

CONSTRUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE UNA CÁMARA DE PLACAS RESISTIVAS

Miguel Raúl Ordóñez Fernández

Noviembre de 2020

- Introducción
- Cámara de Placas Resistivas
- Construcción de un RPC
- Caracterización de un RPC
- Conclusiones

1. Introducción

Breve historia de los rayos cósmicos...

- J. Clay (1927) y B. Rossi (1930) dan evidencia de que los RC son partículas con carga positiva [1][2].
- P. Auger (1938) propone que la detección en tierra es la medición de varios eventos secundarios [3], como se muestra en la figura 1.

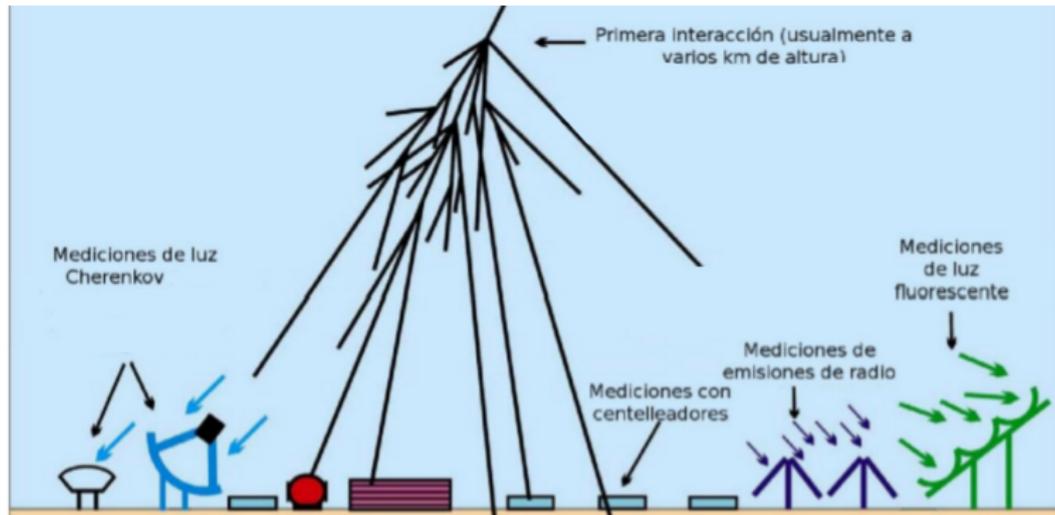


Figura 1: Desarrollo de una cascada atmosférica.

1. Introducción

Breve historia de los detectores gaseosos

- PPCs, 1949

Presentado por J. W. Keuffel, usa el campo eléctrico generado por un capacitor plano [5]. Consta de dos placas de molibdeno de 31 cm^2 de área, con un gap¹ de 3 mm (ver figura 3). La tensión aplicada era de 1-3 kV. Se usa vapor de xileno ($C_6H_{12}[CH_3]_2$) y argón [6].

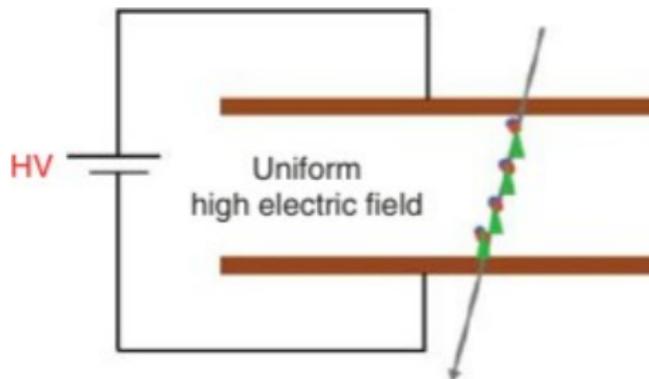
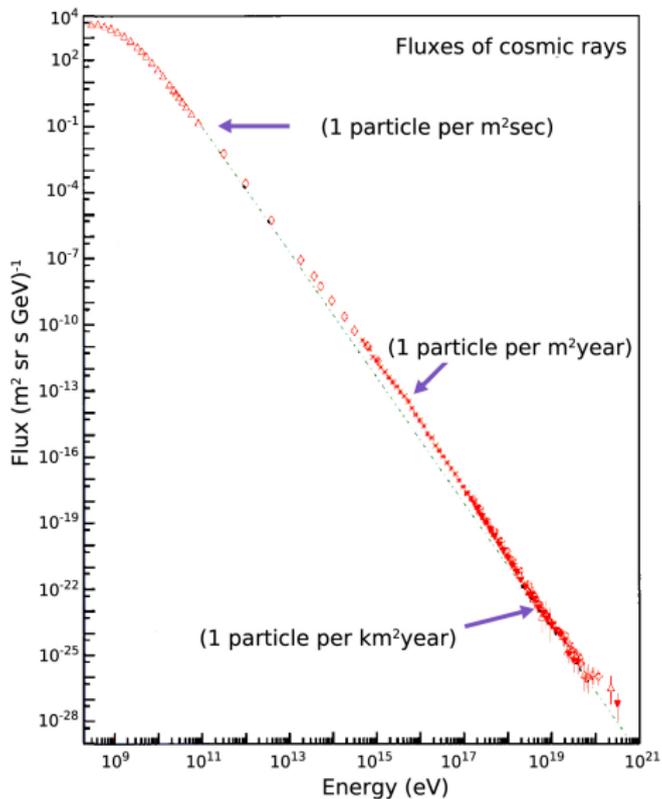


Figura 3: Esquemático de un PPC.

