

Mini Cámara Mono alámbrica Para Detección de Rayos Cósmicos

J. Felix¹

¹Laboratorio Internacional de Partículas Elementales. Departamento de Física, División de Ciencias e Ingenierías, Campus León, Universidad de Guanajuato
Teléfono (477) 788-5100 Ext. 8444 E-mail: felix@fisica.ugto.mx

Resumen — La cámara tipo Geiger-Müller, de uno o varios canales, es tradicionalmente muy empleada en la detección de radiación y en el estudio de las partículas elementales, incluyendo los rayos cósmicos. Para propósitos de difusión, de docencia, y de investigación científica, planeamos, diseñamos, construimos y caracterizamos una mini cámara mono alámbrica, tipo Geiger-Müller, construida en base a un tubo comercial de cobre -de 10 cm de largo, 0.075 cm de espesor, y 1.5875 cm de diámetro-. Presentamos detalles técnicos sobre esta mini cámara y algunos resultados físicos preliminares.

Palabras Claves — Geiger-Müller, ionización, partícula elemental, rayos cósmicos

Abstract — Geiger-Müller chamber type, of one or few wires, is traditionally very used in the detection of the radiation and in the study of elementary particles, including cosmic rays. It has the advantage of being very economic and very easy to construct from daily life materials. For science outreach, for teaching, and for scientific research, we planned, designed, built, and characterized an one wire mini chamber, Geiger-Müller type, based on a commercial Copper tube, -10 cm long, 0.075 cm thickness, and 1.5875 cm diameter-. We present technical details on this mini chamber and some preliminary physical results.

Keywords — Geiger-Müller, ionization, elementary particle, cosmic rays

I. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de detección de radiación son muy variadas; pero a nivel fundamental, sólo hay se han construido dos: Todas se basan en la detección de iones o en la detección de fotones en diferentes materiales [1,2]. La técnica de detección de radiación mediante la detección de iones formados en gases, con un canal de detección en forma de tubo, es muy común para propósitos de difusión, didácticos y de investigación científica; ésta recibe el nombre de técnica de Geiger-Müller de detección de radiación [3]. Los gases que se usan varían desde aire común hasta mezclas de varios gases, por ejemplo, Ar90%+CH410%. En estos días hay muchas formas, y materiales, para construir un detector de radiación tipo Geiger-Müller. El tubo puede ser de Aluminio, bronce, Cobre, Fierro, u otro metal. Un alambre metálico, o fibra metálica, coaxial al tubo, tensado, y soldado a un circuito electrónico básico RC es el elemento de para atraer

las cargas eléctricas. Este alambre va conectado en un extremo a una fuente de voltaje alto (generalmente uno 500 V o mayor), en el otro extremo se coloca un capacitor (C) y una resistencia eléctrica (R) en serie. El circuito eléctrico se cierra conectando las tierras y la superficie del tubo entre ellas. El alambre coaxial al tubo puede sustituirse por una varilla metálica delgada (1.5 mm de diámetro aproximadamente), ésta es la versión más común en los detectores de radiación comerciales tipo Geiger-Müller. La presión del gas va de 1 atmósfera a 0.1 atmósfera. En un punto de la presión y temperatura del gas, y a un valor determinado del voltaje aplicado, la eficiencia de detección es máxima.

La forma en que se detecta radiación ionizante es la siguiente: cuando una partícula ionizante pasa por el gas encerrado en el tubo, si no ioniza el gas la partícula no es detectada, si ioniza el gas el ion negativo es jalado hacia la fibra metálica -si el potencial eléctrico de la fibra es positivo- o el ion positivo es jalado hacia la fibra metálica -si el potencial eléctrico de la fibra es negativo-, por el principio de Coulomb. La cámara de ionización tipo Geiger Müller funciona con los dos tipos de potencial, positivo o negativo. El ion jalado hacia la fibra gana más energía y eventualmente ioniza más átomos, y produce más iones, que a su vez producen más iones. Se forma una avalancha de portadores de carga eléctrica hacia la fibra, ya sea negativos o positivos dependiendo del signo del voltaje aplicado. En el proceso, la carga eléctrica se almacena paulatinamente en el capacitor. Cuando el proceso termina, el capacitor se descarga a través de la resistencia eléctrica. Ahí es donde se obtiene la salida del detector, una señal eléctrica en forma de descarga de un sistema RC característica. El valor del tiempo de descarga depende el valor de RC; y la amplitud, de la energía depositada por la partícula ionizante en el gas.

