

Dispositivo recortador de luz láser de bajo costo controlado por LabVIEW

L.E. Blanco-Tapia¹, A.I. Benítez-Aguilera¹, A.B. De la Rosa-Zapata¹, J. Ortega Gallegos²
y J.V. González-Fernández^{1,*}

¹Instituto Tecnológico de San Luis Potosí, Av. Tecnológico s/n, CP 78376,
Soledad de Graciano Sánchez, SLP, México

²Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
Av. Karakorum 1470, CP 78210, San Luis Potosí, SLP, México

*email: *fanogf@gmail.com*

Resumen

En este trabajo se reporta la fabricación de un dispositivo recortador de onda basado en LabVIEW. El dispositivo consiste en usar pulsos ópticos infrarrojos para controlar la velocidad de una hélice con un motor de corriente continua operado a 6 V. Con un punto de prueba estimado de 1000 rpm, se hace girar una hélice con 12 aperturas para controlar una frecuencia de giro exacta por medio de un sistema retroalimentado en configuración control PID, de esta manera obtenemos pulsos que tienen forma y frecuencia particular controlada.

Por medio de la tarjeta de bajo costo NIDAQ-USB6002, en LabVIEW se utilizan las herramientas de programación para detectar la frecuencia del giro, realizar el análisis y procesamiento para variar el voltaje de salida de tarjeta que alimenta al motor y controlar la velocidad de rotación. La funcionalidad del sistema fue corroborada al utilizar el dispositivo para realizar una caracterización espectroscópica por fotorreflectancia.

Palabras clave: Recortador de onda, Frecuencia, LabVIEW, Espectroscopía.

Abstract

In this work, we report the manufacture of a mechanical optical chopper device based on LabVIEW. The device uses infrared optical pulses in order to control the speed of a slotted disc with a DC motor operated at 6 V. With an estimated frequency of 1000 rpm as a test point, a slotted disc with 12 apertures, is rotated to control the rotation frequency by means of a feedback system in a PID control configuration; in this way, we obtain pulses that they have a particular well controlled shape and frequency. Through the low-cost NI-DAQ-USB6002 Multifunction Device, we used the LabVIEW programming tools in order to detect the disc rotation frequency, performing the analysis and processing to vary the DAQ output voltage that feeds the motor and control the rotation speed. The functionality of our device was corroborated by performing a modulated spectroscopic characterization of a semiconductor crystal such as photorefectance spectroscopy.

Keywords: Mechanical optical chopper, Frequency, LabVIEW, Modulated spectroscopy.

1. Introducción

El recortador de onda es uno de los instrumentos más utilizados en los experimentos propios de la caracterización óptica de una amplia gama de líneas de investigación en ciencia de materiales, ya sean orgánicos o inorgánicos. Específicamente, este dispositivo se utiliza para la generación de pulsos de un haz de luz que en ocasiones funge como modulador del campo eléctrico interno de un semiconductor o como referencia para una señal analizada por un amplificador de tipo lock-in. [1,2]

El uso del recortador de onda permite discriminar el ruido de fondo que regularmente tiene origen en señales eléctricas como fuentes de alimentación o ruido eléctrico de la compañía que suministra la energía; o señales ópticas como la iluminación del laboratorio o la misma luz natural que entra al experimento. La modulación referida normalmente requiere que los tiempos de obturación sean simétricos, es decir, que el tiempo en el que el dispositivo permite el paso de la luz, sea el mismo tiempo que evita el paso de esta; el ciclo de trabajo entonces es del 50%. Para el diseño del recortador de onda se requiere tomar en cuenta los límites superior e inferior de la frecuencia deseada. Esto conlleva a una elección correcta del motor, en este caso de corriente directa, así como el diseño del aspa en términos del radio y cantidad de obturaciones que debiera tener para alcanzar la frecuencia requerida.

Para el caso de aplicación y prueba del instrumento, se decidió utilizarlo para realizar una caracterización óptica de tipo fotorreflectancia (FR). La técnica se aplicó a una muestra de un semiconductor II-V, en este caso GaAs (Arsenuro de Galio) dopada tipo-n. Brevemente, la FR es una técnica de espectroscopía modulada libre de contactos eléctricos y de preparación especial. Es utilizada para conocer los efectos de los estados superficiales, los campos eléctricos internos de estructuras semiconductoras, calidad interfacial, entre otros. [3,4] Para ampliar la teoría sobre la técnica de FR, se recomienda revisar las referencias [5,6]. En este caso las mediciones se realizaron a temperatura ambiente para efectos de practicidad y para comprobar el control implementado en el dispositivo aquí reportado.

