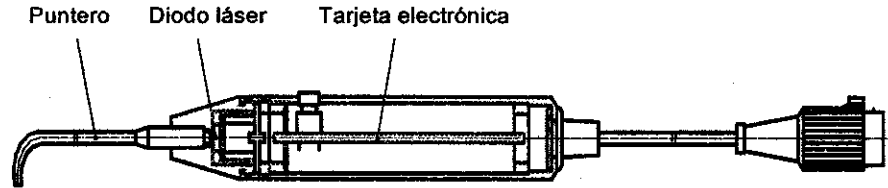


Figura 2.

Las principales ventajas que brinda este equipo son las siguientes:

- Puede emplear hasta 8 aplicadores de diferentes tipos, como por ejemplo, 8 longitudes de onda distintas.
- A través de una pantalla de cristal líquido de 32 caracteres por 2 renglones, se le brinda al usuario una detallada información sobre todos los parámetros dosimétricos que son utilizados en este tipo de aplicación.
- El equipo es capaz de calcular la dosis de energía, la potencia de salida necesaria o el tiempo de exposición según se seleccione por el usuario.
- Posee un teclado de fácil manipulación para interactuar con el equipo en el momento de establecer los valores deseados de los parámetros dosimétricos.
- Presenta aplicadores a los cuales se les pueden intercambiar puntas para los distintos usos (rectos, curvos, etc.).
- Es un equipo que utiliza un microcontrolador para el control de todas las funciones del mismo.

En la Figura 3, se puede observar el diagrama en bloques principal del FISSER 21, en este esquema se muestra el sistema de control (que contiene al microcontrolador, que es del tipo 87C51) el que puede considerarse como el corazón del equipo, debido a que es el encargado de controlar el funcionamiento del mismo; también se puede observar el convertor del tipo analógico-digital, que es el encargado de la conversión del voltaje proveniente del fotodiodo (después de amplificado) a señal digital, durante el proceso de medición de potencia. Para el control de la potencia de emisión del diodo láser, se utiliza un convertor del tipo digital-analógico, el cual convierte el código digital entregado por el microcontrolador a un voltaje de directa equivalente a la potencia que se desea obtener.

Por último, también se puede observar en el dibujo de la Figura 3, los demás bloques asociados a los descritos anteriormente que permiten un correcto funcionamiento del equipo.

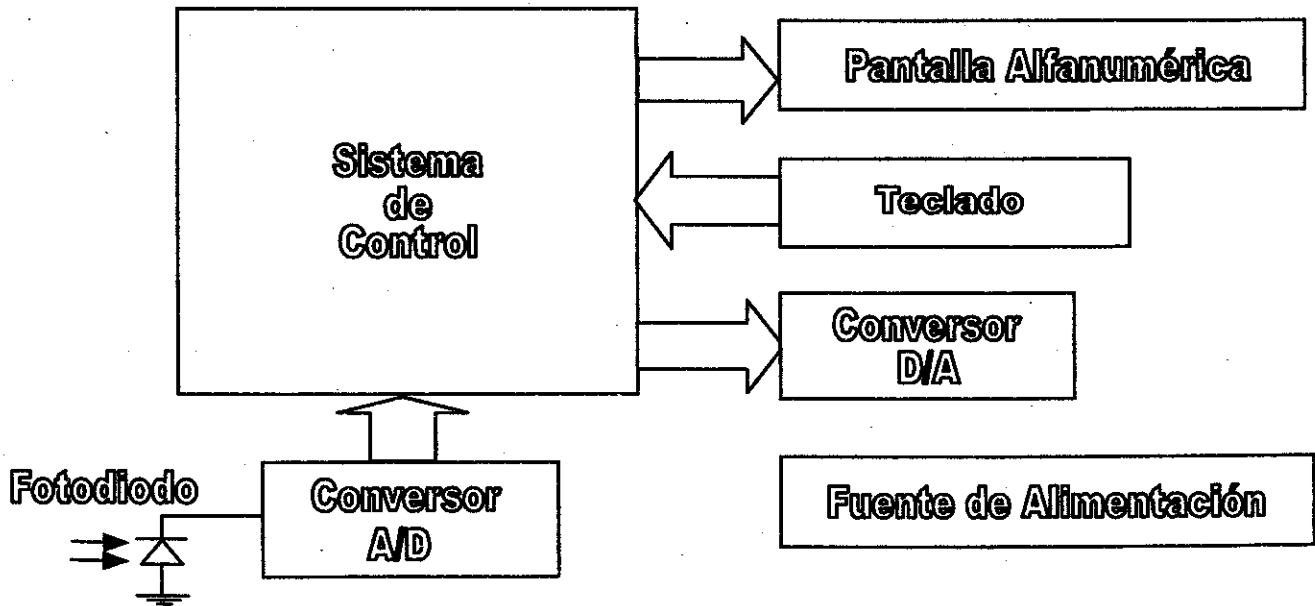


Figura 3.

- Utiliza conversores analógico-digital y digital-analógico para la medición y control de la potencia de radiación a la salida del aplicador respectivamente.

CONCLUSIONES

Como conclusiones pueden apreciar, que este equipo destinado para la aplicación de terapia láser, tanto local como a través de los puntos biológicamente activos (láserpuntura), que puede utilizar varios aplicadores con diferentes longitudes de ondas y potencias, tiene aplicación en múltiples campos de la medicina, como se muestra a continuación:

- Ortopedia
- Reumatología

- Rehabilitación física
- Neurología
- Medicina física y Rehabilitación
- Odonto-estomatología
- Cirugía plástica y Reconstructiva
- Caumatología
- Otorrinolaringología
- Ortopedia y Traumatología
- Ginecología
- Dermatología
- Neurología

Por último queremos destacar que este equipo tiene un amplio uso en el Sistema Nacional de Salud, no sólo para la aplicación de terapia láser, sino también para la investigación.

REFERENCIAS

- [1] OLIVA, A. A. (1998): Proyecto de desarrollo tecnológico "Aparato con láser de baja densidad de energía para su incorporación a unidades estomatológicas", CEDEIC, CITMA.
- [2] RUBIERA, L. (2000): "La tecnología láser en la medicina. Desarrollo y efecto social y económico de esta tecnología en Cuba", Trabajo final de Filosofía para optar por categoría científica, ISPJAE.
- [3] Microprocessor and Peripheral Handbook. Volume II. Peripheral. Intel Corporation, 1988.
- [4] Introducción a los microcontroladores, hardware, software y aplicaciones. Libro de texto. ISPJAE.
- [5] Analog Device, Integrated Circuits, Databook 1982.
- [6] LARRY JONES, A. (1983): Foster Chin, Electronic Instruments and Measurements.

MEDICION DEL MODULO DE YOUNG EN MORTEROS Y VIGAS DE HORMIGON UTILIZANDO LA TECNICA ESPI O TV HOLOGRAFICA

Rolando González-Peña¹, Luis Martí-López², Rosa M. Cibrián-Ortiz de Anda³, Teresa Molina-Jiménez⁴ y Carlos Piqueres-Ayela⁴

¹Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría" (ISPJAE)

²Laboratorio de Optoelectrónica, Centro de Neurociencias de Cuba

³Unidad Biofísica y Física Médica, Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, Universidad de Valencia, España

⁴Asociación Industrial de Óptica (AIDO), Parc Tecnològic, Valencia, España.

RESUMEN

La técnica "Electronic Speckle Pattern Interferometry (ESPI)" es utilizada para la medición dinámica del módulo de Young en morteros y en vigas de hormigón. Para tal propósito se emplearon vigas de dimensiones establecidas por las normas de fabricación UNE (España). Las vigas fueron fijadas por su centro y excitadas con un transductor piezoeléctrico por uno de los extremos libres. El transductor genera ondas, cuya frecuencia es sintonizada en un intervalo de 100 – 1000 Hz, que se propagan a lo largo de las vigas ensayadas. El sistema ESPI permite digitalizar las imágenes del otro extremo libre de la viga, cubierto de franjas cuyo número es proporcional a la amplitud de las oscilaciones. Cuando la frecuencia de excitación del piezoeléctrico se iguala a la frecuencia de resonancia de la viga, el periodo de las franjas se hace mínimo, es decir aumenta el número de franjas, por tanto detectando el máximo número de franjas, se puede conocer la frecuencia de resonancia y teniendo en cuenta una expresión derivada de la teoría de la elasticidad, es posible calcular el módulo de Young en morteros y vigas de concreto. Se presenta además los resultados obtenidos por los métodos tradicionales, observándose una buena correlación entre el método óptico y el método convencional de compresión, establecidos por las normas UNE.

Palabras claves: Electronic Speckle Pattern Interferometry, Módulo de Young, Resonancia.

ABSTRACT

The ESPI technique is used for dynamical measurement of Young's elastic modulus. For this purpose there were used concrete beams which follow the UNE (Spain) dimension standards. They were fixed by their center and excited with a piezoelectric transducer in the free ends. The transducer generates waves whose frequency is settled between 100 and 1000 Hz and they travel through the ESPI system allows to digitize images from the free end covered with fringes and their number is proportional to the vibrations amplitude. When the piezoelectric excitation frequency equals the concrete beam resonant frequency, distance between fringes become the lest one and their number increases. So detecting the biggest number of fringes you can know the resonant frequency value and this will provide the way of estimating Young's modulus bias elastic theory. Results obtained with traditional methods are also showed and compared to the ESPI optic method.

INTRODUCCION

La medición de las propiedades de los materiales y, en particular, de sus propiedades mecánicas es tarea siempre actual en diversos ramos de la ciencia y la ingeniería, tanto para caracterización experimental de ellos como para el control de calidad en los procesos de producción. Entre los parámetros más importantes que caracterizan las propiedades mecánicas de un sólido se encuentra el módulo de Young. La medición del módulo de Young es indirecta y se realiza por métodos que pueden ser estáticos o dinámicos. Estos métodos están adaptados a la naturaleza y condiciones del sólido que se desea caracterizar.

En la medición del módulo de Young en vigas o morteros, por ensayos estáticos a compresión con el empleo de transductores electromecánicos, los datos experimentales que se obtienen se aplican en la fórmula analítica deducida de la teoría de la elasticidad para el módulo de Young. Aquí el módulo de Young se expresa como función de variables como las cargas y las deformaciones (o los desplazamientos) y de parámetros como las dimensiones de la probeta (espécimen). Ello significa que la forma de la probeta y el diseño del experimento tienen que ser cuidadosamente seleccionados, Pisarenko y otros (1979).

La influencia de la posición de los transductores en la precisión de la medición y la necesidad de asegurar un buen contacto de éstos con la probeta que se estudia hacen que estos métodos hallan sido sometidos a crítica y que se investiguen nuevos métodos de medición libres de esos problemas.

La medición dinámica del módulo de Young mediante la determinación de la frecuencia de resonancia sigue principios similares: el ensayo se concibe en forma tal que el módulo de Young de la probeta se exprese como función sencilla, conocida teóricamente, de la frecuencia de resonancia (preferiblemente del modo de oscilación fundamental) y de parámetros de ella. La ventaja de la medición dinámica sobre la medición estática es que la posición de los transductores tiene influencia mucho menor sobre el resultado de la medición. No obstante, persiste el problema de garantizar el contacto del transductor a la probeta. Por esta razón, son muy atractivos los métodos ópticos de medición, los cuales no necesitan de contacto físico con la probeta y pueden dar información de los desplazamientos de todos los puntos de su superficie, para con esos datos hallar el módulo de Young, Monchalin (1986).

La medición estática del módulo de Young mediante las técnicas de interferometría holográfica, interferometría de speckle y ESPI ha sido reportada por Kasprzak (1994) y Read (1998). Las dificultades del cálculo de los desplazamientos y las deformaciones en estos métodos ópticos y la ocurrencia de desplazamientos espurios son sus principales inconvenientes.

La medición dinámica del módulo de Young mediante las técnicas de holografía en tiempo promedio, interferometría de speckle y ESPI también ha sido reportada por Bayón y otros (1993), Wang y otros (1996) y Brown (1998). En estos trabajos se demuestra que la medición dinámica mediante las técnicas antes mencionadas está libre de los problemas anteriores. Sin embargo, como las probetas empleadas en ellos poseen propiedades marcadamente diferentes a las de hormigones y los morteros no se puede afirmar que ellas son adecuadas para la medición del módulo de Young de esos materiales.

El objetivo en este capítulo es demostrar la aplicabilidad de la técnica ESPI para la medición dinámica del módulo de Young mediante la determinación de frecuencia de resonancia correspondiente al modo de oscilación de flexión fundamental en probetas de morteros de arena – cemento y en vigas de hormigón. Para lograr este objetivo se realizará la simple inspección de las franjas que se forman para cada frecuencia del estímulo, aspecto no tratado por los anteriores trabajos relacionados con el tema.

Método de Resonancia en vigas.

