

# Mini Cámara Multialámbrica Para la Detección de Rayos Cósmicos

González Ancira Irvin Antonio (1), Julián Félix Valdez (2)

1 [Licenciatura en Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: gonzalezai2014@licifug.ugto.mx]

2 [Laboratorio de Partículas, División de Ciencias e Ingenierías, León, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: felix@fisica.ugto.mx]

## Resumen

La instrumentación científica para la detección de radiación en general, y rayos cósmicos en particular, tiene más de cien años de estar evolucionando hasta hoy en día. Existen varias técnicas e instrumentos para la detección de radiación como los detectores Cherenkov, las cámaras multialámbricas, etc. Para hacer estudios de rayos cósmicos hemos planeado, diseñado, construido y caracterizado una pequeña cámara multialámbricas de 3 cm x 3 cm x 2.56 cm de 16 canales de detección: 14 canales de ionización para operarse con una mezcla de gas 90%Ar+10%CH<sub>4</sub> y dos canales de centelleo a base de un bloque de plástico de 3 cm x 3 cm x 0.6 cm para el veto de partículas. Presentamos detalles técnicos de esta mini cámara de detección de rayos cósmicos y resultados físicos muy preliminares.

## Abstract

The scientific instrumentation for the detection of radiation in general, and cosmic rays in particular, has been evolving up to these days for over one hundred years. There are several techniques and instruments for radiation detection such as Cherenkov detectors, multi-wire chambers, etc. To make studies of cosmic rays we have planned, designed, constructed and characterized a small multiwire camera of 3 cm x 3 cm x 2.56 cm of 16 detection channels: 14 ionization channels to be operated with a gas mixture - 90%Ar+10%CH<sub>4</sub>- and two scintillation channels based on a plastic block of 3 cm x 3 cm x 0.6 cm for the veto detectors. We present technical details of this mini camera for the detection of cosmic rays and very preliminary physical results.

## Palabras Clave

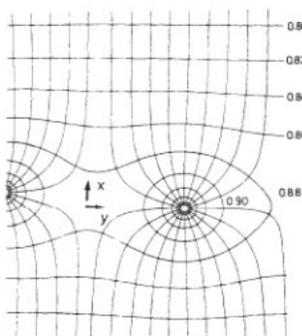
Rayos Cósmicos, Cámara de Ionización, Plástico Centellador, Método de Coincidencias, Fotomultiplicadores

## INTRODUCCIÓN

En 1912 Víctor Franz Hess realizó un vuelo en globo para estudiar los niveles de ionización en la atmósfera terrestre [1]. Sus resultados mostraban que la radiación era tres veces mayor que a nivel del mar. Concluyó que existe radiación proveniente del espacio exterior penetrando en la atmósfera. A esta radiación se le conoce con el nombre de "Rayos Cósmicos". Los rayos cósmicos son partículas a altas energías provenientes del espacio exterior (rayos cósmicos primarios), principalmente protones (89%), núcleos de Helio (10%) y núcleos pesados (1%) que al interactuar con la atmósfera terrestre generan otro tipo de partículas como piones, kaones y muones (rayos cósmicos secundarios). A lo largo de la historia se han desarrollado varios dispositivos y métodos dirigidos a la detección de rayos cósmicos, de nuestro interés son la *Cámara de Charpak* (o Cámara multialámbrica), centelladores y el método de coincidencias.

Este proyecto es parte de un programa para la investigación de rayos cósmicos y la generación de la tecnología de detección, con algunos resultados ya ubicados [2-13].

### Cámara Multialámbrica



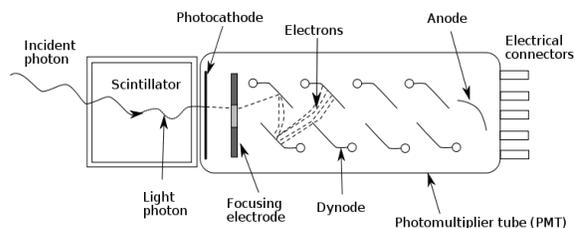
**IMAGEN 1:** Campo eléctrico generado por las fibras a alto voltaje dentro de la cámara de ionización [14].

