

Módulo de Instrumentación - Proyectos Medición de la vida media del muón

Oscar Altuve (USB), Víctor Clarizio (UCV),
Rafael Martínez (USB)

Asesor: Prof. Dennis Cazar (USFQ)
Mayo de 2022



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics
LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea





Overview

- Resumen
- Descripción experimental
 - Montaje experimental
 - Análisis de datos
- Resultados
 - Interpretación de los datos
 - Tiempo de vida media
- Discusión y conclusiones



El objetivo principal del proyecto fue la determinación de la vida media del muón por medio del telescopio de muones del proyecto Escaramujo, cuya disposición cuenta con un arreglo de tres placas centelladoras acopladas a diodos fotomultiplicadores, diseñados para captar los arribos y decaimientos de los muones resultantes de las cascadas de rayos cósmicos provenientes de la atmósfera. Se obtuvieron e interpretaron los datos adquiridos del experimento, como también se desarrolló un programa donde se efectúa la corrección del tiempo de conteos de eventos entre la tarjeta DAQ serie 6000 de Quarknet y la señal GPS. Se determinó de la vida media del muón por medio de un ajuste realizado con datos abiertos de la colaboración e-lab obteniendo un valor de $\tau = (2.018480 \pm 4,450116 \times 10^{-2}) \mu\text{s}$, con una discrepancia de 8.12 % del valor tabulado en la literatura.



Descripción Experimental

Buscamos medir **la vida media del muón** a partir de la data obtenida del flujo de los mismos.

Instrumento:

Telescopio de muones del proyecto Escaramujo.

Está compuesto por **tres centelladores plásticos** colocados en paralelo y separados como se indica en la imagen. Además, estos están conectados a fotomultiplicadores de silicio (SiPMs).



Figura 1: Montaje experimental del telescopio de muones del proyecto Escaramujo



Descripción Experimental

Cuando un muón entra en un contador 0 (el superior), se genera **una primera señal**. Si el muón viajó a través del contador 0 y entró en el contador 1, ambos contadores deben tener una señal en aproximadamente el mismo tiempo.

Si el muón se detiene en el contador 1 (el del medio), "esperará" hasta que **decaiga el muón** y genera una segunda señal en el contador 2 al decaer. El tiempo de decaimiento, el tiempo entre las dos señales en el contador 2, puede extrapolarse del archivo de datos.

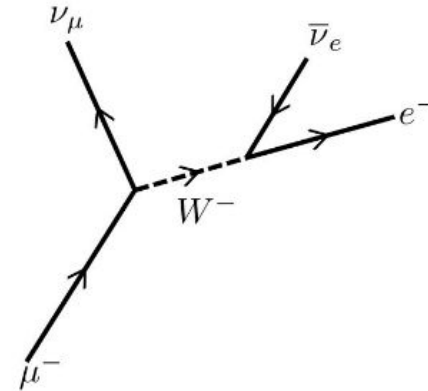


Figura 1: Montaje experimental del telescopio de muones del proyecto Escaramujo



Descripción Experimental

En el proceso de decaimiento del muón, tenemos 3 partículas virtuales: **el neutrino muónico, el antineutrino electrónico y el electrón**. Este es un proceso irreversible.



Modo de decaimiento [†]	Probabilidad
$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$	$\approx 100 \%$
$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e + \gamma$	$\dagger (1.4 \pm 0.4) \%$
$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e + e^- + e^+$	$\diamond (3.4 \pm 0.4) \times 10^{-3} \%$

[†] La letra γ representa un fotón y ν un neutrino.

[‡] Este porcentaje incluye solo eventos con $\gamma > 10$ MeV.

[◊] Solo se presenta dentro de ciertos límites de energía.

Tabla 2: Modos de decaimiento del muón. [2]



Descripción Experimental

- Se busca simultaneidad entre las señales obtenidas en el contador 0 y el contador 1.
- Asumimos que el decaimiento del muón tendrá lugar en la placa intermedia o en la inferior.
- El muón deposita toda su energía en las placas, por lo que se encontrará en reposo al decaer.
- La adquisición de datos en la tarjeta QuarkNet Serie 6000 se configura para registrar **sólo los eventos de doble coincidencia**.