Fórmula para determinar el módulo de Young

Los métodos de resonancia consisten en someter vigas, probetas prismáticas o cilíndricas a una vibración elástica y encontrar la frecuencia de resonancia. En nuestro caso el ensayo se realiza haciendo pasar una onda sinusoidal en el sentido geométrico, es decir en la dirección correspondiente a la dimensión más larga de la probeta, y detectar la amplitud de las oscilaciones.

Los diferentes modos de vibración que pueden ocurrir dependen de las condiciones de fronteras que se le impongan a la probeta, numerosos autores, citados anteriormente, sujetan o apoyan la probeta en dos puntos equidistantes de cada extremo de la misma, sin embargo en nuestro caso la restricción se aplica en la parte central. En cualquiera de las dos variantes la solución de la ecuación diferencial (autovalores) estará en función de los parámetros geométricos y mecánica de la probeta.

Supongamos una viga uniforme en equilibrio dinámico, de sección constante y el material elásticamente homogéneo, las características elásticas E y las másicas son constantes, queda:

$$\frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \quad (1)$$

De la solución armónica se pueden obtener la expresión para la frecuencia del modo n -ésimo

$$f_n = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (2)$$

donde ρ es la densidad del material.

Teniendo en cuenta el modo fundamental, la expresión de trabajo para calcular el módulo de Young será:

$$E = 4l^2 f_1^2 \rho \quad (3)$$

EXPERIMENTO

Diseño del experimento

Para la obtención de la frecuencia de resonancia en las diferentes probetas, se realizaron las siguientes consideraciones experimentales:

Condición del empotramiento: la viga estará fijada en su parte central, quedando libre sus dos extremos.

Condición del transductor: deberá estar situado en unos de los extremos libres de la probeta, sin imponer ninguna restricción mecánica a las oscilaciones libres; además que su respectiva frecuencia de resonancia debe estar muy alejada de la frecuencia natural de cada probeta.

Condición de visualización: el otro extremo libre de la probeta debe quedar paralelo al plano de registro de la información, de manera tal que las franjas que se visualicen sean fáciles de cuantificar.

Este ensayo fue reportado por J.M Tobio (1962), el cual mediante un receptor de señales y un osciloscopio registraba la frecuencia de resonancia de la probeta ensayada y determinaba su módulo de Young característico. La posibilidad de que el receptor, tuviese un valor de frecuencia de resonancia próxima a la de la probeta, así como que introdujera restricciones mecánicas a la misma, hemos diseñado un experimento donde se aplique la técnica ESPI y prescindir de dicho receptor de señales.

Mediante el sistema ESPI para la medición de deformaciones fuera del plano, se procede a obtener las imágenes del extremo libre de la probeta. Para cada frecuencia de vibración del transductor comprendida en el intervalo entre 1000–10000 Hz, se seleccionan aquellas imágenes con franjas cuya resolución sea significativa y que permitan su posterior tratamiento digital.

Preparación de los morteros y vigas de hormigón

En la preparación de los morteros, de dimensiones 40 x 40 x 160 mm, se emplearon dosificaciones de 3:1 y 3:2 (arena/cemento), utilizándose áridos muy finos y cemento Portland P350, la densidad media estimada en estos casos fue de 1520-1720 kg/m³, la relación agua/cemento para ambos casos fue de 0.6.

En el caso de las vigas de hormigón (figura foto de viga) se prepararon en coordinación con la empresa de prefabricado PREVALESA de la Ciudad de Valencia, España, teniendo en cuenta las normas UNE 83301, destacándose los siguientes requerimientos:

Probeta cilíndrica de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura. En nuestro caso según lo que estipula la norma se pudieron utilizar otros tipos de probetas de ensayos cumpliendo las exigencias de que la relación longitud/diámetro estuviese entre los valores 2 y 4, y que el diámetro d sea al menos 3 veces el

tamaño máximo del árido en el hormigón. La dosificación empleada fue: 1200 kg de arena, 700 kg de grava, 310 kg de cemento y 160 L de agua, siendo la densidad media de 2340 kg/m³ y la relación agua/cemento igual a 0.52.

Los procedimientos de curado y extracción de probetas testigos de los morteros y vigas de hormigón, a una temperatura de 298 K y 75 % de humedad, están referidos a la norma UNE 83302 y UNE 83303, lo cual permitió realizar los experimentos a las 48 horas y a los 9 días de fraguado, reportándose solo los resultados para estos últimos.

Sistema experimental

La Figura 1 muestra un arreglo experimental, para la medición de la frecuencia de resonancia. El haz de láser es dividido en dos, mediante un divisor de haz. Uno de ellos ilumina la superficie de unos de los extremos libres de la probeta (*haz objeto*). El otro haz (*haz de referencia*), por medio del cubo mezclador de haz, incide paralelo al haz objeto sobre la superficie sensible de la cámara CCD. El transductor se coloca en el otro extremo libre de la probeta. Mediante el iris se regula el tamaño del speckle en el plano imagen, situado en la cámara CCD.

La diferencia de camino óptico entre el haz objeto y el de referencia debe ser menor que la longitud de coherencia del láser y la relación de intensidades entre el haz de referencia y el haz objeto debe ser 3:1.

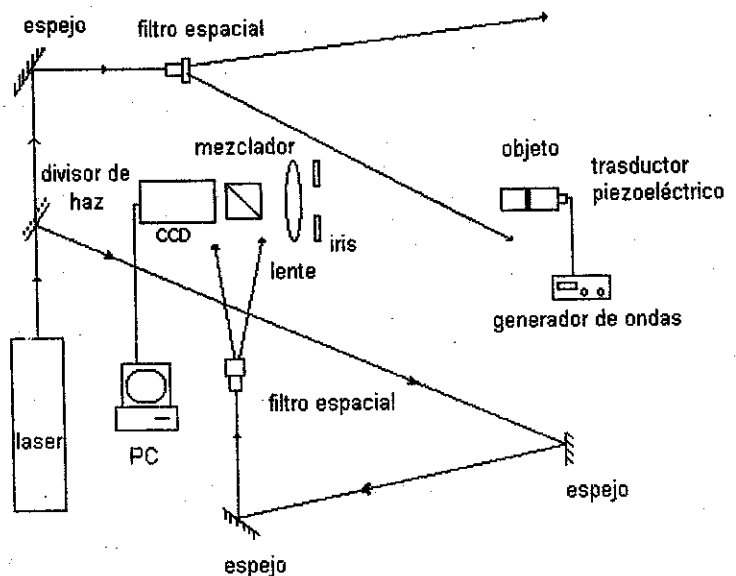


Figura 1. Sistema experimental para la determinación del módulo de Young.

Procesamiento digital de las imágenes

El sistema de vídeo registra una imagen del objeto en reposo (imagen de referencia). Sucesivas imágenes se sustraen a dicha imagen de referencia, después que se pone en funcionamiento el transductor. La imagen resultante se proyecta en el vídeo monitor para su posterior interpretación. La imagen final queda registrada después de un periodo transitorio, y en la misma aparece el objeto cubierto de franjas oscuras y brillantes que permanecen estacionarias. Mediante el software Adobe Photoshop (versión 3.0) se realiza un realce de la calidad de las franjas.

Las imágenes obtenidas para cada frecuencia del transductor se muestran en la Figura 2. Teniendo en cuenta el criterio de que a medida que la frecuencia del transductor se aproxima a la frecuencia de resonancia, la amplitud de las oscilaciones aumenta y por ende el número de franjas o lo que es lo mismo el período de las franjas decrece, podemos discernir en que frecuencia del estímulo está en correspondencia con la frecuencia fundamental del objeto, con el simple hecho de visualizar cada patrón que se va obteniendo para cada frecuencia.

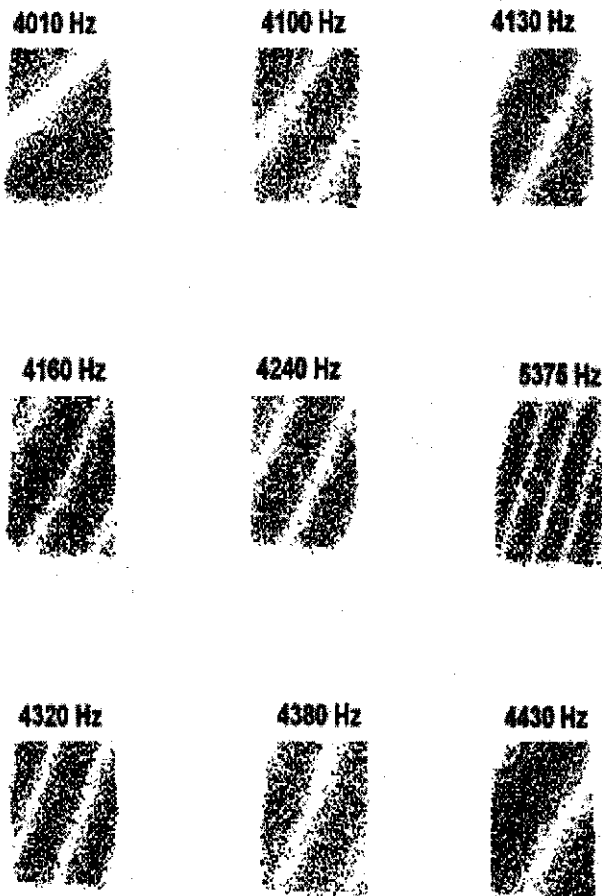


Figura 2. Patrones correspondientes a morteros de arena-cemento (dosificación 3:1) para 2 días de fraguado.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Los ensayos para determinar el módulo de Young en morteros y vigas de hormigón se realizaron a los 9 días de fraguado. Se procedió a la toma de las imágenes, para cada intervalo de frecuencia.

La Tabla 1 muestra los valores del módulo de Young estimado para diferentes morteros a los 9 días de fraguado, a partir de la realización de ensayos a compresión realizados en la Universidad de Alicante. La Tabla 2 reporta los resultados obtenidos por el método de resonancia-ESPI, señalándose los valores típicos reportados por la literatura (a).

Tabla 1. Valores del módulo de Young en morteros de arena-cemento según ensayos a compresión, al cabo de 9 días de fraguado.

No. de probetas	Densidad, kg/m ³	Módulo de Young, GPa
1	1540	4.50
2	1520	4.84
3	1530	4.55
4	1540	4.84
5	1550	4.89
6	1590	4.73

Tabla 2. Valores del módulo de Young en morteros de arena-cemento según ensayo óptico, correspondiente a los 9 días de fraguado.

OBJETO	Frecuencia de Resonancia, Hz	Módulo de Young, GPa	Módulo de Young, GPa
Mortero (3:1)	5375 ± 0.5	4.5 ± 0.2	4.51 ^a
Mortero (3:2)	5588 ± 0.5	5.5 ± 0.2	5.44 ^a

En cuanto a las vigas de hormigón (Tabla 3) se reportan los resultados obtenidos por la técnica óptica y por el método de compresión establecido en la norma UNE - EN 1352 (b)

Tabla 3. Valores del módulo de Young en vigas de hormigón

Tiempo de fraguado	Frecuencia de Resonancia, Hz	Módulo de Young, GPa	Módulo de Young, GPa
9 días	5703 ± 1.0	27.4 ± 1.0	27.5 ± 2 ^b

Estimación de los errores. Análisis de los resultados obtenidos

La incertidumbre en las mediciones del módulo de Young depende de los errores que introducen las mediciones de las magnitudes directas en la expresión 4. Las magnitudes indirectas ρ, l, S dependen de la medida de la longitud, la cual es una medición directa. El error relativo estimado para la longitud resultó ser un 0,25 %. Por tanto el error relativo para estas magnitudes se estimó en un 0,76 %, 0,50 % y 1 % respectivamente.

En el caso de la frecuencia de excitación, el error fue estimado en un 0,11 %. Luego el error estimado para el módulo de Young fue de un 3,5 %. Las mediciones del módulo de Young por el método tradicional tienen una incertidumbre de un 7 %.

Análisis de los resultados

En todos los casos, existe una buena correlación entre los valores obtenidos por el ensayo a compresión y los determinados por la técnica óptica. El módulo de Young es función de la dosificación empleada y de la resistencia a compresión. Aunque no se realizó un estudio completo del comportamiento del módulo de Young por la técnica ESPI, sí se hizo para el ensayo a compresión, donde se observa que los valores experimentales están en correspondencia con el ensayo convencional.

Las condiciones de fronteras impuestas en la expresión de trabajo se cumplen de forma aproximada; el área de fijación de la muestra tiene un ancho de 1 cm por tanto la condición de que en esa zona exista un nodo, es una aproximación, luego como las dimensiones lineales $l \gg 1$ cm, podemos considerar válida la expresión de trabajo. Analizando las diferentes imágenes correspondientes a cada valor de frecuencia, observamos que la formación de franjas no presenta una regularidad uniforme, que pudiera estar dada por la condición de empotramiento referida en el párrafo anterior, incluso

se aprecian franjas de igual inclinación en el sistema de fijación de las probetas, es decir el sistema en su conjunto vibra como un todo, no obstante esto no imposibilitó la medida del módulo de elasticidad con buena precisión.

