

# DETECTOR A BASE DE UN GAS DE ELECTRONES DE 8 CANALES. DESARROLLO DE CONECTORES. MEDICIÓN DE LA POSICIÓN, FLUJO Y LAS TRAYECTORIAS DE LOS RAYOS CÓSMICOS

Heriberto Miranda Nieto (1). Julián Félix Valdez (2).

1 Licenciatura en Ingeniería Física, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: herbertmn1517@gamil.com

2 Departamento de Física, División de ciencias e ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: felix@fisica.ugto.mx

## Resumen

Los rayos cósmicos son descubiertos por Víctor Hess en 1912, y desde entonces son un tema de intensa investigación científica, por las implicaciones en campos como la astrofísica, la evolución del universo, y las posibles aplicaciones prácticas que pudieran tener. En estos días se usan diferentes técnicas para detectarlos y estudiarlos como telescopios de radiación Cerenkov en agua o aire, cámaras multialámbricas, arreglos de materiales centelladores entre otros muchos. Aquí en la Universidad de Guanajuato, el profesor Julián Félix ha inventado y desarrollado una técnica para detectar rayos cósmicos basada en un gas de electrones, y ha creado, con ayuda de sus estudiantes, una serie de detectores de rayos cósmicos entre los que se encuentra un detector de 16 canales a base de un gas de electrones para posicionar la incidencia de rayos cósmicos con una incertidumbre de  $\pm 0.5$  cm. En este trabajo mostramos el diseño, la construcción y la caracterización de los detectores de veto para este detector de 16 canales, y resultados físicos muy preliminares en la detección, y medición del flujo, de rayos cósmicos.

## Abstract

The cosmic rays were discovered by Víctor Hess in 1912, and since then there is an intense scientific investigation around them, because the implications in fields like astrophysics, the evolution of the universe, and the possible practical applications that they could have. In these days different techniques are used to detect and study them like Cerenkov radiation telescopes in water or air, multiwire chambers, scintillation material arrangements among many others. Here at the Universidad de Guanajuato, professor Julián Félix has invented and developed a cosmic rays detection technique based in an electrons gas, and has created, with the assistance of his students, a series of cosmic ray detectors among which can be found a 16 channel detector based in an electron gas to position the cosmic ray incidence with an uncertainty of  $\pm 0.5$  cm. In this work we show the design, construction, and characterization of the veto detectors for this 16 channels detector, and very prelusive physical results in cosmic ray detection.

## Palabras Claves

Foto detección; Fotodiodo; Materiales centelladores; Radiación Cerenkov; Sistema de adquisición de datos.

## INTRODUCCIÓN

Este proyecto es parte del proyecto de construcción de detectores de radiación [1-13]. Víctor Hess descubrió los rayos cósmicos, por año del 1912, al realizar estudios sobre la ionización de la atmósfera en función de la altura, lo que le permitió observar un efecto de mayor ionización a mayor altura fue que aisló el gas usado en su instrumento de detección del gas atmosférico [14].

Los rayos cósmicos son lluvias de partículas, originadas fuera de la tierra, fueron nombrados rayos cósmicos primarios. Algunas de estas partículas inciden en la atmósfera terrestre que al interactuar con la materia generan chubascos de otras partículas, las cuales conocemos como rayos cósmicos secundarios. La medición de estas partículas presenta una herramienta para el estudio de procesos de altas energías, esta radiación presenta un rango amplio de energía desde  $10^8$  eV hasta  $10^{20}$  eV, y condujo al descubrimiento de varias partículas elementales.

Las partículas presentes en los rayos cósmicos son, en su mayoría, hadrones, la mayor parte de ellos son protones y en menor abundancia se encuentran núcleos de átomos ionizados. También se encuentran electrones en los rayos cósmicos, pero en parte minoritaria en comparación con la presencia de hadrones [15].

Los detectores construidos se basan en la interacción de las partículas secundaria con un material, el cual presente ionización o emisión de fotones, procesos que se pueden captar usando los sensores adecuados. Al ensamblar los detectores de veto con el detector a base de gas de electrones de 16 canales tendremos un detector capaz posicionar partículas con una incertidumbre de  $\pm 0.5$  cm y los detectores de veto validarán que ha sido un rayo cósmico el que se ha detectado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño y construcción de los detectores de veto.

Se construyeron 2 detectores de veto para definir o validar el paso de un rayo cósmico por el sistema experimental, tomando como un evento la observación de señal en ambos detectores en el mismo lapso.