Desarrollada por Georges Charpak en el CERN, se basa en el proceso de ionización [14]. El funcionamiento es el siguiente: dentro de una cámara llena de gas ionizable (90% Argón y 10% Metano) hay fibras metálicas a muy alto voltaje generando un campo eléctrico (Imagen 1). Cuando un rayo cósmico pasa a través de la cámara de gas, éste ioniza algunos átomos del gas; los electrones arrancados son atraídos a las fibras metálicas debido al campo eléctrico generando una avalancha de electrones. Se genera una señal eléctrica que es recolectada por el capacitor de un circuito RC y la señal es observada en un osciloscopio conectado al circuito.

A mayor energía depositada en el gas, mayor será la carga almacenada en el capacitor, por lo tanto, la amplitud de la señal es proporcional a la energía de la partícula que interaccionó con el gas.

### Centelladores y Fotomultiplicadores

Los materiales centelladores emiten fotones de bajas energías cuando incide radiación en ellos excitando los electrones de los átomos del material. Aislando el material centellante de la luz exterior, se puede concentrar los fotones y detectarlos con un fotomultiplicador [15]. Los fotomultiplicadores convierten una señal óptica en una eléctrica. En la Imagen 2 se muestra el corte de un fotomultiplicador: el fotocátodo absorbe los fotones del centellador y emite electrones. El electrodo de enfoque dirige a los fotoelectrones hacia el primer dinodo. Los dinodos son electrodos a altas diferencias de potencial que multiplican el número de



**IMAGEN 2:** Esquema de un contador de centelleo. La radiación emite luz en el centellador (cuadrado izquierdo) y el fotomultiplicador convierte la señal óptica en una señal eléctrica medible [16].

electrones recibidos. La señal eléctrica final se mide con un circuito RC y de igual forma, la amplitud es proporcional a la energía de radiación.

### *Método de Coincidencias*

Desarrollado por Walther Bothe [17], el método de coincidencias consiste en la detección casi simultánea de radiación (dentro del rango de microsegundos) exponiendo dos o más detectores a una misma fuente de radiación, es decir, verificar que en

Basándonos en estas ideas, se desarrolla una minicámara multialámbrica de 4 canales con dos contadores de centelleo, uno arriba y otro debajo de la cámara para que, por el método de coincidencias saber que lo que pasó por ahí fue un rayo cósmico (debido a eso, los llamaremos veto detectores). Desarrollar este dispositivo nos ayudará para la construcción de la cámara de 16 canales.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Los veto detectores son plásticos centelladores de 3 cm x 3 cm x 0.6 cm de volumen. Para concentrar el centelleo producido, se cubren con dos tapas de aluminio y cuatro placas de 3.2 cm x 0.72 cm pulidas a espejo. Una de las tapas mide 3 cm x 3 cm mientras que la segunda, la tapa inferior, mide 4 cm x 4 cm ya que tiene cuatro perforaciones esquinadas de 1/8 de pulgada de diámetro para poder ensamblar los detectores a la cámara de ionización. Centrando el centellador en la tapa inferior, se coloca la tapa superior sobre el plástico y se presan las tres piezas. Utilizando cinta de aluminio se comienzan a unir los marcos con el resto del sistema. Una de esas placas tiene un orificio cuadrado de 5 mm x 5 mm donde se coloca el fotodiodo Hamamatsu S12572-100P. Todo el material se muestra en la Imagen 3.



**IMAGEN 3:** Piezas de los veto detectores. Todas las piezas metálicas están pulidas a espejo. El plástico centellador se trata con cuidado para evitar ensuciarlo.