CONCLUSIONES

El uso de la técnica ESPI permite visualizar en tiempo real la superficie del objeto sometido a una vibración externa, lo cual ayuda a valorar de forma rápida el momento en que la probeta de ensayo entra en resonancia, con la simple observación del número de franjas que se forman al sintonizar una frecuencia dada de excitación del transductor piezoeléctrico.

Los valores del módulo de Young reportado por la literatura y por los métodos convencionales concuerdan con los obtenidos en el experimento.

En el caso de las vigas de hormigón, son aproximados ya que debido a las series de imperfecciones en su estructura (huecos, fisuras, uniones cemento-árido, etc.) originan unas pérdidas en la energía elástica. Esto puede mejorarse haciendo correcciones en la expresión de trabajo teniendo en cuenta el coeficiente de Poisson, aspecto no tratado en la tesis.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al Dr. Francisco Gascón Latasa (Departamento de Física Aplicada, E. T. S. Arquitectura, Universidad de Sevilla) el cual me exhortó a llevar a cabo este trabajo; al Dr. José María Guijarro (Asociación Industrial de Óptica, Valencia) por permitir realizar este trabajo en su laboratorio. Este trabajo se lleva a cabo mediante el financiamiento de una beca de la Universidad de Valencia, bajo el coauspicio de la Facultad de Medicina de dicha Universidad. Por último se reconoce la ayuda recibida por la Compañía PREVALESA en la preparación de las probetas y de la realización de los ensayos a compresión.

REFERENCIAS

1. BAYON, A.; F. GASCON and A. VARADE (1993): "Measurement of the longitudinal and transverse vibration frequencies of a rod by speckle interferometry", *IEEE Trans. Ultrason. Freq. Contr.* 40(3), 265-269.
2. BAYON, A.; A. VARADE and F. GASCON (1997): "Elastic characterization of isotropic materials by a single test based on the experimental determination of natural frequencies using laser interferometry", *J. Acoust. Soc. Am.* 101(4), 1990-1993.
3. NIEVES, F. J.; F. GASCON F and A. BAYON (1998): "Estimation of elastic constants of a cylinder with a length equal to its diameter", *J. Acoust. Soc. Am.* 104 (1), 176-1180.
4. GASCON, F.; A. BAYON and A. VARADE (1998): "Measurement of longitudinal vibrations in a slender rod by optical heterodyne interferometry", *Eur. J. Mech., A/Solids* 17(1) 167-177.

5. PRYPUTNIEWCZ, R.J and K.A. STETSON (1989): "Measurement of vibration patterns using Electro-optic holography", **Proc. SPIE**, 1162, 456-467.
6. TRAMPE BROCH, J. (1980): **Mechanical vibration and shock measurement**, Editorial Bruel & Kjaer, Naerum, Denmark.
7. Standard UNE 83301 (Abril 1996): Ensayos de hormigón. Fabricación y conservación de probetas, AENOR (España).
8. Standard UNE-EN 1352 (Junio 1997): Determinación del módulo de elasticidad estática bajo compresión del hormigón curado en autoclave o de áridos ligeros con estructura abierta, AENOR (España).
9. CREMER, L. (1973): **Structure-borne sound. Structure vibrations and sound radiation at audio-frequencies**, Editorial Springer - Verlag, New York.

ANALISIS EXPRESO POR ACTIVACION NEUTRONICA DE RESIDUALES SIDERURGICOS

O. Díaz Rizo, E. Herrera Peraza y J. Borroto Portela, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares

RESUMEN

En el presente trabajo se presenta la metodología para la realización de análisis expreso de muestras de residuales industriales mediante el empleo del Análisis por Activación Neutrónica Instrumental (AANI), empleando para ello neutrones provenientes de un reactor nuclear. Los resultados obtenidos en muestras residuales de Antillana de Acero, demuestran la factibilidad de este tipo de análisis y las posibilidades de su realización en Cuba.

Palabras claves: análisis por activación neutrónica, medio ambiente, reactor nuclear.

ABSTRACT

The methodology for express analysis of industrial residual samples by Instrumental Neutron Activation Analysis, using neutrons from a nuclear reactor is presented. The obtained results in residuals from Antillana de Acero shown the availability of this type of analysis and the possibility of its implementation in Cuba.

Key words: neutron activation analysis, environment, nuclear reactor.

INTRODUCCION

El Análisis por Activación Neutrónica se ha mantenido competente en los estudios medio-ambientales, como complemento del resto de las técnicas analíticas convencionales (*Jervis*, 1993), dada su capacidad de poder determinar entre 30 y 40 elementos trazas en muestras de las más diversas matrices (suelos, sedimentos, biológicas, aerosoles, residuales, etc.), al carácter no destructivo del análisis, a su gran reproducibilidad, entre otras.

Por otra parte, no es menos cierto que estos estudios suelen resultar relativamente largos. Por ejemplo, estudios realizados por el método relativo de AANI a muestras ambientales en nuestro país (*Díaz et al.*, 1993, 1996, 1997A, *Herrera et al.*, 1998, *Capote et al.*, 1999) han demorado, como promedio, entre 3 y 4 meses, dada la necesidad imperiosa de analizar muestras y estándares a diferentes regímenes de enfriamiento. Esta dificultad atenta contra el empleo del AANI para evaluaciones de impacto ambiental.

La introducción de los métodos semi-absolutos de AANI (*De Corte*, 1987), el desarrollo vertiginoso de los medios de cómputo, así como la obtención de mejores datos nucleares para los elementos radiactivos de muy corta vida (*Ivanov et al.*, 1987), han permitido plantearse la posibilidad de determinar un buen número de elementos en muestras ambientales de una manera rápida, precisa y con resultados confiables.

MATERIALES Y METODOS

Para el estudio se tomaron muestras de dos residuales que genera la Empresa Siderometalúrgica "José Martí" (Antillana de Acero): la escoria residual del proceso de acerado (R1) y los residuales del proceso de fundición en los altos hornos (R2). En ambos casos, las muestras fueron tamizadas y homogeneizadas. Para su estudio por AANI, cinco réplicas de las mismas, en porciones de 80-100 mg, fueron empaquetadas en contenedores plásticos. El Material de Referencia Certificado IAEA/SOIL-7 (*Pszonicki*, 1984) se empleó como estándar para la realización del análisis relativo.

Las irradiaciones fueron realizadas durante 15 segundos en el canal neumático de reactor TRIGA MARK III (1 MW, 1.10^{12} n.s⁻¹.cm⁻²) del Instituto de Investigaciones Nucleares de México. Tras un enfriamiento de 1 minuto, las muestras irradiadas fueron medidas durante 300 segundos en un detector de Germanio Hiper Puro (ORTEC, 1.8 keV para la línea de 1332 keV del ⁶⁰Co) acoplado a un ADC de 4096 canales enlazado a una IBM-PC. Todos los espectros gamma fueron procesados con el programa *Spectrum Analyzer* (*Perdomo et al.*, 1994).

Las concentraciones de los elementos se determinaron por vía relativa y por el método de Høghdal de la estandarización k_0 de AANI (*De Corte et al.*, 1994). Para la estandarización k_0 se tomaron los valores de las características principales del flujo

neutrónico de ese canal del reactor ($\alpha = -0.12 \pm 0.02$, $f = 43 \pm 4$, $T_n = 60.6 \pm 4.9$ °C) determinadas con la ayuda del multimonitor HAV-1 (Díaz et al., 1997B), así como los parámetros k_0 determinados experimentalmente en ese reactor (Díaz et al., 1999).

RESULTADOS Y DISCUSION

La Tabla 1 muestra los intervalos de confianza de las concentraciones obtenidas para los diferentes elementos determinados en los residuales R1 y R2, calculados mediante el sistema BABXEL (Herrera et al., 1995) para $\alpha = 0.95$ y $\beta = 0.05$. Para ello se tuvieron en cuenta tanto los errores de las concentraciones determinadas para las diferentes réplicas, como también los errores de la concentración del material certificado. En el caso de la estandarización k_0 se tuvieron en cuenta los errores de las concentraciones determinados según la metodología propuesta por Heydorn (Heydorn et al., 1994) y aceptada internacionalmente. Los límites de detección se determinaron según el criterio de Currie (Currie, 1968), como el triplo de la desviación estándar del fondo en el espectro de las muestras irradiadas. Vale señalar que en todos los espectros procesados se evidenció la presencia de Cloro a través de las líneas de escape simple y doble del cuanto gamma de 2167.33 keV correspondiente a la reacción $^{37}\text{Cl}(n,\gamma)^{38m}\text{Cl}$, pero las mismas no pueden ser utilizadas con fines analíticos.

Como se puede observar, existe una magnífica correspondencia entre los resultados obtenidos por ambos métodos, con una mejor exactitud en los correspondientes a la estandarización k_0 . Esto viene dado por la incertidumbre que introduce el error de

la concentración del material certificado en el método relativo.

Desde el punto de vista medioambiental, resultan interesante apreciar que en la escoria existe un elevado contenido de metales pesados, tales como el manganeso, titanio y vanadio, los cuáles al ser sometidos a condiciones de lixiviación por lluvia ácida, constituyen un potencial contaminante de las aguas superficiales. Esto puede ser importante, teniendo en cuenta que la Antillana de Acero está ubicada en la cuenca superior del Río Almendares antes de su represamiento en el embalse Ejército Rebelde.

La presencia de una elevada concentración de manganeso en el residual de los hornos, resulta igualmente un potencial de contaminación. Es de señalar que en este tipo de residuales es posible la existencia de cadmio, elemento de elevado poder tóxico, pero sus isótopos son imposibles de determinar mediante el régimen de irradiación-enfriamiento característico para el análisis expreso por AANI. Resulta interesante la elevada concentración de Magnesio encontrada en R2 (~8 %).

Comparando los rangos de concentraciones obtenidas y los límites de detección para estos elementos determinados en (Herrera et al., 1999) para el Conjunto Subcrítico del ISCTN (CS-ISCTN), podemos observar que el estudio expreso por AANI de estos tipos de residuales puede ser realizado en esa facilidad experimental, sólo que en la variante conocida como activación de muestras gigantes (hasta 1 kg de peso).

Tabla 1. Rangos de concentraciones y límites de detección del análisis expreso por activación neutrónica de los residuales R1 y R2.

ELEMENTO	RESIDUAL R1		RESIDUAL R2	
	Análisis Relativo ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	K_0 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Análisis Relativo ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	K_0 ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
Mg	10335 - 11085	10840 - 11170	81863 - 87801	82206 - 87384
Mn	1474 - 1565	1428 - 1478	4054 - 4436	4204 - 4332
Ti	4542 - 5206	4857 - 4905	< 120 ⁽¹⁾ < 77 ⁽¹⁾ < 126 ⁽¹⁾ < 330 ⁽¹⁾	
Na	3425 - 3505	3243 - 3449		
V	116 - 136	133 - 141		
Al	23800 - 24514	24187 - 24923		

⁽¹⁾ – En los espectros no se observan las líneas características.

Tabla 2. Límites de detección en el CS-ISCTN (en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) para los elementos determinados en R1 y R2.

ELEMENTO	Para 5 g	Para 500 g	Para 1000 g
Mg	75670	757	378
Mn	9.3	0.09	0.05
Ti	73820	738	369
Na	138	1.4	0.7
V	266	2.7	1.3
Al	8549	85	43

REFERENCIAS

- CAPOTE, G.; B. PEÑA; O. DIAZ; G. PEREZ and A.T. HERNANDEZ (1999). "Determination of REE in sea sediments from the Cuban northwestern coast by INAA", *Nucleus* 26, 18.
- CURRIE, L.A. (1968): *Anal. Chem.*, 403, 586.
- CORTE, F. de (1987): Ph. D. Thesis, University of Gent, Belgium.
- CORTE, F. de y A. SIMONITS (1994): "Vademecum for k_0 -users", DSM Research, Geleen, R94/11492, December.
- DIAZ RIZO, O.; M. GOMEZ; E. HERRERA, J. GRIFFITH and S. MESA (1993): "Elemental study of sugar cane leaves and soils by NAA". In: **Activation Analysis in Environment Protection**, D14-93-325, Dubna, 387.
- DIAZ RIZO, O. and J. GRIFFITH (1996): "Soil-plant relation in sugar cane by INAA". *J. Radioanal. Nuc. Chem. Letters*, 213/5, 377.
- DIAZ RIZO, O. and E.F. HERRERA PERAZA (1997): "Multi-elemental characterization of Cuban natural zeolites", *J. Radioanal. Nuc. Chem. Letters*, 221/2, 255.
- DIAZ RIZO O.; I. ALVAREZ PELLON; E.F. HERRERA PERAZA et al. (1997): "HAV-1: A Multipurpose Monitor for Reactor Epithermal Neutron Flux Characterization". *J. Radioanal. Nuc. Chem. Letters*, 220/1, 99.
- DIAZ RIZO, O.; I. ALVAREZ PELLON; E.F. HERRERA PÉRAZA et al. (1999): "Determination of k_0 -factors for k_0 -INAA of environmental samples". II International Symposium on Nuclear and Related Techniques in Agriculture, Industry and Environment. Havana, October 26-29, ISBN 959-7136-04-X.
- HERRERA, E.; E. MONTOYA et al. (1995): Programa BABXEL. Manual del Usuario. Taller Regional sobre Aplicación del Método k_0 . IAEA-RLA/2/003.
- HERRERA, E.; R. HERRERA; O. DÍAZ; G. CAPOTE; M.E. MONTERO y F. BRINGAS (1998): "Análisis de la composición elemental de diferentes zonas costeras de Cayo Coco atendiendo a su vegetación". *Rev. Cub. de Física*, 15(2), 137.
- HERRERA, E.; O. DIAZ; M.E. MONTERO et al. (1999): "Development and implementation of the k_0 -standardization and other parametric methods of INAA in Cuba. Part I". *J. Radioanal. Nuc. Chem.*, 240(2), 437.
- HEYDORN, K. and E. DAMSGAARD (1994): *J. Radioanal. Nucl. Chem., Articles*, 179/1, 87.

