

Amplificador Espectroscópico para diodo Pin

ICE. María Selene Alonso Muñoz y M en C. Víctor Martín Hernández Dávila
Unidad Académica de Estudios Nucleares - Universidad Autónoma de Zacatecas
C. Ciprés # 10 Fraccionamiento la Peñuela, 98068 Zacatecas, Zac.
bebe.luna_s@hotmail.com; vic.mc68010@gmail.com

Dr. Héctor René Vega-Carrillo
Unidad Académica de Estudios Nucleares - Universidad Autónoma de Zacatecas
C. Ciprés # 10 Fraccionamiento la Peñuela, 98068 Zacatecas, Zac.
fermineutron@yahoo.com

Resumen

El fotodiodo sigue siendo la elección básica para la foto detección y es ampliamente utilizado en comunicaciones ópticas, diagnóstico médico y en campo de la radiación corpuscular. En la detección de radiación, se ha usado para monitorear radón y sus descendientes y en generar sistemas espectrométricos de bajo costo. Se presenta el desarrollo de un amplificador espectroscópico para el diodo PIN que cuenta con las siguientes características: cancelador Polo – Cero (P/Z) con una constante de tiempo de 8 μ s; ganancia constante de 57, adecuada para el sistema de adquisición; integrador de 4to orden tipo gaussiano, para el cambio de forma de onda, de entrada exponencial a salida semigaussiana y por último una etapa de restaurador de línea de base que evita la contribución de señal de DC a la etapa siguiente. El amplificador operacional utilizado es el TLE2074 de tecnología BiFET de la compañía Texas Instruments con 10 MHz de ancho de banda, con 25 V/ μ s de slew rate y un piso de ruido de 17 nV/(Hz)^{1/2}. El circuito integrado cuenta con 4 amplificadores operacionales y en él se encuentra el total del amplificador espectroscópico que es la meta del diseño electrónico. Los resultados muestran como la señal de entrada exponencial es transformada a semigaussiana, modificándose solo la amplitud acorde a lo especificado en el diseño. El total del sistema está formado por el detector, que es el diodo PIN, un preamplificador sensible a la carga, el amplificador espectroscópico que es lo que se presenta y por último un analizador de altura de pulso (MCA) que es donde se muestra el espectro.

1. INTRODUCCIÓN

La espectroscopia ha sido la columna vertebral de muchas aplicaciones, ya que permite identificar la radiación y relacionarla con su nivel de energía, proporcionando información sistemática y detallada [1]. Para espectroscopia el diodo Pin funciona perfectamente en un determinado rango de energía, de 4 al 13 MeV [2]-[3].

En modo de conteo de pulso se aplica al diodo una polarización inversa, si una corriente positiva constante fluye a través del diodo, su voltaje positivo se incrementarán con la dosis de partículas

recibidas [4]-[5]. Los electrones y huecos creados por las interacciones de fotones son arrastrados a las regiones de tipo p y n, la carga total creada se transforma en un pulso de voltaje por una etapa de preamplificador sensible a carga; la altura de pulso es proporcional a la energía depositada en la región de agotamiento [6]. Esta señal es procesada por el analizador multicanal (MCA), produce una acumulación de espectro digital que se puede procesar para obtener datos analíticos [7].

Los fotodiodos (PIN) de silicio, diseñados originalmente para detectar fotones, durante años han encontrado más y más aplicaciones de la física nuclear y de partículas; hoy en día se utilizan como detectores en todo el mundo para una amplia variedad de experimentos en mediciones de partículas cargadas, rayos X y rayos gamma [8]-[9].

Un amplificador espectroscópico es un sistema electrónico, capaz de incrementar la amplitud en forma lineal, de los pulsos que provienen de un detector de radiación; modifica la forma inicial del pulso, recortando su duración e integrándola; obteniendo un pulso semi-gaussiano mono o bipolar.