¹Espacio de separación entre placas donde fluye el gas.

1. Introducción

¿Qué energía poseen los rayos cósmicos?



1. Introducción

¿Qué partículas detectamos?

Consideremos un protón con energía 10^6 GeV.

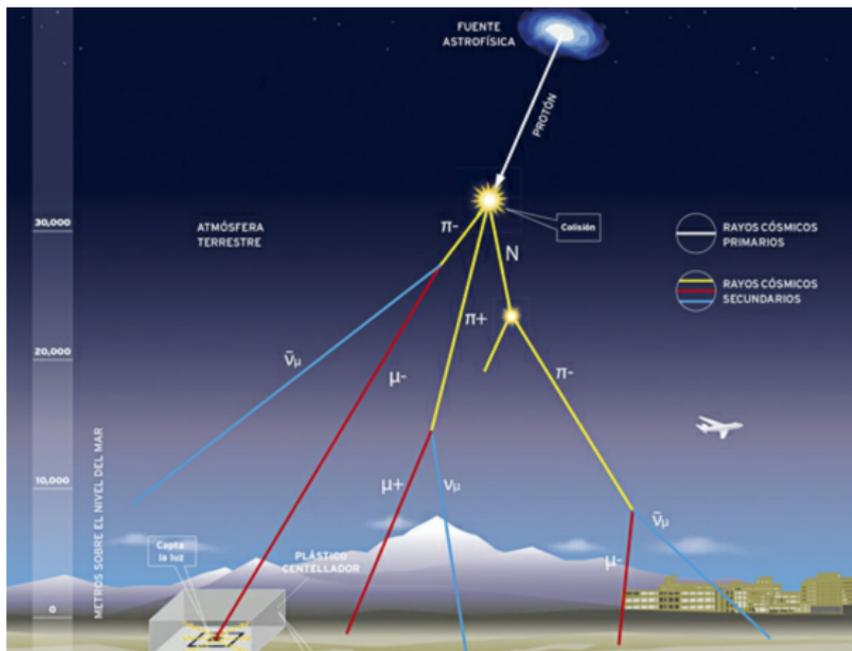


Figura 5: Desarrollo de una cascada atmosférica.

1. Introducción

¿Qué partículas detectamos?

① $p \rightarrow$ barión (p o n) + mesones (piones y kaones).

② Piones y kaones:

- $E > 30$ GeV \rightarrow colisionan \rightarrow piones y kaones de menor energía.
- $E < 30$ GeV \rightarrow decaen

$$\kappa^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu, \quad \pi^+ + \pi^0 \quad (1)$$

$$\kappa^0 \rightarrow \pi^+ + \pi^-, \quad 2\pi^0, \quad \pi^+ + e^- + \nu_e \quad (2)$$

$$\pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_\mu \quad \pi^- \rightarrow \mu^- + \bar{\nu}_\mu \quad \pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma \quad (3)$$

③ $\mu > 5$ GeV se desintegran en ~ 31 km.

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu \quad (4)$$

④ $\gamma \rightarrow$ pares e^+e^- . A su vez, mediante el proceso bremsstrahlung, $e^- \rightarrow \gamma$.

1. Introducción

Requerimientos de los detectores de RC

Eficiencia

$$\varepsilon_{ff} = \frac{\text{Número de eventos detectados}}{\text{Total de eventos incidentes}} \quad (5)$$

Resolución temporal

Se entiende como la rapidez con la que se genera la señal una vez que la partícula ha pasado por el detector [7].

Distribución de carga y energía

Es posible deducir la carga eléctrica de las partículas detectadas a partir de las señales generadas.

Teniendo la corriente inducida, la carga será la integral respecto al tiempo.

$$I(t) = \frac{E}{V} \cdot q_e \cdot v \cdot n(t) \quad (6)$$

1. Introducción

Requerimientos de los detectores de RC...

Para n_0 electrones primarios, el número de electrones que llegan al ánodo viene dado por [8]:

$$n(t) = n_0 e^{\alpha x} \quad (7)$$

donde α es el primer coeficiente de Townsend (número de ionizaciones por unidad de longitud) y x la trayectoria de la partícula.

Límite de Raether: $\alpha x \approx 20$ limitando el valor de la ecuación 7 a

$$q \approx 5 \times 10^8$$

2. Cámara de Placas Resistivas

Primer prototipo

Las Cámaras de Placas Resistivas fueron desarrolladas en 1979 por Rinaldo Santonico [9].

- Material del electrodo: baquelita.
- Grosor del electrodo: 2 mm.
- Diferencia de potencial: 7 a 10 kV.
- Grosor del gap: 2 mm.
- Número de gaps: 1.
- Gases: Argón (60-70 %), butano (40-30 %) y CF_3Br (bromotrifluorometano o Halon 1301) (3-5 %).

2. Cámara de Placas Resistivas

Diseño...