14. IVANOV, I.N. y O.K. NIKOLAENKO (1987): "Análisis por activación por radionúclidos de corta vida", **Energoatomoizdat**, (en Ruso).
15. JERVIS, R.E. (1993). "The appropriate role for different nuclear techniques in the study of environmental problems". In: **Activation Analysis in Environmental Protection**, D14-93-325, 116-127.
16. PERDOMO, A. y C. GARCÍA (1994): Tesis de Licenciatura, ISCTN, La Habana.
17. PSZONICKI, L. (1984): Certified Reference Material IAEA/SOIL-7. Report IAEA/RL/112, Vienna.

BCS-LIKE FORMALISM TO INCLUDE THREE NUCLEON CORRELATIONS IN HEAVY NUCLEI

A. G. González, F. Guzmán and O. Rodríguez, Instituto Superior de Ciencias y Tecnología Nucleares (ISCTN)

ABSTRACT

Starting with the approach of considering a part of the residual hamiltonian corresponding to the three nucleon interaction, to be a term due to the interaction between Cooper pairs and unpaired nucleons, we develop a formalism which makes possible to calculate the excited states for heavy nuclei, as well, as their energies. A system of 3 coupled equations, similar to that of the BCS is obtained in such a way that all the parameters introduced in the model can be calculated.

RESUMEN

En este trabajo se considera un modelo de tipo BCS para calcular niveles de energía para núcleos pesados. Se tienen en cuenta, además de la interacción por pares, la interacción entre los pares de Cooper y las partículas desapareadas, lo cual se interpreta como una parte del Hamiltoniano residual de tres nucleones. Se obtiene un sistema de 3 ecuaciones acopladas del cual se pueden determinar los parámetros introducidos y así obtener los estados que tienen en cuenta la interacción de tres cuerpos.

INTRODUCTION

The study of exotic nuclear configurations, including nuclei in extreme conditions, has been a topic of great interest during the last few years. There has been considerable efforts both from the experimental and theoretical point of view looking for a more comprehensive approach of such phenomena. In particular, with this aim, several models has been developed, and other well known, as the shell model, has been modified trying to explain the characteristics of such exotic configurations [1, 2].

Particular interest has been devoted to some structural characteristics of the above mentioned nuclei. This is the case of the nuclear halos and the superdeformed states. There has been attempts to explain these phenomena in the framework of single particle and mean field models with some good results [3, 4].

Nevertheless several works show the importance of considering terms in the nuclear Hamiltonian beyond the mean field approximation (the so called residual Hamiltonian). Taking one of these terms into account the Interacting Boson Model (IBM) has been applied to describe the inertia moments and other parameters of superdeformed nuclei [5]. Also the Hartree-Fock model together with the Bardeen, Cooper and Schrieffer (BCS) one has been used to obtain ground states for nuclei close to the proton drip line [6]. Other pairing models have also been successfully applied to explain some characteristics of exotic nuclei [7].

The approach of considering the pairing in the nuclear Hamiltonian is better to that of considering

only the mean field, but the pairing interaction is still a part of the residual Hamiltonian. Other terms have proved to be important. For example, the four nucleon interaction could play an important role in the calculation of inertia moments for heavy nuclei [8]. In this regard, the three nucleon interaction could be an important contribution for the nuclear structure even for heavy nuclei [9]. At this stage one should mention that three body interaction is interpreted as a correlation beyond the mean field approach, which take into account some kind of collective behavior of the system.

The three nucleon interaction was recognized long ago [11] and now is still under study mainly for light nuclei [12, 13]. This could be due to the fact that the problem of a many body Hamiltonian including three nucleon interactions is hardly solvable. Even with approximate methods is very difficult to solve such systems.

This paper intend to develop a formalism that include the three nucleon interaction in the frame work of a BCS approach for heavy nuclei taking into consideration the success of such method in the treatment of nuclei in extreme conditions and far off nuclear stability.

THREE NUCLEON INTERACTION POTENTIAL

In order to include the three nucleon interaction into the nuclear Hamiltonian we need to set up a particular form for this potential. In the present paper we propose the potential as an interaction between Cooper pairs and unpaired nucleons.

In the BCS method it is introduced a canonical transformation to quasiparticles, which are called

Cooper pairs, for these quasiparticles are pairs of nucleons. According to this model [14] an excited state of the system correspond to the creation of certain number of quasiparticles. On the other hand there could be some unpaired nucleons. The BCS model does not consider interaction neither between the Cooper pairs nor between pairs and unpaired nucleons. In this paper we go beyond the free quasiparticle approach by considering the interaction between Cooper pairs and unpaired nucleons. Such an interaction in this representation takes the form of a two body one, but there are really three nucleons interacting, thus it contains a part of the three nucleon interaction.

Let $\hat{V}_2(\vec{r}^q, \vec{r})$ be the interaction potential between a quasiparticle and an unpaired nucleon. Then the potential due to this interaction for the whole nucleus is:

$$\hat{V}_{qp} = \sum_{i=1}^{n_q} \sum_{j=1}^n \hat{V}_2(\vec{r}_i^q, \vec{r}_j) \quad (1)$$

where n_q and n are the numbers of quasiparticles and unpaired nucleons respectively.

Transforming this expression to the second quantization representation we get:

$$\hat{V}_{qp} = \sum_{k_1 k_2 k_3 k_4} V_{qp}^{1234} \hat{\alpha}_{k_1}^+ \hat{\alpha}_{k_2} \hat{a}_{k_3}^+ \hat{a}_{k_4} \quad (2)$$

where:

$$V_{qp}^{1234} = \langle \text{BCS}_{k_1 k_3} | \hat{V}_2 | \text{BCS}_{k_2 k_4} \rangle \quad (3)$$

This is the most general possible expression for a matrix element of the interaction between a Cooper pair and an unpaired nucleon and could be understood as follows. A pair k_2 , which is a pair built up from two particles of momentum k_2 and $-k_2$ respectively, annihilate with a particle of momentum k_4 and are created a pair k_1 and a particle with momentum k_3 . Nevertheless, the momentum has to be conserved in the interaction, then we consider as usual constant matrix elements for $k_3 = k_4$ and we get:

$$\hat{V}_{qp} = T \sum_{k_1 k_2 k_3} \hat{\alpha}_{k_1}^+ \hat{\alpha}_{k_2} \hat{a}_{k_3}^+ \hat{a}_{k_3} \quad (4)$$

Using the Bogolyubov canonical transformations [14] and organizing the operators in normal form, the potential yields:

$$\hat{V}_{qp} = \hat{V}_{qp}^D + \hat{V}_{qp}^{ND} + \hat{V}_{qp}^{int} \quad (5)$$

where:

$$\hat{V}_{qp}^D = T \sum_{k_1 k_2} (1 + v_{k_2}^2) \hat{\alpha}_{k_1}^+ \hat{\alpha}_{k_2} \quad (6)$$

$$\hat{V}_{qp}^{ND} = T \sum_{k_1 k_2} 2u_{k_2} v_{k_2} \hat{\alpha}_{k_1}^+ \hat{\alpha}_{-k_2} \quad (7)$$

The term \hat{V}_{qp}^D is diagonal with respect to the number of quasiparticles and \hat{V}_{qp}^{ND} isn't. The term \hat{V}_{qp}^{int} is a set of terms, every one having four annihilation and creation operators, thus, it is a term of interaction between quasiparticles, which is neglected in the same way as in the BCS method.

In order to go forward is necessary to diagonalize the Hamiltonian including all the terms of the BCS method and those corresponding to the interaction between quasiparticles and free nucleons (6) and (7).

DIAGONALIZATION OF THE TOTAL HAMILTONIAN

The Hamiltonian to be diagonalized is:

$$\hat{H}_{MBCS} = \hat{H}_{BCS} + \hat{V}_{qp} \quad (8)$$

where \hat{H}_{BCS} is the BCS Hamiltonian, which already includes the chemical potential λ .

In order to fix the number of quasiparticles we introduce the Lagrange multiplier λ_1 in the following way:

$$\hat{H}_{MBCS}^i = \hat{H}_{MBCS} - \lambda_1 \hat{N}_q \quad (9)$$

Where \hat{N}_q is the quasiparticle number operator.

The ground state of the nucleus (the quasiparticle vacuum) is not modified because of the introduction of the potential \hat{V}_{qp} for it doesn't have a constant term. This could also be understood from the fact that \hat{V}_{qp} is an interaction between free particles and quasiparticles, thus, in the absence of quasiparticles it vanishes. The ground state then will be the same as in BCS, then we have to assure that the first excited level is a minimum. For these reasons it has to satisfy the following variational principle.

$$\delta \langle 01_{k_n} 0 | \hat{H}_{MBCS}^i | 01_{k_n} 0 \rangle = 0 \quad (10)$$

Here the vector $|01_{k_n}0\rangle$ represents a state with one quasiparticle in the single particle level k_n and all the other single particle states empty. We obtain an expression very similar to the gap equation.

$$\Delta' = \frac{1}{2} \Delta' |G| \sum_{k>0} (\tilde{\epsilon}_k^2 + \Delta'^2)^{-1/2} + T \quad (11)$$

where the modified gap is defined as:

$$\Delta' = |G| \sum_{k>0} u_k v_k + T = \Delta + T \quad (12)$$

and

$$\tilde{\epsilon}_k = \epsilon_k - (\bar{\epsilon}_{k_n} + T) \delta_{kk_n} \quad (13)$$

$$\bar{\epsilon}_{k_n} = \bar{\epsilon}_{k_n}^0 - \lambda - \lambda_1 \quad (14)$$

Then the Hamiltonian is diagonalized and the new quasiparticle levels are:

$$\tilde{E}_k = (\tilde{\epsilon}_k^2 + \Delta'^2)^{1/2} + \frac{1}{2} T \left[3 - \epsilon_k (\tilde{\epsilon}_k^2 + \Delta'^2)^{-1/2} \right] \quad (15)$$

These new levels are modified for the three nucleon interaction. As expected in the case of no interaction between quasiparticles and free nucleons ($T = 0$) $\Delta' = \Delta$ and the expression (15) becomes the corresponding expression for the quasiparticle states of the BCS approach.

The expressions obtained above have the same form as those from the BCS method, then we may use similar approximations and reduce the sum in (11) to the shell Ω containing the Fermi surface.

$$\Delta' = \frac{1}{2} \Delta' |G| \sum_{\substack{k>0 \\ k \in \Omega}} (\tilde{\epsilon}_k^2 + \Delta'^2)^{1/2} + T \quad (16)$$

For the complete solution of (16) we have to consider the presence of the parameters λ and λ_1 which can be obtained from the conservation equations of the nucleons and quasiparticle numbers in the state $|01_{k_n}0\rangle$.

$$\langle 01_{k_n}0 | \tilde{N} | 01_{k_n}0 \rangle = N \quad (17)$$

and

$$\langle 01_{k_n}0 | \tilde{N}_q | 01_{k_n}0 \rangle = 1 \quad (18)$$

We finally obtain a set of three coupled equations.

$$\Delta' = \frac{1}{2} \Delta' |G| \sum_{\substack{k>0 \\ k \in \Omega}} \left\{ \left[\epsilon_k^0 - \lambda - (\epsilon_k^0 - \lambda - \lambda_1 + T) \delta_{kk_n} \right]^2 + \Delta'^2 \right\}^{-1/2} + T \quad (19)$$

and:

$$N = 1 + \frac{1}{2} \left\{ 1 + (T - \lambda_1) \left[(T - \lambda_1)^2 + \Delta'^2 \right]^{1/2} \right\} \quad (20)$$

and:

$$1 = \frac{1}{2} \sum_{\substack{k>0 \\ k \in \Omega}} \left\{ 1 - \left[\epsilon_k^0 - \lambda - (\epsilon_k^0 - \lambda - \lambda_1 + T) \delta_{kk_n} \right] \cdot \left[(\epsilon_k^0 - \lambda - (\epsilon_k^0 - \lambda - \lambda_1 + T) \delta_{kk_n})^2 + \Delta'^2 \right]^{-1/2} \right\} \quad (21)$$

From the solution of this system we obtain the values of the parameters λ , λ_1 and Δ' and then substituting them into (15), (14) and (13) we obtain the energy levels including a part of the three nucleon interaction.