2. Disco de obturación

El diseño partió considerando un motor sencillo, de bajo costo y de corriente continua con capacidad de alcanzar velocidades de hasta 85 revoluciones por segundo. A continuación se tomó en cuenta la frecuencia requerida para la aplicación de caracterización por FR que normalmente es de poco menos de 100 Hz hasta poco más de 1,000 Hz, esto dependiendo del tipo de muestra y los efectos que se quieran observar a través de la caracterización. Para abarcar un amplio rango de posibilidades se decidió abarcar todo rango mencionado y con esto proporcionar características de versatilidad en el recortador de onda.

Para los cálculos de la cantidad de orificios en el disco de obturación se requiere considerar la siguiente relación:

$$F_{Max} = v * N, \quad (1)$$

donde F_{Max} es la frecuencia máxima que se podría lograr, v es la máxima velocidad de rotación que se obtiene con el motor y N el número de orificios en el disco de obturación. Para el caso del dispositivo en diseño la frecuencia máxima requerida es de 1,000 Hz y se tiene una velocidad del motor de 85 rps, por lo que el número mínimo de orificios simétricos N que se deben tener es de mínimo 12. El radio requerido para obtener esta cantidad de orificios es de 26.00 mm para una ventana de paso del haz de luz de 5.74 mm de ancho lo que permite una suficiente holgura en el paso del láser cuyo diámetro del haz comúnmente

es menor a lo referido. Con esta información se diseñó el disco (ver Fig. 1) por medio del software comercial de diseño SolidWorks.

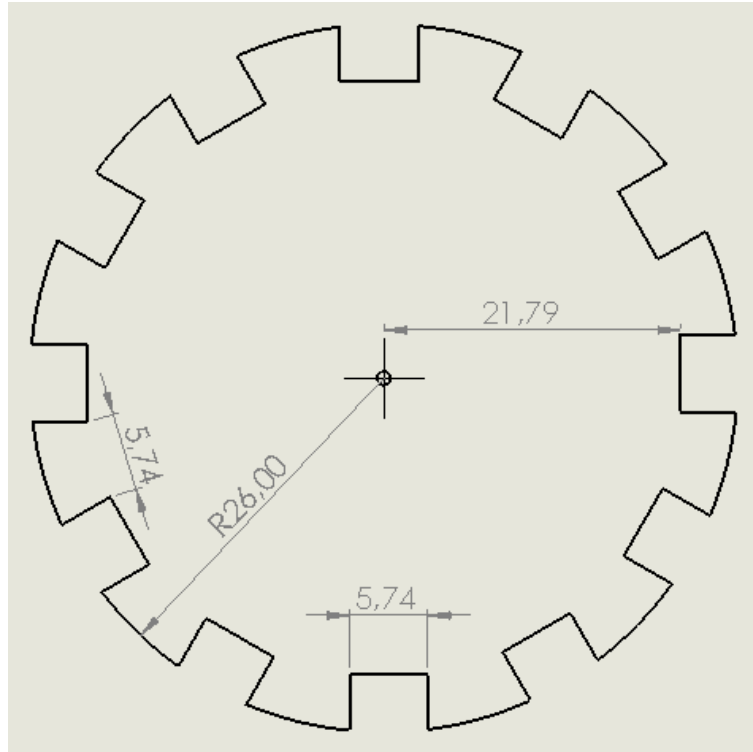


Figura 1: Dimensiones del disco de obturación con 12 ranuras cuyo diseño se realizó utilizando la paquetería de SolidWorks. Las dimensiones referidas están dadas en milímetros.

Con los archivos generados por el software de diseño, se procedió al trabajo de impresión en 3D del disco de obturación. La imagen del disco real se muestra en la Fig. 2 con una modificación técnica que consiste en remover la parte exterior de las secciones de obturación para efectos de libertad de acción del sensor de retroalimentación del control PID. Además de este ajuste, se le colocó de un tornillo para adherir el disco al eje de rotación del motor.

