

## DETECTOR HÍBRIDO DE RAYOS CÓSMICOS DE 24 CANALES

Diego Armando Andrade Aldana (1), Julián Félix Valdez (2)

1 Ingeniería Física, Universidad de Guanajuato | Dirección de correo electrónico: andradead2011@licifug.ugto.mx

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

### Resumen

Existen tubos de deriva que operan en modo Geiger para detectar la radiación ionizante, también hay detectores de radiación Cerenkov basados en fotomultiplicadores. Aquí se presenta el diseño, la construcción y la operación detector híbrido que combina un tubo de deriva y un detector de radiación Cerenkov en una celda, utilizado principalmente hasta ahora para la detección de rayos cósmicos, la cual es la unidad básica para un detector híbrido de mayor dimensión.

### Abstract

There are drift tubes operating on a Geiger mode to detect ionizing radiation, also there are Cerenkov detectors based on photomultipliers. Here is the design, construction and operation of a hybrid detector that combines both, a drift tube and a Cerenkov detector in one cell, used mainly so far to detect cosmic rays, which is the basic unit to build a larger hybrid detector.

### Palabras Clave

Rayos Cósmicos; Radiación Cerenkov; Ionización; Celda Híbrida; Sistema de adquisición de datos.

## INTRODUCCIÓN

“La radiación cósmica incidente en la parte superior de la atmósfera incluye partículas cargadas estables y núcleos con tiempos de vida del orden de  $10^6$  años. Aquellas partículas aceleradas en fuentes astrofísicas son denominados rayos cósmicos “primarios” y “secundarios” a los resultantes de la interacción de los primarios con el gas interestelar. Por lo que, electrones, protones y Helio así como núcleos de Carbono, de Oxígeno, de Hierro y otros sintetizados en las estrellas son primarios. Núcleos tales como Litio, Berilio y Boro (los cuales no son productos finales abundantes en nucleosíntesis) son secundarios. Antiprotones y positrones son en gran medida secundarios.” [1].

Esta radiación fue descubierta en 1912 por Victor F. Hess quien midió la ionización de la atmósfera en función de la altura, concluyó la existencia de una radiación penetrante procedente del exterior de la Tierra [2].

Planeamos medir el flujo de rayos cósmicos usando un detector híbrido que emplea dos técnicas de detección -detección de radiación Cerenkov y de ionización- para estudiar esta radiación por medio de la detección de los productos que genera en su interacción con la atmósfera terrestre.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Diseño y construcción de la celda híbrida

El detector híbrido consta de seis celdas básicas híbridas de detección de rayos cósmicos, es decir, cada una de las celdas es un detector por sí mismo, sin embargo, al emplear simultáneamente un conjunto de éstas incrementa su potencial para el estudio de esta radiación.

La celda híbrida de detección está compuesta por un tubo rectangular de Aluminio de 1.01 m de longitud y sección transversal de 1 pulgada cuadrada con un grosor de 0.1 cm pulido en su interior con un acabado de espejo. El diseño se muestra en la Imagen 1.

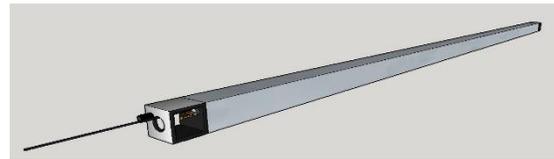


IMAGEN 1: Diseño de la celda híbrida de detección.

En sus extremos cuenta con un tapón aislado ópticamente que cuenta con los elementos para la foto detección (Imagen 2) –fotodiodo, fibra óptica y laminilla de aluminio-, así como los elementos para la detección de ionización, estas dos técnicas son empleadas para la detección de partículas con carga eléctrica, principalmente muones tratándose de aquéllas provenientes de la interacción de los rayos cósmicos con la atmósfera.

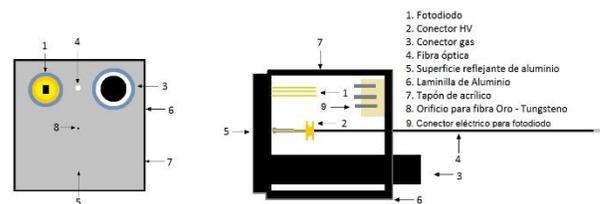


IMAGEN 2: Detalle composición del tapón.

