

Desarrollo de un Detector de Rayos X Usando Fotodiodos

Jorge González-González¹, Juan Carlos Azorin-Vega¹
Modesto Antonio Sosa Aquino¹, Pablo Cerón¹

¹Universidad de Guanajuato División de Ciencias e Ingenierías
Loma del Bosque No. 103 Col. Lomas del Campestre
C.P 37150 León, Guanajuato, México

gonzalezgj2012@licifug.ugto.mx

Abstract

Actualmente los detectores de radiación para aplicaciones médicas tienen un valor muy alto en el mercado y son de difícil acceso como material de capacitación y adiestramiento. En la División de Ciencias e Ingenierías se lleva a cabo investigaciones relacionadas con radiaciones ionizantes, especialmente con rayos X. Para superar la carencia de materiales se ha tenido que recurrir a préstamo de equipos de otras instituciones, por lo que su uso y disponibilidad son intermitentes. Por estas razones se plantea diseñar e implementar un detector de rayos X para el uso del grupo de trabajo y la Universidad. El objetivo de este trabajo es construir un detector semiconductor de rayos X mediante el uso de materiales asequibles y de bajo costo, se propone el uso de un fotodiodo como sensor y una tarjeta analógica-digital Arduino y una pantalla LCD que muestre los datos.

Keywords: Detector semiconductor de rayos X, fotodiodo, Arduino

1.- INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la ionización de la materia por medio de la radiación, permite cuantificar campos de fotones, partículas cargadas o neutrones a través de instrumentos llamados detectores de radiación [1].

Un detector de radiación ionizante es capaz de generar una señal eléctrica cuando es puesto en un campo de radiación constituida por partículas ionizantes (fotones, electrones, muones, hadrones cargados, etc.) las cuales tienen la capacidad de interactuar electromagnéticamente con la nube electrónica de los átomos produciéndose su consiguiente ionización [1]. Las señales eléctricas serán posteriormente procesadas de modo que se obtenga de manera óptima la información que deseamos extraer de la partícula ionizante [1].

Para la detección de una partícula ionizante se necesita: un medio ionizante, sin portadores de carga libres, donde los portadores libres se generan al paso de la partícula ionizante; y un campo eléctrico necesario para mover a los portadores libres y así inducir señal en los electrodos capacitivos [1].

1.1.- Bases Teóricas

De acuerdo con los fenómenos que se presentan en la materia por la interacción de la radiación, se pueden clasificar los detectores según el mecanismo físico involucrado en el proceso de detección, en: detectores por ionización y detectores por excitación [1].

Por ionización de gases o materiales semiconductores, Ej: Cámaras de ionización (CI), Contadores proporcionales, Detectores Geiger-Müller [1].

Por excitación. Se clasifican en inmediatos y retardados, los cuales son:

- Inmediatos: Detector de Centelleo
- Retardados: Película fotográfica, Termoluminiscentes, Radiofotoluminiscentes, Emisor exoelectrico, Resonancia magnética eléctrica

En el campo de radio-protección se dividen en dos:

-Monitores

-Dosímetros

Los monitores miden:

+Rapidez de exposición: Su unidad es roetgen/hora (R/h)

+Rapidez de Dosis absorbida: Su unidad es cuentas por minuto (cpm). [1]

1.1.2.- Detectores basados en semiconductores

Estos detectores son sólidos contruidos de elementos puros en los cuales la radiación ionizante produce un efecto de excitación de los electrones menos ligados al átomo, los “electrones de valencia”, llevándolos a un nivel de mayor energía llamado nivel de “electrones de conducción”, a los niveles también se le puede conocer como “bandas”, donde pueden desplazarse libremente por el cristal. [1]

Al pasar a la banda de conducción quedan desligados de los átomos de la red cristalina dejando una vacancia que corresponde a una carga positiva del vecino y este a su vez deja la vacancia, dando como resultado una carga positiva desplazándose hacia el cátodo.[1]

1.1.3.- Unión p-n como estructura detectora

La unión P-N es la estructura base en los detectores de partículas ionizantes. La forma básica de la unión PN es un bloque de un material semiconductor dopado con material P frente a otro bloque de material conductor dopado con material N. Para poder usar este material, se necesita un medio de difusión para que exista el contacto a nivel atómico.