Electrodos

Suele elegirse vidrio con resistividad $\rho = 10^{10}\Omega \cdot m - 10^{14}\Omega \cdot m$ o baquelita con $\rho = 10^9\Omega \cdot m$ [10].

Gases

El freón (95.15 %) requiere una baja energía de ionización, el isobuteno (3.9 %) absorbe los fotones UV y el SF_6 (hexafluoruro de azufre, en 0.6 %) se encarga del exceso de electrones [11].

Recubrimiento de electrodos

Se elige el grafito por añadir una resistividad de alrededor de 6-7 $M\Omega$ a los electrodos. Esta capa hace posible la aplicación uniforme del alto voltaje [12].

2. Cámara de Placas Resistivas

Modos de operación

Modo Avalancha (ver figura 6).

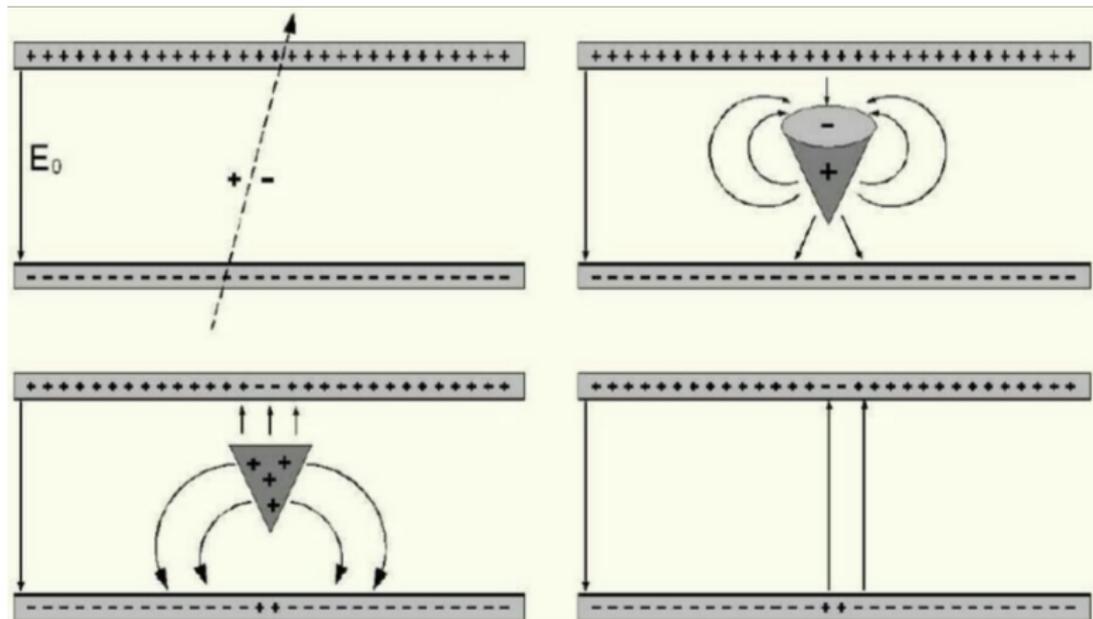


Figura 6: Representación esquemática de 4 instantes en una avalancha (imagen tomada de [13]).

2. Cámara de Placas Resistivas

Modos de operación

Modo Streamer (ver figura 7).

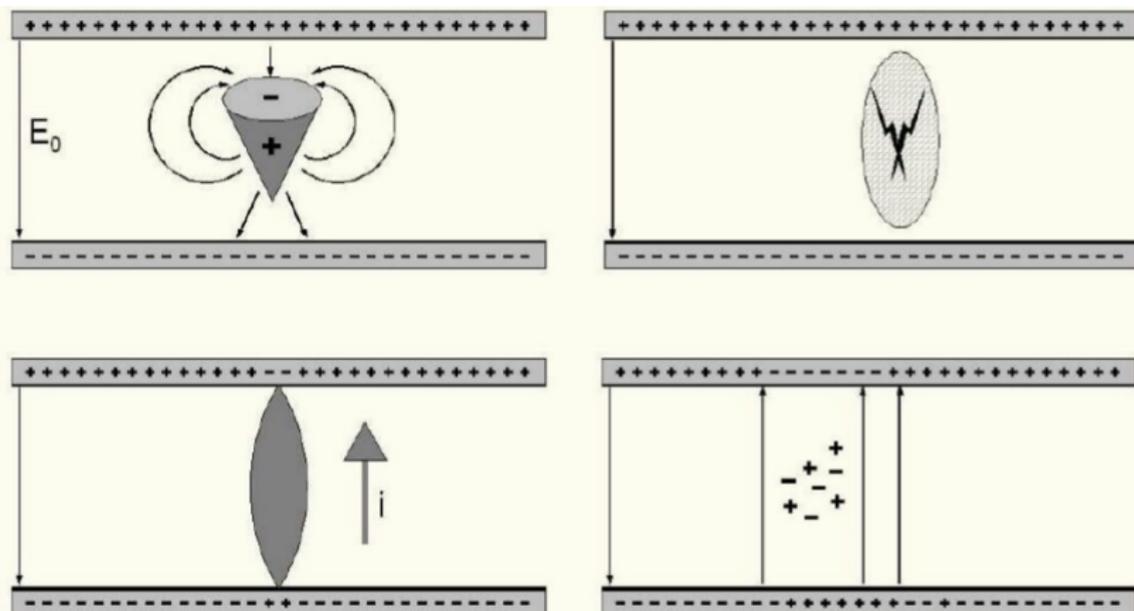


Figura 7: Representación esquemática de 4 instantes de tiempo en el modo streamer (imagen tomada de [13]).