Para tener una idea de las medidas y el ensamblaje de los sistemas de detección se realizó un modelo 3D utilizando el software libre Sketchup, estos bosquejos son ilustrativos y en ellos se definen las medidas de las piezas en base a las medidas del plástico detector a usar y de los detectores de gas de electrones de 8 canales. Ver IMAGEN 1.

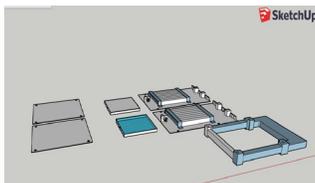


IMAGEN 1: Modelo 3D de los detectores.

El modelo se sometía a revisión, así se podían corregir errores, visualizar dificultades de construcción o funcionamiento que aparecen por la disposición de las piezas y hacer cambios pertinentes para reparar esas situaciones. Las piezas de aluminio que servirán para aislar de radiación el material detector se eligieron con medidas de 0.1 cm de espesor y con bordes cortados a  $45^\circ$ , 0.1 cm, de esta manera las piezas de aluminio encajan apoyándose en estos bordes.

En la construcción del prototipo se usó una lámina de aluminio de aproximadamente 0.15 cm de espesor como bases y tapas para el plástico detector, que en un inicio sería plástico centellador industrial, pero se optó por usar acrílico negro, ver IMAGEN 2. Por la



IMAGEN 2: Acrílico negro de 10.0 cm \* 10.0 cm \* 0.6 cm.

orientación planeada de los detectores para uno la base se planeó de 10.2 cm \* 10.2 cm y la tapa de 16.0 cm \* 15.5 cm y para el otro, la base sería de 16.0 cm\*15.5 cm y la tapa de 10.2 cm\*10.2 cm. Se hicieron las caras laterales con medidas de 10.2 cm de largo por 0.7 cm de alto. La pieza de plástico tiene medidas de 10.0 cm \* 10.0 cm y un espesor de 0.6 cm. En una de las láminas laterales de cada detector se hizo una perforación cuadrada de 0.5 cm \* 0.5 cm, en esta abertura irá colocado el fotodiodo (El fotodiodo utilizado es el HAMAMATSU MPPC S12572-100C/P [4]), las medidas de la perforación son basadas en sus dimensiones, el cual es el sensor de luz. Se hacen perforaciones en los extremos de las piezas de 16.0 cm\* 15.5 cm para poder atornillar los detectores. Para poder detectar los fotones liberados por el material, las caras de las láminas de aluminio, que estarán en contacto con el material detector, fueron pulidas a espejo, ver IMAGEN 3, se eligió aluminio por su reflectancia [16].



**IMAGEN 3:** Piezas de aluminio con la cara interior pulida a espejo.

Para colocar el fotodiodo en la cara lateral perforada, se construye una tarjeta a base de una placa fenólica, con medidas de 10.2 cm \* 0.7 cm, longitud y altura respectivamente, en la cual se hacen 2 pistas de cobre para la conexión del fotodiodo y se le montan conectores tipo molex de 2 pines. Se construyeron cables para realizar la conexión entre la tarjeta alimentadora y la tarjeta del fotodiodo.



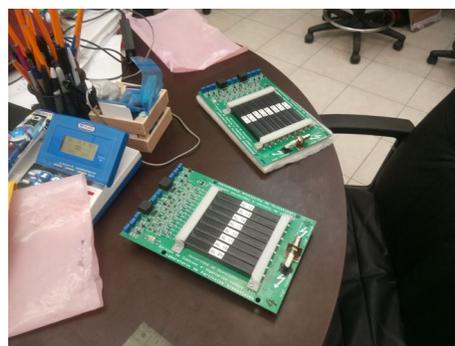
**IMAGEN 4:** Fotodiodo soldado a la tarjeta de conexión, se muestran las pistas aisladas.

Con los conectores montados, se soldaron los fotodiodos, se aislaron las pistas de cobre para que no exista contacto con las piezas de aluminio, ver IMAGEN 4. Se acomodaron las piezas de modo que el plástico quedara centrado y con ayuda de prensas se fijó esta posición y se fueron colocando las piezas laterales, todo fue soldado usando cinta de aluminio para aislar lo más posible el interior de radiación, para este proceso se utilizan guantes para no ensuciar las caras pulidas de las piezas, ver IMAGEN 5. También se construyen los cables para los conectores Molex.



