

Análisis de datos simulados del paso de muones y electrones por un detector Cherenkov de agua (WCD) utilizando



ROOT-CERN

Laboratorio Avanzado

Profesor: Héctor Pérez

*Elser Adolfo, López Rosa,
carné: 201604314*

Escuela de Ciencia Físicas y Matemáticas,
Universidad de San Carlos de Guatemala,
Edificio T1, Ciudad Universitaria, Zona 12, Guatemala.

29 de mayo de 2020

Resumen

Se presenta el análisis de datos simulados del paso de muones y electrones por un detector Cherenkov de agua (WCD). Estos análisis se ha realizado utilizando ROOT-CERN. Se ha analizado la correlación entre: la energía inicial, el angulo cenital (θ), el número de fotones Cherenkov emitidos, el número de fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT, la distancia viajada, el máximo del pulso, área del pulso, todos con respecto a la energía depositada. También se ha analizado la correlación entre el Rise Time y la amplitud de los pulsos, separando electrones de muones. Todos los scripts utilizados para estos análisis de encuentran adjuntos.

1. Introducción

Se presenta el análisis de datos simulados del paso de muones y electrones por un detector Cherenkov de agua (WCD por sus siglas en inglés). El procesamiento de datos se hizo el toolkit ROOT.

Estos datos han sido simulados por medio de dos programas: WCDTankSim que simula el paso de la partícula por el tanque, las interacciones y la respuesta del PMT; ElecSim que simula la respuesta de la electrónica asociada y la digitalización.

El programa WCDTankSim utiliza Geant4 como herramienta para simular procesos físicos como emisión de radiación Cherenkov, ionización, decaimiento, transporte y absorción de fotones y otros que se dan por paso de partículas cargadas en el agua.

El esquema del tanque y del lanzamiento se puede ver en la [figura 1](#). El lanzamiento de la partícula y del angulo se genera de manera aleatoria y sigue las siguientes restricciones, debe pasar por el volumen de agua y el ángulo cenital θ obedece una distribución de $\cos^2 \theta$

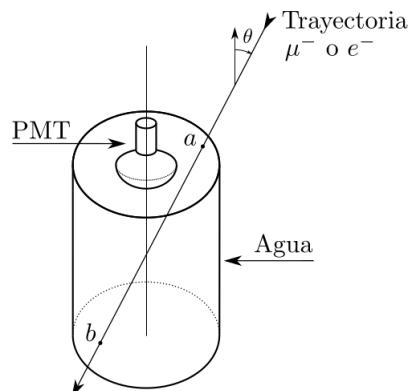


Figura 1: Esquema del WCD simulado mostrando la trayectoria de la partícula lanzada hacia este.

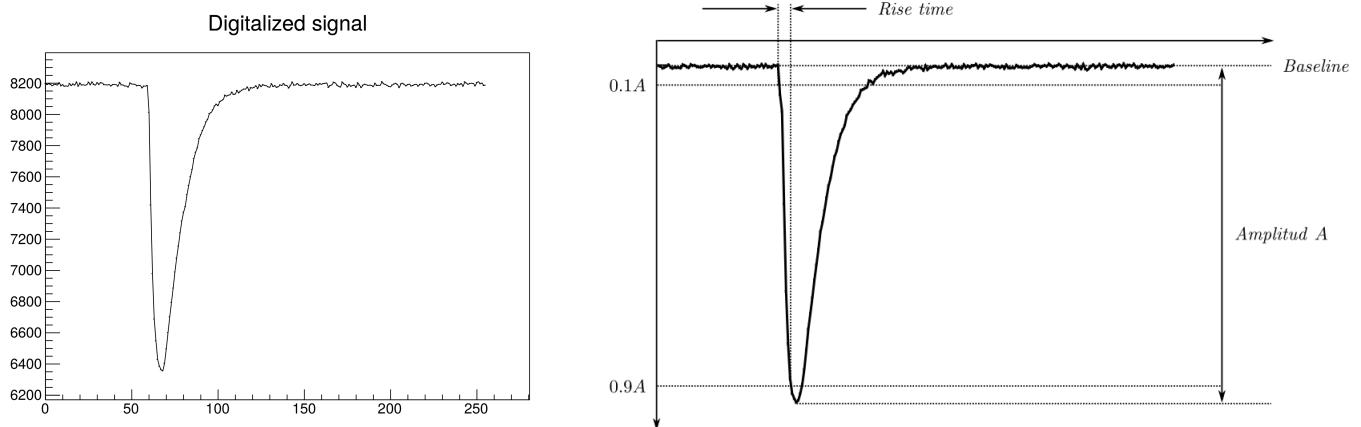


Figura 2: Pulso emitido por un foton o un muon. La figura de la izquierda muestra la gráfica obtenida de un pulso simulado. La figura de la derecha muestra la estructura para cualquier pulso.

Los pulsos obtenidos de esta simulación son de la forma que se observa en la [figura 2](#) en el panel izquierdo.