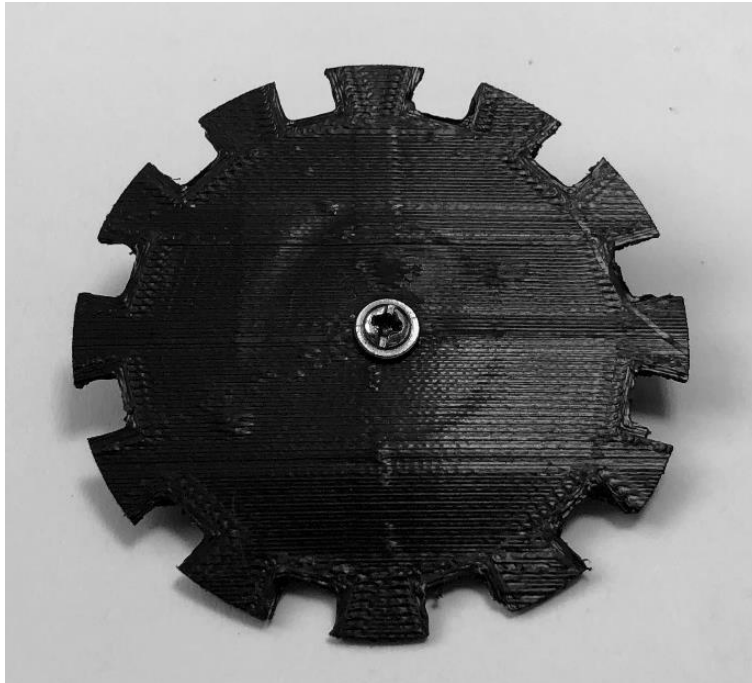


Figura 2: Fotografía del diseño impreso en 3D del disco de obturación contemplando la modificación de la sección externa de obturación y la adhesión de un tornillo para soporte al eje de rotación del motor.

3. Etapa de potencia

El motor utilizado fue extraído de un ventilador de escritorio que se alimenta por medio de un puerto USB de computadora. La fuente de alimentación para el ventilador era el puerto USB, es decir 5.1 V de corriente continua y hasta 1 A, sin embargo se optó por el uso de una fuente de poder externa para para alimentar el motor y la regulación de corriente continua en una etapa amplificador emisor común de un TIP 122 (Q1) a fuente de 6V.

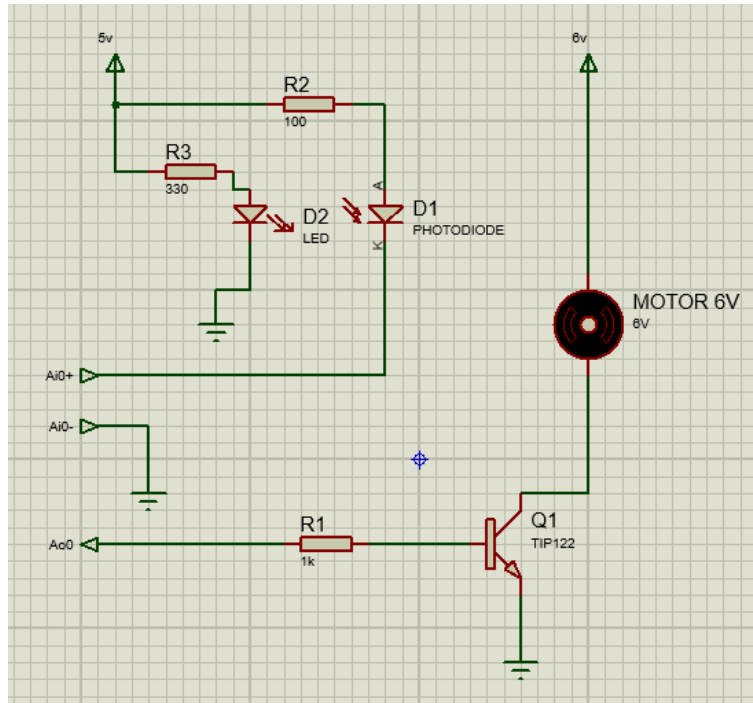


Figura 3: Diagrama de etapa de potencia al motor excitado por el colector de un TIP122 en configuración emisor común a la base, en serie una resistencia limitadora de 1,000 Ohms conectado en serie a la salida analógica de la NI-DAQ.

La velocidad de rotación del motor es obtenida a partir del fotodiodo (D1) que se activa al recibir un estímulo del diodo emisor de luz (D2) al observar o no una obturación por las aspas del disco. La señal generada por ambos diodos sirve de entrada para la tarjeta NIDAQ-USB6002 de National Instruments [7] que en este caso se toma como entrada analógica correspondiente a Ai0, misma que será procesada por el software de control.

