

Sistema de detección de radiación ionizante basado en diodo PIN

Víctor Henández-Dávila^{1,*}, Sergio Sarmiento-Rosales¹, Daniela Ortiz Allende¹,
Héctor Vega-Carrillo¹, Manuel Ortiz-López², Ángel García-Duran¹,
& Martha Escalona-Llaguno¹

¹ Unidad Académica de Estudios Nucleares de la UAZ
Ciprés #10; Frac. La Peñuela; Zacatecas, Zac. 98060 México.

² Departamento de Ingeniería Electrónica y de Computadores
Universidad de Córdoba, Ctra. N-IVa Km. 396 14071 Córdoba, España.

*Email: vic.mc68010@gmail.com

Resumen

Existen fenómenos naturales como artificiales los cuales el ser humano no es capaz de percibir con sus cinco sentidos; debido a esto, se ha llegado a la investigación y desarrollo de distintos tipos de detectores para poder detectar dichos fenómenos. Estos detectores ayudan al ser humano a tener una visión más amplia de su propia realidad. Hay disciplinas dentro del área de las ciencias nucleares que se encargan del estudio de las propiedades y de la interacción de la radiación con la materia, para ello son necesarios diversos sistemas de detección que satisfagan las necesidades de las distintas radiaciones a considerar. La radiación ionizante (electromagnética o partículas cargadas), tiene cierta interacción con la materia, tomando en cuenta esto, se optó por utilizar un sensor basado en silicio (Diodo PIN) para la detección de esta. Este proyecto, tiene como fin diseñar, construir y probar un sistema espectroscópico en donde sus bloques principales (Diodo PIN, preamplificador, amplificador espectroscópico) fueron diseñados para realizar su función de manera portátil y utilizando circuitería de superficie; logrando con esto que el tamaño de nuestro sistema electrónico sea lo más compacto posible. El sensor utilizado para la detección de partículas es el Diodo PIN S3590-09 de Hamamatsu, que utiliza una polarización inversa, entregando cierta cantidad de carga eléctrica cuando existe algún tipo de radiación incidente sobre la superficie activa. Se utilizó un arreglo de amplificadores de ganancia de 10 a 500 utilizando dos amplificadores operacionales. Se utilizó el circuito TLC04 con una configuración de auto-reloj, siendo un filtro activo de cuarto orden con una frecuencia de corte a 20kHz que transforma la señal de entrada (exponencial decreciente) a una señal semi-gaussina adecuada para el procesamiento digital. El amplificador operacional utilizado es el TL084 de entrada JFET de la compañía Texas Instruments, con 4Mhz de ancho de banda y 13 V/uS de Slew rate. Se han realizado pruebas con una fuente de radiación con emisores alfa compuesta de Plutonio-239, Americio-241 & Curio-244. Entregando resultados satisfactorios.

Palabras claves: Diodo PIN, Amplificador Espectroscópico, Partículas Alfa.

1.- INTRODUCCIÓN

Un sistema espectrométrico está formado por detector, preamplificador, fuente de voltaje, amplificador espectroscópico y analizador de altura de pulso. Este sistema ha sido durante mucho tiempo la columna vertebral de varias aplicaciones en física, química, biología y ciencias ambientales. La información obtenida por el analizador de altura de pulso es llamado espectro; y nos muestra cómo se distribuye la energía cuando la radiación interacciona con el detector ofreciendo suficiente resolución y recuperando la información de manera sistemática y detallada (Adler et al., 2010).

En los sistemas espectrométricos el detector puede variar en función al material y la radiación a detectar. Los detectores de radiación pueden ser de germanio hiperpuro (HPGe), barrera superficial y foto-detectores de silicio tipo PIN, que es el que usamos en el presente trabajo.

El diodo PIN se puede utilizar de dos maneras: modo fotovoltaico y polarizado inversamente, cada una de ellas depende únicamente de cómo se conecte el diodo PIN a la etapa de pre-amplificación (amplificador sensible a carga). En modo fotovoltaico, se mide la cantidad de radiación de forma integral, se genera una corriente al interaccionar la radiación con el detector. En la configuración de polarización inversa se crea una región de agotamiento, creando pares electrón-hueco en la región intrínseca del diodo PIN haciendo que el detector responda a cada evento que se realiza dentro de la zona (Ramirez, 1999).

Los sistemas de detección con base en diodo PIN se han ido adaptando a las nuevas tecnologías y esto ha llevado a la evolución de los sistemas y la optimización de los detectores. Este tipo de sistemas se utilizan en todo el mundo para una amplia variedad de experimentos en mediciones de radiación ionizante (Wauters et al., 2009; Gupta et al., 2001).