The formalism developed in this paper could be applied to the study of the structure of nuclei in extreme conditions, were the three nucleon forces has shown to play an important role.

CONCLUSIONS

In this paper we proposed an interaction potential which include a part of the residual Hamiltonian corresponding to the three nucleon interaction, as an interaction potential between Cooper pairs and unpaired nucleons. This form of the potential has the advantage that it can be included into the BCS Hamiltonian.

The total Hamiltonian including the two and three nucleon potential was diagonalized using a variational principle, from which we obtained a system of three coupled equations similar to the BCS ones. From the solutions of the system all the variational parameters can be obtained.

In the equation system there's still unknown the parameter T , but it isn't a simple adjustment parameter without any physical meaning, for it is the matrix element which in this paper is considered to be constant. On the other hand this approximation can be removed and then we will get an equation system similar to that of the Hartree-Fock-Bogolyubov one.

ACKNOWLEDGMENTS

This paper is part of the project supported by the Cuban *Agencia de Energía Nuclear* (AEN) under research contract PRN/4/013 and by the *Deutscher Akademischer Austauschdienst* (DAAD).

REFERENCES

- SHARMA, M. M.; G.A. LALAZISSIS; W. HILLEBRANDT and P. RING (1994): **Phys. Rev. Lett.** 72 1431-1434.
- ANTONENKO, N.V.; A.K. NASIROV; T.M. SHNEIDMAN and V.D. TONEEV (1998): **Phys. Rev.** C57, 1832-1838.
- STOITSOV, M.V.; S.S. DIMITROVA; S. PITTEL; P. VAN ISACKER and A. FRANK (1997): **Phys. Lett.** B415 1-7.
- DOBACZEWSKI, J.; W. NAZAREWICZ, T.R. WERNER, J.F. BERGER, C.R. CHINN and J. DECHARG (1996): **Phys. Rev.** C53, 2809-2840.
- KUYUCAK, S.; M. HONMA and T. OTSUKA (1996): **Phys. Rev.** C53, 2194-2200.
- TAJIMA, N.; S. TAKAHARA and N. ONISHI (1996): **Nucl. Phys.** A603, 23.
- BENNETT, J. R.; J. ENGEL and S. PITTEL (1996): **Phys. Lett.** B368, 7.
- RODRÍGUEZ, R. (1996): Master Thesis, (ISCTN, La Habana)
- COON, S.A. and M.T. PENA (1993): **Phys. Rev.** C48, 2559-2575.
- BETHE, H. A. (1965): **Phys. Rev.** 138, b804.
- RAJARAMAN, R. and H. A. BETHE (1967): **Rev. Mod. Phys.** 39, 745.
- HENNING, H.; J. ADAM Jr.; P.U. SAUER and A. STADLER (1995): **Phys. Rev.** C52 471-475.
- PEÑA, M.T.; P.U. SAUER; A. STADLER and G. KORTEMEYER (1993): **Phys. Rev.** C48 2208-2221.
- EISENBERG, J.M. and W. GREINER (1972): **Microscopic Theory of the Nucleus** (North-Holland Publishing Company, Amsterdam).

PANEL DE MANDO VIRTUAL PARA EL MICROTRON MT-25

D. Rivero, Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares

J. Pahor, Universidad de Liubliana

G. Lago, Instituto Jozef Stefan

RESUMEN

Teniendo en cuenta las desventajas que representa contar en el Microtrón MT-25, con un panel de mando totalmente analógico, donde todas las operaciones se realizan con ayuda de interruptores y potenciómetros y los parámetros son medidos con ayuda de amperímetros, nos hemos dado a la tarea de sustituir el mismo por un Panel de Mando Virtual, utilizando una PC (Computadora Personal) AT compatible, un hardware desarrollado al efecto y un software que garantiza el trabajo de ambos. El siguiente trabajo muestra los detalles de una primera etapa de dicha tarea.

Palabras clave: datos de adquisición, Microtrón, instrumentación virtual.

ABSTRACT

Analog control panel in the Microtrón MT-25 represent the disadvantages because all the operations are executed with switches and potentiometers and all the parameters are measured with analog voltmeters. For this reason we have given up to the task of substituting it for a virtual panel using a PC AT, a developed hardware for it and a software that guarantees the work of both. The following paper show the details of a first stage of this task.

Key words: data acquisition, Microtron, virtual instrumentation, automation.

INTRODUCCION

Para la obtención de los parámetros necesarios en cada irradiación y/o experimento en el Microtrón MT-25, el operador de dicha instalación está obligado a efectuar un serie de operaciones durante las etapas de arranque y puesta en marcha del mismo [1]. La mayoría de estas operaciones se realizan desde el panel de Mando de dicho Microtrón.

El Panel de Mando del Microtrón MT-25 es totalmente analógico. Todos los comandos a través de él se aplican por medio de interruptores y potenciómetros, los parámetros son medidos con ayuda de amperímetros y las señalizaciones se realizan a través de bombillos. Todos estos detalles hacen que dicho panel cuente con inconvenientes tales como: no se pueden almacenar en soportes magnéticos los parámetros de cada irradiación y/o experimento; errores de medición característicos de los instrumentos analógicos; algunos parámetros de trabajo y señalizaciones no están incluidos; gran tamaño, etc.

Por todo ello nos hemos dado a la tarea de construir un Panel de Mando Virtual para el Microtrón MT-25, que funcione sobre la base de una PC (Computadora Personal) AT compatible, un hardware para el acople Microtrón-PC y un software de atención a todo el sistema.

SISTEMA DE ACOPLE PC - MICROTRON

El hardware utilizado para garantizar el acople PC-Microtrón es un Sistema de Adquisición de Datos construido sobre la base de un microcontrolador 80C535 de Siemens [2], acompañado de un ADC de 12 bits y cuatro entradas de Burr-Brown [3], de un DAC serie de 12 bits y cuatro salidas de Maxim y de un controlador de puerto serie Max232, también de Maxim [4]. Todo ello da como resultado un sistema con las siguientes características:

- 4 entradas analógicas de 12 bits de resolución.
- 8 entradas analógicas de 8 bits de resolución.
- 4 salidas analógicas de 12 bits de resolución.
- Interfaz serie RS-232.
- 2 puertos Entrada Salida Digital de 8 bits.
- 2 K de Memoria para Programa (ROM).
- 2k de Memoria Externa de Datos (RAM).
- 2 entradas de contador o timer.
- 2 entradas para interrupciones.

El esquema en bloque de dicho sistema se muestra a continuación:

El funcionamiento de este sistema lo guía un programa almacenado en la memoria externa de

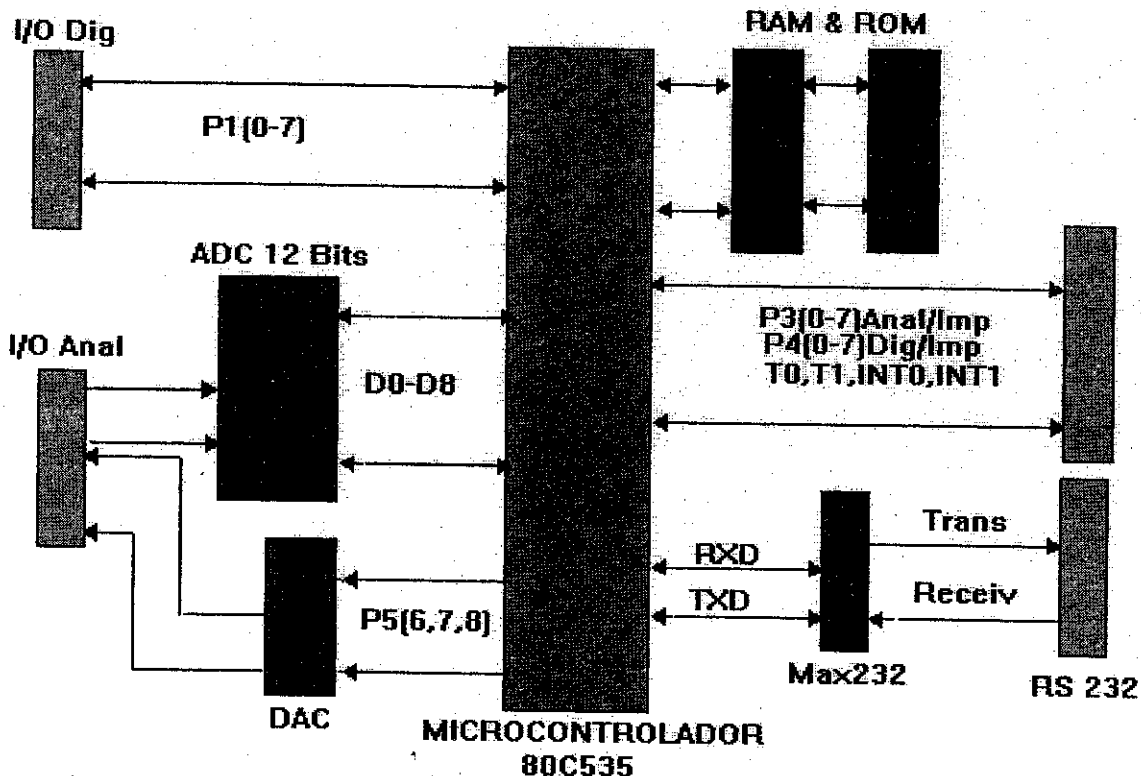


Figura 1. Esquema en bloques del Sistema de Adquisición de Datos.

programas (ROM) del mismo [2]. Este programa está conformado en forma de una subrutina principal, que corre en lazo cerrado encuestando la entrada del puerto serie por la llegada de un comando enviado desde la PC. Al detectarse la llegada de un comando (en forma de carácter) desde la PC se identifica la subrutina correspondiente al mismo y se ejecuta, volviendo el sistema al estado de espera del nuevo comando. Un esquema en bloque de dicho programa se muestra en la Figura 2.

Software de atención a todo el sistema

Para garantizar el trabajo de todo el sistema, se ha diseñado un programa escrito en Visual Basic [5]. Este programa cuenta con una ventana que simula parte del Panel de Mando de dicha instalación, específicamente la que corresponde a los instrumentos de indicación de los parámetros de puesta en marcha e irradiación, así como otras señalizaciones auxiliares, ver Figura 3. Toda esta ventana ha sido diseñada siguiendo el principio de la instrumentación virtual.

El programa cuenta además con una pantalla de inicialización, con un menú desde donde se puede efectuar el chequeo inicial de la comunicación serie del Sistema con la PC, un pequeño editor de texto y la posibilidad de pasar desde la misma a la ventana del Panel Virtual. A cada una de estas ventanas se les pueden agregar otra serie de opciones según sea necesario en el futuro.

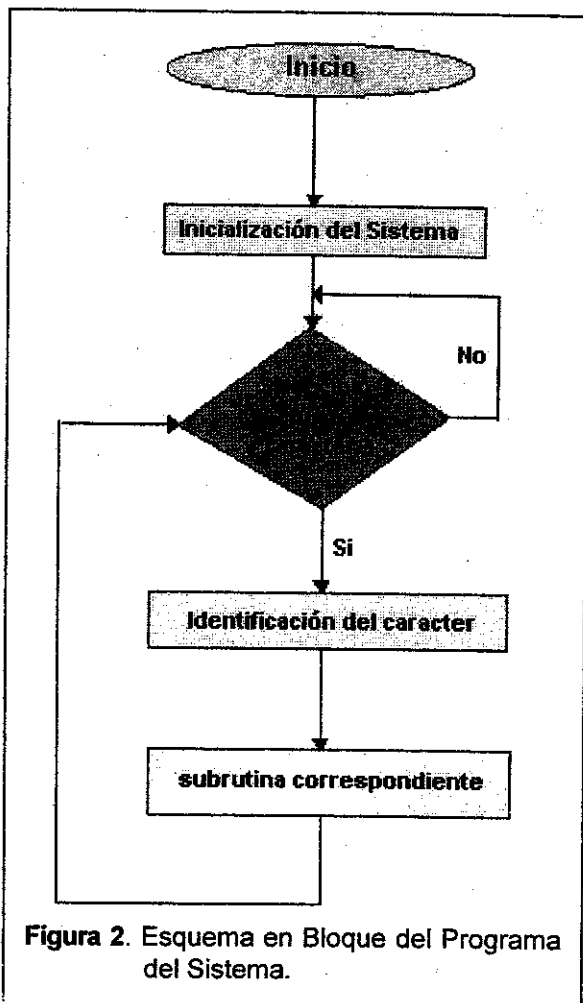


Figura 2. Esquema en Bloque del Programa del Sistema.