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara

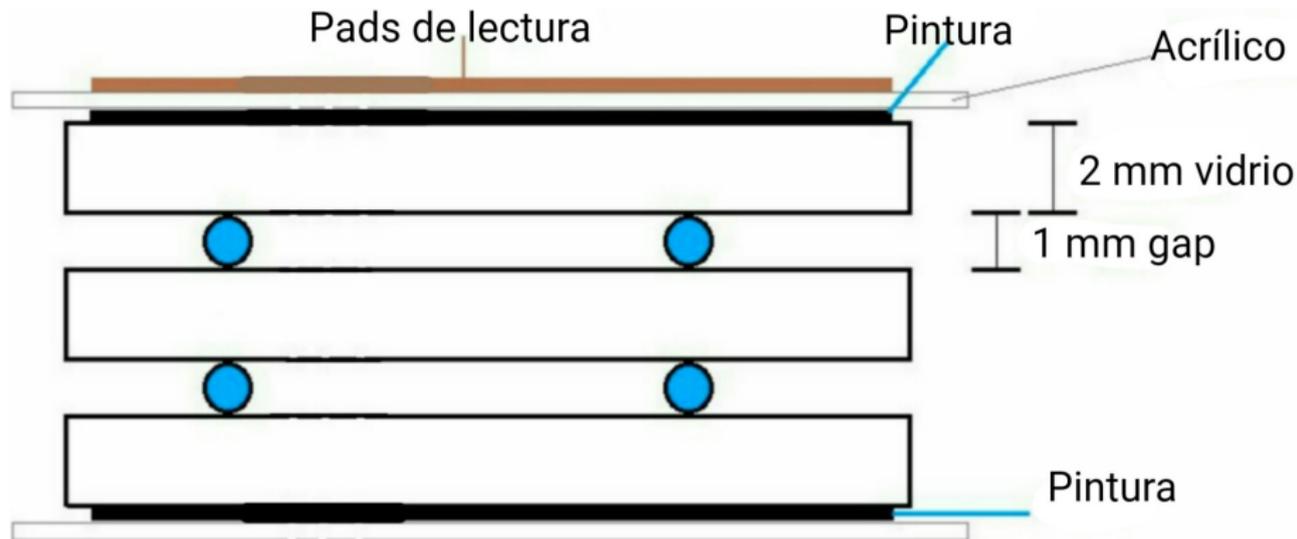


Figura 8: Corte transversal del interior de la cámara de un centímetro de alto.

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara



Figura 9: Marco de acrílico de $25 \times 25 \times 1$ cm. (izquierda) y conectores para la entrada y salida del gas (derecha).

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara

Los electrodos de vidrio son recubiertos con pintura resistiva a través de la cual, con ayuda de pintura conductora en el contorno, se les aplica el alto voltaje (ver figura 10, izquierda). Posteriormente vuelve a recubrirse nuevamente con pintura de grafito.

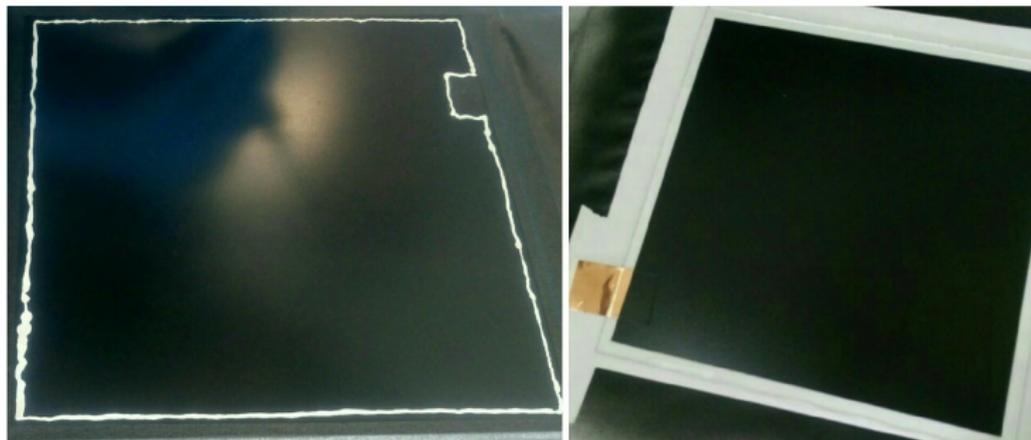


Figura 10: Distribución de pintura conductiva de plata (izquierda). Electrodo terminado y listo para implementarse en el detector (derecha).

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara

En los gaps hay monofilamentos de nylon que mantienen constante dicha separación (ver figura 11).



Figura 11: Fotografía que muestra la colocación de los monofilamentos de nylon.

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara

En la figura 12 apreciamos cómo la cinta de cobre enrolla el alambre de alta tensión.



Figura 12: Alimentación a los electrodos de HV.

3. Construcción de un RPC

Arreglo del interior de la cámara...