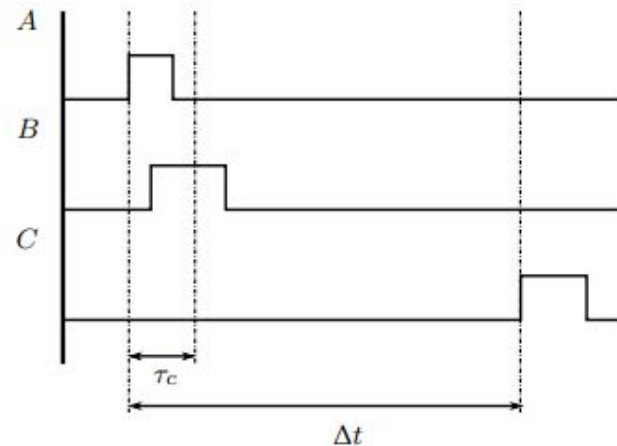


Figura 4: Representación esquemática de los pulsos detectados en las placas 0, 1 y 2.



Descripción Experimental

- Cuando se detecta una doble coincidencia, se inicia la ventana de adquisición y se registran todos los conteos dentro de esta. Debido a que ésta es la información de interés, **filtramos los datos** para considerar únicamente los eventos de doble coincidencia en el contador 0 y el contador 1 y, un tiempo posterior, el conteo registrado en el contador 2.

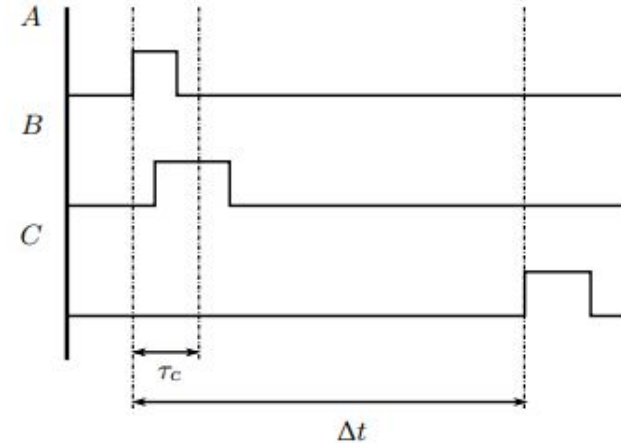


Figura 4: Representación esquemática de los pulsos detectados en las placas 0, 1 y 2.



Descripción Experimental

En el siguiente gráfico se muestra el número de decaimientos en función del tiempo. Estos conteos se registran en el instante en el que el muón entró en el centelleador.

Ajustando estos datos a la forma matemática del decaimiento radioactivo, podemos obtener el valor del **tiempo de vida medio**.

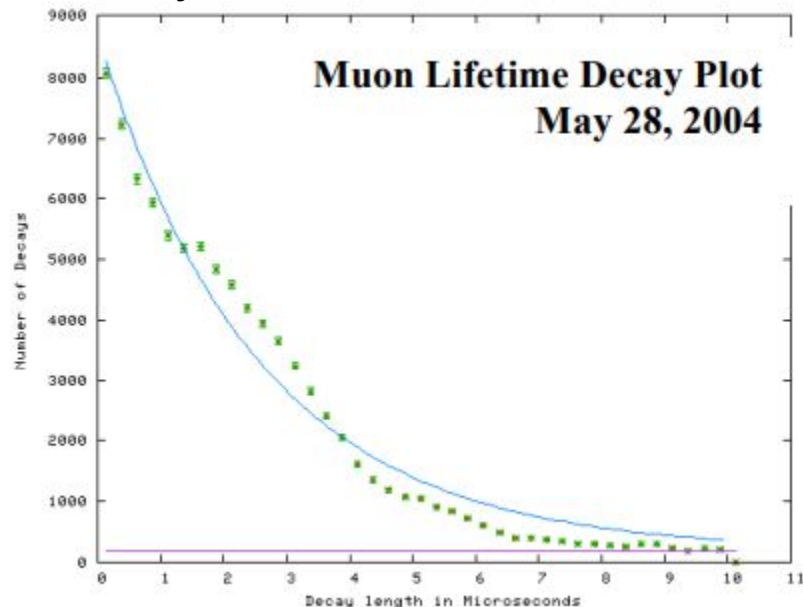
Propiedad	Símbolo	Valor
Masa	m_μ	$(105,6583745 \pm 0,0000024) MeV$
Vida media	τ_μ	$(2,1969811 \pm 0,0000022) \mu s$
Spin	s_μ	1/2
Carga	q_μ	e^*

* Carga del electrón.

