

Desarrollo de un sistema automatizado para mediciones de espectroscopía óptica

Development of an automated system for optical spectroscopy measuring.

R. Homs¹, J. Fontanella², E. Purón³, R. Díaz⁴

¹ Departamento de Física, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE). Ciudad de La Habana. Cuba.

² Centro de Investigaciones en Microelectrónica (CIME), Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE). Ciudad de La Habana. Cuba

³ Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales (IMRE), Universidad de La Habana. Ciudad de La Habana. Cuba.

⁴ Facultad de Eléctrica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echevarría (ISPJAE). Ciudad de La Habana. Cuba

RESUMEN / ABSTRACT

El presente artículo resume la labor investigativa que permitió la automatización de un sistema de medición de espectroscopía óptica. El trabajo se desarrolló en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales, IMRE, de la Universidad de La Habana. Se describe la adaptación efectuada al monocromador LOMO MDR-4 que permitió recuperar la capacidad de trabajo automático de su sistema de posicionamiento. Se aborda el desarrollo del circuito de alimentación que hizo posible el control de dicho monocromador mediante una PC a través de la tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008. Aparece reflejada la implementación del instrumento virtual, desarrollado en Labview 7.1, que garantiza el sincronismo de todos los componentes del sistema de medición y la interacción del usuario con dicho sistema desde la PC.

Palabras claves: Automatización, Espectroscopía Óptica, Instrumentación Virtual

The present article summarizes the research work that allowed the automation of an optical spectroscopy measuring system. The work was developed at The Institute of Science and Technology of the Materials IMRE, University of Havana. It describes the adaptation made to the LOMO MDR 4 Monochromator, which made it possible for the recovery/restoration of the automatic working capability of its position system. It refers to the development of the power supply circuit, used to control the aforementioned Monochromator, by using a PC, through the data acquisition board NI-USB6008. It shows the implementation of the virtual instrument, which was carried out /developed in Labview 7.1, which guarantees the synchronism of all the components of the measuring system and the interaction of the user with such system from the PC.

Key words: Automation, Optical spectroscopy, Virtual Instrumentation

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los dispositivos optoelectrónicos basados en semiconductores ha sido, en las últimas décadas, un aspecto científico y tecnológico de gran importancia a nivel mundial, debido a su amplia repercusión en las distintas ramas de la economía, la medicina, la defensa, entre otras. En Cuba se ha desarrollado una importante línea de trabajo en la obtención y caracterización de los mismos, para su posterior utilización en diversos procesos. Entre ellos se encuentran el control de calidad en la industria azucarera, el uso en los equipos médicos de diagnóstico y terapia, la fabricación de detectores nocturnos infrarrojos para la defensa del país y la conversión energética de la luz solar.

En el estudio de los materiales y componentes optoelectrónicos juega un papel fundamental la caracterización óptica de las estructuras desarrolladas. Entre las técnicas más utilizadas resaltan las mediciones de espectroscopía óptica, las cuales permiten obtener una amplia información sobre

propiedades microscópicas y cristalinas de la muestra, sin necesidad de alterarla mediante procedimientos químicos o mecánicos.¹

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Materiales (IMRE), perteneciente a la Universidad de La Habana, se desarrolló en el año 1996 un equipo de terapia luminosa basado en dispositivos emisores de luz (LED), registrado como FOTOTER (No Reg. 79I0B del CECEEM). Para la construcción del equipo, así como para estudiar sus efectos terapéuticos y en general su interacción con los organismos vivos es necesaria la caracterización del dispositivo activo LED. Se requiere por tanto conocer el espectro de emisión y la potencia irradiada por el mismo.

Antes de realizarse este trabajo las mediciones se realizaban punto a punto de forma manual, demorando aproximadamente una hora la obtención de 40 puntos. Esto requería de un papel activo del experimentador en el control del equipo y la adquisición de los datos. Además era necesaria la entrada

manual de los datos a la computadora para su posterior tratamiento y análisis.

Se trazó como objetivo la automatización del equipamiento necesario para las mediciones de espectroscopía óptica. A tal efecto se desarrolló un instrumento virtual que controlara los diferentes dispositivos y mostrara los resultados del experimento.