Finalmente, se sella el detector con resina colocando peso sobre las tapas y dejando reposar por un día como se ve en la figura 13.



Figura 13: Detector sellado con la mezcla de resina.

3. Construcción de un RPC

Arreglo del exterior de la cámara

Llamados strips o pads (ver figura 14), los electrodos de captación se colocan en la parte superior e inferior de la caja de acrílico (por fuera) abarcando toda el área de detección.



Figura 14: Las tiras verticales se denominan strips (derecha) mientras que el diseño de cuadrícula se conoce como pads (izquierda).

3. Construcción de un RPC

Arreglo del exterior de la cámara

Se protege la cámara dentro de una caja de aluminio. El arreglo final se muestra en la figura 15.

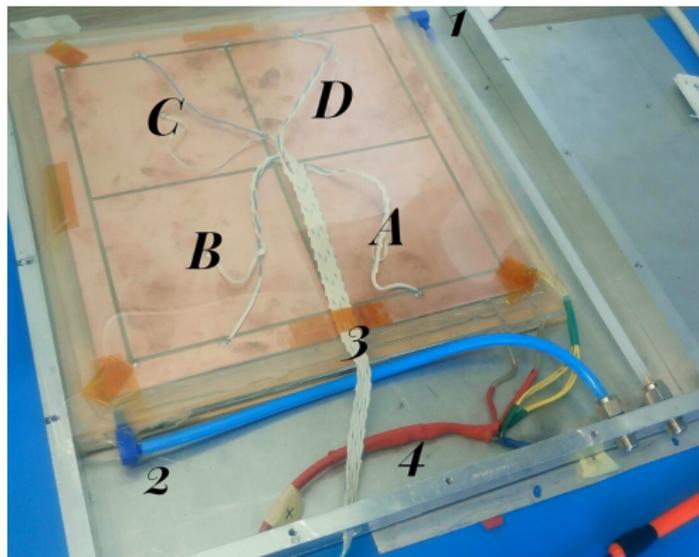


Figura 15: Vista del interior de la caja de aluminio.

3. Construcción de un RPC

Arreglo del exterior de la cámara...

La figura 16 muestra todo lo que el operador dispone para maniobrar el RPC. El interior de la cámara se conecta con el exterior del detector de esta manera.

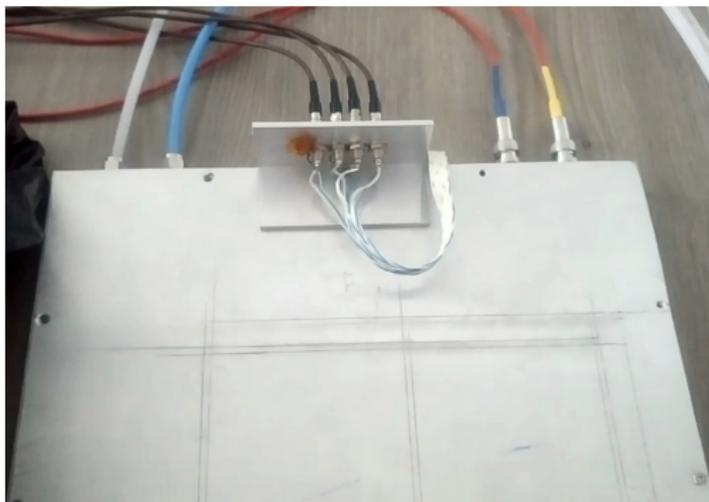


Figura 16: RPC terminada y encerrada en una caja de seguridad de aluminio.

3. Construcción de un RPC

Características del RPC construido...

Nombre	Valor
Material del electrodo	Vidrio
Grosor del vidrio	2 mm
Resistividad del vidrio	$10^{11} \Omega \cdot m$
Longitud del gap	1 mm
Número de gaps	2
Gas	Freón
E. de ionización	12 eV
Voltaje de operación	8-12 kV
Área de detección	400 cm ²

Cuadro 1: Parámetros de operación y características del RPC construido.