El objetivo de este trabajo es diseñar, construir y caracterizar un amplificador espectroscópico, utilizado en un sistema de detección con un fotodiodo tipo Pin.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El diseño se realizó modificando la forma inicial del pulso proveniente del detector de radiación, suponiendo dicho pulso como una onda cuadrada, mediante una red de diferenciación se obtuvo un pulso exponencial descendiente de la misma amplitud y duración, luego se pasó por una red de cancelación polo – cero para eliminar el sobretiro del pulso y recortar su duración, posteriormente se obtuvo la función de transferencia en el dominio de Laplace y fue simulada en el programa comercial MATLAB™, obteniendo el lugar de raíces para ver cómo se comportaba el sistema al ir variando la ganancia y se decidió poner en la etapa amplificadora una ganancia de 57, debido a que para éste valor el sistema es estable y también las resistencias utilizadas son de valores comerciales.

El diseño de los integradores se realizó en un programa especial para diseñar filtros, llamado FilterPro de Texas Instruments; se obtuvo un filtro pasa bajas, gaussiano de 4to orden en topología sellen - key con una ganancia de voltaje de 1.5 y una frecuencia de corte de 19.8944 khz equivalente a una constante de tiempo de 8 μ s, cuya ganancia y fase se muestran en la figura (1), y el retardo de grupo en la figura (2). Los valores de los componentes se ajustaron a valores comerciales, 5% para resistencias y 10% para capacitores.

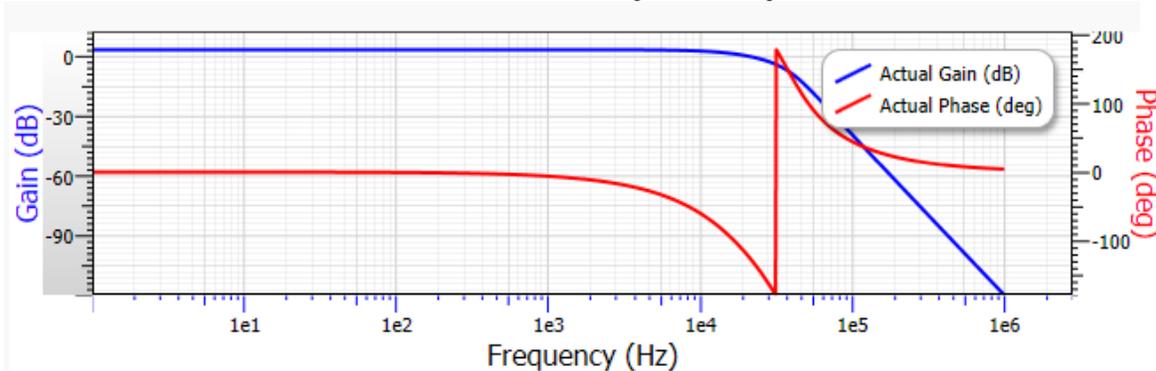


Figura 1. Respuesta de ganancia y fase del filtro

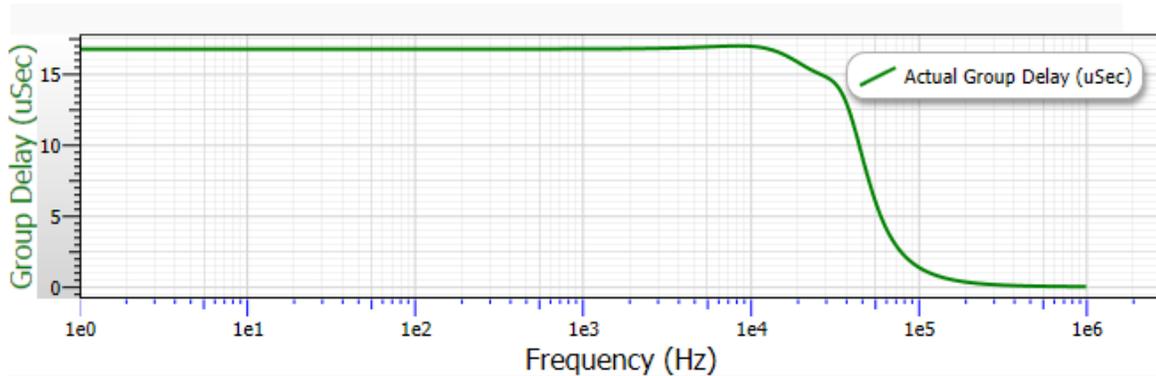


Figura 2. Respuesta del retardo de grupo del filtro

Al final se diseñó una etapa de restaurador de línea de base para eliminar el nivel de dc y adecuar la señal para que pueda ser leída por el analizador multicanal.