La espectroscopía óptica

Las mediciones de espectroscopía óptica son técnicas experimentales sólidas, que brindan información de manera indirecta de las propiedades microscópicas de los materiales y/o dispositivos, a partir de relaciones conceptuales entre la estructura de la materia y su interacción con la luz. En el caso de los dispositivos emisores de luz como por ejemplo el *LED*, se puede conocer la potencia de emisión y su grado de monocromaticidad. En general existen varios tipos de mediciones espectroscópicas, el sistema automatizado que se aborda en este artículo es capaz de realizar mediciones de luminiscencia, absorción y reflectancia.

Una ventaja muy importante que brindan la mayoría de estas técnicas es la de ser no destructivas, pues no requieren una preparación previa de la muestra y sólo unas pocas exigen la deposición de contactos por ejemplo: fotovoltaaje, fotocorriente y fotoconductividad. También permiten el análisis de muestras pequeñas, lo cual ayuda a dividir la estructura obtenida en varias partes para ser caracterizada por diferentes técnicas. Además en la rama de la optoelectrónica estas mediciones evalúan directamente las eficiencias de absorción y emisión de dispositivos, la respuesta espectral ante diferentes estímulos, niveles de transparencias entre otros parámetros.

LUMINISCENCIA

El estudio espectral de los diferentes tipos de emisores de luz es de gran utilidad para su posterior uso. Según la fuente de excitación que se emplee se habla de:

- Termoluminiscencia.
- Catodoluminiscencia.
- Electroluminiscencia.
- Fotoluminiscencia.

Una de las aplicaciones más inmediatas del sistema por su vinculación con la producción del FOTOTER era el estudio espectral del *LED*.² En este dispositivo se pone de manifiesto la electroluminiscencia, que no es más que la conversión de energía eléctrica en luminosa en un semiconductor. Este proceso se ocasiona por un proceso de recombinación radiativa de portadores en desequilibrio térmico, como se aprecia en la figura 1.

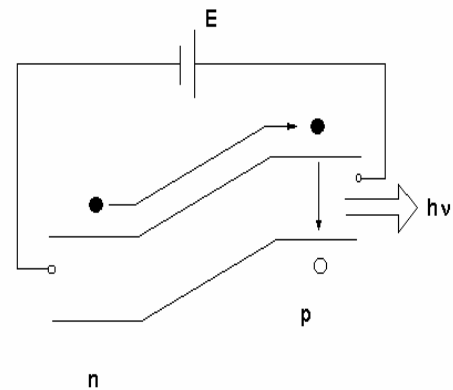


Figura 1: Esquema de recombinación radiativa de una juntura P-N.

Al polarizar en directa una unión p-n disminuye la altura de la barrera de potencial, en consecuencia, el valor del campo eléctrico en la zona de la unión se reduce. Esto conlleva al surgimiento de un flujo de electrones que emigran de la zona n a la zona p y otro flujo de huecos surge simultáneamente pero en sentido contrario. Dado que la movilidad de los electrones es mayor que la movilidad de los huecos, ocurre una recombinación radiativa electrón-hueco en la zona p. Esto trae consigo la emisión de un fotón de energía igual a la diferencia de energía de la zona prohibida del material (gap).

DESCRIPCIÓN DEL MONTAJE EXPERIMENTAL

Durante el desarrollo de la investigación y la puesta a punto del sistema se realizaron mediciones de luminiscencia de un láser He-Ne, lámparas halógenas y *LEDs* de diferentes longitudes de onda³. En la figura 2 se recoge el montaje experimental para la medición de luminiscencia.

El sistema cuenta de los siguientes dispositivos y equipos: fuente de luz a estudiar, troceador (*chopper*), monocromador MDR-4, fotodetector, amplificador rectificador sincrónico (*Lock-in*) SI-500MC, computadora personal, tarjeta de adquisición de datos y circuito de control.

La luz proveniente de la fuente es modulada por el *chopper* convirtiéndola en una señal cuadrada a una frecuencia fijada por el experimentador, esta señal es enfocada a la entrada del monocromador por una lente convergente. Dentro del monocromador el haz viaja por un sistema óptico que lo reduce a la salida a un haz monocromático que es censado por el fotodetector. Al *Lock-in* entran la salida del fotodetector y la señal de referencia generada por el *chopper*. Este equipo es controlado de manera remota desde el instrumento virtual a través del puerto serie de la computadora. El instrumento virtual además se ocupa del control de la longitud de onda del haz de salida del monocromador mediante la tarjeta de adquisición de datos y el circuito de control que actúa sobre el sistema de posicionamiento del monocromador.