4. Caracterización del RPC

Resistividad

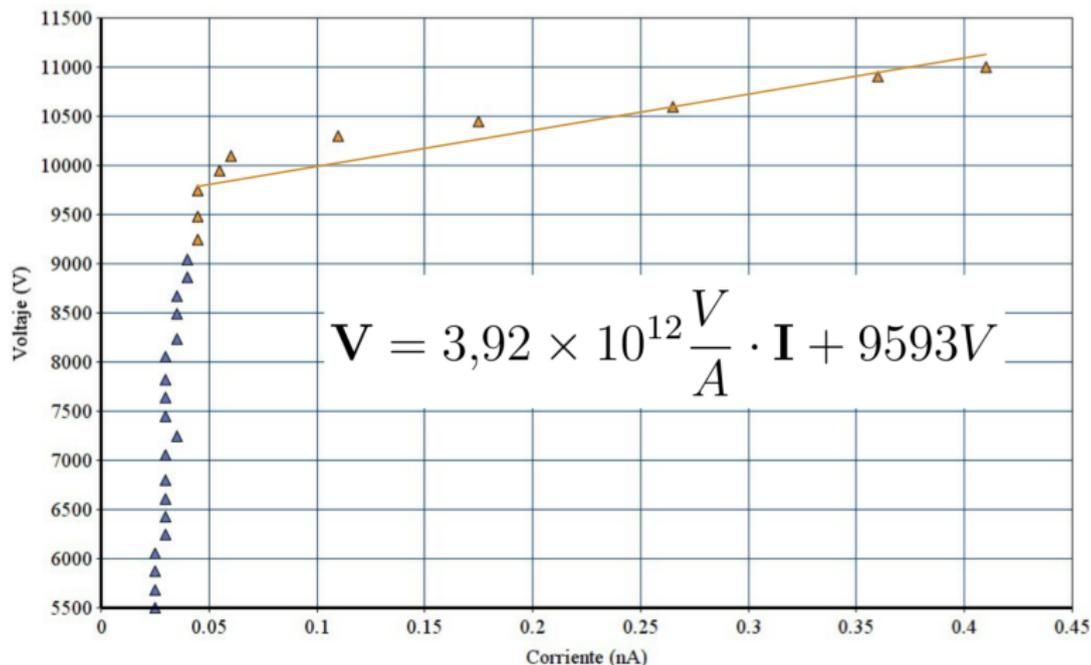


Figura 17: Datos obtenidos de la resistividad. Gráfica Voltaje vs Corriente.

4. Caracterización del RPC

Rate

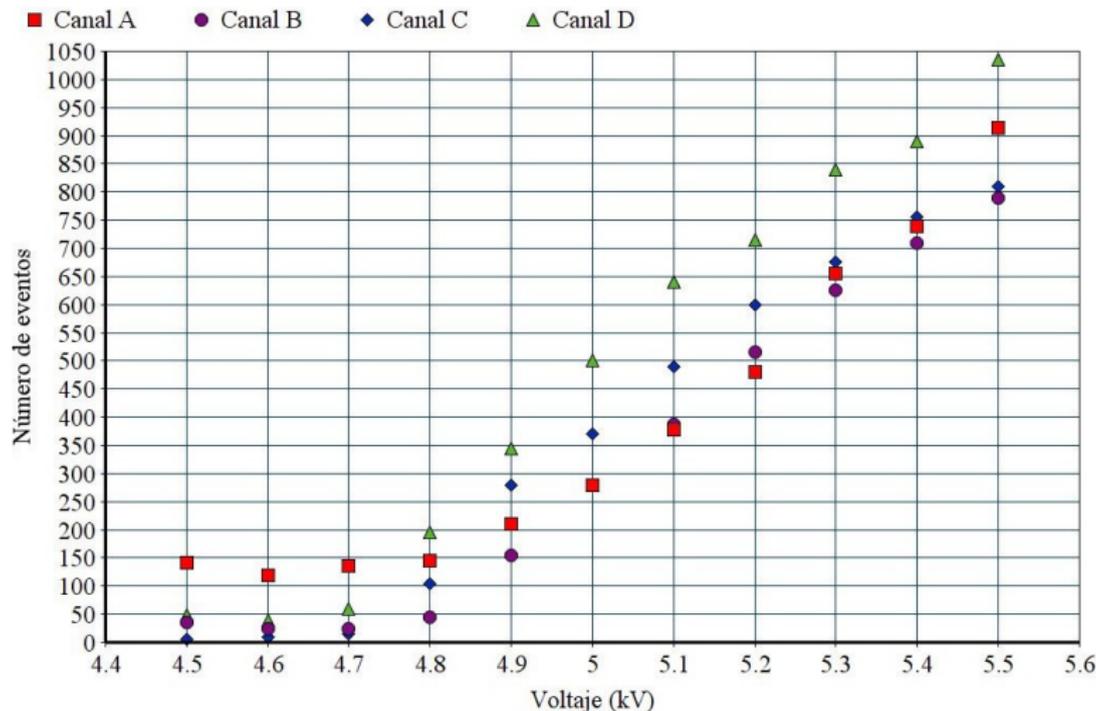


Figura 18: Gráfica del Rate: Número de eventos vs Voltaje.

4. Caracterización del RPC

Eficiencia

Para obtener esta característica del detector, es necesario hacer uso de plásticos centelladores y PMT's.

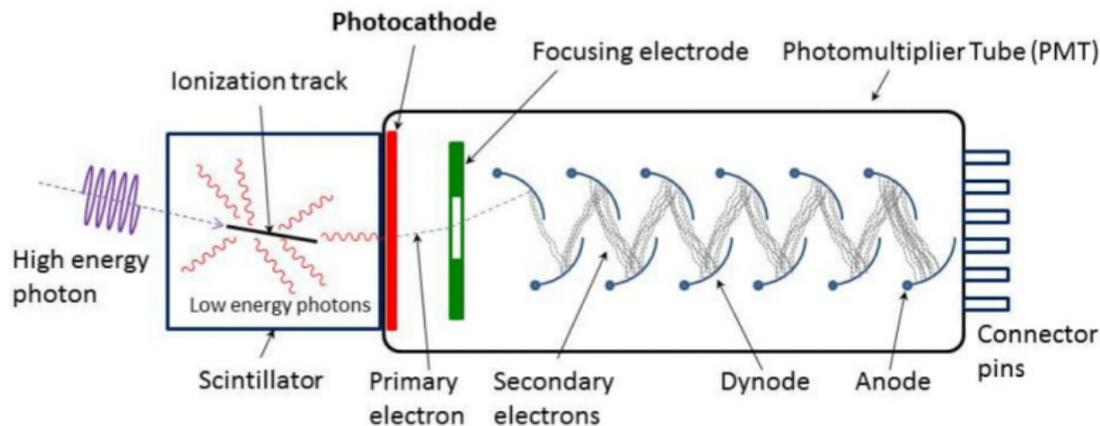


Figura 19: Funcionamiento del PMT con plástico centellador.