Para los op amp se utilizó el circuito TLE2074 de Texas Instrument que consta de cuatro amplificadores operacionales internos, dicho circuito tiene un Slew Rate de 25 V/ μ s y opera a un voltaje de 2.25 – 19 V.

Por otro lado, el esquemático de la circuitería propuesta es colocado en el programa comercial ORCAD™ y simulado por el modelo computacional generado por el SPICE como se muestra en la figura (3) para probar el funcionamiento de acuerdo a las características de diseño y evaluar su desempeño.

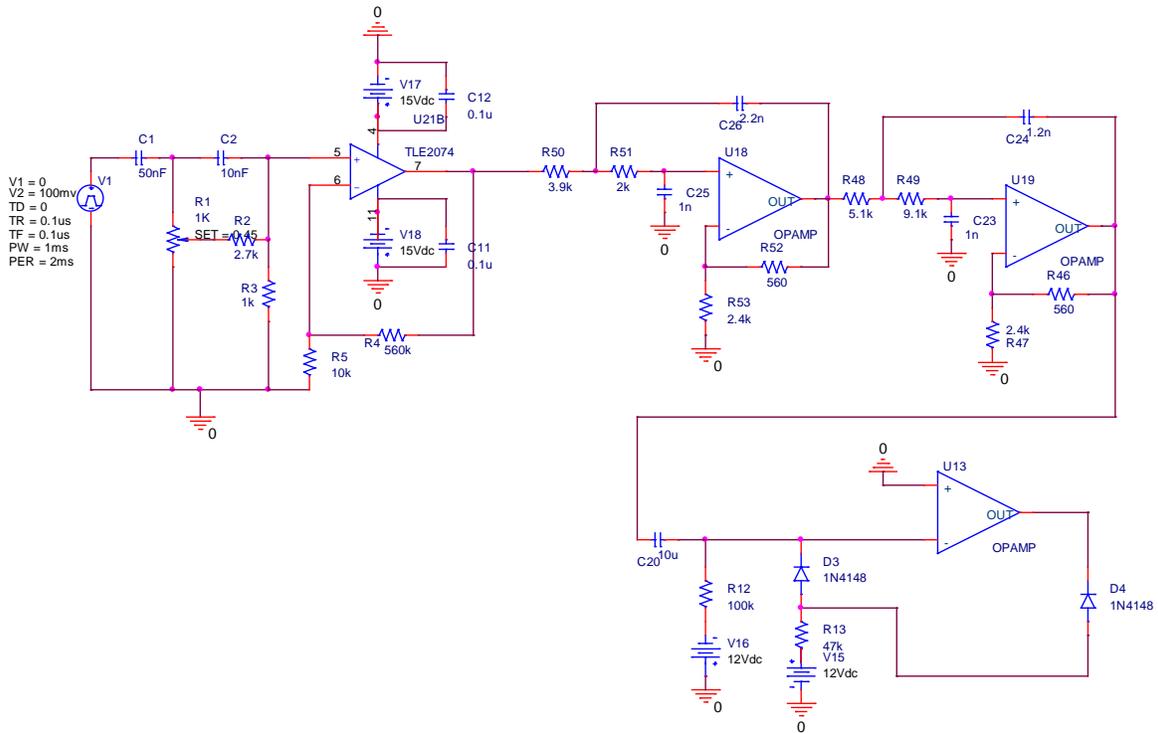


Figura 3. Simulación en orcad

Posteriormente se armó físicamente el circuito en un protoboard para probar el funcionamiento del amplificador espectroscópico desde el punto de vista electrónico; se aplicó a la entrada una señal proveniente de un generador de funciones, probando el cancelador polo - cero, el amplificador, las etapas de integración y el restaurador de línea de base. Como los resultados obtenidos coincidieron con los calculados y los simulados se procedió a la construcción del amplificador.

Se realizó el diagrama para el circuito impreso en circuit maker, posteriormente se imprimió en papel couche, se planchó en una placa de cobre, se le aplicó cloruro férrico, se perforó y por último se colocaron los componentes (ver figura 4).