El detector normalmente opera en la región de producción de pares de iones, llamada región de Geiger-Müller. Esto significa que por cada pulso detectado se tiene una partícula incidente o viceversa. De esta manera, es posible contar las partículas incidentes y medir la energía depositada en el detector. También es posible detectar fotones gamma de forma indirecta, a través de los electrones que la radiación gamma eyecta de la superficie del metal hacia el volumen del gas, donde se inicia un proceso de avalancha de formación de iones por el electrón entrante.

Agradecemos a DAIP, Universidad de Guanajuato, y al programa STEAM de las Américas el apoyo económico recibido.

El objetivo principal en este artículo es planear, diseñar, construir, caracterizar, y operar una mini cámara mono alámbrica para propósitos de difusión de la ciencia, de docencia, de desarrollo tecnológico y de investigación científica en el área de rayos cósmicos, y la física en general.

II. METODOLOGÍA

Para propósitos de difusión de la ciencia -la física y la tecnología-, educativos, y de investigación científica, planeamos diseñamos, construimos y caracterizamos una mini cámara mono alámbrica, a base de un tubo de Cobre de 10 cm de largo, de 0.074 cm de espesor, de 1.5875 cm de diámetro tipo comercial, normalmente usado en fontanería o refrigeración. Coaxial al tubo va conectada una fibra metálica -de Tungsteno recubierto de Oro, de la marca CFW (California Fine Wire company)-, de 0.00254 cm de diámetro, y tensada a 20 g. Los extremos del tubo se rematan con placas de acrílico de 2.3 cm x 2.3 cm x 0.6 cm. Estos remates son la base para sostener la fibra metálica y los tubitos para la entrada, o salida, del gas con el que opera la cámara; este sistema está herméticamente sellado mediante soldadura epóxica -soldadura en frío, Quik Steel, Blue Magic, reparador de metales. Todo el sistema se fija a una placa fenólica, donde está la conexión para la fuente de alto voltaje, y el circuito mínimo de lectura de la señal.

A la fibra metálica va conectada una fuente de alto voltaje (0 V, hasta 3000 Vdc) en un extremo y al otro extremo se coloca un capacitor C y una resistencia eléctrica R en serie. Esta resistencia y la superficie del tubo metálico se conectan a tierra.

Otros aditamentos como una resistencia en serie con la fibra metálica y la fuente de alto voltaje, para disminuir la corriente eléctrica, y un capacitor en el punto de unión de esta resistencia y la fuente de alto voltaje y conectado a tierra, para disminuir ruido, son opcionales, pero recomendables.

A. Planeación

Planeamos una mini cámara de ionización mono alámbrica a base de un tubo de Cobre, de 10 cm de longitud, de 1.5875 cm de diámetro, para operar a voltajes del orden de 1500 V, con capacidad para operar con distintos gases y a diferentes presiones. Debe ser compacta, portable, fácil de manejar y operar, y construida con los materiales más actuales disponibles en el mercado. Debe ser la base para futuros desarrollos.

B. Diseño y construcción

El diseño básico de la parte mecánica está puesto en la Figura 1.

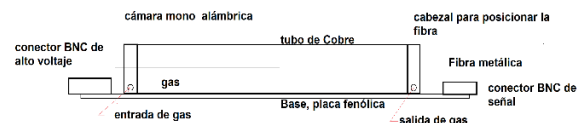


Fig. 1. Diseño de la mini cámara mono alámbrica. Parte mecánica y parte eléctrica.

El diseño básico de la parte electrónica se muestra en la Figura 2. Ver Referencia [4], para mayor información.



Fig. 2. Diseño de la mini cámara mono alámbrica. Parte electrónica.

La construcción la realizamos en el laboratorio de partículas elementales de la Universidad de Guanajuato, <https://laboratoriointernacionaldeparticulaelementales.net/>. El tubo de Cobre se corta a 10 cm de largo, se pule por afuera y por dentro con una serie de lijas muy finas. Se limpia con aire sopleteado; no deben quedar rebabas de material ni motas de polvo en los tubos. Se cortan los cabezales -son dos plaquitas de acrílico de 6 mm de espesor y 2.3 cm x 2.3 cm de ancho y largo, respectivamente-; se perforan las entradas de gas en uno de los laterales, y por el centro geométrico para colocar la fibra metálica; se sueldan a los extremos del tubo de Cobre y se sueldan los tubos para la entrada y la salida del gas -son dos tubitos de 2 cm de largo y 3 mm de diámetro exterior. Se coloca la fibra metálica, se suelda por un extremo a uno de los cabezales de la cámara mono alámbrica, se tensa a 20 g -con una pesa de 20 gramos- y se suelda por el otro extremo al cabezal opuesto. El tubo y los cabezales se sueldan a la placa fenólica con resina epóxica. Se suelda la superficie exterior del tubo de Cobre a la tierra de la placa fenólica. Se sueldan la resistencia y el capacitor del circuito RC (del orden de 200 ohm y 1.9 nF, respectivamente), la resistencia R (del orden de 1000 ohm) de alto voltaje a la fibra metálica y a la placa fenólica, y los conectores BNC de señal y BNC de alto voltaje a la placa fenólica y al circuito electrónico. La capacitancia de la mini cámara mono alámbrica es de 0.018 nF. Por consiguiente, la capacitancia total final, después de