Un amplificador espectroscópico es un sistema que cambia la amplitud y la forma de la señal que proviene del detector. Tradicionalmente, un sistema de este tipo es comprado a compañías como ORTEC, Camberra, etc.; en nuestro caso, se desarrolló un sistema

electrónico que tiene un amplificador sensible a carga y un amplificador espectroscópico que tiene como base un filtro conmutable. Esto tiene como ventaja reducir el número de componentes y el tamaño del sistema; que anteriormente se realizaban con filtros analógicos teniendo como base amplificadores operacionales.

El objetivo de este trabajo es diseñar, construir y optimizar un sistema espectroscópico para un detector de diodo PIN con filtro conmutable y en base a circuitería de superficie.

2.- MATERIALES Y METODOS

El sistema espectroscópico se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes etapas: circuito detector, circuito preamplificador y amplificador espectroscópico cada una de ellas diseñada de la manera más óptima.

El circuito detector depende del diodo y su configuración, para el diseño de nuestro sistema espectroscópico se optó por la configuración de polarización inversa ya que en esta el detector responde a cada evento que se realiza dentro del diodo PIN. Para la etapa de pre-amplificación, básicamente se utilizó un amplificador operacional con la configuración sensible a carga, esta etapa hace la función de convertir la carga obtenida del detector en un voltaje. En la figura 1 se muestra el diseño.

El diseño del amplificador espectroscópico se realizó teniendo en cuenta una ganancia variable de 10-500, para ajustar la señal a los niveles deseados, y una frecuencia de corte a 20kHz. Tanto para esta etapa como para la anterior, se utilizó el mismo circuito integrado: TL084 de la compañía Texas Instruments, que consta de cuatro amplificadores operacionales con entrada JFET, un ancho de banda de 4Mhz y 13V/uS de Slew rate (Texas Instruments, 2013).

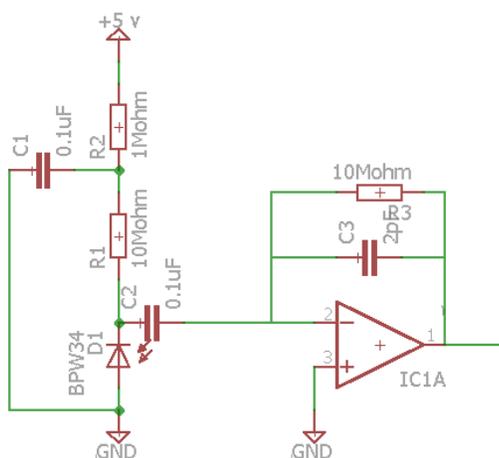


Figura 10. Etapa de detección con pre-amplificador.

Para la configuración del filtro conmutable dentro del amplificador, se utilizó el circuito integrado TLC04 de la compañía Texas Instruments los cuales cada uno es diseñado para optimizar recursos pues es económico de fácil uso que provee una respuesta pasa-bajos de cuarto orden en función de las configuraciones de diseño del circuito. Tiene la ventaja de contar con la configuración de auto-reloj, la cual nos brinda un eficiente filtro pasa-bajas, con pocos componentes. La frecuencia de corte está situada a 20kHz lo que hace que la frecuencia del reloj sea de 1Mhz ya que la relación entre una frecuencia y otra es 50:1 con menos de $\pm 0.8\%$ de error (Texas Instruments, 1995).

En la figura 2 se muestra el diseño del amplificador espectroscópico.

Con los diseños anteriores, se tenía el sistema espectroscópico completo, el cual al acoplar todas las etapas se obtuvo el esquema mostrado en la figura 3.

Con el diseño completo, se realizó el diagrama del circuito impreso en Eagle, posteriormente se imprimió en papel couche, se plancho en una placa de cobre, se le aplicó cloruro férrico, se perforó y finalmente se colocaron cuidadosamente los componentes (ver figura 4).

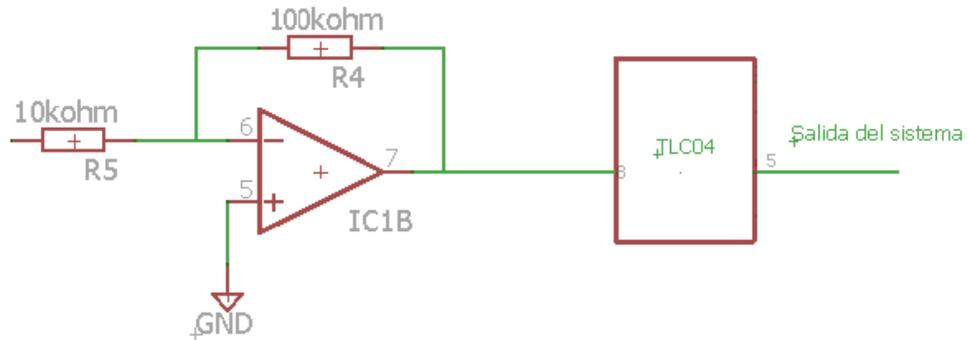


Figura 11. Amplificador espectroscópico.