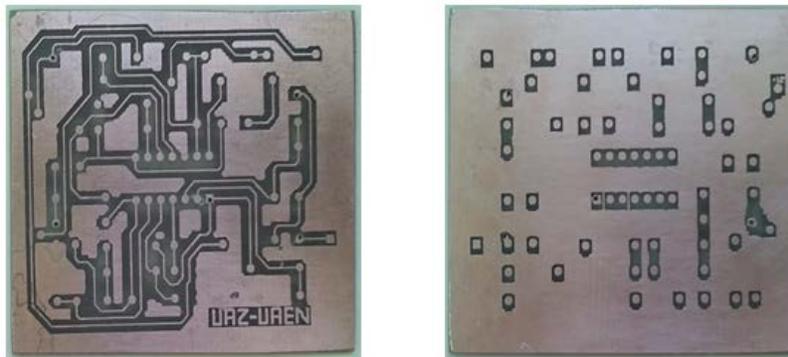
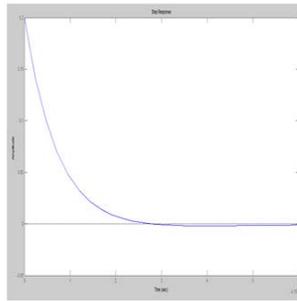


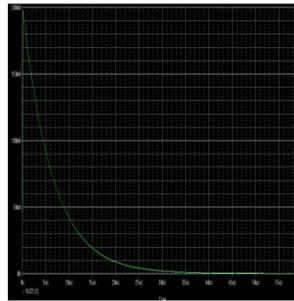
Figura 4. Circuito impreso

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este trabajo se obtuvo el modelado matemático del amplificador, como una función de transferencia en el dominio de Laplace; la función de transferencia es simulada en MATLAB™, obteniendo la respuesta al escalón y por consiguiente su respuesta en el dominio temporal. Al pasarla por el cancelador polo - cero, se observó una señal exponencial descendiente de la misma amplitud pero con duración de 35µs aproximadamente, como se observa en la figura (5).



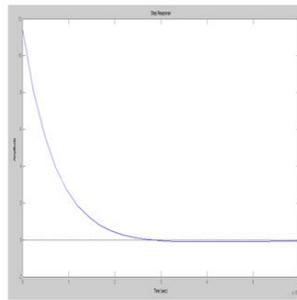
Matlab



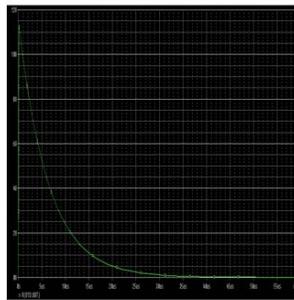
Orcad

Figura 5. Cancelador polo cero

Luego se pasó por la etapa de amplificación, en donde los resultados obtenidos coinciden en la forma de la señal, el tiempo de duración y la amplitud, como se muestra en la figura (6).



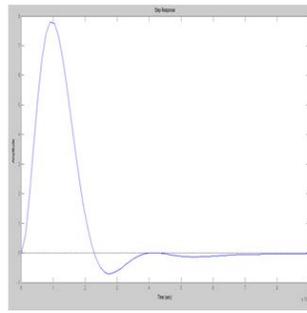
Matlab



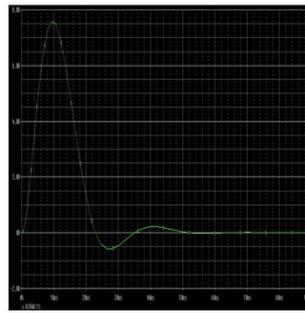
Orcad

Figura 6. Amplificador

Después se pasó por la primera etapa de filtrado, en la figura (7) se puede ver que las señales obtenidas coinciden entre sí.