4. Programación del Control en LabVIEW

La señal de la velocidad del motor referenciada a la entrada Ai0 de la tarjeta es interpretada por un software de control, en este caso por LabVIEW de National Instruments.

Este parámetro es convertido a frecuencia y servirá como la variable a manipular por un control de tipo PID implementado en el mismo software. El ajuste del voltaje de salida es creado en el programa a necesidad e inyectado a la base del transistor con el propósito de manipular la velocidad de rotación del motor, la frecuencia la podemos ajustar en el software como nuestro valor objetivo.

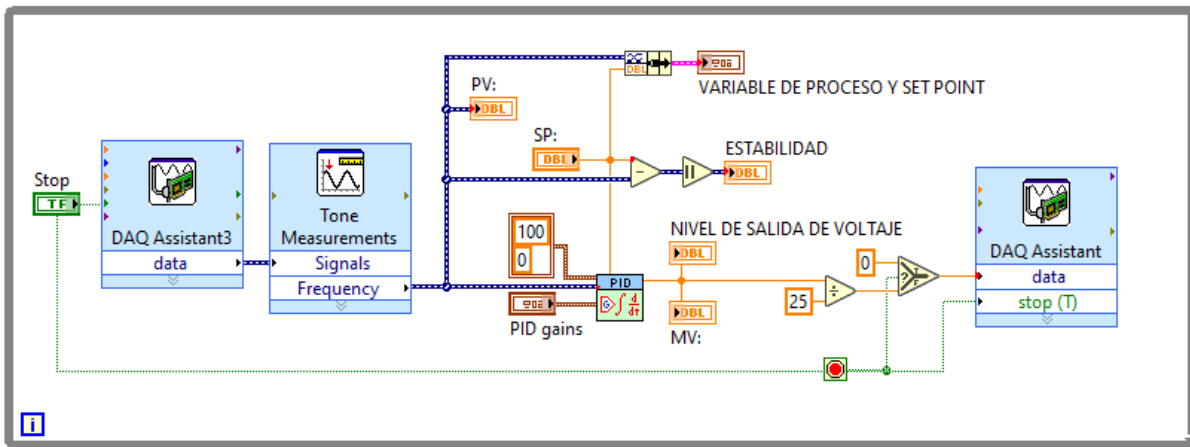


Figura 4: Diagrama de bloques del control PID implementado en LabVIEW utilizando subrutinas de tipo VI-Express de fácil acceso y manipulación de la tarjeta DAQ.

Se utilizó un VI-Express de procesamiento de señales que en este caso arroja el valor de la frecuencia en que se encuentra muestreando el recortador de onda. Los valores $K_c=0.010$, $T_i=0.009$ y $T_d=0.001$ para este control PID son mostrados en el ejemplo práctico de la aplicación del sistema en pleno uso (ver Fig. 5.) Para un apropiado funcionamiento del control, se determinó que en lugar de que la variable de manipulación estuviera de 0 a 6 (haciendo referencia al Voltaje de operación del motor), ésta fuera de 0 a 100. Una vez que el control se ha realizado por el PID, este porcentaje del nivel de salida de voltaje es

reconvertido la escala de alimentación del motor y enviado al puerto de salida Ao0 de la tarjeta NI-DAQ.

5. Resultados experimentales

Al iniciar el programa se mantiene activo todo el tiempo haciendo que los datos sean instantáneos debido al ciclo while implementado y mostrado en la Fig. 4, la frecuencia y el ancho de la señal son recolectados por la NI DAQ entonces LabVIEW hace una comparación de ajuste del valor y la diferencia se multiplica por un factor, el cual es el valor ajustado para la tensión del motor, en este caso 6 V. Se retroalimenta el valor del voltaje en diferencia proporcional y se envía dicho resultado a la salida que controla la base del transistor TIP122 (ver Fig. 3). Todo el procesamiento controlado por LabVIEW se muestra en la Fig. 4 que corresponde al Panel Frontal en modo ejecución, en el cual se observa el seguimiento de la variable proceso (PV, en rojo) al valor requerido (SP, en azul). Un procesamiento como este difícilmente alcanza con exactitud el valor objetivo, sin embargo los resultados mostraron un porcentaje de error del 0.1 %, lo que significa una cantidad menor a la aceptable para la aplicación de caracterización por espectroscopías.