configurar la parte electrónica es 0.018 nF, porque el capacitor C está en serie con la mini cámara mono alámbrica.

El prototipo terminado se muestra en la Figura 3. En esta foto, para comparación se le adjunta la regla graduada.

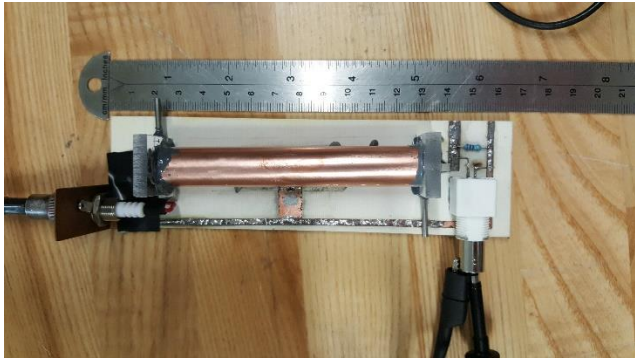


Fig. 3. Diseño de la camarita mono alámbrica. Ensamblada completamente. Se pueden observar las diferentes partes.

C. Caracterización y Operación

En la Figura 4 mostramos la mini cámara mono alámbrica conectada a la fuente de alto voltaje y al osciloscopio. El sistema experimental usado.

Aplicamos diferentes voltajes, positivos y negativos por separado, con la fuente de alto voltaje High Voltage Calibrated DC Power Source, Model 1570-M4, desde 0 V dc hasta 2000 V dc. Y observamos las señales de salida producidas quizá por la incidencia de rayos cósmicos - muones [5]- en un osciloscopio Tektronix TDS1001C-EDU, two channel digital storage oscilloscope, 40 MHz, 500 MS/s. Las señales presumiblemente producidas por incidencia de rayos cósmicos, empiezan a generarse alrededor de los 1200 V dc positivos, y alrededor de los 800 V dc negativos. A voltajes negativos se requiere menor voltaje, en valor absoluto, para empezar a producir señales que a voltajes positivos. Este resultado es significativo.

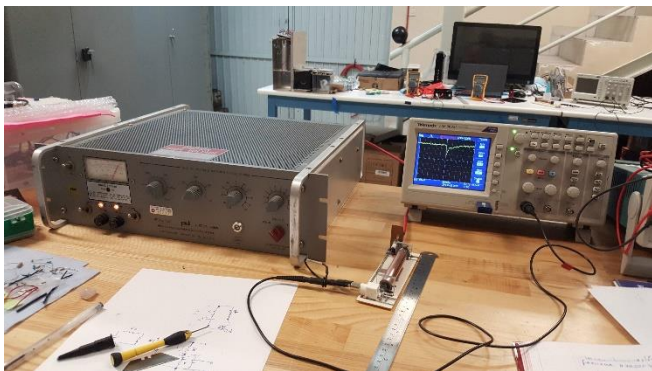


Fig. 4. Diseño de la mini cámara mono alámbrica. Aparece una señal en el osciloscopio generada por rayos cósmicos.

III. RESULTADOS

La cámara mono alámbrica funciona muy bien a voltajes positivos y a voltaje negativos, con aire y a presión atmosférica normal. No se observan chispas, o descargas incontroladas. La clave para que no ocurra este fenómeno no deseable es la resistencia eléctrica R entre la fuente de alto voltaje y la fibra metálica. La corriente eléctrica queda limitada.