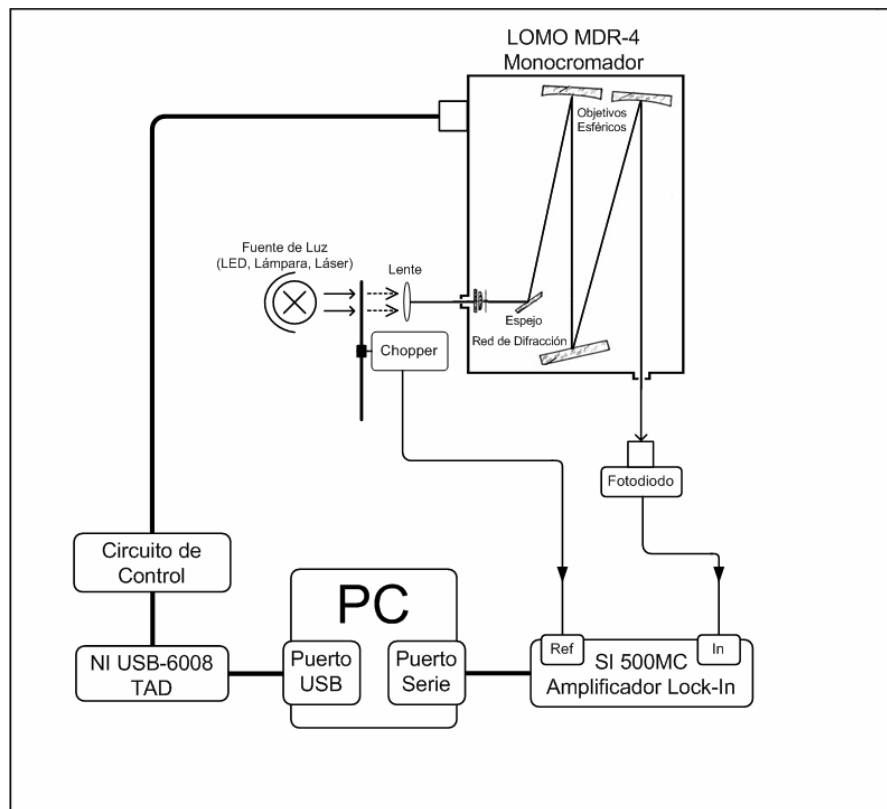


Figura 1. Montaje experimental de la medición de luminiscencia.

MONOCROMADOR

El monocromador es un equipo que proporciona un haz de luz con una longitud de onda y una anchura de banda dadas. De manera general el funcionamiento de estos equipos se basa en hacer incidir en la rendija de entrada un haz policromático (múltiples longitudes de onda) proveniente de una fuente de luz. Este haz es dirigido y colimado por espejos y/o lentes hasta un elemento de dispersión (red de difracción de tipo especular) como se observa en la figura 3. Con este proceso de colimación se logra un mayor paralelismo de los rayos que inciden en la red lo cual disminuye el intervalo de longitudes de onda que satisfacen la condición de máximo de interferencia.⁴ Por último otro grupo de dispositivos ópticos se encargan de focalizar el haz deseado en la rendija de salida.

El funcionamiento de un monocromador comprende tres aspectos correlacionados: pureza de la radiación de salida, resolución y poder de captación de luz. En un monocromador se requiere un poder de dispersión grande y un alto poder resolutivo, para medir con precisión las líneas discretas en los espectros de emisión o absorción atómica y para obtener los espectros de bandas angostas de absorción molecular.