2. Descripción de los análisis realizados

Utilizando ROOT-CERN se han realizado histogramas bidimensionales y perfiles de:

1. Energía depositada y:

- La energía inicial
- Al angulo cenital (θ)
- El número de fotones Cherenkov emitidos.
- El número de fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT.
- La distancia viajada.

2. La energía depositada y:

- El máximo del pulso
- El área del pulso

3. Rise time contra amplitud de los pulsos, separando aquellos de muones y electrones.

Se ha estudiado la correlación solo en aquellos histogramas en los que la distribución de puntos sugiere una función bien portada. Los histogramas correspondientes al *item 1* se encuentran adjuntos en el archivo `Histogramas_P1.C`, en el se extrae la información de 999742 pulsos, los perfiles de estos

histogramas son generados con el archivo adjunto `Perfiles_1.C`.

Para el *item 2*, estos pulsos tiene la peculiaridad que el pico del pulso realmente se encuentra en el mínimo (ver [figura 2](#) panel izquierdo), por lo que en realidad para calcular el máximo del pulso se ha utilizado una función que encuentra el punto mínimo, el histograma y perfil de esto se generan con el archivo `Maximo_pulsos.C`.

El área del pulso se ha obtenido de la siguiente manera:

- Primero se calcula el área bajo la curva, para ello se calcula el area de cada trapecio formado por los puntos $x_i, x_{i+1} y_i, y_{i+1}$. Es decir cada

$$A_i = \frac{(x_{i+1} - x_i)(y_{i+1} + y_i)}{2}$$

dado que gran parte al final área bajo la curva es prácticamente un rectángulo, podemos detener el calculo hasta 20 puntos antes del puntos final en x .

- Luego se calcula el área del rectángulo formado por el *Base Line* y todo el eje x (menos 20 puntos antes del punto x final). Para calcular este *Base Line* se calcula el promedio de los puntos antes de cuando empieza a subir el pulso.
- Por ultimo se realiza la resta entre el área del rectángulo y el área bajo la curva, con ello se obtiene el área del pulso.

El histograma, perfil y ajuste de esto realiza con el archivo `Histo_Perfil_Area.C`.

La amplitud de cada puso se calcula restando el valor del *Base Line* al mínimo del pulso, y el *Rise Time* se calcula con el tiempo transcurrido entre el 10% y el 90% de la amplitud del pulso (ver [figura 2](#) panel derecho), los histogramas para electrones y muones se generan con el archivo `Histo_Rise_Time_pulsos.C`, los perfiles se generan con el archivo `Perfiles_Rise_Time_pulsos.C`

Todos los scripts utilizan el archivo `Final1M-ES.root`, del cual extraen los datos y generan los histogramas y perfiles antes mencionados.

3. Resultados

La [figura 3](#) muestra un histograma en 2D y el perfil de este histograma, de la energía inicial en función de la energía depositada, en donde no se observa correlación. La [figura 4](#) muestra la relación entre el angulo cenital y la energia depositada, en donde tampoco se observa correlación. La [figura 5](#) muestra la relación entre el número de fotones Cherenkov emitidos en función de la Energía depositada, donde tampoco se observa correlación.

Para el número de fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT en función de la energía depositada, si se observa correlación como se muestra en la [figura 6](#), de donde se ha realizado un ajuste lineal, de donde se ha obtenido

$$y = -37(3) + 72.82(2)x$$

con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.86125.

Para la distancia recorrida en función de la energía depositada también se observa correlación (ver [figura 7](#)) , del ajuste lineal se obtiene

$$y = 36.83(4) + 5.299(2)x \quad (1)$$

con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.8493

Para el máximo del pulso en función de la energía depositada también se observa correlación (ver [figura 8](#)) , del ajuste lineal se obtiene

$$y = 15952.9(6) - 18.55(4)x$$

con un coeficiente de correlación de Pearson de -0.82072

Para el área del pulso en función de la energía depositada también se observa correlación (ver [figura 9](#)) , del ajuste lineal se obtiene

$$y = -299(13) + 377.33(9)x \quad (2)$$

con un coeficiente de correlación de Pearson de 0.84668.

Por ultimo no se observa correlación lineal entre el Rise Time del pulso y el Área, tanto para muones y electrones como se muestra en la [figura ??](#).

4. Discusión de resultados

No se observa correlación lineal entre la energía inicial y la energía depositada, sin embargo se observa que existe cierta concentración en las regiones donde la energía depositada es menor (ver [figura 3](#)), también observamos este comportamiento para el ángulo cenital (ver [figura 4](#)) , en ambos casos al disminuir la energía depositada la energía inicial y el angulo cenital pueden tener cualquier valor, ya que la distribución de puntos en esta región es casi uniforme.

De la [figura 5](#) notamos que la cantidad de fotones Cherenkov emitidos posee también concentraciones alrededor de los puntos donde la energía depositada es menor. Observamos que los fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT si poseen una tendencia lineal, esto puede verse mejor en el perfil del histograma, al cual se le ha realizado un ajuste lineal (ver [figura 6](#)). También observamos este comportamiento lineal para la distancia recorrida, el máximo del pulso y el área del pulso.