### Técnicas de detección de rayos cósmicos

La primera técnica de detección de la celda híbrida es mediante ionización, para ello en el interior de la celda de manera coaxial se encuentra una fibra de Tungsteno recubierta con Oro cuyo diámetro es una milésima de pulgada, misma que está soldada a los conectores de Oro, uno en cada extremo sobre los tapones. En esta fibra se aplica una alta tensión eléctrica aproximadamente 1000 V – 1200 V de modo que las partículas suficientemente energéticas que pasen sobre el interior de la celda ionizan las moléculas del gas contenido en ella como se muestra en el diagrama de la imagen 3, provocando una avalancha de electrones hacia la fibra tras la ionización de otras moléculas cercanas. El gas empleado hasta ahora ha sido aire.

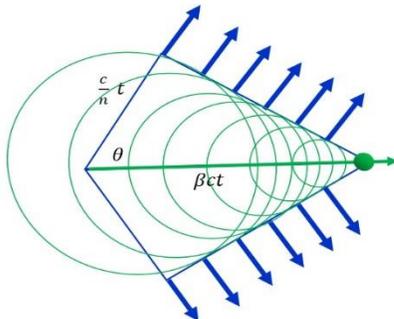


IMAGEN 3: Diagrama Ionización.

La fibra metálica está conectada a un circuito RC sobre el cual se lee la señal de salida debida a los iones negativos atraídos hacia ésta. La señal puede ser visualizada con un osciloscopio.

La segunda técnica de detección de rayos cósmicos corresponde a la detección de radiación Cerenkov (nombre que recibe en honor al físico ruso Pavel A. Cerenkov quien descubrió e interpretó este fenómeno [3]) producida por aquellas partículas que posean carga eléctrica con rapidez superior a la de la luz en el medio material, en este caso, el medio es el gas al interior de la celda.

Esta radiación es emitida en un ángulo constante el cual depende del índice de refracción del medio. En la Figura 4 se muestra un diagrama de una partícula cuya rapidez en el medio es  $v_p$ , a su vez la luz se propaga en el medio con rapidez  $c/n$  donde  $c$  corresponde a la magnitud de la velocidad de la luz en el vacío y  $n$  al índice de refracción del medio en que se propaga esta onda. A partir del diagrama de la Imagen 4 podemos obtener el valor del ángulo de emisión de esta radiación. [4]



**IMAGEN 4: Diagrama emisión de radiación Cerenkov.**

El ángulo de emisión de esta radiación está dado por la ecuación 1.

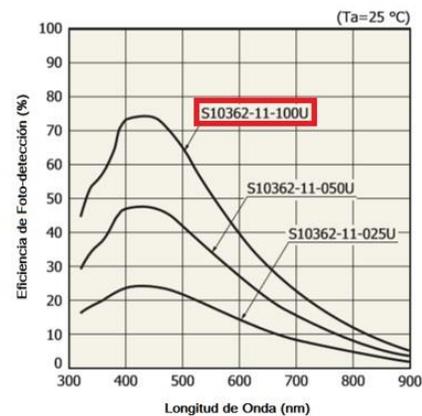
$$\theta = \cos^{-1} (1 / \beta n) \quad (1)$$

Donde

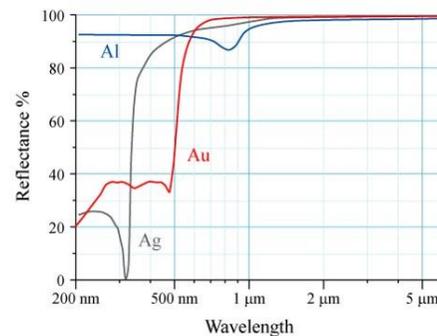
$$\beta = v_p / c \quad (2)$$

Para detectar la radiación electromagnética producida al interior de la celda se hace uso de un par de fotodiodos de avalancha (APD) S10362-11-100U Hamamatsu, uno en cada extremo de la celda. Estos fotodiodos están comunicados al interior de la celda e instrumentados electrónicamente para leer las señales obtenidas a partir de la emisión de radiación Cerenkov al interior

de la celda. La mayor eficiencia de detección (70%) en función de la longitud de onda para este tipo de fotodiodo está alrededor de los 400 nm de longitud de onda, lo cual lo hace óptimo para la detección de radiación Cerenkov debido a que esta radiación tiende al ultravioleta (Imagen 5). Para mejorar la reflexión de la luz al interior de la celda se ha empleado Aluminio como cuerpo del detector ya que la reflectancia de este material es superior al 90 % (Imagen 6) además de que ha sido pulido con un acabado de espejo.