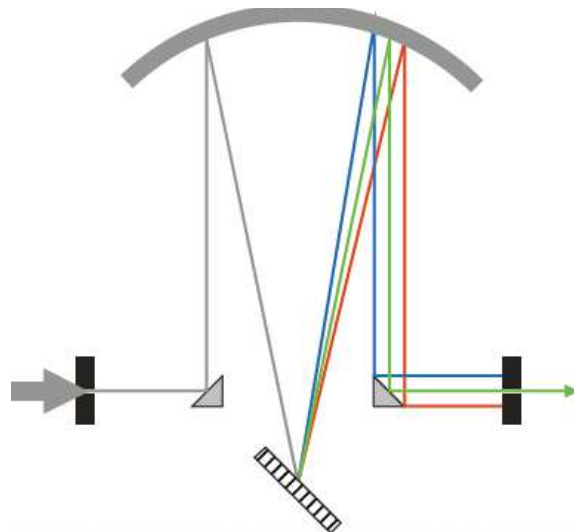


Figura 3: Esquema básico de un monocromador.

La potencia de radiación de una fuente luminosa policromática está dada por la sumatoria de las potencias en cada longitud de onda que contiene. Por tanto al atravesar el haz de la fuente luminosa al monocromador, el haz de salida que contiene un número mucho menor de longitudes de onda tendrá por ende una potencia menor.

CIRCUITO DE CONTROL

El circuito mostrado en la figura 3.18 consta de una interfaz con un circuito **LS7404**. Las compuertas *NOT* de este circuito actúan como *buffers* entre la tarjeta de adquisición de datos NI-USB6008 y los transistores (SD339), así como entre la tarjeta y los interruptores de inicio y fin de carrera, cumpliendo la función de un bloque primario de aislamiento y protección. En la figura 4 se muestra el circuito.

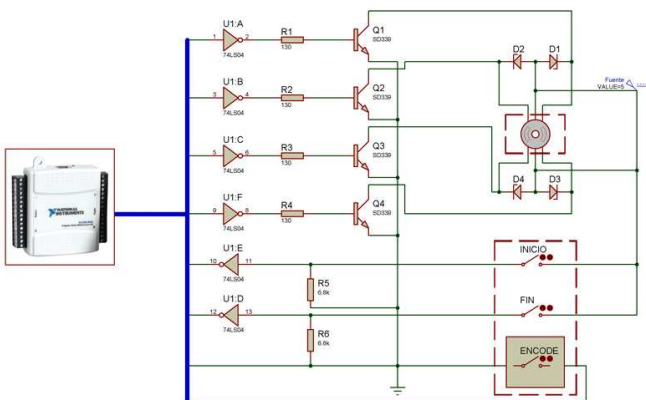


Figura 4: Circuito de control y potencia implementado en este trabajo.

El sistema de posicionamiento del monocromador que genera un pulso cada un nanómetro es conectado directamente entre la tierra y una entrada de la tarjeta, pues al no estar alimentado con la tensión de la fuente no hay posibilidad de una sobre tensión en la tarjeta que provoque su ruptura. Los elementos que aparecen en la figura enmarcados por líneas discontinuas no pertenecen al circuito pues se encuentran ubicados en el interior del monocromador.

AMPLIFICADOR LOCK-IN

Cuando se desean medir señales muy débiles, como las que se obtienen a la salida del monocromador, es necesario primero amplificar la señal, hasta alcanzar los niveles de trabajo de las posteriores etapas de medición. Si la información en la señal se encuentra en su componente de CD y varía lentamente en el tiempo, como es el caso de la intensidad luminosa, la medición será fuertemente influenciada por el ruido de tipo $1/\omega$.

Este problema se puede evitar modulando la señal a medir con un proceso periódico, con lo cual se obtiene una señal de CA, cuya amplitud es proporcional a la magnitud de interés. No obstante esta forma de medición no es inmune al ruido mezclado con la señal, después del proceso de modulación. Un grado adicional de inmunidad se logra con la detección sincrónica, la cual permite extraer la componente de CA cuya frecuencia y fase sean iguales a la de una señal de referencia, atenuando sensiblemente las demás componentes mezcladas. Al utilizar como referencia la señal de modulación, proveniente del chopper, se extrae la magnitud de interés con un mayor grado de pureza. El Amplificador Rectificador Sincrónico, más conocido en la literatura como Amplificador *Lock-In* o *LIA* (*Lock-In Amplifier*), se basa en este principio.