En un detector de radiación basado en la unión semiconductor PN inversamente polarizada, el medio ionizante lo proporciona el volumen vaciado de carga libre entorno a la unión PN; y el campo eléctrico creado por la polarización inversa de la unión juega el papel del campo de deriva que pone en movimiento los pares electrón-hueco formado al paso de la radiación ionizante. Por ello. La unión PN semiconductor permite el desarrollo integrado y compacto de detectores de radiación de alta resolución en energía, pues la energía requerida para la creación de un par electrón-hueco es típicamente diez veces menor que la energía para ionizar un átomo de las mezclas de gases usado en los detectores gaseosos habituales.[4]

1.1.4.- El diodo y fotodiodo

El diodo es un componente electrónico que se usa para poder darle sentido a la corriente en un circuito, está basado en la unión de los materiales n y p. El diodo conduce la corriente en la dirección definida por el usuario y también puede actuar como circuito abierto ante el sentido opuesto de la corriente.

En la zona en donde se conectan los materiales semiconductores se genera una carencia de los llamados portadores libres en ambos lados de la zona, en otras palabras, no hay portadores libres en los dos materiales. A esta región se le llama “región de empobrecimiento”, por lo mismo de la carencia de portadores en la región. Si a esta región se le colocaran dos terminales, se obtiene el diodo.

Un fotodiodo es una unión p-n que al absorber un fotón genera el par electrón-hueco en una zona de la unión. Las partes de la unión son dos semiconductores extrínsecos o dopados, uno de tipo n y otro de tipo p. Si aplicamos a la unión un campo eléctrico bajo iluminación, los fotones eran absorbidos con una cierta eficiencia. Cuando el fotón sea absorbido genera el par electrón-hueco y se moverá a causa del campo eléctrico.

1.1.5.- Exposición a radiación ionizante

Cuando se expone un diodo a una radiación electromagnética de longitud de onda suficiente para que la energía transportada por un fotón sea superior a la energía mínima necesaria para crear un par electrón-hueco, las interacciones de los fotones con la red cristalina producirán un aumento en el número de portadores minoritario que atraviesan la unión. Estos portadores crearán una corriente adicional I (intensidad de corriente de ionización). El valor de esta corriente depende del número de pares electrón-hueco creado por unidad de tiempo, y por tanto del número de fotones incidentes por unidad de tiempo. Por tanto midiendo el valor de esta corriente o de una cantidad relacionada, se puede obtener una indicación de la tasa de dosis a la que ha sido irradiado el diodo-[4]

Se ha demostrado que los diodos de silicio son de gran utilidad en la dosimetría de radiación, debido a la energía requerida para producir un par electrón-hueco que en si es 3.6 eV, comparado con los 34 eV por del aire en una cámara de ionización. [4]

Un diodo produce una corriente en ausencia de radiación debido a las cargas generadas térmicamente, por lo que el diodo es ruidoso, esta corriente puede filtrarse siempre y cuando la corriente inducida por la radiación es mayor que la señal a filtrar o eliminar.

Cuando una partícula ionizante atraviesa la zona de carga espacial de la unión P-N, se genera pares “electrón-hueco” que al moverse, impulsados por el campo eléctrico, generan una señal eléctrica, que es la que se va a medir Mayor sea el vaciado de portadores de carga libres, mayor será la señal.[4]