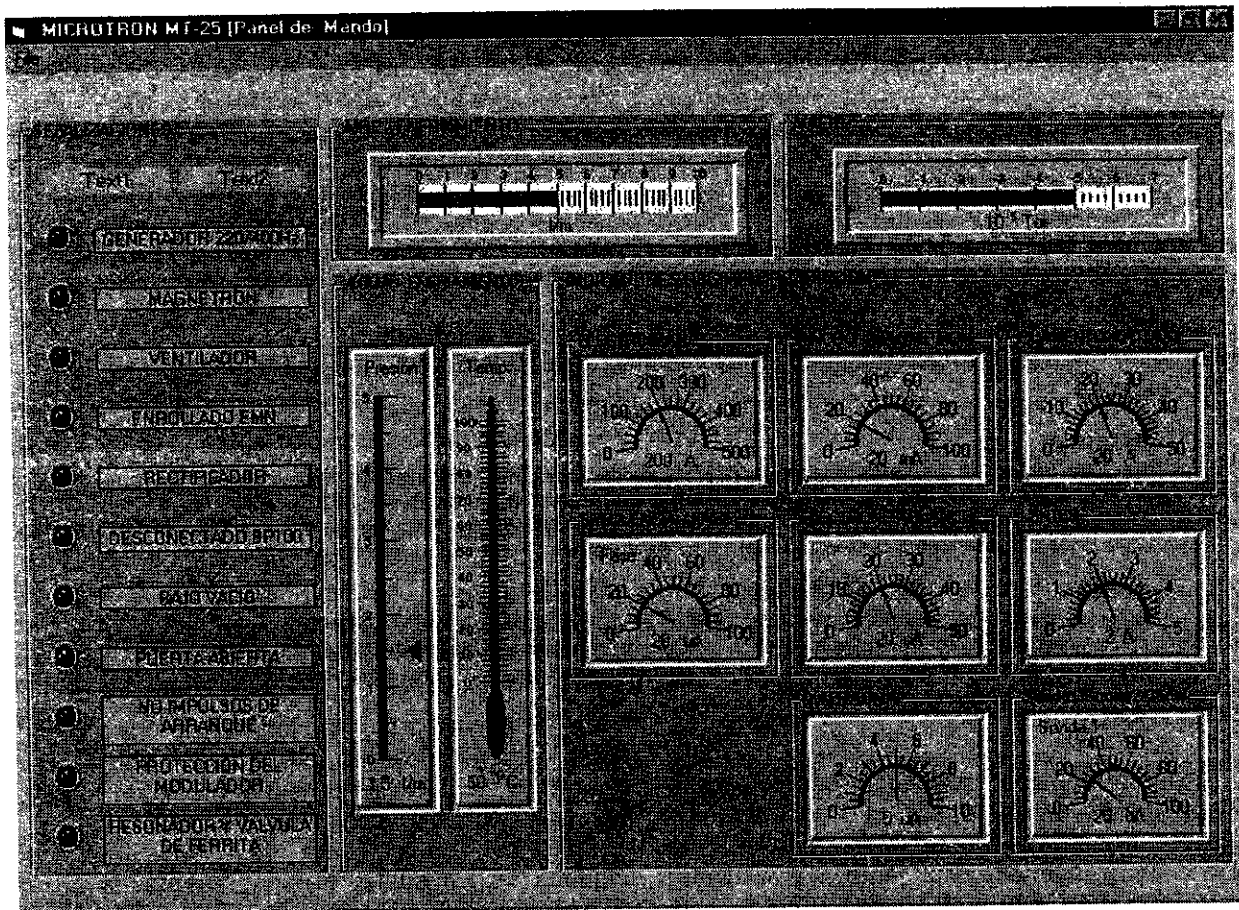


Figura 3. Ventana del Panel de Mando Virtual.

RESULTADOS

Como resultados de este trabajo se cuenta con un sistema de acople entre el Panel de Mando del Microtrón y una PC AT compatible, con su programa de trabajo funcionando desde la memoria de programas del mismo y además con un programa escrito en Visual Basic que garantiza la comunicación entre la PC y el sistema de acople, además la visualización de los parámetros y señalizaciones en forma de instrumentos virtuales.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo queremos expresar nuestro agradecimiento a el OIEA por su contribución en la realización de este trabajo, ya que el mismo constituyó el trabajo fundamental de la becaria Doris Rivero en la Universidad de Liubliana financiado mediante una beca fuera de proyectos, financiada totalmente por esta organización en 1998.

REFERENCIAS

- [1] IBANOV, V.G.; N.F. FERNANDEZ; A.G. BELOV and J. ZUÑIGA: Automated workstation for MT-25 Microtron operator.
- [2] SIEMENS. Microcomputer Components. SAB 80515/SAB 80c515. 8-bit Single-Chip Microcontroller Family. User's Manual. 08.95.
- [3] BURR-BROWN IC DATA BOOK. DATA CONVERSION PRODUCTS. 1994
- [4] MAXIM Integrated Products. <http://www.maxim-ic.com>
- [5] STEVEN HOLZNER AND THE PETER NORTON COMPUTING Group. Peter Norton's Visual Basic for Windows. Third Edition. Covering Release 3.0. 1993.

REVISION BIBLIOGRAFICA SOBRE MATERIALES DE REGISTRO HOLOGRAFICO

Rosalina Reyes¹ y Lisset Rubiera²

¹Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría"

²Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

RESUMEN

En este trabajo se presenta una revisión bibliográfica sobre los materiales de registro holográfico comúnmente empleados. Para ello se utilizaron como fuentes de referencia, artículos publicados en revistas especializadas en Óptica y textos básicos de Holografía. Esta revisión puede aportar elementos de interés para la selección del medio de registro a utilizar para determinada aplicación.

ABSTRACT

A review about the holographic recording material usually employed, is presented in this paper. Books and articles published about Optics and Holography were used as bibliographic reference source. This review can help in the selection of the recording material more appropriate for a definite application.

INTRODUCCION

Los primeros trabajos realizados en Holografía fueron reportados en 1948 por el físico británico Denis Gabor. El propuso un nuevo procedimiento de formación de imágenes, sin lentes, que llamó "Reconstrucción del frente de onda" [1]. La meta inicial de Gabor fue perfeccionar los principios de la microscopía electrónica aplicando el ya mencionado procedimiento [2-3].

La ausencia de una fuente de luz con intensidad y longitud de coherencia adecuadas para la Holografía, debido a la propia tecnología de la época, frenaron el desarrollo de esta novedosa técnica.

La invención del láser como una fuente de luz coherente, constituyó el punto de partida necesario para revitalizar la Holografía. Fueron los científicos norteamericanos de la Universidad de Michigan, E. Leith y J. Upatnieks (1962) los que utilizando este nuevo acontecimiento, modificaron y perfeccionaron el sistema abriendo las puertas al desarrollo ulterior de la Holografía y sus aplicaciones [4-6].

Desde sus inicios, la Holografía ha tenido la interrogante de qué materiales usar para el registro. Un material ideal sería aquel que posea las siguientes características:

- Sensibilidad con amplio espectro a la radiación láser.
- Alta resolución para grabar franjas de interferencia.
- Función de transferencia lineal para reproducir una buena imagen del patrón.
- Indefinidamente reciclable.
- Grandes áreas.

En la actualidad el material que cumple todas estas características no existe, razón por la cual la aplicación es quien determina el medio de registro a emplear y como consecuencia de esto se ha desarrollado un conjunto de dichos materiales, algunos de los cuales serán presentados en este trabajo.

DESARROLLO

Gelatina Dicromada

Este tipo de emulsión se desarrolló como una forma de resolver el problema del tamaño finito del grano de las emulsiones de haluros de plata. En este caso se tiene una capa de gelatina en la que se introducen iones de Cr^{+3} que son sensibles a la luz. Los iones que absorben luz van a modificar la gelatina en su vecindad, de modo que se obtiene finalmente una modulación del índice de refracción en dicha gelatina. La sensibilidad de este medio de registro es menor que en el caso de las emulsiones de haluros de plata y llega hasta el extremo verde - azul del espectro visible (250.0-520.0nm). Es un material ortocromático. De especial atención es el sellado de estas emulsiones después de ser procesadas para garantizar que permanezcan de forma inalterada.

La gelatina dicromada ha sido empleada por diferentes investigadores [7-13].

Una mezcla de malaquita verde y amonio dicromado fue usada por Solano y Lessard [9] para fotosensibilizar filmes de gelatina (BDH B.44045). Cuando este material es irradiado con luz polarizada, se induce una anisotropía con eje óptico paralelo al vector campo eléctrico de la vibración

incidente. Después de un adecuado revelado del material, las partes que manifestaron anisotropía presentan un cambio en el índice de refracción de la gelatina independientemente de la orientación del eje óptico de la parte expuesta. De este modo, la gelatina fue usada para grabar patrones de interferencia. Cuando los dos rayos coherentes utilizados para el registro forman un ángulo de 90° respecto a su polarización, la frecuencia espacial de la red de fase resultante es dos veces la presentada cuando dicho ángulo es 0° [9].

Según refieren Tharayil G. Georgekutty y Huan-Kuang Liu [10], el proceso para obtener hologramas en gelatina dicromada (GDC) es tedioso e implica un consumo grande de tiempo, aproximadamente de 12 horas. Además, la omisión de alguno de los pasos esenciales para la síntesis holográfica, hace imposible la obtención del holograma. Por todo esto, a pesar de la alta eficiencia y la alta relación señal-ruido, pocos laboratorios hacen hologramas en GDC. Un método simplificado para obtener elementos ópticos holográficos (HOE) utilizando este material, fue descrito por G. Tharayil y colaboradores [10]. Dicho método es mucho menos tedioso y requiere un período de tiempo de procesamiento comparado con el empleado en hologramas registrados en haluros de plata. Con este método es posible registrar redes de difracción planas con una alta eficiencia de difracción.

Un trabajo para resolver algunos problemas en la interesante área del procesamiento de redes de reflexión registradas en GDC, fue realizado por Keinonen y Salminen [11]. En el estudio se midió la eficiencia de las redes bajo diferentes condiciones: variación de la concentración del sensibilizador utilizado (dicromato de amonio), distintos ángulos de reconstrucción, en el proceso de revelado se varió el tiempo de enjuague, el intervalo de tiempo entre el enjuague y el baño en isopropanol, y la duración de este último. Finalmente, las características de las redes fueron probadas variando la geometría utilizada para el registro.

Z. N. Kalyashova, et al. [13], reportan altos valores de sensibilidad en el proceso de optimización de las características de capas de gelatina dicromada, utilizando radiación continua y pulsada. Los resultados son obtenidos para hologramas de volumen de fase y de relieve de fase.

Termoplásticos

En este tipo de material se utiliza un plástico cuya superficie puede cargarse con una distribución uniforme de carga eléctrica. La recombinación de las cargas es directamente proporcional a la cantidad de luz incidente sobre el material, de modo que la distribución de ellas reproduce la distribución de iluminación incidente. Para *revelar* este material,

esto es, para lograr que esta distribución de cargas se traduzca en un cambio estable, se calienta el material hasta el punto de ablandamiento, con lo que en las zonas donde hay mayor concentración de dichas cargas, la fuerza entre ellas en las dos caras es mayor y por consiguiente habrá mayor deformación.

La distribución de cargas se traduce en una modulación del espesor de la emulsión. Este tipo de material produce hologramas con modulación de superficie solamente, por lo que no es adecuado para hologramas de reflexión. Una ventaja importante es que no requiere de procesamiento químico.

El proceso para registrar un holograma en estos materiales requiere de las siguientes etapas:

- Carga eléctrica uniforme de la placa.
- Exposición a la luz, que redistribuye la carga superficial.
- Recarga eléctrica para intensificar el campo eléctrico.
- "Revelado", por calentamiento de la placa que se deforma proporcionalmente a la carga acumulada.
- Borrado, por nuevo calentamiento.

El nivel de exposición requerido es de 100 erg/cm^2 , que es del mismo orden que en una emulsión de haluros de plata. Por necesitarse sólo calor para "revelar" la emulsión, el proceso puede realizarse sin mover la placa sensible del montaje, lo que lo hace especialmente atractivo para el caso de Interferometría. Cada placa puede utilizarse por lo menos para unos 300 ciclos de exposición.

Entre las aplicaciones de este medio de registro holográfico, tenemos el grabado de microhologramas locales en discos fototermoplásticos en movimiento [14]. Kutanov, et al., reportan la obtención de hologramas bidimensionales en régimen de paso por paso y hologramas unidimensionales. El calentamiento del disco fototermoplástico, se realiza con láser infrarrojo. Se requiere un movimiento con velocidad lineal del disco, así como una estabilización total de su superficie. Con este trabajo, se obtiene por primera vez el grabado de un microholograma en la superficie total de un disco fototermoplástico [14].

Kinoshita reporta un novedoso uso de las placas termoplásticas [15], esto es, el registro de estereogramas holográficos (SH) regrabables. Esta aplicación hace posible el control automático de todo el proceso de síntesis de SH sin necesidad de revelado químico, siendo esto una fuente muy valiosa para el muestreo tridimensional. En este trabajo, el registro de SH se realizó en placas termoplásticas de $76 \times 76 \text{ mm}^2$ y en un tiempo de 130 s, usando un panel de cristal líquido como

modulador espacial de luz con un barrido de 300 cuadros por imagen. Las placas termoplásticas tienen la capacidad de ser usadas más de 20 veces para la síntesis de SH. Utilizando un láser de He-Ne, se puede observar con buen efecto estereoscópico la imagen reconstruida [15].