Estas técnicas permiten detectar señales varios órdenes de magnitud inferior al ruido, de unos 60 dB en equipos convencionales analógicos y hasta 100 dB en los equipos digitales modernos.^{4,5}

INSTRUMENTO VIRTUAL

En el estudio bibliográfico realizado se encontraron ejemplos de aplicaciones con monocromadores basadas en instrumentación virtual.⁶ No se encontró ninguna referencia de un instrumento virtual que abarcara completamente el sistema de medición planteado.

El instrumento virtual se implementó de forma modular en cuatro grandes grupo de funciones:

- Funciones para la atención del monocromador.
- Funciones para la atención al *lock-in*.
- Funciones para la atención al usuario.
- Variables Globales.

En la figura 5 se muestra el diagrama de interacción entre los módulos del programa y la comunicación del programa con los dispositivos externos.

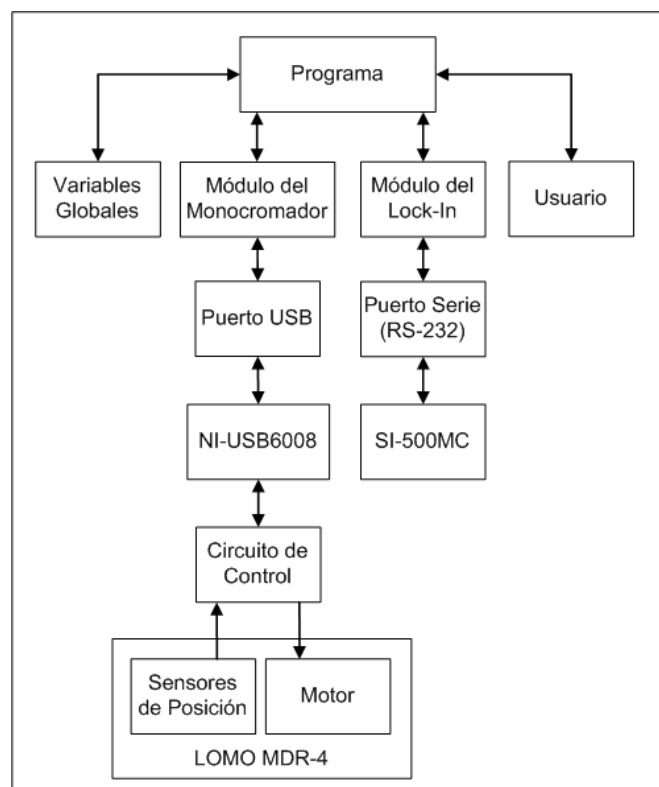


Figura 5: Diagrama de flujo del sistema de automatización.

El módulo de variables globales es el encargado de almacenar todas las variables necesarias para el intercambio de información entre los restantes módulos.

El módulo del monocromador se ocupa de controlar el movimiento del sistema de posicionamiento del equipo hacia una determinada longitud de onda. Este control se realiza a través de la tarjeta de adquisición de datos y el circuito de control.

El módulo del *lock-in* envía y recibe los comandos necesarios para su configuración y para la adquisición de los datos. Los comandos son enviados de acuerdo al protocolo implementado en este equipo, el cual se basa en un grupo de caracteres de control.

El módulo de atención al usuario es el encargado de realizar las diferentes funciones de interés para el usuario como son:

- Configurar el intervalo y paso de la medición.
- Configurar el *lock-in*.
- Configurar el puerto serie.
- Guardar los datos.
- Guardar y cargar la configuración del *lock-in*.

Por último, el programa principal es el encargado de mantener el sincronismo entre los diferentes módulos.

Módulo del monocromador

Este módulo es el encargado del movimiento del monocromador en longitudes de ondas absolutas en la escala de 998 nm a 403 nm que corresponde con el intervalo de trabajo del equipo. Para lograr este objetivo se diseñaron un grupo de funciones que van desde el movimiento de un paso hasta el movimiento a una longitud de onda determinada.