Tabla 1: Resumen de algunas propiedades del muón. [2]

$$N(t) = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Con $N(t)$ número de muones con $t_{DECAY} > t$, N_0 número total de muones que fueron capturados y desintegrados dentro del detector y τ es la vida media.





Resultados

Orden de magnitud del tiempo [$10^{-6}, 10^{-9}$] segundos.

Realizar estas mediciones con el montaje experimental presenta dificultades.

Tiempo de eventos y corrección: Tarjeta de adquisición de datos + señal GPS. [1]

$$T_{abs} = \underbrace{\text{Round} \left(K_{sec} + \frac{P_{msec}}{1000} \right)}_{T_{1PPS} - \text{GPS}} + \underbrace{\frac{(A - J)}{f_{clk}}}_{\text{DAQ}}$$

Con:

- K: Time (GMT).
- P: Correction.
- A: Trigger Count.
- J: 1PPS Count.
- fclk: Frecuencia del reloj, 25MHz.

Trigger_Count	RE0	FE0	RE1	FE1	RE2	FE2	RE3	FE3	1PPS_Count	Valid	NSatellites
3222488000	217.5	0	52.5	0	0	0	0	0	3205450981	A	09
3232669921	227.5	0	0	0	0	0	0	0	3230450979	A	09
...

Error_Bits	Correction	Full_time	T1pps	Tabs
0	50	2022-04-16T02:14:53.814000	8093.864	8094.68148076
0	58	2022-04-16T02:14:54.806000	8094.864	8095.08875768
...

Tabla 2: Interpretación del formato de datos.