**IMAGEN 5: Gráfica eficiencia de foto detección del fotodiodo 210362-11-100U Hamamatsu en función de la longitud de onda. [5].**

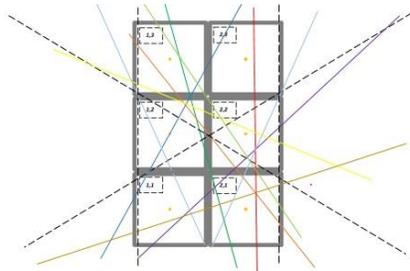


**IMAGEN 6: Gráfica reflectancia del Aluminio en función de la longitud de onda de la radiación incidente [6].**

Cada una de las celdas cuenta con cuatro canales de salida para la señal, dos correspondientes al canal de detección de ionización y dos al canal de detección de radiación Cerenkov.

Usando un arreglo con varias de estas celdas podemos obtener un sistema como el mostrado en la Imagen 7. Con el cual es posible determinar trayectorias de las partículas incidentes, contar

coincidencias, validar las señales y determinar direcciones considerando las celdas que presentan señales, así como el orden temporal en que suceden, para ello se requiere de un sistema de adquisición de datos y cómputo para poder procesar las diferentes señales obtenidas, esta etapa continúa en desarrollo.

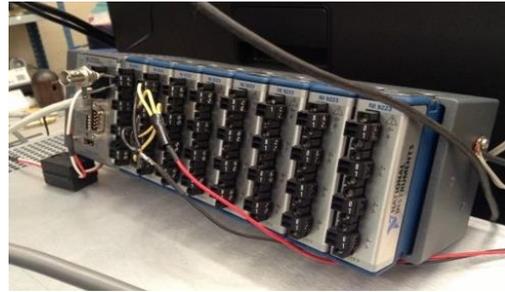


**IMAGEN 7: Diagrama Detector Híbrido de 24 canales con posibles trayectorias de partículas incidentes.**

El detector híbrido es mostrado en la Imagen 8, cada uno de los canales de salida requieren ser conectados al sistema de adquisición de datos para poder almacenar las señales obtenidas por el detector. Las señales analógicas de salida son convertidas a pulsos digitales mediante una electrónica desarrollada en el Laboratorio de Partículas Elementales de la División de Ciencias e Ingenierías, Campus León de la Universidad de Guanajuato (<http://laboratoriodeparticulaselementales.blogspot.mx/>) para poder entrar al sistema de adquisición de datos CompactRIO de National Instruments (Imagen 9) con el cual es posible generar un archivo de texto que almacena el número de cuentas por periodo de tiempo.



**IMAGEN 8: Montaje del detector híbrido de 24 canales compuesto por 6 celdas híbridas de detección de rayos cósmicos.**

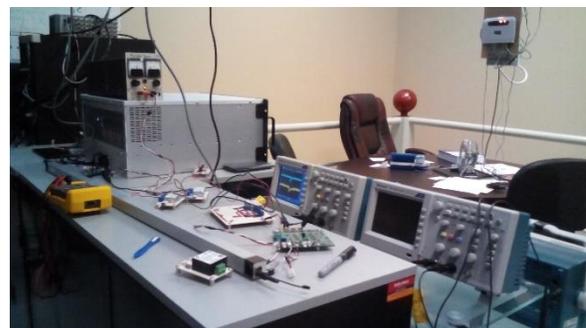


**IMAGEN 9: Sistema de adquisición de datos de 32 canales, CompactRIO NI.**

De esta manera con la información obtenida es posible proceder con un análisis de datos para poder llevar a cabo los objetivos planteados, medición del flujo, reconstrucción de trazas etc.