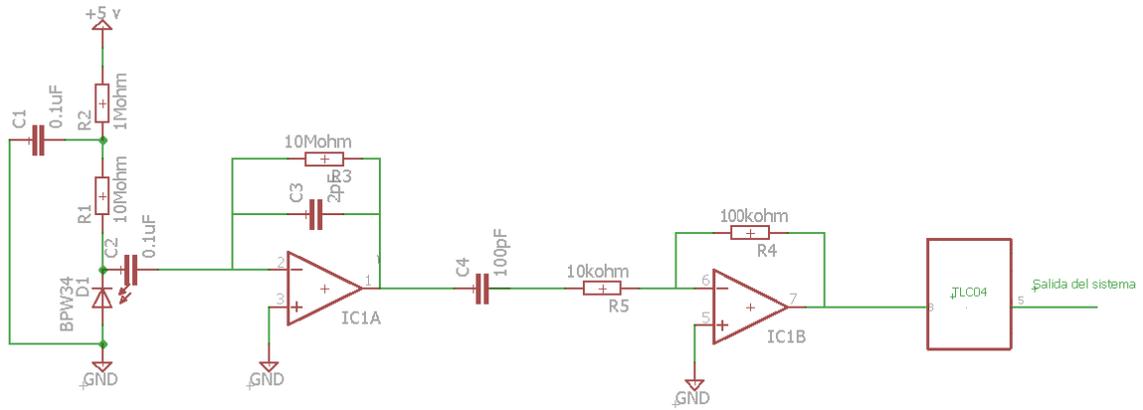


Figura 12. Sistema espectroscópico.

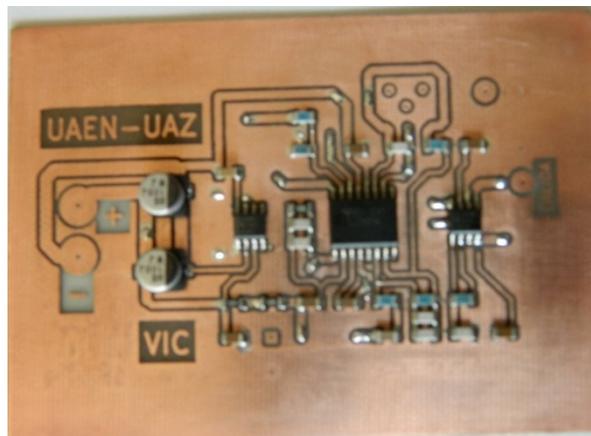


Figura 13. Prototipo.

3.- RESULTADOS

En este trabajo se logró desarrollar un sistema espectroscópico funcional, se hicieron pruebas con una fuente de partículas alfa compuesta por Plutonio-239, Americio-241 & Curio-244. Se hicieron pruebas del sistema antes de la etapa de filtrado arrojando los resultados mostrados en la figura 5.



Figura 14. Señal antes del filtro.

Luego se pasó por la etapa del filtro en donde la señal se transforma de una exponencial decreciente (color verde) a una onda semi-gaussiana (color amarillo) (ver figura 6).

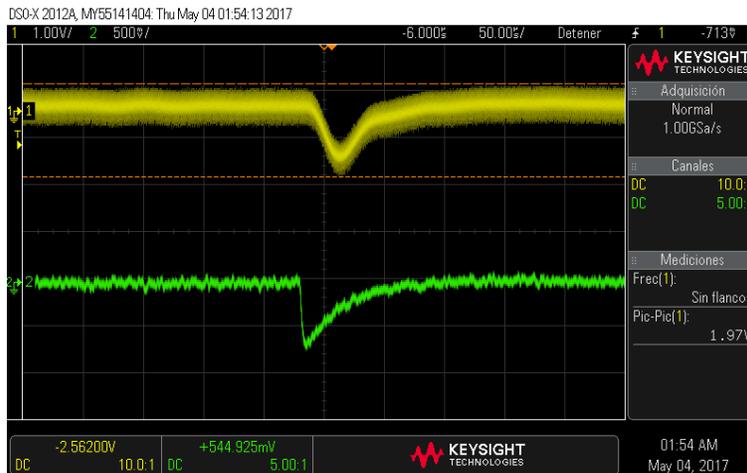


Figura 15. Señal después del filtro.