**IMAGEN 4:** Tarjetas con los fotodiodos Hamamatsu S12572-100P.



**IMAGEN 5:** Veto detectores terminados.

Los fotodiodos son ensamblados aparte en una tarjeta de dos canales de conexión y un conector de dos pines. Se aísla eléctricamente el resto de la tarjeta para evitar falsos contactos con otras piezas conductoras como se muestra en la Imagen 4. Las tarjetas con los fotodiodos son adheridas a los centelladores con cinta de aluminio cuidando que el fotodiodo tenga contacto con el centellador y evitando fugas de luz. El resultado se muestra en la Imagen 5.



**IMAGEN 6:** Fuente de alto voltaje BK Precision KLN10014 y detector conectado a la placa desarrollada en el laboratorio.

Las piezas aluminio se detallaron y limpiaron (Imagen 7). Es importante cuidar que para todas las piezas, en especial aquellas que conforman el espacio donde se encontrará el gas y las fibras, queden libres de imperfecciones que generen arcos eléctricos debido al alto voltaje. El aluminio de los marcos de la cámara es de un mayor grosor, en sus laterales se encuentran orificios de 1/8 de pulgada de diámetro por lo que se hacen las conexiones para el gas de ionización.

La tarjeta de ionización está hecha de una placa de cobre. Sus dimensiones son 10 cm x 5 cm, con un hueco de 3 cm x 3 cm que es donde el proceso de detección de ionización se lleva a cabo. En la Imagen 8 se muestran las tarjetas. Cada una tiene dos canales de ionización. La Imagen 9 muestra el esquemático de los canales, es un circuito RC que carga la energía depositada para luego liberarla. La primera resistencia de 100 ohm funciona para eliminar el ruido en un factor de 1 en 100. Entre el capacitor de 15pF @3kV y la resistencia de 100 ohm conectada a tierra se encuentra el test point. La idea es generar una cuadrícula de 9 cuadrantes colocando dos canales de ionización perpendiculares a otros dos canales de ionización haciendo posible ubicar el cuadrante por el que el rayo cósmico pasa.



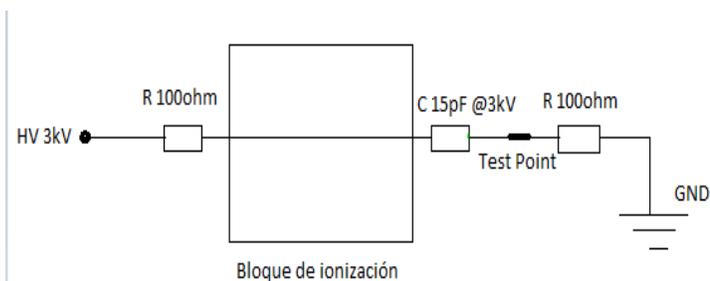
**IMAGEN 8:** Tarjeta de ionización. Componentes eléctricos acomodados y soldados.

Los veto detectores se alimentan con una fuente de voltaje XLN10014 BK Precision y conectados a una placa electrónica propia del laboratorio de partículas (Imagen 6) fueron probados. Para caracterizar el detector se iba modulando la entrada de alto voltaje cada 10 V comenzando en 60 V y observar cuando el osciloscopio mostraba señal hasta llegar a los 100 V. El fotodiodo puede dañarse si se supera este voltaje [18].

Las piezas aluminio se detallaron y limpiaron (Imagen 7). Es importante cuidar que para todas las



**IMAGEN 7:** Piezas de las cámaras de ionización.



**IMAGEN 9:** Esquema electrónico de un canal de ionización. De izquierda a derecha: resistencia para disminuir el ruido, bloque de ionización, capacitor para almacenar la carga, test point y resistencia conectada a tierra.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

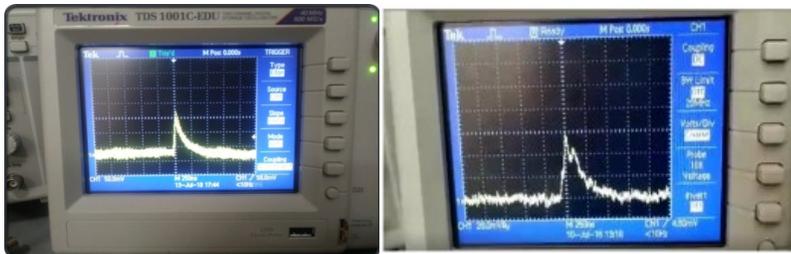


IMAGEN 10: Señal de ambos veto detectores.