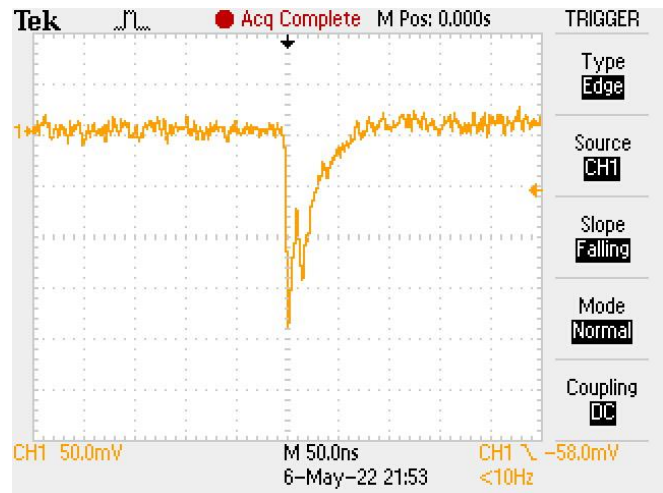


Fig. 5. Señal producida por rayos cósmicos con voltajes positivos en la mini cámara mono alámbrica, a 2200 V. Claramente son dos señales empalmadas, la amplitud menor se produce después que la señal de amplitud mayor. La duración de las señales es de alrededor de 10 ns.

Las señales con voltajes positivos empiezan a producirse alrededor de los 1200 V, con amplitud negativa; las señales a voltajes negativos, alrededor de los 800 V, con amplitud positiva.

Un ejemplo de señal detectada se ilustra en la Figura 5, con voltajes positivos aplicados a la mini cámara mono alámbrica.

Aparecen dos señales empalmadas, antes de terminar una empieza la otra señal, con amplitudes de 200 mV y 150 mV, respectivamente. Las duraciones de las señales son de alrededor de 10 ns. Cada disparo captado está asociado con la incidencia de una partícula cósmica. La segunda señal empalmada corresponde quizá con una segunda avalancha producida por una segunda partícula cósmica o por un fotón producido por recombinación del ion positivo y el ion negativo. No siempre aparecen estas señales dobles. Son raras, ocasionales. A veces hay triples o cuádruples, de amplitudes diferentes. Se pueden observar porque la duración de las señales es muy corta (10 ns), y en la ventana de tiempo, 100 ns, caben varias. Es posible que mientras más cortas en duración las señales sean, más señales podamos observar. La distribución en el tiempo es muy importante, es posible que

haya algún período de ocurrencia de estas señales, importante y que se pueda correlacionar con otros fenómenos naturales.

En la Figura 6 se ilustra una señal producida por incidencia de rayos cósmicos cuando la mini cámara mono alámbrica se alimenta con voltajes negativos. La amplitud es positiva.

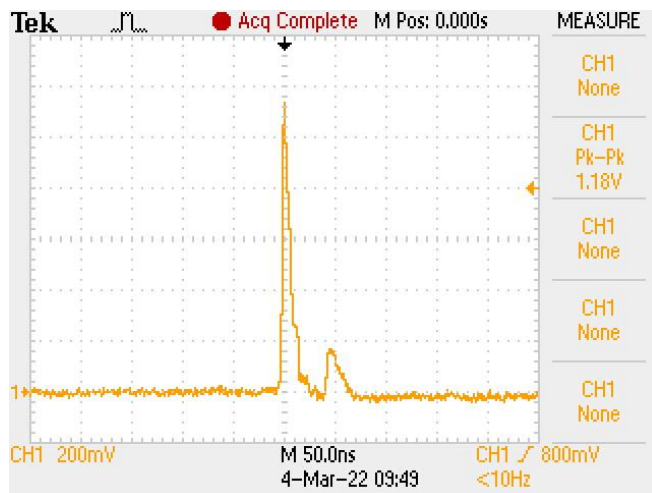


Fig. 6. Señal producida por rayos cósmicos con voltajes negativos en la mini cámara mono alámbrica, a -1200 V. Claramente son dos señales separadas. La señal de amplitud menor se produce después que la señal de amplitud mayor en valor absoluto. El tiempo de duración de cada señal es de alrededor de 10 ns.

La amplitud de la señal es de 1.18 V, muy diferente a la señal producida por rayos cósmicos cuando la mini cámara mono alámbrica se alimenta con voltaje positivo. También aparecen dos señales juntas, muy cercanas. Quizá sean dos partículas cósmicas que incidieron casi simultáneamente o la segunda es producida por la avalancha creada por el fotón producto de la recombinación de dos iones -electrón y ion positivo-. No siempre aparecen dos señales juntas; en la mayoría de las veces, una; ocasionalmente tres o más. El tiempo de duración de la señal es del orden de 10 ns.