Resultados

Lifetime Study

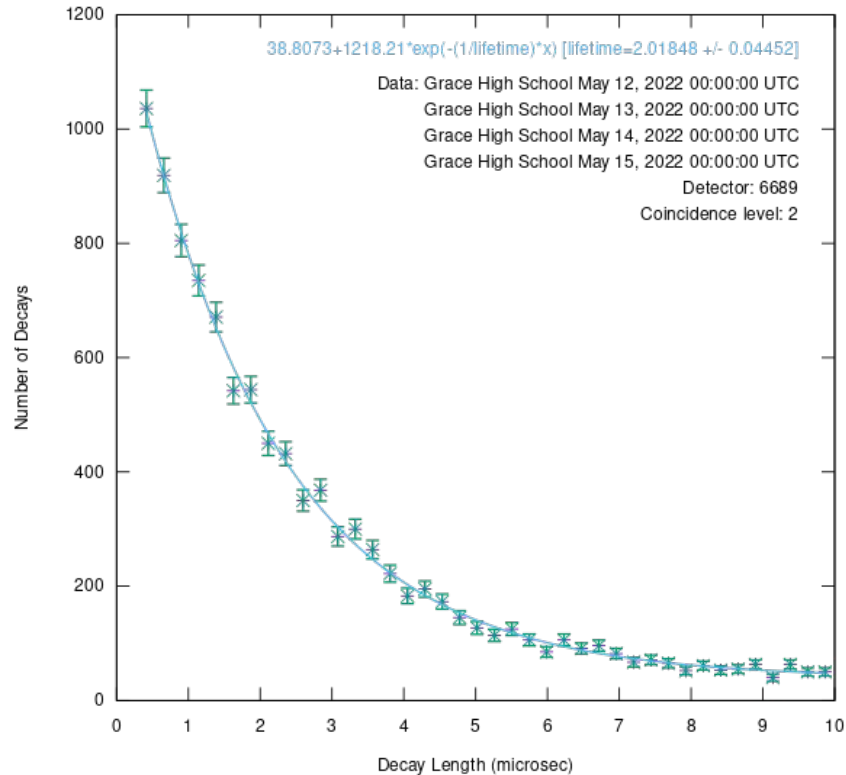


Figura 4: Análisis por medio de e-Lab

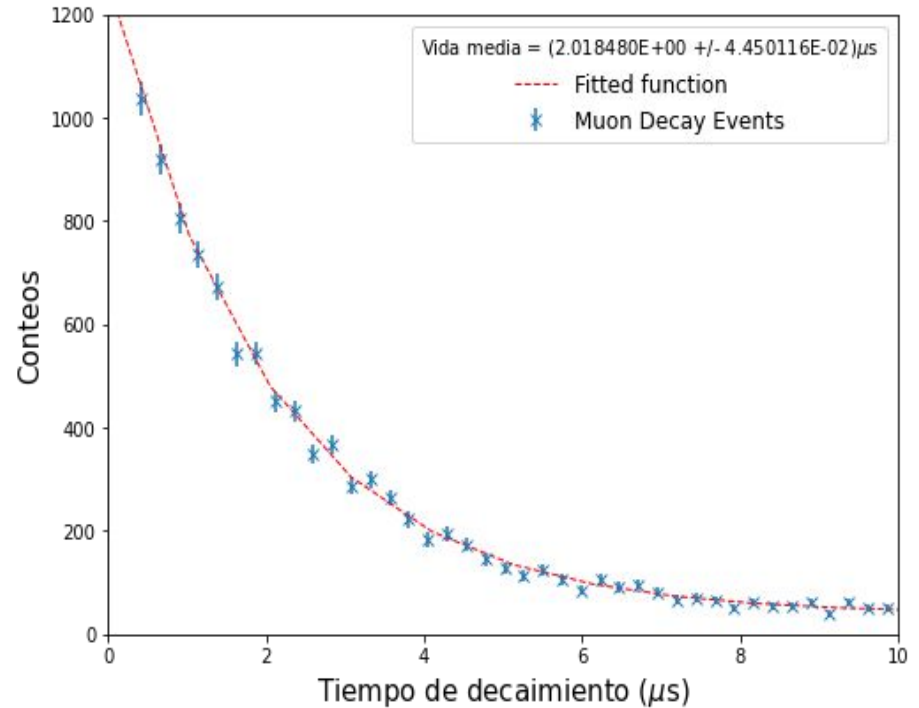


Figura 5: Reconstrucción del histograma



Discusión y conclusiones

- Adquisición de señales productos de muones provenientes de rayos cósmicos.
- Limitación al momento de analizar los datos producto de fallos en el detector.
- Imposibilidad de realizar la corrección temporal de los datos adquiridos en nuestro detector.
- Viabilidad de la metodología experimental para la determinación de la vida media del muón con un valor de $\tau = 2,018480 \pm 4,450116 \times 10^{-2} \mu\text{s}$
- Naturaleza estocástica del fenómeno de decaimiento del muón.



Recomendaciones

- Revisar la correcta habilitación del GPS y enlace con satélites.
- Recubrir el detector con un blindaje lateral que permita reducir posibles ruidos de fondo.
- Explorar algoritmos recientes para el manejo de la tarjeta de adquisición de datos y la reproducción de estos resultados en repositorios públicos de la web.



Referencias

- [1] Jordan, T., & Berns, H. G. (2010). QuarkNet Cosmic Ray Muon Detector User's Manual Series" 6000" DAQ.
- [2] Beringer, J. (2014). Review of Particle Physics (RPP), Chins. Phys. C, 38, 090001.
P.A. Zyla et al. Review of Particle Physics. PTEP, 2020(8):083C01, 2020. and 2021 update.
- [3] Frank Herbert Attix. Introduction to radiological physics and radiation dosimetry. John Wiley & Sons, 2008.
- [4] TP Gorringer and DW Hertzog. Precision muon physics. Progress in Particle and Nuclear Physics, 84:73–123, 2015.
- [5] Oscar Alejandro Altuve, Víctor Clarizio, and Rafael Martinez. Medición de la vida media del muón, 2022.