Fotopolímeros

En una emulsión de fotopolímeros, se tiene una mezcla de monómeros en los que la reacción de polimerización es catalizada por la luz. Además de los monómeros, se incluyen en la emulsión sensibilizadores, los que contribuyen a la iniciación de las reacciones de polimerización. La exposición a la luz en la que se tienen variaciones de intensidad, resulta en un volumen en el que el grado de polimerización depende directamente del nivel de exposición, y por ende, se logra una modulación del índice de refracción. Por tratarse de un medio prácticamente continuo, la difusión de luz por parte del holograma casi no existe. Comparado con una emulsión de haluros de plata, la sensibilidad de los fotopolímeros es mucho menor, aunque han surgido avances importantes en estos materiales. Este tipo de medio de registro es especialmente útil para hacer hologramas de reflexión, que son de alta eficiencia y muy bajo ruido (muy poca difusión de luz parásita).

Fuentes, et al. [16], reportan el uso de un fotopolímero con colorante sensibilizador como medio de registro para Interferometría en tiempo real. El fotopolímero con colorante sensibilizador es una mezcla de monómeros acrílicos solubles en agua, un catalizador y un colorante sensibilizador. Las moléculas de colorante fotoexcitadas reaccionan con el catalizador produciendo radicales libres, los cuales inician la polimerización de los monómeros. El fenómeno de difusión molecular influye en la modulación del índice de refracción. Dado que el sistema es inicialmente un líquido poco viscoso, las muestras son uniformemente pre-expuestas para obtener el grabado estable de un holograma [16].

El fotopolímero es autorevelable, el holograma se fija rápidamente en la placa con una lámpara de destello para descomponer el agente sensibilizador y detener la polimerización. La alta capacidad de modulación del índice de refracción de estos materiales, permite obtener interferogramas de alta calidad con láseres de potencia relativamente baja. En este trabajo [16] se realiza un experimento de Interferometría holográfica utilizando un láser de emisión continua. En dicho experimento se estudia el área central de un objeto parabólico sometido a distorsión, bajo condiciones de presión constante.

El uso de un fotopolímero de respuesta óptica no lineal para el almacenamiento reversible de datos ópticos, se reporta por Kim, et al. [17]. Los autores realizan el estudio de la orientación fotoinducida y el

registro de redes holográficas borrables en un nuevo fotopolímero amorfo, que contiene grupos de azobenceno. Se utiliza luz blanca linealmente polarizada y un láser de argón de 488 nm, con lo cual es posible observar la orientación de estos grupos de azobenceno en la dirección perpendicular a la incidencia de la luz polarizada en la capa de polímeros. La utilización del láser de argón (polarizado) permite el registro de redes holográficas con alta eficiencia de difracción, estas redes fueron estabilizadas en una cámara de temperatura. En el trabajo se investiga [17] el grabado de múltiples redes sobre la misma área. Esto se realizó 50 veces.

Los hologramas de volumen pueden ser registrados en capas líquidas fotopolimerizables [18]. Se realiza un análisis termodinámico de la formación de dichos hologramas en estas capas compuestas por un monómero polimerizable y un solvente. Boiko et al., demuestran que este análisis en la formación de hologramas estables e inestables fotoquímicamente en el mecanismo de registro difusivo, puede hacerse si se adopta el carácter microheterogéneo de la fotopolimerización. En el trabajo [18], se formula el basamento teórico para la selección de composición del material de grabado. Otros aspectos de interés de este material pueden encontrarse en las referencias [19-22].

Fotorrefractivos

Los cristales fotorrefractivos (CFR), constituyen un medio de registro holográfico que puede ser utilizado un número teóricamente infinito de veces y que no requiere ningún procesamiento adicional (revelado, fijado, otros).

Los hologramas se forman directamente en los CFR por medio de la luz incidente y además, pueden ser borrados ópticamente. La luz induce una redistribución de las cargas dentro del cristal, de modo que en cierto tiempo característico, se establece un equilibrio dinámico entre la distribución de intensidad de la luz de registro y la distribución interna de las cargas eléctricas. La variación de la distribución de dichas cargas provoca a su vez, una variación en el índice de refracción del cristal mediante el efecto electro-óptico, dando lugar a la formación de un holograma de volumen y de fase.

En 1976, J. P. Huignard y F. Micherón reportaron los cristales $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ (BSO) y $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ (BGO) como los de mejor sensibilidad para el registro de hologramas de volumen de lectura-escritura ($S^{-1} \sim 300 \mu \text{J}/\text{cm}^2$) combinado con su alta calidad de reconstrucción de imágenes [23].

Una década después, Vachss realizó un desarrollo teórico para obtener la expresión analítica de la respuesta holográfica de estos sistemas anisótropos (BSO y BGO) [24].

Alfred E. Attard presenta una evidencia que corrobora la teoría de que el apantallamiento de las cargas ligadas que forman la red de fase en CFR puede ocurrir como resultado de la fotoexcitación de los portadores de carga [25].

Un análisis comparativo de diferentes técnicas para la lectura continuada de hologramas de volumen puede encontrarse en la literatura [26]. También se presenta el uso de un interferómetro adaptativo para el análisis de vibraciones y desplazamientos de objetos reales, empleando un cristal fotorrefractivo $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ (BTO). Este material exhibe la mayor eficiencia holográfica en CFR conocida hasta 1989 para el grabado con láser continuo en la región roja del espectro. Es muy importante señalar la capacidad de estos cristales para convertir las variaciones de fase de los haces luminosos a registrar en variaciones de intensidad.

El estudio de las propiedades elásticas de distintas familias de materiales sólidos, puede realizarse usando un sistema automático de Interferometría holográfica, que emplea como medio de registro un cristal fotorrefractivo BTO [27]. Esto permite estudiar entre otras características el módulo de Young de una placa plano paralela fija en un extremo al cual se le aplica una fuerza en el extremo libre [27].

Otra de las aplicaciones de los CFR es constituir espejos holográficos no lineales para medios activos en láseres de vapores de cobre. Esto se estudia teórica y experimentalmente para un cristal de Niobato de Litio [28].

El uso de un cristal fotorrefractivo BTO para el estudio de la correlación óptica holográfica en tiempo real en una longitud de onda de 632.8 nm, es reportado por Faria et al. [29]. Los experimentos realizados se basaron en la propiedad de autodifracción anisotrópica de los CFR. La acción del correlador desarrollado se evalúa por medio de un sistema simple y fácil de controlar.

Dos Santos y Acioly reportan resultados experimentales de las mediciones en un CFR BTO, de su eficiencia cuántica, longitud de difusión y densidad de trampas, para una longitud de onda de 632.8 nm, utilizando el concepto de autodifracción anisotrópica [30].

La iluminación homogénea de un cristal de Titanato de Bario (BaTiO_3) utilizando una fuente pulsada de luz verde, permite el registro en este material de una red holográfica con pulso de luz infrarroja [31]. La red registrada, puede leerse de forma no destructiva con luz infrarroja y borrada con luz verde. Los resultados que se obtienen en el trabajo [31], confirman sólidamente el modelo de dos centros propuesto para el transporte de cargas en un cristal de BaTiO_3 .

La presencia de los efectos cuasipermanentes fotocromico y fotorrefractivo de huecos en cristal BTO, para una radiación de longitud de onda de 514.5 nm ha sido reportada por J. Frejlich y P. M. García [32]. Los resultados obtenidos por los autores, demuestran la naturaleza compleja del registro en BTO y las capacidades de grabado estabilizado y del mezclado de dos ondas selectivas para la investigación fundamental y aplicada en CFR.

Soutar et al., presentan un análisis experimental y sus resultados acerca de la influencia del sesgo óptico en las características de transiente (transitorias) de redes formadas en un cristal BSO [33]. Se evidencia la existencia de un máximo transiente y la posibilidad de controlarlo por un ajuste adecuado de las intensidades relativas de los haces ópticos empleados.

Otros trabajos de interés donde se ha aplicado este medio de registro pueden encontrarse en las referencias [34-35].

Fotorresinas

Este tipo de material de registro tiene la propiedad de comportarse como soluble (positiva) o insoluble (negativa) en un solvente orgánico, después de ser expuesta a radiación luminosa de onda corta. El espesor de la capa de fotorresina es aproximadamente de $1\mu\text{m}$, los niveles de exposición son del orden de 100 mJ/cm^2 .

En 1973, Zecht et al. [36] presentan la preparación, uso y propiedades generales de una nueva fotorresina procesada con calor, con vistas a su aplicación como medio de almacenamiento de datos en Holografía.

Gerritsen et al. [37], reportan la producción holográfica de redes de difracción de relieve en una fotorresina positiva Shipley 1400-31 y el moldeado de éstas con resina epóxica. La eficiencia de difracción de las redes en la resina epóxica fue medida cuando el medio sobre la cara opuesta del perfil de relieve fue respectivamente, aire, agua, mezclas de disulfuro carbón-benceno y nitrosodimetilanilina sólida. Se obtuvo una alta dispersión de la red con deposición de anilina, lo cual provocó gran eficiencia de difracción en el verde y una pequeña eficiencia en el resto del espectro [37].

Mack [38], muestra un estudio de la absorción y de los resultados de la medición de este parámetro en diferentes tipos de fotorresinas positivas.

Ichimura y Ohe [39] desarrollan una fotorresina con muy alta sensibilidad a la radiación del láser de Ar^+ . Esto fue posible basándose en la catalización de la hidrólisis de polímeros con un ácido generado en la descomposición de la sal de diphenyliodonium (DPI).

Las fotorresinas tienen un uso muy significativo en la producción de hologramas Master para lograr posteriormente hologramas de superficie (embossed). Saxby [40] expone el método de empleo de la fotorresina para la construcción de tales hologramas y añade que este medio de registro es sensible a la radiación de 488 nm correspondiente a la emisión azul del láser de iones de Argón (Ar^+), y a la línea violeta del láser de He-Cd (442 nm). Estos materiales no pueden ser utilizados para hacer hologramas de reflexión [40].

Se reporta el estudio del sesgo de la curva de absorción para una fotorresina Shipley 1350-J [41]. Luna Moreno *et al.*, logran correr el centro de absorción de este material desde el ultravioleta hasta la región roja del espectro. Esto se realizó utilizando tintes. Con este corrimiento el material se convierte en uno de los posibles a utilizar para lograr elementos holográficos con láser de He-Ne [41].

Calcogenuros

Las capas de calcogenuros (ChVS) pueden ser empleadas como medio de registro holográfico; tal estudio es realizado por Robur *et al.* Estas capas de calcogenuro (como el As_2Se_3) se utilizan para obtener hologramas de relieve de fase. Esto se basa en transformaciones fotoestructurales y el efecto de fotodopado. Dichos materiales poseen sensibilidad apropiada y alta resolución y uniformidad [43].

Los elementos ópticos de difracción han encontrado gran utilización y son muchos los campos donde ellos se aplican. La producción de estos elementos requiere una adecuada sensibilidad a la radiación láser. Se reporta el estudio de capas de calcogenuro como medio de registro, con los cuales es posible la producción de HOE [44].

Otros materiales

En 1986, Matsumoto *et al.* desarrollaron un nuevo material holográfico: Polyvinyl-Carbazole (PVCZ). La ventaja de este material sobre la gelatina dicromada convencional, radica en su alta resistencia contra la humedad y la transparencia. Se reportan algunas propiedades ópticas y aplicaciones de estos materiales [45].

Yamagishi *et al.*, muestran el PVCZ como material factible de emplear en el registro de hologramas de volumen de fase. Este material contiene una base de un polímero, además, un iniciador y un sensibilizador. El PVCZ es sensible al láser de Ar^+ y la energía de exposición es del orden de 500 mJ/cm^2 , lo cual es apropiado para lograr altas eficiencias de difracción [46].

Emulsiones de Haluros de Plata

La emulsión está constituida por un soporte que es una placa de vidrio o una lámina de plástico sobre la cual se tiene una capa de gelatina de algunos micrómetros de espesor, en la que hay una suspensión de partículas de haluros de plata, usualmente AgBr o AgI. El tamaño de los cristales de estos haluros, es de algunas decenas de nanómetros. Se incorporan además sensibilizadores en la emulsión.

Una vez expuesta la emulsión, se somete a un proceso de revelado, cuya función es convertir los cristales de haluros que absorbieron más de cuatro fotones a plata metálica. Cada cristal de haluro contiene una gran cantidad de átomos de plata, por lo que se produce una amplificación muy significativa. Una vez realizado el proceso anterior, se tiene en la emulsión una mezcla de cristales de haluros que no fueron revelados y granos de plata metálica, cuya forma es filamentaria o irregular. Por esto la transmisión de la emulsión es muy baja.