4. Caracterización del RPC

Eficiencia

Los centelladores y los PMT's son colocados como se aprecia en la figura 20:

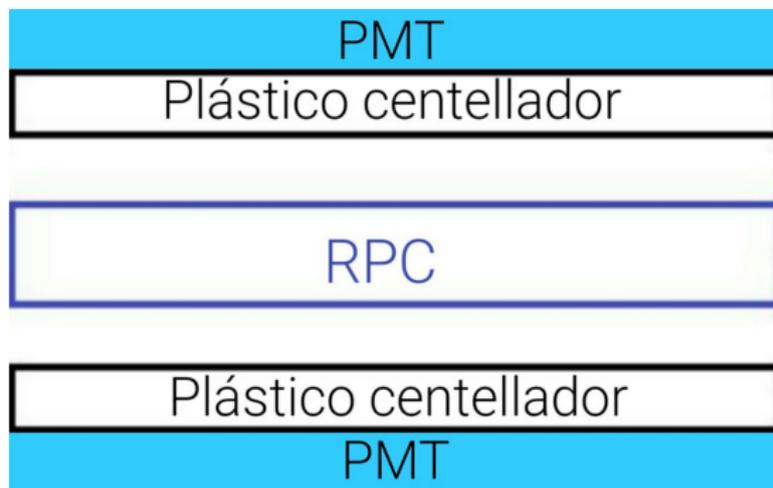


Figura 20: Arreglo propuesto para llevar a cabo el test de eficiencia.

4. Caracterización del RPC

Eficiencia

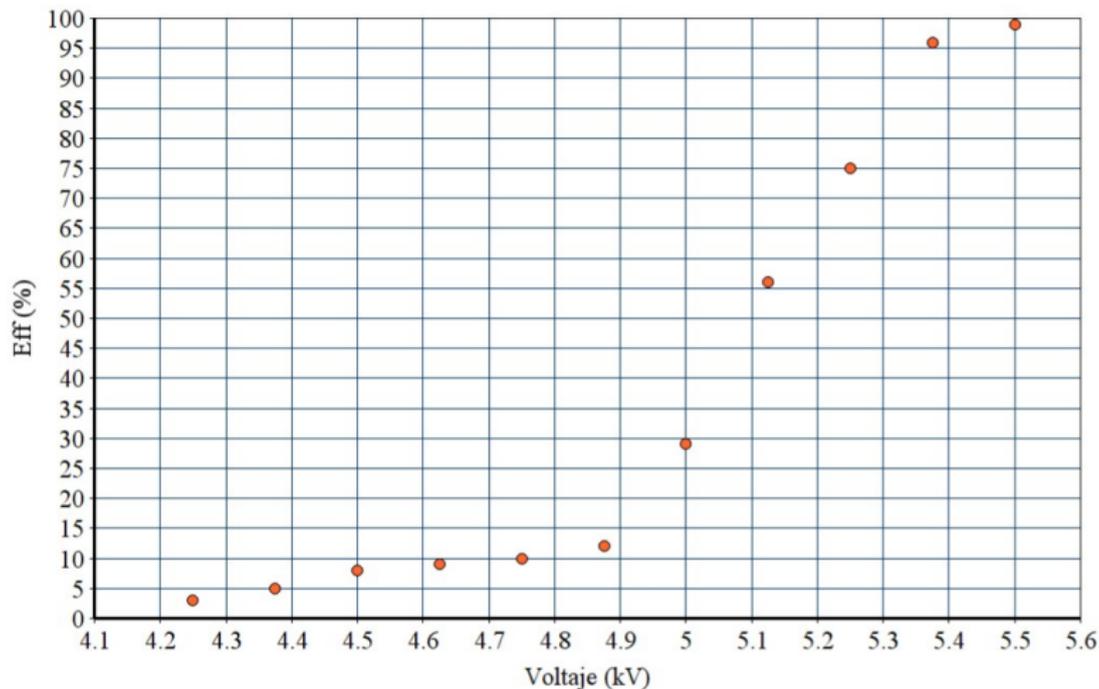


Figura 21: Valores obtenidos para la eficiencia en función de la tensión aplicada.