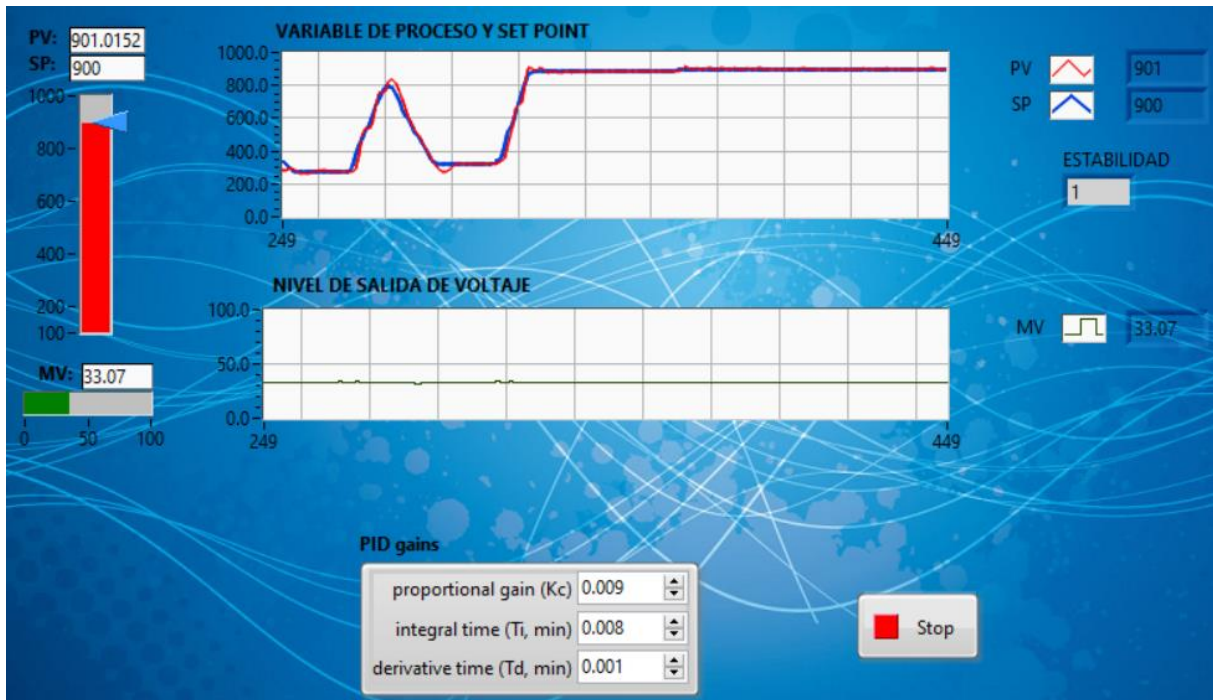


Figura 5: Panel Frontal del control PID en LabVIEW en el que se aprecian los parámetros y las gráficas de la variable de proceso y set point en unidades de Hz, así como el nivel voltaje de salida porcentual. El SP es manipulado (azul) para observar que el VP (rojo) logra el objetivo de seguimiento por una diferencia máxima negligible de 1 Hz.

El dispositivo recortador de onda se muestra en una imagen real y en funcionamiento (ver Fig. 7). Es importante mencionar que se acopló un láser semiconductor rojo con una longitud de onda de 635 nm con el cual se realizaron las pruebas de caracterización por FR. También se observa el motor del disco obturador sostenido por un vástago flexible, el acople de los diodos emisor y receptor detectando las obturaciones en la parte posterior, la alimentación y el bus de datos a la tarjeta DAQ y la caja con el cableado y la etapa de potencia.



Figura 6: Imagen real del dispositivo recortador de onda en funcionamiento.