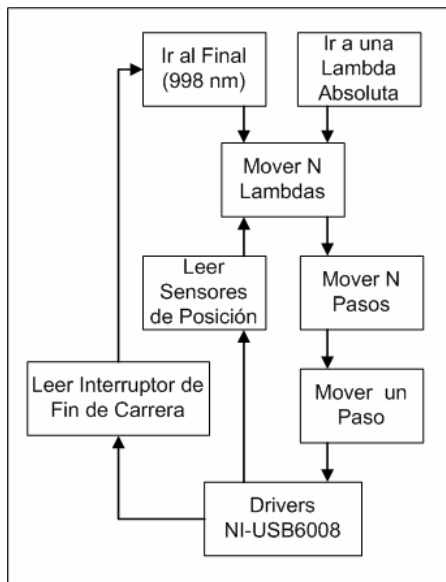


Figura 6: Diagrama de flujo de las funciones del módulo del monocromador.

En la figura 6 se muestra el diagrama de flujo del módulo, donde se observan las interacciones entre las funciones que lo conforman. Como se puede observar el trabajo de forma

modular permite una simplificación de código en la materialización de movimientos de mayor complejidad.

Las funciones básicas son las únicas que interactúan directamente con los drivers de la tarjeta de adquisición de datos. Estas funciones son:

- Mover un paso a la izquierda o a la derecha.
- Leer el estado de los interruptores de inicio (403 nm) y fin de carrera (998nm).
- Leer el estado del sistema de posicionamiento (hercones).

Módulo del *lock-in*

En este módulo se desarrollaron un grupo de funciones con el objetivo de interactuar con el amplificador *lock-in* SI-500MC. Este basa su protocolo de comunicación en cadenas de caracteres *ASCII*. Cada comando comienza con un carácter que lo identifica el cual puede estar seguido por uno o dos números separados por una coma. En el caso de que se envíe solamente el carácter inicial el comando es interpretado como lectura del parámetro y en el caso de estar acompañado por un número el comando es interpretado como escritura. En cada función se envía por el puerto serie previamente abierto, la cadena correspondiente para cada uno de los parámetros sobre los que se actúa.⁷

Módulo del usuario

La interfaz gráfica fue desarrollada en Labview 7.1. En la figura 7 se muestra la ventana principal luego de terminada una medición de luminiscencia de una lámpara halógena. Además se implementó un menú por el que se puede acceder a la ayuda, generar el reporte de la medición, guardar la configuración del *lock-in*, cargar una configuración de *lock-in* y configurar el puerto serie.



Figura 7: Ventana principal.

El amplificador *lock-in* SI-500MC tiene la posibilidad de ser utilizado de forma remota. De este modo se deshabilita su panel frontal evitando cualquier accidente que pueda producirse al tocarlo. Los parámetros que son necesarios modificar en este tipo de mediciones son los siguientes: escala, *offset*, fase, filtros de línea, expansión y constante de tiempo de integración. Estos parámetros fueron incluidos en la ventana de configuración del *lock-in* figura 8.

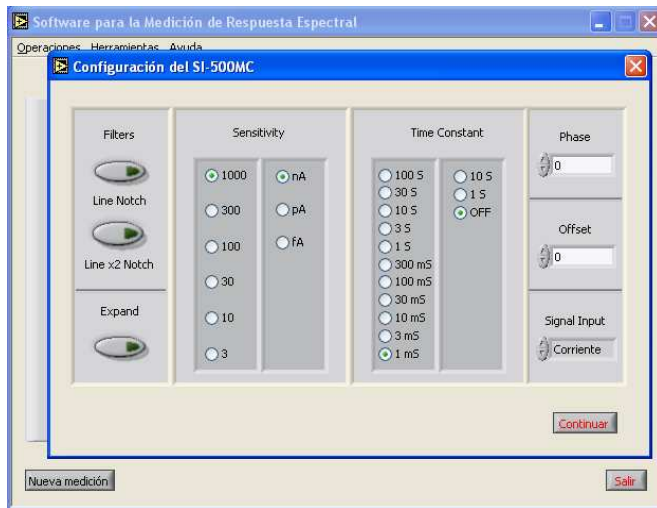


Figura 8: Ventana de configuración del SI-500MC.

El monocromador MDR-4 consta de tres redes de difracción intercambiables manualmente, las cuales varían el intervalo de trabajo del equipo. Las redes son de 600, 1200 y 2400 rayas/mm. El monocromador consta solamente de un indicador de la longitud de onda. Este indicador está calibrado para la red de difracción de 1200 rayas/mm. Cuando se utiliza una de las otras, hay que multiplicar el valor del indicador por un factor; en el caso de 600 por 2 y en el caso de 2400 por 0.5.