En fotografía convencional, luego del proceso de revelado, se fija la emulsión, proceso que disuelve los cristales de haluro, sin afectar los granos de plata metálica. La transmisión después del fijado es prácticamente igual. Para que este tipo de material sea utilizable en Holografía, se requiere de algún proceso adicional que aumente la transmisión. Ya sea en el caso en que se ha fijado o no la emulsión, se utilizan procesos rehalogenadores, en los que se convierte nuevamente los granos de plata a cristales de haluros de plata. Con esto se logra que el patrón de interferencia que se registró inicialmente en la emulsión se convierta en una distribución de granos de haluros de plata, esto es, se tiene una modulación del índice de refracción. En el proceso se eliminan los sintetizadores originalmente presentes en la emulsión, con lo que se logra que el resultado obtenido sea bastante estable.

Algunos trabajos en los que se han empleado materiales de haluros de plata se presentan en las referencias [47-49].

CONCLUSIONES

El trabajo presentado permitirá a los especialistas dedicados al tema de la Holografía contar con un material que facilita el conocimiento y la comparación de las principales características de los materiales de registro holográfico más frecuentemente empleados. Lo anterior está avalado por una revisión minuciosa de 49 artículos especializados y 7 referencias generales, en las que se incluyen textos relacionados con el tema de la Holografía.

REFERENCIAS

1. GABOR, D. (1948): "A New Microscopic Principle", **Nature**, 161, 777.
2. _____ (1949): "Microscopy by Reconstructed Wavefronts", **Proc. Roy. Soc., A**, 197, 454.
3. _____ (1961): "Microscopy by Reconstructed Wavefronts: II", **Proc. Phys. Soc., B**, 64, 449.
4. LEITH, E.N. and J. UPATNIEKS (1962): "Reconstructed Wavefronts and Communication Theory", **J. Opt. Soc. Amer.**, 52, 1123.
5. _____ (1963): "Wavefronts Reconstruction with Continuous-Tone Objects", **J. Opt. Soc. Amer.**, 53, 1377.
6. _____ (1964): "Wavefronts Reconstruction with Diffused Illumination and Three-Dimensional Objects", **J. Opt. Soc. Amer.**, 54, 1295.
7. CHANG, B.J. (1976): "Post-Processing of Developed Dichromated Gelatin Holograms", **Optics Communications**, 17(3).
8. _____ (1979): "Dichromated Gelatin for the Fabrications of Holographic Optical Elements", **Appl. Opt.**, 18, 2407-2417.
9. SOLANO, C. and R.A. LESSARD (1985): "Phase Gratings Formed by Induced Anisotropy in Dyed Gelatin Plates", **Appl. Opt.** 24(12).
10. THARAYIL, G.; GEORGEKUTTY and HUA-KUANG LIU (1987): "Simplified Dichromated Gelatin Holograms Recording Process", **Appl. Opt.**, 26(2).
11. KEINONEN, T. and O. SALMINEN (1988): "Influence of Some Development Parameters on the Reflection Grating Structure in Gelatin", **Appl. Opt.**, 27(12), 2573-2578.
12. BLAIR, L.T. and L. SOLYMAR (1991): "Double Exposure Planar Transmission Holograms Recorded in Nonlinear Dichromated Gelatin", **Appl. Opt.**, 30(7), 775.
13. KALYASHOVA, Z.N.; A.G. MICHAILOVA; A.P. PAVLOV; V.S. RYKOV and B.S. CUBA (1991): "High Sensitive Layers of Dichromated Gelatin for Hologram Recording by Continuous Wave and Pulsed Laser Radiation", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1238, 189-194.
14. KUTANOV, ASKAR A.; ASKAR A. AKAEF; BAKTYBEK D. ABDRISSAEV; IGOR A. SNIMSHIKOV (1991): "Local Microholograms Recording on the Moving Photothermoplastic Disk", **Proc. of SPIE - The International Society for Optical Engineering**, 1507, 94-98.
15. KENJI KINOSHITA (1992): "Novel Use of Thermoplastic Plates for Rewritable Holographic Stereograms", **J. Appl. Phys.**, 31(5B), 1677-1681.
16. FUENTES, R.; F. MATEOS and A. FIMIA (1990): "Real Time Interferometry with a Dye-Sensitized Photopolymer as Recording Material", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1319, 249.
17. KIM, D.Y.; LIAN LI; RU. J. JENG; JAYANT KUMAR; MICHAEL A. FIDDY and SUKANT K. TRIPATHY (1993): "Nonlinear Optical Photoresponsive Polymer for Reversible Optical Data Storage", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1853, 23-28.
18. BOIKO, YURY B.; VASILY M. GRANCHAK; LOSIPH I. DILUNG and VLADISLAV YU MIRONCHENKO (1991): "Volume Holograms in Liquid Photopolymerizable Layers", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1238, 258-265.
19. ISHIKAWA, TOSHILARV; Y. KUWABARA; KENICHI KOSEKI and TSUGUO YAMAOKA (1991): "High-sensitive Photopolymer for Large Size Holograms", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1461, 73-78.

20. ZHANG, CUNLIN; MEIWEN YU; YONGYUAN YANG; JUN LI and ERJIAN WANG (1993): "New Initiation System for Photopolymer Holographic Recording Material", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1914, 115-119.
21. MAZURENKO, YURI T.; VLADIMIR S. UDALTSOV; ANDREI V. VENIAMINOV; ERHARD DOPEL and PETER KUHMSTEDT (1993): "Recording and Reconstruction of Femtosecond Light Pulses Using Volume Holograms", **Optics Communications**, 96(4-6), 202-207.
22. DRIEMEIER, W. (1990): "Prepolymer-Based Waveguiding Thin Films for the Holographic Recording of Dry-Developing Refractive-Index Gratings", **Optics Communication**, 76(1), 25-29.
23. HUIGNARD, J. P. and F. MICHERON (1976): "High-Sensitivity Read-Write Volume Holographic Storage in BSO and BGO Crystals", **Appl. Phys. Letters**, 29(9), 591-593.
24. VACHSS, FRED and LAMBERTUS HESSELINK (1986): "Electrogyratory and Electrooptics Coupling in BSO and BGO", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 613, 178-187.
25. ATTARD, A.E. (1988): "Charge Shielding Effects of Photoexcited Mobile Carriers on Occupied Deep Trapping Centers in BSO", **Appl. Opt.**, 27(2), 232-238
26. KANSHILIN, ALEXI A.; ELENA V. MOKRUSHINA, and MIKHAIL P. PETROV (1989): "Adaptive Holographic Interferometers Operating Through Self-Diffraction of Recording Beams in Photorefractive Crystals", **Optical Engineering**, 26(6), 580-585.
27. KAMSHILIN, A.A.; A.A. OLIVA and E. MORENO (1990): "Use of Dynamic Holography to Study the Elastic Properties of Solids", **Sov. Phys. Tech. Phys.**, 35(6), 742-744.
28. BAZHENOV, V. YU.; S.F. LYUKSYUTOV; S.G. ODOULOV and ROLF JUNGEN (1990): "Copper-Vapor Laser with Adaptive Holographic Mirror Based on Photorefractive Crystal", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1273, 48-53.
29. FARIA, S.G.; A.A. TAGLIAFERRI and PAULO ACIOLY M. DOS-SANTOS (1991): "Photorefractive Optical Holographic Correlation Using a BTO Crystal at $\lambda = 632.8$ nm", **Optics Communications**, 86(1), 29-33.
30. DOS-SANTOS, PAULO ACIOLY M. (1991): "Photorefractive Intrinsic Parameters Measured in BTO Crystal at $\lambda = 632.8$ nm", **Optics Communications**, 80(3-4), 225-228.
31. BUSE, K.; L. HOLTSMANN and E. KRAETZIG (1991): "Activation of BaTiO₃ for Infrared Holographic Recording", **Optics Communication**, 85(2-3), 183-186.
32. FREJLICH, J. and P.M. GARCÍA (1992): "Quasipermanent Hole-Photorefractive and Photochromic Effects in Bi₁₂TiO₂₀ Crystals", **Appl. Phys.**, A. 55, 49-54.
33. SOUTAR, C.; W.A. GILLESPIE and C.M. CARTWRIGHT (1992): "Effect of Optical Bias on Grating Formation Dynamics in Photorefractive BSO", **Optics Communication**, 90, 4-6, 329-334.
34. XIAOGUANG, WU; HU XIERONG; SHAO ZHONGSU; CHEN HUANCHU and SHONG, YONGYAN (1993): "Self-Pulsation and chaos in KNSBN Crystal", **Proc. of SPIE-The International Society for Optical Engineering**, 1812, 251-255.
35. KANWAI KAMRA; NATASHA BIRIA and K. SINGH (1993): "Erasure Rate in Photorefractive KNbO₃ induced by Laser Pulses", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 798-799.
36. ZECH, R.G; J.C. DWYER, H. FICHTER and M. LEWIS (1973): "Heat-Processed Photoresist for Holographic Data Storage Applications", **Appl. Opt.**, 12(12), 2822-2827.

37. GERRITSEN, H.J.; M. JEPSEN and C.C. FERIA (1988): "Transmission Diffraction Grating Composed of one Material with Anomalous Dispersion in the Visible", **Appl. Opt.**, 27(13), 2781-2785.
38. MACK, C. A. (1988): "Absorption and Exposure in Positive Photoresist", **Appl. Opt.**, 27(23), 4913-4919.
39. ICHIMURA, K. and Y. OHE (1990): "Highly Sensitive Positive Resist for Holography", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1212, 73-75.
40. SAXBY, GRAHAM (1994): "Practical Holography", Prentice Hall Int. (UK) LTD.
41. LUNA MORENO, D.; A. OLIVARES P. and L.R. BERRIEL-VALDOS (1995): "Estudio sobre el Sesgo de la Curva de Absorción de la Fotorresina Shipley 1350-J", Libro de Resúmenes, V Encuentro Latinoamericano sobre Óptica, Láser y sus Aplicaciones", La Habana (para publicar en las memorias del OPTILÁS).
42. SLINGER, C. W.; A. ZAKERY; P.J.S. EWEN and A.E. OWEN (1992): "Photodoped Chalcogenides as Potential Infrared Holographic Media", **Appl. Opt.**, 31(14), 2490.
43. ROBUR, I. I.; P.F. ROMANENKO; A.V. STRONSKI; L.I. KOSTROVA; P.E. SCHEPELJAVI and S.A. KOSTIOUKEVITCH (1993): "Chalcogenide Layers as Holographic Media", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 593-594.
44. STRONSKI, A.V.; P.F. ROMANENKO; I.I. ROBUR; I.Z. INDUTNYL and P.E. SCHEPELJAVI (1993): "Application of Vitreous Chalcogenides in Diffractive Optics", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1983, 674-675.
45. MATSUMOTO, K.; T. KUWAYAMA; M. MATSUMOTO and N. TANIGUCHI (1986): "Holographic Optical Elements Using Polyvinyl Carbazole Holographic Material", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 9-13.
46. YAMAGISHI, YASUO; TAKESHI ISHIZUKA; TERUO YAGISHITA; KASUMI IKEGAMI and HIROFUMI OKUYAMA (1986): "Holographic Recording Material Containing Poly-N-Vinyl Carbazole", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 14-19.
47. BOONE, PIERRE M. (1986): "Some Problems Associated with Processing Agfa-Gevaert 8E75HD Sheet Film for Reflection Holography", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 600, 172-177.
48. ALIAGA, R.; H. CHUAQUI and P. PEDRAZA (1990): "Archival and Wide Exposure Latitude Process for Holography", **Appl. Opt.**, 29(19), 2861-2863.
49. LOGAK, L.G.; H.H. FASSAKHOVA; N.E. ANTONOVA; L.A. MININA and R.K. GAINUTDINOV (1991): "Ultra-Fine Grain Silver Halide Photographic Materials for Holography on the Flexible Film Base", **Proc. of SPIE- The International Society for Optical Engineering**, 1238, 171-176.

REFERENCIAS GENERALES

- COLLIER, ROBERT J.; CHRISTOPH B. BURCKHARDT and LAWRENCE H. LIN (1971): "Optical Holography", Academic Press, N.Y., 1971.
- STROKE, G.W. (1969): "An Introduction to Coherent Optics and Holography", Academic Press, N.Y.
- GOODMAN, J.W. (1968): "Introduction to Fourier Optics", McGraw-Hill Book Co., N.Y.
- LEHMAN, MATT (1970): "Holography", The Focal Press, London-New York.
- OLIVA, AURELIO A.; ALEKSEI A. KAMSHILIN y VICTOR V. PROKOFIEV (1992): "Registro de Hologramas en C.F.R de $\text{Bi}_{12}\text{TiO}_{20}$ con láser de He-Ne", Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 13(3).

- SOTO N., LEOPOLDO; HERNAN CHUAQUI K. y RENATO SAAVEDRA S. (1995): "Optica, Holografía y Aplicaciones", Comisión Chilena de Energía Nuclear,
- SAXBY, GRAHAM (1994): "Practical Holography", Prentice Hall Int. (UK) LTD, G.B.