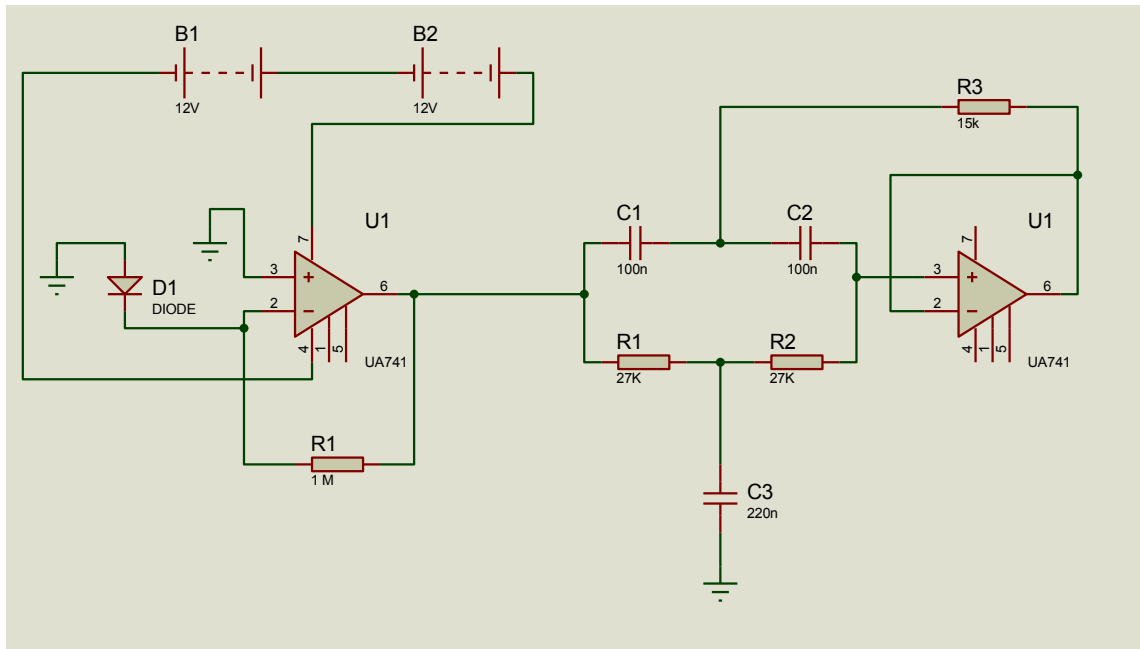
2.- MATERIALES Y MÉTODOS

La caracterización de la respuesta de una corriente de un diodo expuesto a radiación ionizante, permite la obtención de parámetros en radio-protección. A continuación pasaremos a describir el dispositivo experimental usado para llevar a cabo la experimentación.

Se usaron dos sensores: un Diodo 1N4007 y un fotodiodo *SIEMENS sfh 203p* que se explicaran más adelante. Para la medición de los parámetros que se desean medir en una máquina de rayos X (kilovoltaje, tiempo de exposición y dosis) no se requiere de un diodo especialmente diseñado para ser detector de radiación, un fotodiodo tipo PIN de bajo costo puede ser usado.

Los materiales a usar fueron:

- Placa Arduino Uno con su interfaz de programación
- Pantalla LCD 16x2 HITACHI
- Amplificador operacional UA741
- 2 capacitores de 22pF
- 1 capacitor de 10nF
- 1 resistencia de 1 M Ω
- 1 resistencia de 560 Ω
- 1 Diodo 1N4007



- 1 fotodiodo SIEMENS SFH 203P

Fig1. Amplificación y filtrado de la señal

En la figura anterior se muestra un esquema del amplificado. Este circuito es utilizado en el uso de los dos sensores, ya que su función es solo el amplificado de la fotocorriente y eliminación de algún ruido existente que pueda interferir con la señal; el filtrado se realiza por medio de un filtro notch, eliminando así el ruido de línea de 60Hz.

Los sensores son expuestos a un haz de rayos X , lo cual generan una fotocorriente la cual es convertida a voltaje por el amplificador, cabe señalar que a este estilo de circuito se le conoce como convertidor corriente voltaje y al usar un fotodiodo se llama como modo fotovoltaico del fotodiodo. Una vez ya obtenido el voltaje, la salida del amplificador, se filtra con el filtro notch de 60 Hz y por último es conectada a la terminal A0 de la placa Arduino (Fig2.), la cual hará la función de una tarjeta convertidor analógica- digital y por medio del programa hecho para este dispositivo se relacionara el voltaje obtenido con los parámetros de kilovoltaje (kV), dosis (mGy) y tiempo de exposición (mGy/s). Desplegando estos valores en una pantalla LCD 16x2.