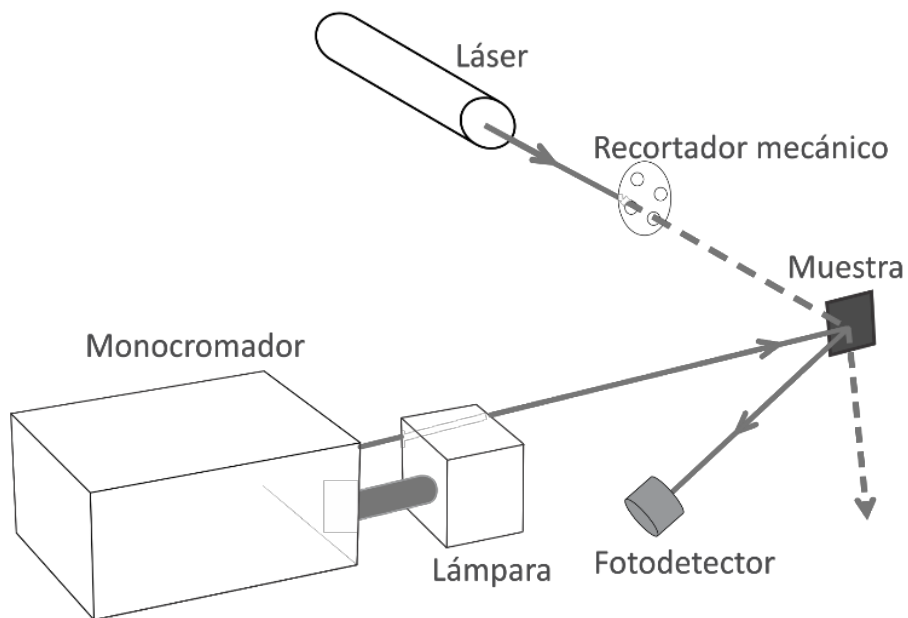


Figura 7: Arreglo experimental de la técnica de caracterización óptica por fotorreflectancia. Se observa la colocación del recortador de onda mecánico interpuesto entre el láser de bombeo óptico y la muestra semiconductor.

El arreglo experimental de FR a temperatura ambiente en donde se implementó el dispositivo se muestra en la Fig. 7. En donde se observa que el recordador de onda mecánico tiene una función primordial al ser interpuesto entre el láser de bombeo óptico y la muestra semiconductor para efectos de la modulación del campo eléctrico interno.

La muestra semiconductor utilizada para realizar la caracterización es una sección de oblea comercial de GaAs dopada tipo-n. El resultado de la medición es como se esperaba obteniendo la forma de oscilación propia consistente con la literatura que reporta la caracterización óptica por fotorreflectancia a temperatura ambiente.[8] La energía asociada a la banda prohibida del GaAs es de 1.42 eV, como se muestra en la Fig. 8.

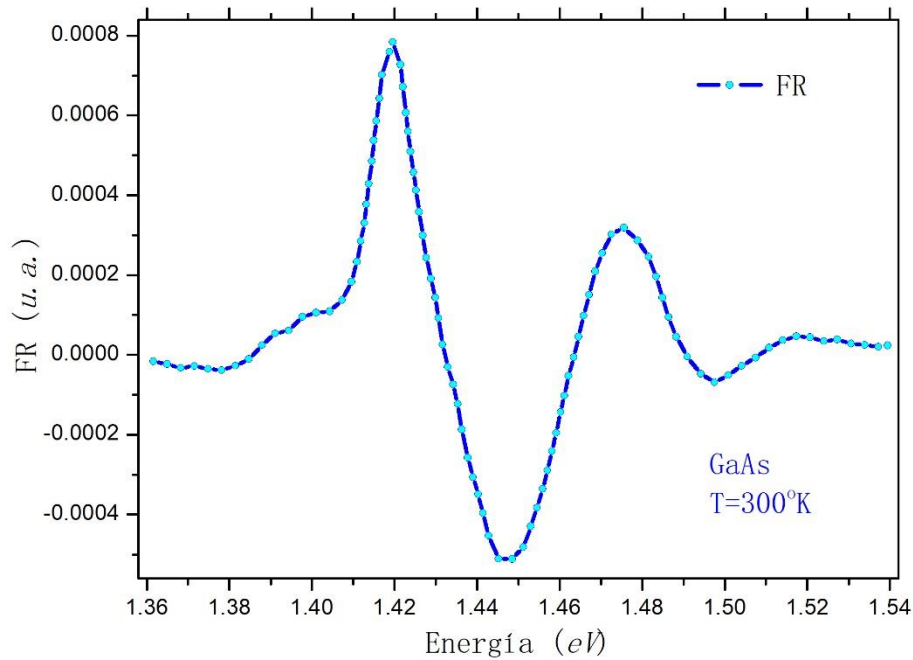


Figura 8: Espectroscopía por fotorreflectancia de GaAs-n medida a temperatura ambiente utilizando el dispositivo recortador de onda desarrollado en un sistema calibrado de medición.