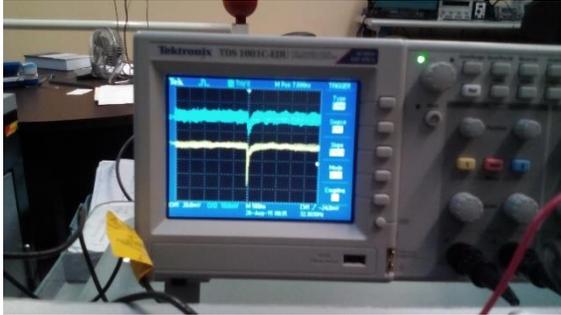
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la imágenes 10, 11 y 12 se muestran el sistema experimental con una de las celdas y algunos de los resultados obtenidos, las señales de salida en el canal de ionización que indican el paso de partículas sobre el detector, así como las señales de salida obtenidas mediante el canal óptico (radiación Cerenkov) que indican en paso de partículas sobre el detector dejando rastro mediante otra técnica de detección.



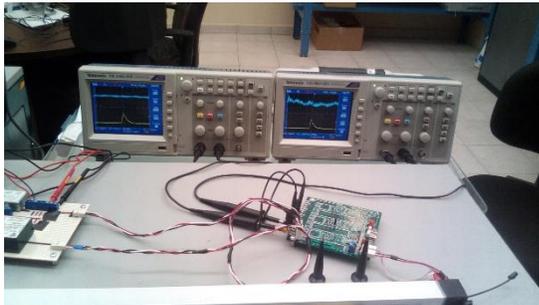
**IMAGEN 10: Celda híbrida de detección de rayos cósmicos operando.**

Las señales obtenidas en el canal de ionización reportadas tienen amplitudes de 10 mV y 30 mV con un ruido electrónico de 5 mV aproximadamente y duraciones de 200 ns.



**IMAGEN 11:** Señales de salida del canal de ionización (azul y amarillo).

Para el canal óptico se reportan señales de salida con amplitudes de 80 mV con un ruido electrónico de 2 mV aproximadamente y duraciones de 250 ns.



**IMAGEN 12:** Señales de salida canal óptico (canales amarillos).

Ambos canales de detección funcionan, unas partículas son detectadas por un solo canal o por ambos, sin embargo para poder establecer claramente esta relación es necesario adquirir datos para para analizar este punto.

## CONCLUSIONES

La celda híbrida de detección funciona en sus dos canales de detección proporcionando cuatro señales de salida. Las amplitudes de las señales del canal de ionización requieren ser amplificadas para poder entrar al sistema de adquisición de datos, para el canal óptico no es necesario realizar esta tarea.

Es posible utilizar un arreglo con varias de estas celdas, en particular 6 para obtener un detector híbrido de 24 canales para analizar en su conjunto la información obtenida.

## AGRADECIMIENTOS

A Luis Arceo Miquel estudiante de doctorado en física en la DCI, Universidad de Guanajuato, quien ha desarrollado la electrónica requerida para el uso del sistema de adquisición de datos el cual también ha sido habilitado por él.

## REFERENCIAS

[1] Revised by Beatty, J.J. (Ohio State Univ.), Matthew, J. (Louisiana State Univ.) & Wakely (Univ. of Chicago) (2013) revised August 2009 by T.K. Gaisser and T. Stanev (Bartol Research Inst., Univ. of Delaware). Cosmic Rays. (Ed.), K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chinese Physics C38, 090001 (2014). (pp. 378-385).

[2]"Victor F. Hess - Facts". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 30 Aug 2015.  
<[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1936/hess-facts.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1936/hess-facts.html)>

[3]"Pavel A. Cherenkov - Facts". *Nobelprize.org*. Nobel Media AB 2014. Web. 30 Aug 2015.  
<[http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1958/cherenkov-facts.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1958/cherenkov-facts.html)>

[4] Stanev, T. (2010). Cosmic ray interactions. En High Energy Cosmic Rays (pp. 22-23). Chichester, UK: Springer in association with Praxis Publishing.

[5] Gráfica eficiencia foto detección tomada de "Hoja de Datos Fotodiodo 210362-11-100U Hamamatsu" Web 30/08/2015  
<[http://www.phys.hawaii.edu/~idlab/taskAndSchedule/iTOP/SciFi\\_doco/s10362-11series\\_kapd1022e05.pdf](http://www.phys.hawaii.edu/~idlab/taskAndSchedule/iTOP/SciFi_doco/s10362-11series_kapd1022e05.pdf)>

[6] Gráfica Reflectancia del Aluminio Bass, M., Van Stryland, E.W. (eds.) *Handbook of Optics* vol. 2 (2nd ed.), McGraw-Hill (1994) ISBN 0070479747. Gráfica tomada de  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Image-Metal-reflectance.png>