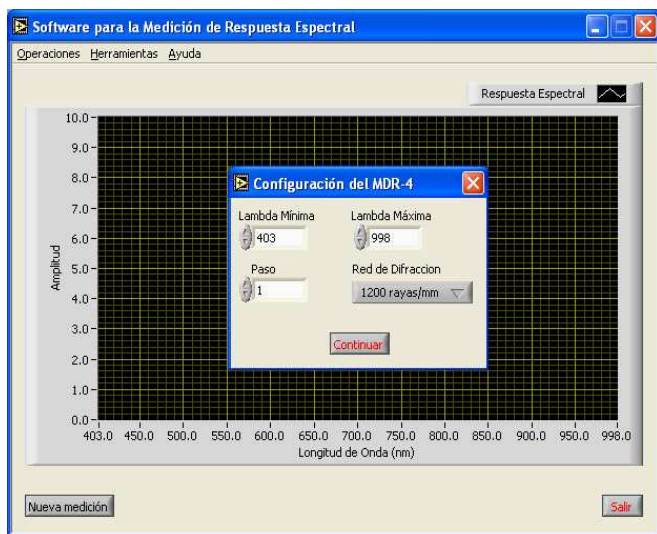


Figura 9: Ventana de configuración del MDR-4.

Para facilitar el cálculo necesario en el cambio de red de difracción se implementó una ventana (figura 9), donde el usuario puede seleccionar la red que se está utilizando. Este control que permite la selección de la red, actúa sobre los controles donde se fija el intervalo de barrido (λ máxima y mínima) y sobre el paso que se utiliza, o sea los reajusta a los valores correspondientes.

RESULTADOS

Se realizaron mediciones espectrales de luminiscencia a las siguientes fuentes de luz: láser He-Ne, lámpara halógena y LED. Los datos obtenidos del instrumento virtual fueron graficados como se muestra en las figuras 10, 11 y 12.

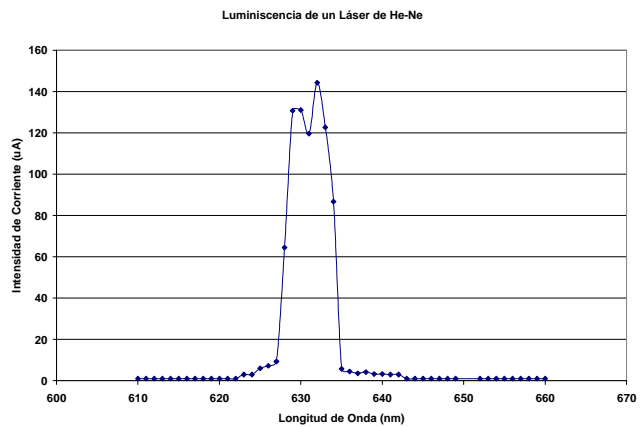


Figura 10: Luminiscencia de láser He-Ne.