6. Conclusiones

En este artículo se presenta la construcción de un dispositivo mecánico recortador de onda basado en LabVIEW. La principal característica es el bajo costo por utilizar materiales de insumo electrónico de uso común, exceptuando la tarjeta NI-DAQ con la que normalmente cuentan los laboratorios de electrónica para efectuar prácticas escolares. Se presentan los diagramas de diseño y de programación que pueden ser replicados en laboratorios de espectroscopías, representando un ahorro promedio mayor al 80 % con respecto a los dispositivos comerciales. Su eficacia fue demostrada al observar su rápida respuesta y estabilidad obtenidas por el control PID implementado. Una capacidad adicional que tiene la presente propuesta radica en la versatilidad del cambio del disco recortador a diseño personalizado de la aplicación, ya que en diversas aplicaciones puede surgir la necesidad que el ciclo de trabajo requiera ser o bien menor o en su caso superior al 50% que al inicio de este documento se señala como valor de referencia en la alternativa de solución. Casos como en aplicaciones biológicas sería un ejemplo típico de esta observación, en donde el tiempo de exposición a la radiación resulta relevante en los resultados de la medición. Si bien, en los instrumentos comerciales, esta posibilidad es ofrecida, con un incremento sustancial en el producto, llegando a duplicarse el costo del modulador mecánico, en nuestra propuesta el cambio del disco recortador diseñado a modo resulta muy fácil de ser implementado sin requerir un aumento del costo de manera significativa. Como complemento a las pruebas mencionadas, se realizó una espectroscopía por FR con la que se obtuvieron las curvas esperadas y reportadas en la literatura por lo que la implementación del dispositivo recordador diseñado es estable y confiable.

Referencias

- [1] K. Sköld, A mechanical correlation chopper for thermal neutron spectroscopy, *Nucl. Instruments Methods.* 63 (1968) 114–116. doi:10.1016/0029-554X(68)90312-1.
- [2] H. Shen, M. Dutta, Sweeping photoreflectance spectroscopy of semiconductors, *Appl. Phys. Lett.* 57 (1990) 587–589. doi:10.1063/1.103606.
- [3] A. Cisneros-de-la-Rosa, I.E. Cortes-Mestizo, E. Cruz-Hernández, V.H. Méndez-García, L. Zamora-Peredo, J.V. González-Fernández, R. Balderas-Navarro, A.Y. Gorbachev, M. López-López, Effect of surface states on the electrical properties of MBE grown modulation doped AlGaAs/GaAs, *J. Vac. Sci. Technol. B, Nanotechnol. Microelectron. Mater. Process. Meas. Phenom.* 32 (2014) 02C110. doi:10.1116/1.4863677.
- [4] V.H. Mendez-García, J.V. González-Fernández, L.I. Espinosa-Vega, T. Díaz, R. Romano, E. Rosendo, S. Gallardo, D. Vázquez-Cortes, S. Shimomura, MBE growth and characterization of (100) and (631)-oriented modulation doped AlGaAs/GaAs heterostructures, *J. Cryst. Growth.* 378 (2013) 88–91. doi:10.1016/j.jcrysgro.2012.12.101.
- [5] J.V. González-Fernández, *Espectroscopías ópticas y su aplicación para el estudio de nanoestructuras semiconductoras*, Universidad Autónoma de San Luis Potosí, 2015. doi:10.13140/RG.2.1.3991.7288.
- [6] J.V. González-Fernández, R. Herrera-Jasso, N.A. Ulloa-Castillo, J. Ortega-Gallegos, R. Castro-García, L.F. Lastras-Martínez, A. Lastras-Martínez, R.E. Balderas-Navarro, T. Mozume, S. Gozu, Residual electric fields of InGaAs/AlAs/AlAsSb (001) coupled double quantum wells structures assessed by photoreflectance anisotropy, *Int. J. Mod. Phys. B.* 30 (2016). doi:10.1142/S0217979215502483.
- [7] N. Instruments, Specifications of NI USB-6002 Low-Cost DAQ USB Device, (2014). <http://www.ni.com/pdf/manuals/374371a.pdf>.
- [8] O.S. Komkov, A.N. Pikhtin, Y. V. Zhilyaev, Photoreflectance characterization of gallium arsenide, *Russ. Microelectron.* 41 (2012) 508–510. doi:10.1134/S1063739712080082.