**IMAGEN 5:** Se usa la cinta de aluminio para soldar las piezas.

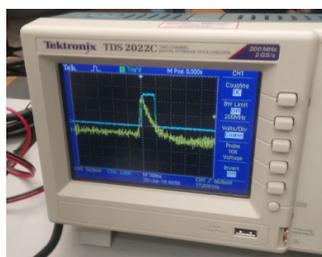
El detector a base de gas de electrones fue construido con 8 barras de metales, en este caso se usa aluminio, que forman una superficie de detección de 10.0 cm\* 10.0 cm. Cada barra tiene colectores los cuales están orientados perpendicularmente a la superficie de detección, a los cuales se les aplican altos voltajes para generar un campo eléctrico en cada barra, ver



**IMAGEN 6:** Ambos detectores a base de gas de electrones, con barras de aluminio.

IMAGEN 6.

### Técnica de detección de rayos cósmicos.



**IMAGEN 7:** Señales digital y analógica desplegadas en un osciloscopio. Escalas señal analógica 50.0 mV, y señal digital 5.0 V.

El material detector usado, tiene la característica de emitir fotones cuando un rayo cósmico para a través de él. Para nuestro material, acrílico negro, la emisión del fotón puede describirse a un proceso de centelleo o a radiación tipo Cerenkov. Aún no es posible identificar si es un tipo de radiación por separado o se observan ambos, no se ha hecho un mayor estudio de las propiedades del material detector, ni de las características de los fotones emitidos.

Los detectores de veto tienen acoplado un fotodiodo, el cual se utiliza para

censar fotones, usando efecto fotoeléctrico, cuando el fotodiodo atrapa un fotón se genera una corriente eléctrica, la cual es dirigida a un circuito RC para formar una señal caracterizada por un decaimiento exponencial, propia del circuito RC.



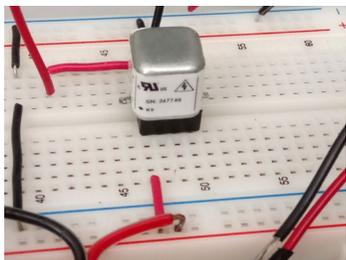
**IMAGEN 8: Sistema de adquisición de datos cRIO.**

El funcionamiento del detector a base de gas de electrones es por ionización. Al pasar un rayo cósmico por una barra, este puede o no ionizar átomos del material, si ocurre el desprendimiento de electrones, estos son atraídos por la fuerza eléctrica del campo eléctrico y viajan hacia el colector positivo, lo cual puede provocar la liberación de más electrones, generando una corriente eléctrica, la cual es captada y dirigida a un circuito RC para obtener la señal analógica característica.

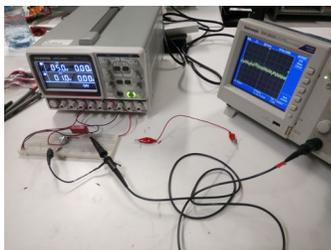
Las señales analógicas obtenidas de ambos detectores, detectores de veto y detector a base de gas de electrones, se digitalizan, ver IMAGEN 7. La señal digital tiene una amplitud de 5 volts, esto para que sea reconocida como uno lógico en el sistema de adquisición de datos, ver IMAGEN 8.

### Caracterización.

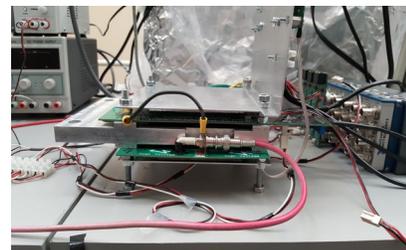
El fotodiodo se alimenta con un voltaje de entre 0-100 V, el cual se suministra usando una fuente Ultravolt modelo 0.1XS5-P0.1, ver IMAGEN 9, con salida de 0-100 V. Dicha fuente, se alimenta con un voltaje de activación de 5 V y un voltaje de control de 0-2.5 V, y se le caracterizó para observar el voltaje de salida según el voltaje de referencia, además de realizar lecturas con un osciloscopio para observar si el valor de salida es estable, ver IMAGEN 10.