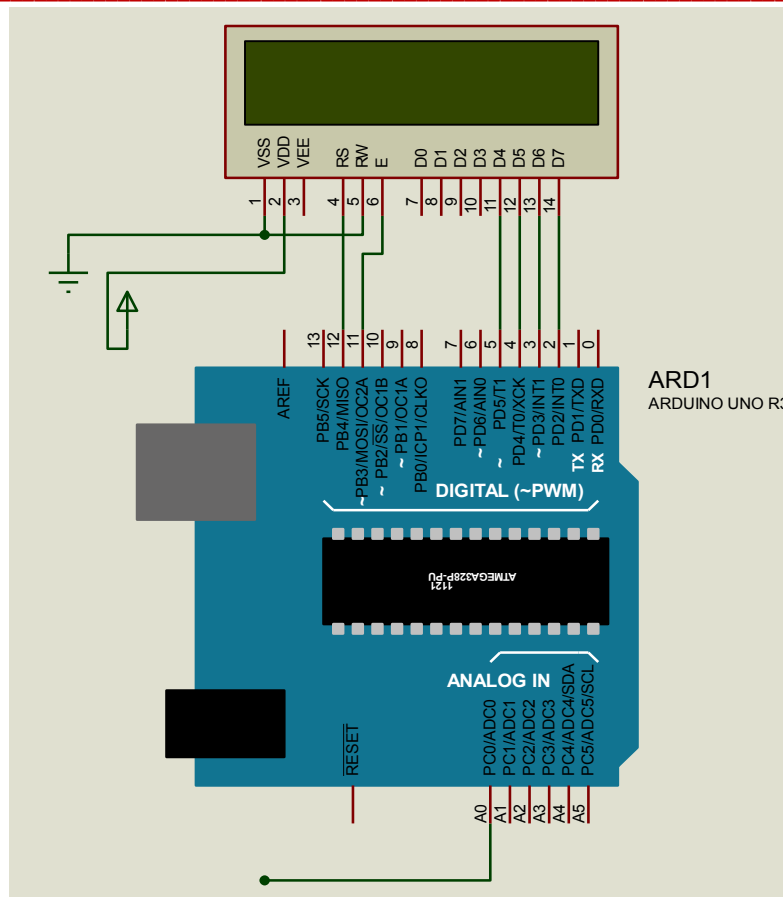


Fig2. Tarjeta Arduino y display LCD 16x2

2.1.- Métodos

Se dividió en fases el proyecto. La primera fase fue el armado del componente. La segunda fase consistió en obtener una señal de respuesta al irradiar el diodo, la señal está dada en voltaje. La tercera fase, es la caracterización de respuesta del diodo variando los parámetros del kV y mAs. La cuarta fase consiste en irradiar el fotodiodo pero este debe tener un cristal centellador que quede en medio del haz y del fotodiodo. Esto para poder convertir los rayos X en luz y poder así caracterizar el fotodiodo.

Las pruebas de obtención de respuesta del diodo se realizaron con un Equipo de Rayos X Periapical Elity 70 Programable. Con valores de 70 kV y un 8 mA, filtración total: 2.5mm

de aluminio, peso: 30Kg, distancia mínima entre la fuente y la piel 20 cm (8"), punto focal:
0.8 mm.

3.- RESULTADOS

Al exponer el diodo 1N4007 al disparo del equipo Elity se obtiene una señal parecida a la de la figura 3, el cual el eje de las y es voltaje de salida del amplificar y el eje de las x el tiempo que duro la señal, que en este equipo es de 1.30s. Esta señal se pude observar en el osciloscopio.



Fig.4. Señal de diodo

En el equipo Elity, se dejó constante todos los valores: 70kv, 10mA y tiempo de exposición=1.30s. Obteniendo los siguientes valores:

Disparo	Voltaje salida de amplificador(v)
1	2.31
2	2.28
3	2.26
4	2.19
5	2.22

Graficando los valores:

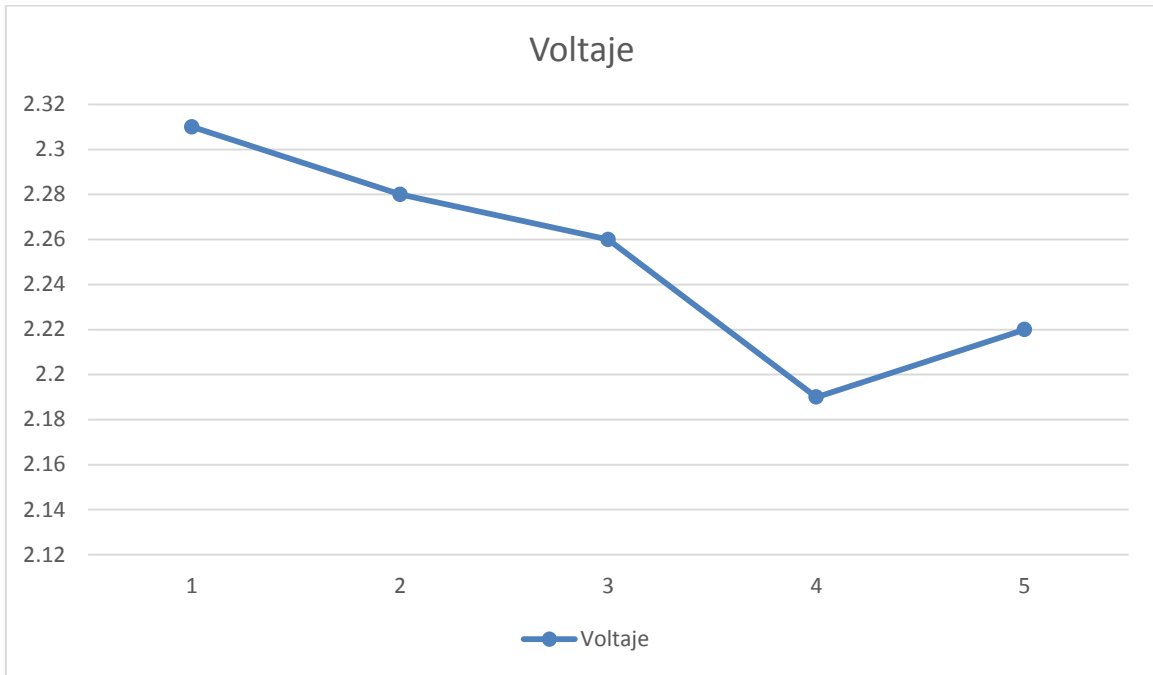


Fig.5. Voltajes obtenidos en 5 disparos

4.- DISCUSIÓN

Una limitación que se encontró, fue que no se obtuvo señal alguna al probar el dispositivo en una cama de radiografía digital. El sensor se puso a 1 m del colimador, y se llegaron a hacer disparos variando el Kv y mAs, no se han hecho más pruebas para precisar el problema, pero es uno de los retos a tratar.

El equipo tiene posibilidades de poder competir contra equipos de ya alta jerarquía, solo falta más trabajo por realizar.

5.- CONCLUSIONES

El prototipo construido sigue en proceso de desarrollo, pero debido a la respuesta del detector es posible afirmar que el diodo sirve como sensor de rayos X. Mediante este dispositivo con un correcto proceso de caracterización, calibración y con el apoyo de la nueva tecnología Arduino, se tiene una buena base para la construcción de un instrumento de medición en los programas de calidad de radiodiagnóstico.

Agradecimientos

Dr. Juan Carlos Azorin, Dr. Modesto Sosa, Dr. Pablo Cerón, IB Cesar González, IB Bedi Cabrera Jaramillo.

REFERENCIAS

- [1] Azorin J.& Azorin-Vega J.C. (2010). Protección Radiológica. México, D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana.
- [2] Ramirez F.J. et al, (2007). Prototipo de medición de parámetros en unidad de mamografía utilizando fotodiodos, *XII CONGRESO NACIONAL DE DOSIMETRIA Y ESTADO SOLIDO*. Pp. 239-247.
- [3] Custodiano E.R., et al. (2000). Detección de radiación gamma con diodos semiconductores. 2016, de UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE Sitio web: <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/cyt/2001/8-Exactas/E-022.pdf>
- [4] Vitorero F., (2013). Caracterización de detectores semiconductores de radiación ionizante. 2015, de Universidad de Cantabria Sitio web: <http://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/2571/356315.pdf?sequence=1>