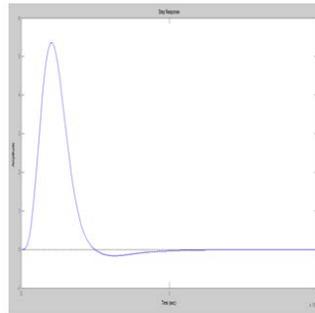
Matlab



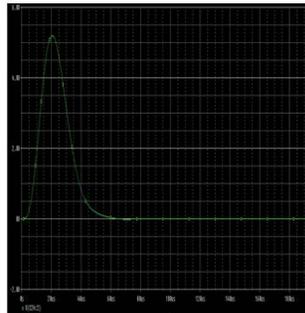
Orcad

Figura 7. Primer Integrador

Enseguida se pasó la señal por la segunda etapa de filtrado y se obtuvo una señal gaussiana simétrica (ver en la figura 8), lo cual es el objetivo del amplificador espectroscópico.



Matlab



Orcad

Figura 8. Segundo Integrador

En la figura 9 se muestra el amplificador espectroscópico construido.



Figura 9. Amplificador espectroscópico

Por último se probó el funcionamiento del amplificador espectroscópico desde el punto de vista electrónico (ver figura 10) y al final se probó en un sistema espectrométrico sustituyendo al amplificador comercial, se utilizó una fuente de Co 60 y se obtuvo el espectro mostrado en la figura 11.

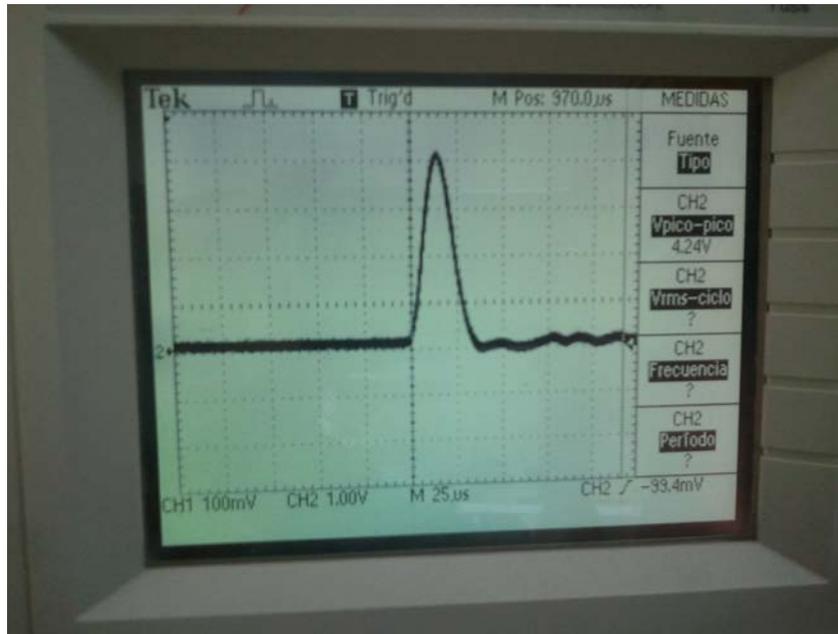


Figura 10. Respuesta del amplificador espectroscópico.