Aunque se llegó a los 90 V en la caracterización del veto detector, se detectan señales a partir de los 75 V con una amplitud de 150 mV como se muestra en la Ilustración 10. Se observa una señal analógica con carga del capacitor (casi de manera instantánea) y la parte de descarga que toma poco más de 250 ns. Ambos detectores funcionaban de la misma manera.



IMAGEN 11: Cámara de ionización de 4 canales con veto detectores armada

Ya probado los veto detectores y con las piezas de la cámara de gas listas, se procedió a armar el sistema de detección como se muestra en la Ilustración 11. Se aprecian todos los componentes, de arriba abajo: veto detector superior, marco de aluminio con la salida de gas, marco aislante, placas de ionización perpendiculares entre sí, marco aislante, marco de aluminio con entrada de gas, veto

detector inferior. Todo está ensamblado con tornillos de 1/8 de pulgada de diámetro y 6 cm de longitud. Para evitar que la presión de la cabeza de los tornillos y las tuercas deforme los veto detectores se colocan otro par de marcos de aluminio en los extremos del dispositivo.

## CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y caracterizó un dispositivo capaz de detectar rayos cósmicos. Los veto detectores tuvieron el funcionamiento esperado y en estos días se probará la cámara de ionización para tener un sistema preliminar completo. El plástico (o acrílico) negro no se había utilizado antes como material centellador. Las señales recibidas indican que también funciona como tal.

Las potenciales aplicaciones de esta minicámara multialámbrica son inmensas. En el proyecto original, se planea posicionar una cámara sobre otra, separadas una cierta distancia para tener detección en dos puntos diferentes. Esta especie de telescopio funciona para reconstruir trayectorias de rayos cósmicos. Conocer el origen de alguna radiación podría tener usos en las telecomunicaciones futuras. La caracterización de ciertos materiales utilizando rayos cósmicos también es posible. Para lograr estos avances es necesario desarrollar detectores y métodos al nivel de los resultados que queramos obtener. La tecnología que se desarrolla al mejorar este tipo de detector también es una parte muy importante que lidera a nuevos inventos de potencial global.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a Luis Jorge Arceo Miquel quien colabora en el proyecto en la parte electrónica y a los organizadores de Veranos de Investigación por darnos la oportunidad de participar en nuestro propio desarrollo como científicos.

## REFERENCIAS

- [1] CERN Document Server, (2012). Cosmic rays: particles from outer space. Recuperado de <http://cds.cern.ch/record/1997421>
- [2] 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.
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. 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 de 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 de 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 de 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] Charpak, George. (1992). Electronic imaging of ionizing radiation With limited avalanches in gases. Nobel Lecture.
- [15] Hamamatsu Photonics K.K. (2007). Photomultiplier Tubes. Basics & Applications (3rd Edition). Editorial Committee (pp. 13-18).
- [16] Wikipedia. (2015). Tubo Amplificador Fotoeléctrico. Recuperado de [https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B4%91%EC%A0%84\\_%EC%A6%9D%ED%8F%AD%EA%B4%80](https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B4%91%EC%A0%84_%EC%A6%9D%ED%8F%AD%EA%B4%80)
- [17] Bonolis, Luisa. (2011). Walther Bothe and Bruno Rossi: The birth and development of coincidence methods in cosmic-ray physics. American Journal of Physics 79(11). 1133-1150.
- [18] Hamamatsu Photonics K.K. (2015). MPPC S12572-100P Datasheet.