**IMAGEN 9: Fuente Ultravolt 0.1XS5-P0.1.**



**IMAGEN 10: Pruebas realizadas con un osciloscopio.**

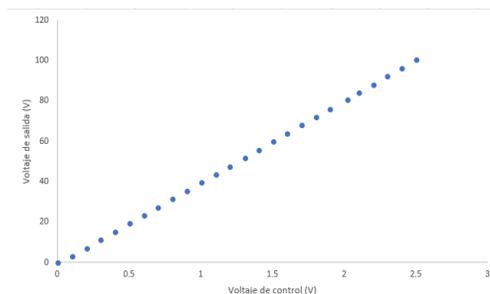


**IMAGEN 11: Ensamble final.**

A los detectores de veto se les hizo una prueba para saber a cuánto voltaje de alimentación en el fotodiodo se empezaban a observar las señales características del circuito RC, usando la fuente Ultravolt. Se buscó el valor de voltaje para el cual el detector comenzara a operar y un valor en el cual se logre la mayor amplitud en la señal sin aumentar demasiado la amplitud del ruido.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La fuente Ultravolt aumenta aproximadamente 4 V en la salida con cada 0.1 V de voltaje de referencia. La salida de voltaje es inestable, muestra picos de voltaje, cuando se alimenta entre 0-



**IMAGEN 12: Gráfica de voltaje de salida contra voltaje de control para la fuente Ultravolt.**

0.3 V, una vez superado ese valor, el valor del voltaje de salida se estabiliza. El límite de voltaje de control es de 2.5 V, ver IMAGEN 12.

El voltaje en el que comienzan a operar los fotodiodos es aproximadamente de 70 V, sin embargo, la máxima amplitud de señal sin tener un aumento considerable del ruido se logra alrededor de los 80 V. Para la toma de datos, se usa el valor de voltaje de 80 V.

Se acoplaron los dos detectores a base de gas de electrones de 8 canales para ensamblar la cuadrícula de detección y también se les montaron ambos detectores de veto para que uno quede sobre la cuadrícula de detección y otro por debajo, de este modo queda ensamblado el sistema de validación de rayos cósmicos y el sistema de posicionamiento de las partículas, ver IMAGEN 11. Con el sistema completado, se procede a hacer la activación y la toma de datos con la cRIO cuya capacidad de adquisición es de 1 ms, se toman datos por un periodo de 10 minutos, los cuales son analizados usando la plataforma ROOT y se hacen los siguientes gráficos, ver IMÁGENES 12, 13 Y 14. Las gráficas representan la cuadrícula de detección y se hace el conteo de cuántas veces hubo coincidencia en los 3 sistemas y en qué posición  $i, j$ . Se toma como ruido cuando existen las mismas cuentas en todas las posiciones, dejando los cuadrantes que registran mayores cuentas como los lugares por donde incidió un rayo cósmico.

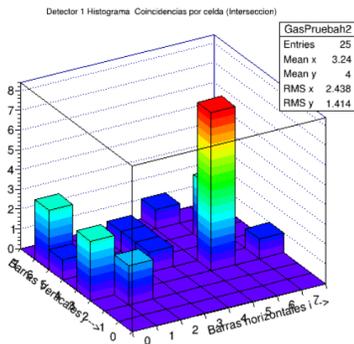


IMAGEN 12: La gráfica muestra cuentas de coincidencia en una posición.

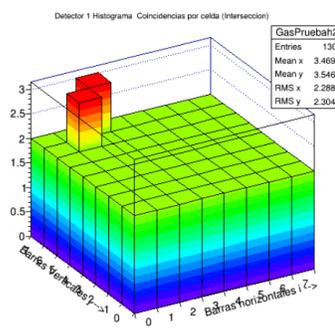


IMAGEN 13: La gráfica muestra dos eventos de coincidencia, posicionados, en los 3 sistemas de detección, montados sobre ruido.

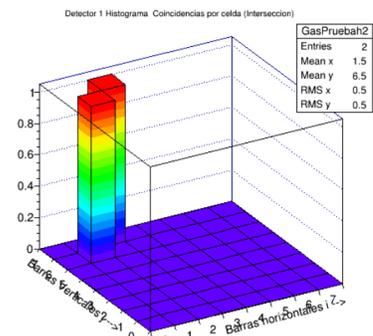


IMAGEN 14: La gráfica muestra únicamente los dos eventos de coincidencia, posicionados, en los 3 sistemas de detección.

## CONCLUSIONES

Se ha construido un detector capaz de posicionar con una precisión de  $\pm 5$  mm y validar la incidencia de rayos cósmicos, el cual utiliza una técnica novedosa de detección.