IV. DISCUSIÓN

La mini cámara mono alámbrica funciona de acuerdo a como fue planeada y diseñada. Funciona con voltajes negativos y con voltajes positivos; a partir de los -800 V dc, y a partir de los $+1200$ Vdc, respectivamente. Para voltajes de -2200 V dc se obtienen señales de cerca de 1.18 V dc, y para voltajes $+2200$ se obtienen señales de 200 mV. El tiempo de duración de las señales es de 10 ns, aproximadamente. A pesar de lo contaminado del aire, la mini cámara mono alámbrica funciona razonablemente bien.

A veces se observa más de una señal en el osciloscopio, con señales separadas o empalmadas. Estas señales pueden ser generadas por más de una partícula cósmica o por fotones, provenientes de una recombinación de iones, que generan avalanchas secundarias de iones.

Las amplitudes observadas en las señales son variables, desde unos 50 mV hasta 1120 mV; la ocurrencia de las señales es aleatoria, a veces pasan largos periodos sin que se registren señales y a veces ocurren varias por segundo. Siempre el tiempo de duración es de alrededor de 10 ns. Si hay señales más rápidas en los rayos cósmicos con esta mini cámara mono alámbrica no es posible detectarlas.

La mini cámara mono alámbrica está diseñada para poder cambiar el tipo de gas de operación y la presión de éste.

Faltan estudios de verificación de las partículas incidentes; mediante la técnica de coincidencias es posible mejorar la probabilidad de que las señales observadas en el osciloscopio sean generadas por incidencia de rayos cósmicos.

Falta mejorar el tiempo de duración de las señales; mediante la mejora de la electrónica y el control de la presión del gas y la temperatura es posible lograr esta mejora.

Falta automatizar la adquisición y almacenamiento de las señales vistas en el osciloscopio; mediante un sistema automatizado de adquisición de datos se puede mejorar la captura y almacenamiento de datos.

Esta mini cámara mono alámbrica es la base para futuros desarrollos. Con un sistema o arreglo más sofisticado de varias camaritas es posible determinar la posición de incidencia de las partículas, y la traza de las mismas, y la identidad de las mismas.

V. CONCLUSIONES

Presentamos la planeación, el diseño, la construcción, la caracterización, y las pruebas del funcionamiento de una mini cámara mono alámbrica para la detección de rayos cósmicos y la radiación en general.

La mini cámara funciona satisfactoriamente, dentro de las características planeadas.

Funciona con voltajes positivos y voltajes negativos. Para voltajes positivos, las señales tienen amplitudes negativas -valores negativos en la amplitud-, y recíprocamente.

Funciona con aire a presión atmosférica normal. Está diseñada para operar con diferentes gases y a diferentes presiones.

Empieza a funcionar cerca de los 800 V dc para voltajes negativos y cerca de los 1200 V dc para voltajes positivos. A 2200 volts negativos, las señales tienen amplitudes de 1200 mV; y a 2200 volts positivos, cerca 200 mV de amplitud negativa.

El valor de la amplitud de las señales es aleatorio, que se corresponde con la aleatoriedad de la energía dejada por la partícula cósmica a su paso por el gas de la mini cámara.

La ocurrencia o producción de las señales es aleatoria, correlacionada con la aleatoriedad de la incidencia de los rayos cósmicos en la mini cámara.

La duración de las señales observadas es del orden de 10 ns, correlacionado este tiempo con el valor RC del sistema de detección: $RC = (0.018 \text{ nF}) (1000 \text{ ohms}) = 18 \text{ ns}$.

Esta mini cámara mono alámbrica es la base para futuros desarrollos: mejorar los tiempos de detección, la rapidez de detección, la cantidad de datos colectados, y la confianza en que las señales son producidas por rayos cósmicos y radiación en general.

AGRADECIMIENTOS

A los ya casi cien estudiantes de la DCeI que han participado en este proyecto o proyectos relacionados. A DAIP, Universidad de Guanajuato por el apoyo otorgado.

REFERENCIAS

- [1] B. Sitar, G. I. Merson, V. A. Chechin, Yu. A. Budagov, Ionization Measurements in high Energy Physics. Springer-Verlag, Berlin (1993).
- [2] J. Felix. Breves Ensayos. Editorial Sophos, Guatemala. (2021). <https://tienda.sophosenlinea.com/autor/julian-felix/>.
- [3] https://en.wikipedia.org/wiki/Geiger-Müller_tube.
- [4] John Linsley Hood (1993). The Art of Linear Electronics. Elsevier. p. 210. ISBN 978-1-4831-0516-1.
- [5] Tanabashi et al. (Particle Data Group), Phys. Rev. D 98, 030001 (2018).