Al obtener la señal filtrada, se decidió realizar pruebas en un analizador multicanal, obteniendo el siguiente resultado:

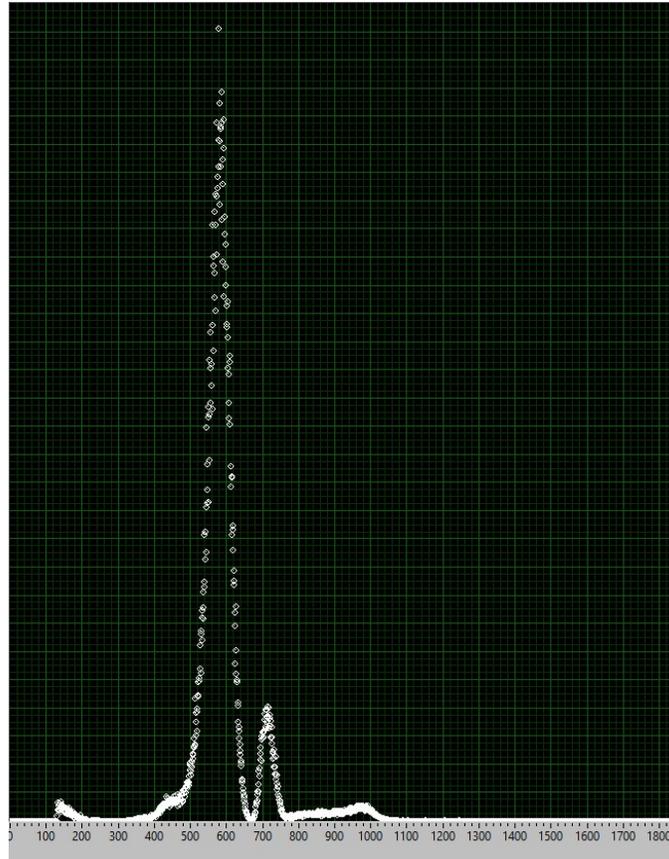


Figura 16. Resultados con el multicanal MCA/UAEN.

5.- CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y probó un sistema espectroscópico con filtro conmutable, utilizando un diodo PIN para la detección de radiación.

El sistema funciona correctamente, los resultados arrojados por los prototipos son satisfactorios, lo que nos confirma que al utilizar el circuito integrado TLC04 nos reduce el trabajo en cuanto la realización de filtros activos.

Se logró diseñar el sistema en un prototipo de montaje superficial, lo que ayuda en la reducción de tamaño y eficiencia.

El diseño por etapas permite modificaciones sin alterar las demás, esto quiere decir que si quisiéramos manejar la señal de distintas maneras sería posible con este tipo de diseños.

Así pues el sistema es dinámico y puede adaptarse fácilmente a distintas ganancias y variaciones.

Agradecimientos

Sergio Sarmiento agradece al CONACyT por la beca de investigación recibida y a la Unidad Académica de Estudios Nucleares de la Universidad Autónoma de Zacatecas por la facilitación del presente trabajo.

REFERENCIAS

- Adler F; Thorpe J.M; Cossel K.C and J. Ye. (2010). *Cavity-enhanced direct frequency comb spectroscopy: technology and applications*, Annual review of analytical chemistry, Vol.3, p. 175-205.
- Gupta, Y. K; Biswas, D. C; Roy P., Nayak, B. K; Thomas, R. G., Inkar, A. L; Vind, R. P., John, B; Saxena, A; Choudhury, R. K. (2001). *Pulse height and timing characteristics of CsI(Tl)-Si(PIN) detector for and fission fragments*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol, 629, p. 149-153.
- Ramirez F. J. (1999). *Detectores de Radiación de Silicio tipo PIN y sus Aplicaciones en Física Médica*. Tercer Simposium Mexicano sobre Física Médica, León, Gto., México.
- Sarmiento-Rosales, S. (2017). *Sistema Espectroscópico con Filtro Butterworth Conmutable de Cuarto Orden*. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma de Zacatecas. México.
- Texas Instruments. (1995). *TLC04 Butterworth Fourth-Order Low-Pass Switched-Capacitor Filters*, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/tlc04.pdf>.

Texas Instruments, (2013). *TL084 JFET-Input Operational Amplifier Data Sheet*, <http://www.ti.com/product/TL084/datasheet>.

Wauters, F; Kraev, I. S; Tandecki, M; Traykov, E; Van Gorp, S; Zákoucký, D; Severijns, N. (2009). *Performance of silicon PIN photodiodes at low temperatures and in high magnetic fields*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. 604, p. 563-567.