En los veto detectores se comprobó que se puede usar acrílico negro como emisor de fotones y por ello como material detector.

El potencial de aplicación de este detector es inmenso.

## AGRADECIMIENTOS

A Arceo Miquel Luis, quien ha desarrollado las tarjetas de alimentación y digitalización indispensables para este proyecto. A Granados Vázquez Everardo, Moreno Palacios Óscar Eduardo, Andrade Aldana Diego Armando, Herrera Guzmán Karla, Gutiérrez Raúl y Rojas Torres Francisco Javier, estudiantes de maestría en la Universidad de Guanajuato, por la construcción de los detectores a base de gas de electrones.

## REFERENCIAS

- [1]. Four Channel Mini Wire Chamber to Study Cosmic Rays . J. Felix, G.J. Rodriguez. 2018. 10 pp. Published in EPJ Web Conf. 172 (2018) 07005 DOI: 10.1051/epjconf/201817207005. Conference: C17-09-11 Proceedings.
- [2]. Design, Construction, Test, Operation and Simulation of a Four Channel Cosmic Ray Detector. A. Martínez, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 7 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012050. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012050. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [3]. On a Three-Channel Cosmic Ray Detector based on Aluminum Blocks. L. Arceo, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J. Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012045. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012045. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [4]. Design and construction of a uniform magnetic field generator for a 32 channel cosmic ray detector. K.N. Herrera-Guzman, R.A. Gutierrez Sanchez, J. Felix, L.J. Arceo, C. Araujo (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012037. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012037. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [5]. Cu Hybrid 4 Channel Cosmic Ray Detector. F.J. Rosas Torres, M.A. Hernández Morquecho, L. Arceo, J. Félix (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012036. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012036. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [6]. Design, construction and characterization of a three channels detector of cosmic rays. Julian Félix, Oscar Moreno, Everardo Granados, Luis Arceo (Guanajuato U.). 2017. 5 pp. Published in J.Phys.Conf.Ser. 912 (2017) no.1, 012035. DOI: 10.1088/1742-6596/912/1/012035. Conference: C17-05-24.3 Proceedings.
- [8]. Luis Arceo, J. Felix. Design, Construction and characterization of a Three-channel cosmic ray detector based on Aluminum block electronics. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249. <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [9]. F. J. Rosas, J. Félix. Diseño, Construcción Y Pruebas De Un Detector Híbrido De Rayos Cósmicos De 4 Canales. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249.
- [10]. K. Herrera, R. Gutiérrez, L. Arceo, J. Félix. Design, Construction and simulation of a uniform magnetic field generator with Steel nucleus to deflect cosmic rays. Memorias del congreso XIII semana nacional del ingeniería electrónica. SENIE 2017. Universidad de la Salle Bajío. 4-6, Octubre, 2017. ISSN 1405-1249. <http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>.
- [11]. K. Herrera, R. Gutiérrez, L. Arceo, J. Félix. Design, Construction and simulation of a uniform magnetic field generator with Steel nucleus to deflect cosmic rays. Pistas Educativas No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [12]. L. Arceo, J. Felix Design, Construction and characterization of a Three-channel cosmic ray detector based on Aluminum block electronics. Pistas Educativas, No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [13]. F. J. Rosas, J. Félix. Diseño, Construcción Y Pruebas De Un Detector Híbrido De Rayos Cósmicos De 4 Canales. Pistas Educativas No. 128 (SENIE 2017), febrero 2018, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya.
- [14] Victor F. Hess - Nobel Lecture: Unsolved Problems in Physics: Tasks for the Immediate Future in Cosmic Ray Studies". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 11 Jul 2018. [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1936/hess-lecture.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/hess-lecture.html)
- [15] Berdugo, J. Casaus, J. Mañá, C. Rodríguez Colagne, J. Sánchez, E. (2003). Astrofísica de partículas. Revista de enseñanza de la física, Julio-Agosto, pp 56-64.
- [16] Pettit, E. (1934). The reflecting properties of aluminum-surfaced mirrors. Astronomical society of the pacific, 46, pp 27-31.
- [17] HAMAMATSU Photonics K.K. (2015), MPPCS12572-100P Datasheet.
- [18] Otaola, J. Valdés, J. (1995). Los rayos cósmicos: mensajeros de las estrellas. México D.F. Fondo de la cultura económica.