4. Caracterización del RPC

Distribución de carga

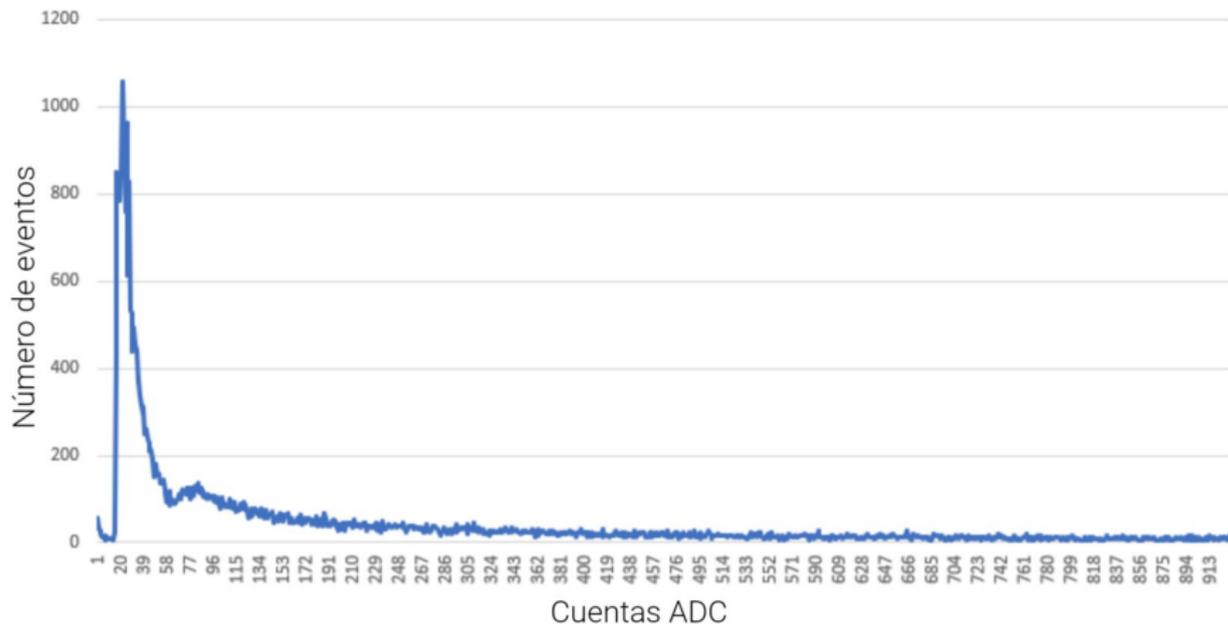


Figura 22: Gráfica que muestra la cantidad de eventos registrados por cada valor de la amplitud de la señal en el canal A. Total de eventos: 47 461.

5. Conclusiones

- Se diseña, construye y caracteriza un detector gaseoso del tipo RPC usando argón y freón.
- La elección del gas y el voltaje de operación determinan el modo de funcionamiento del detector, de acuerdo al valor del Límite de Raether.
- Usar 100 % freón reduce el margen de voltaje para pasar del modo avalancha al régimen del modo streamer.
- Los RPC's son una de las mejores opciones para la detección de partículas, con eficiencia cercana al 100 % y tiempos de resolución de hasta μs .
- Es posible caracterizar el detector utilizando diversas fuentes de radiación, por ejemplo, los elementos radiactivos.
- El diseño del detector presentado no es definitivo.

¡GRACIAS!

- [1] JAVIER A. OTAOLA, JOSÉ F. VALDÉS GALICIA, “Los rayos cósmicos: Mensajeros de las estrellas”, *II. ¿Qué son en realidad los rayos cósmicos?*, 1992.
- [2] ROSSI, BRUNO, “On the magnetic deflection of cosmic rays”, *Physical Review*, August 1930.
- [3] MANUEL MASIP MELLADO, “Los rayos cósmicos: Las energías más extremas del universo”, RBA, **148**, 2016.
- [4] H. GEIGER, W. MÜLLER, “The electron counting tube”, *Physikalische Zeitschrift*, **839-841**, 1928.
- [5] KEUFFEL, J., “Parallel-plate counters and the measurement of very small time intervals”, *Phys. Rev.*, Vol. 73, **531**, 1948.

- [6] MARCELLO ABBRESCIA, VLADIMIR PESKOV PAULO FONTE, “Resistive Gaseous Detectors”, *2.2 First Parallel-Plate Counters*, Wiley-VCH, **30-33**, 2018.
- [7] CHRISTIAN LIPPMANN, “Detectors Physics of Resistive Plate Chambers”, European Organization for Nuclear Research, 2003.
- [8] PEDRO ALEXANDRE GLÓRIA CARDOSO, “Instrumentation and testing of RPC (Resistive Plate Chambers) detectors in the Pierre Auger collaboration”, *1.4 RPC's; 2.3 Efficiency*, **5-7, 14-22**, 2014.
- [9] R. SANTONICO, R. CARDARELLI, “Development of Resistive Plate Chambers”, Nucl. Instrum. Meth. Vol. 187, **377**, 1981.
- [10] www.sapiensman.com/conversion_tables/conversion_electrica.htm

- [11] RAVEENDRABABU KARNAM, “Design and characterization of a 2m x 2m Resistive Plate Chambers (RPC's)” *Gas flow system*, India-based Neutrino Observatory, Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai.
- [12] V. PESKOV, D.F. ANDERSON AND S. KWAN, “High Counting Rate Resistive-Plate Chamber”, *Fermi National Accelerator Laboratory P.O. Box 500*, May 1993.
- [13] DIANA MARCELA COY MONDRAGÓN, “Construcción y caracterización de un detector de partículas tipo Resistive Plate Chamber” *1.1.6.2 Modos de operación*, Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias, Departamento de Física, 2014.