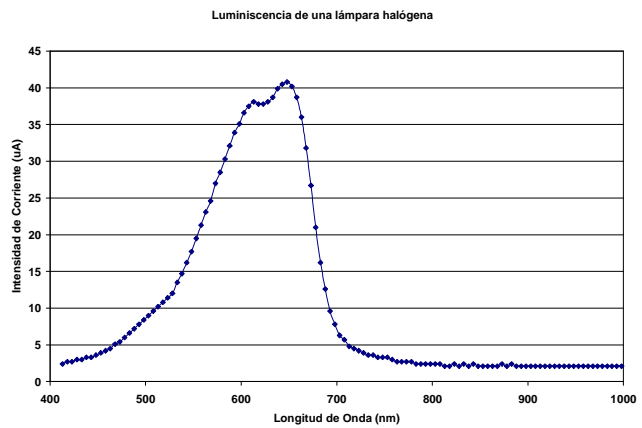


Figura 11: Luminiscencia de una lámpara halógena

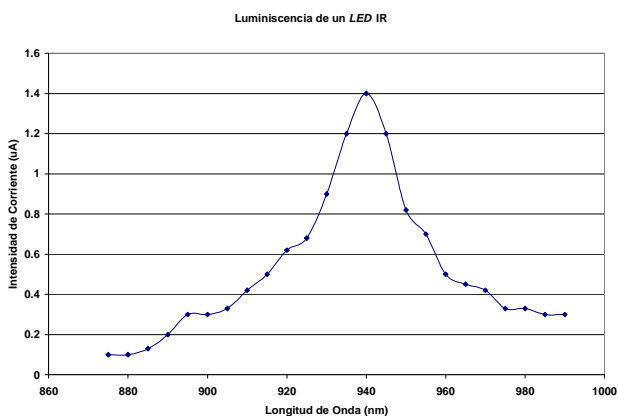


Figura 12: Luminiscencia de un LED Infrarrojo

El sistema implementado probó ser efectivo en la medición espectral de luminiscencia pues los resultados obtenidos concuerdan con las predicciones teóricas:

- La respuesta espectral del láser es estrecha en el entorno de la longitud de onda a la que fue diseñado con una fuerte atenuación en el resto del espectro.
- La lámpara de halógeno presenta una respuesta en forma de campana en la zona visible del espectro y atenuada en las zonas ultravioleta e infrarroja.
- El LED presenta también una respuesta espectral en forma de banda estrecha de menor monocromaticidad que el láser.

CONCLUSIONES

A partir del trabajo realizado se recuperó la potencialidad de movimiento automático del sistema de posicionamiento del monocromador MDR-4. Se implementó la configuración remota del amplificador *lock-in* SI-500MC, permitiéndose almacenarla en un fichero. Se desarrolló la opción de generar el reporte de la medición. Al adquirir los datos de manera automática se eliminaron los errores de carácter subjetivo que son introducidos por el experimentador cuando se realiza la medición de forma manual. Se disminuyó notablemente la interacción directa del experimentador con los equipos, lo cual se traduce en un aumento de su vida útil. Se comprobó de manera experimental el correcto funcionamiento del sistema de medición a partir del estudio de fuentes luminosas conocidas.

REFERENCIAS

1. **Ariza H.**: “Fabricación y caracterización óptica de materiales semiconductores para aplicaciones en optoelectrónica”. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 27(104): 357-368. 2003. ISSN 0370-3908.
2. **Hoeh, M.**: Optical properties of semiconductors, Imperial College London, February 2006.

3. **Fontanella, J.; Homs, R.**: “Aseguramiento técnico y de programa para las mediciones de respuestas espectrales”, Tesis de grado, ISPJAE, La Habana 2008.
4. **Homs, A.**: “Sistema para la automatización de medición espectral de reflectancia”, Tesis de Maestría, Facultad de Física, UH, 1999.
5. **Noda, C.**: “Sistema de Medición de la Línea de Irreversibilidad en Superconductores de Alta Tc”, Tesis de Maestría, Facultad de Física, UH, 1999.
6. **J. Acosta, S. Oliveros, N. L. Forero**: “Diseño y Construcción de un Monocromador Controlado con Labview”. Revista Colombiana de Física, Vol. 38, No. 4, 2006 1655
7. “Operating Instructions for the model SI-500 Lock-In Amplifier, Scitec Instrument”, 1992.

AUTORES

Roberto Javier Homs Purón

Ingeniero en Automática. Se desempeña como docente en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

rhoms@electronica.cujae.edu.cu

Jaime Fontanella Lauzardo

Ingeniero en Automática. Se desempeña como docente en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.

jaime.fl@electronica.cujae.edu.cu

Esperanza Purón Sopena

Licenciada en Física. Master en Física. Investigador Titular. Se desempeña como investigador en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Materiales IMRE, Universidad de La Habana. Investigaciones en la interacción de la luz con la materia orgánica.

epuron@imre.oc.uh.cu

René Joaquín Díaz Martínez.

Ingeniero Electrónico, Especialista en Sistemas Digitales, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Titular.

Sus investigaciones abarcan el diseño de sistemas electrónicos basados en la técnica de los microprocesadores y de controladores o drivers en lenguaje ensamblador sobre Windows NT, el diagnóstico de circuitos LSI y VLSI, el estudio de la mantenibilidad electrónica, así como la enseñanza basada en proyectos (PBL) de asignaturas de postgrado.

renejdm@electronica.cujae.edu.cu