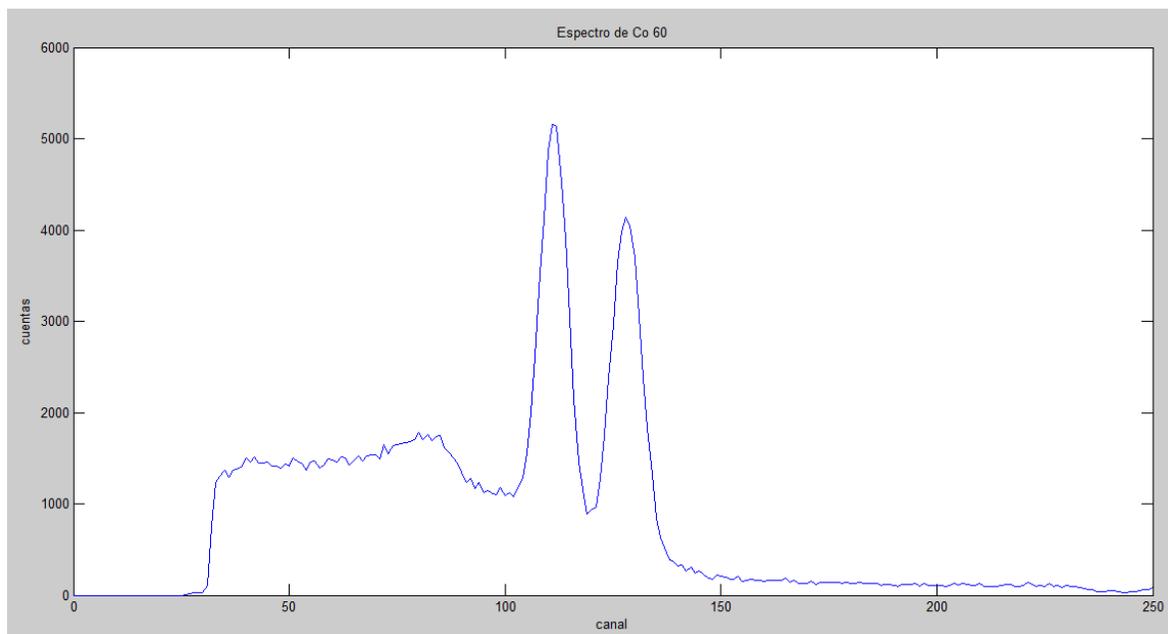


Figura 11. Espectro de Co 60 obtenido con el amplificador espectroscópico

4. CONCLUSIONES

El diseño propuesto para el amplificador espectroscópico es funcional, debido a que los resultados obtenidos tanto analíticamente como en la simulación coinciden con los obtenidos en el sistema físico.

Es posible generar un sistema espectrométrico compacto y de bajo costo; ya que se utiliza un solo circuito integrado y los demás componentes están ajustados a valores comerciales, por lo que no se existe problema para adquirirlos.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco la valiosa colaboración de mi asesor el M en C. Víctor Martín Hernández Dávila, al Dr. Héctor René Vega-Carrillo, a la Dra. Consuelo Letechipía de León, a la Unidad Académica de Estudios Nucleares, al CONACYT por la beca de investigación recibida y a la compañía de semiconductores Texas Instruments por la donación de los circuitos integrados utilizados en el presente trabajo.

REFERENCIAS

1. Adler, Florian, Thorpe, Michael J., Cossel, Kevin C., Ye, Jun, “Cavity-enhanced direct frequency comb spectroscopy: technology and applications”, *Annual review of analytical chemistry (Palo Alto, Calif.)*, vol. **3**, p. 175-205 (2010).
2. Ramírez-Jiménez, F. J. Aguilera, E. F. López-Callejas, R. Benítez-Read, J. S., Pacheco-Sotelo, J. “A novel application of a PIN diode-preamplifier set for the measurement of charged particles”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. **545**, p 721-726 (2005).
3. Bosco, Gerra L. “Development and application of portable, hand-held X-ray fluorescence spectrometers”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. **45**, p. 121-134 (2013).
4. Zhou, C., Zhao, J., Xiao, W., “PIN silicon diode fast neutron detector”, *Radiat Prot Dosimetry*, vol. 117, p. 365-8 (2005).
5. Agosteo, S., D'Angelo, G., Fazzi, A., Para, A. F., Pola, A., Ventura, L., Zotto, P., “Performance of a neutron spectrometer based on a PIN diode”, vol. 116, p. 180-4 (2005).
6. Olsher, R. H., Eisen, Y., “A filter technique for optimising the photon energy response of a silicon pin diode dosimeter”, *Radiat Prot Dosimetry*, vol. **67**, p. 271-279 (1996).
7. Bosco, Gerra L., “Development and application of portable, hand-held X-ray fluorescence spectrometers”, *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, vol. **45**, p. 121-134 (2013).
8. Wauters, F., Kraev, I. S., Tandecki, M., Traykov, E., Van Gorp, S., Zákoucký, D., Severijns, N., “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 (2009).
9. 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., “Pulse height and timing characteristics of CsI(Tl)-Si(PIN) detector for and fission fragments”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics*

XXV Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana
XIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica
Boca del Río, Veracruz, México, del 31 de Agosto al 4 de Septiembre de 2014

Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, vol. **629**, p. 149-153 (2011).