El resultado para la distancia recorrida por los fotones (ver [figura 7](#)) es el esperado, ya que cuanto mayor sea la energía que se deposite, mayor será el momentum de la partícula y por ende puede recorrer mayor distancia.

Por otro lado, el resultado para el máximo del pulso, puede parecer un poco engañoso, pero recordamos de la [figura 2](#) que el máximo de un pulso es en realidad el punto correspondiente al mínimo de la función, con esto en mente la [figura 8](#) refleja lo que esperamos, mientras más energía se deposita mayor

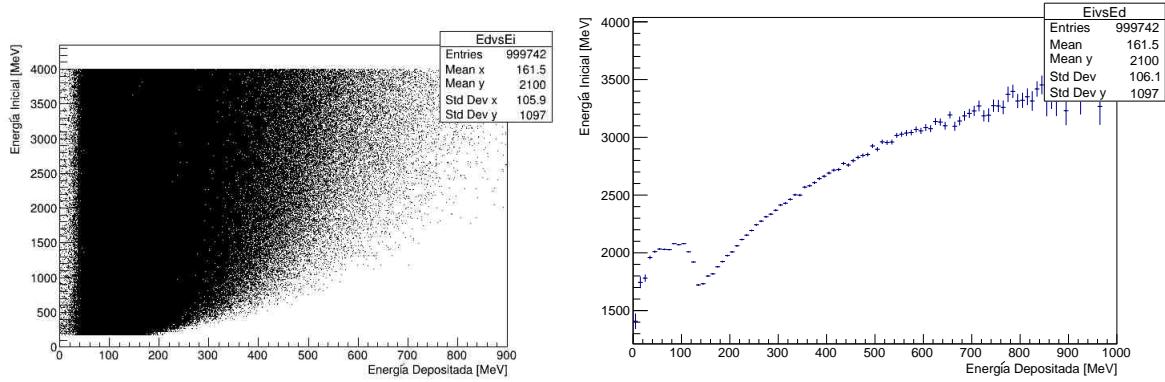


Figura 3: Histograma y perfil de Energía inicial vs la Energía depositada.

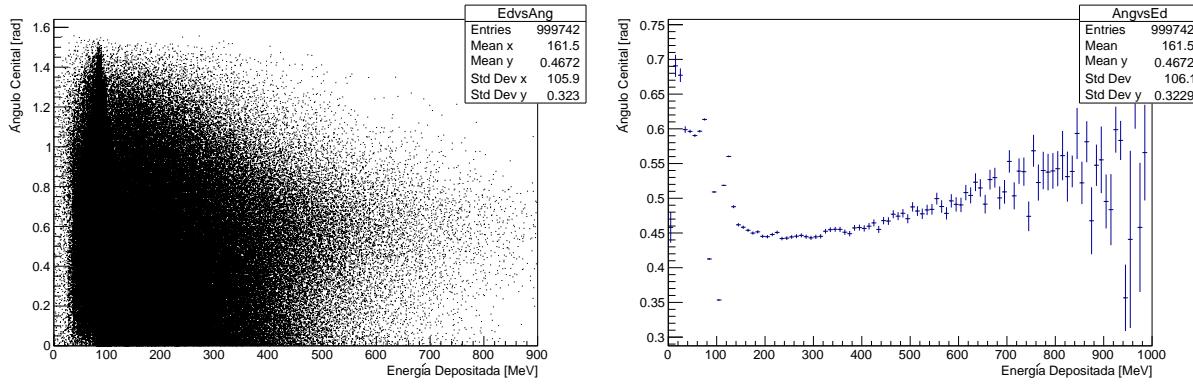


Figura 4: Histograma y perfil del Ángulo cenital vs la Energía depositada.

es el pico del pulso, i.e., menor su valor. Esta relación es lineal e inversa entre las variables cuya relación de $\sim 82\%$. La figura 9 es una consecuencia del resultado anterior, ya que esperamos que mientras más grande sea el pico del pulso mayor sea el área que este posee, esta relación también es lineal y las variables tienen una relación del $\sim 85\%$

Por ultimo de la figura 10 muestra que no se observa correlación lineal entre el Rise Time y la amplitud del pulso, tanto para muones y electrones. Sin embargo existen concentraciones, para el caso de los muones estos se concentran en su mayoría entre 8 y 9 de Rise Time. Para el caso de los electrones estos se concentran cuando la amplitud se encuentra entre 0 y 800.

5. Conclusiones

- No se observa correlación lineal entre: energía inicial, el angulo cenital, los fotones Cherenkov

emitidos con respecto al la energía depositada por el muon o electrón incidente, sin embargo si se observa que existen concentraciones en los que se puede encontrar con más fiabilidad estos.

- Si se observa correlación lineal entre: el número de fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT, la distancia recorrida de las partículas, el máximo del pulso y el área del pulso, todos en función de la energía depositada. El comportamiento para todos estos casos es el esperado.

- El Rise Time y la amplitud, para electrones y muones no posee correlación lineal. Sin embargo existen concentraciones distintas para cada uno, como se muestra en la figura 10.

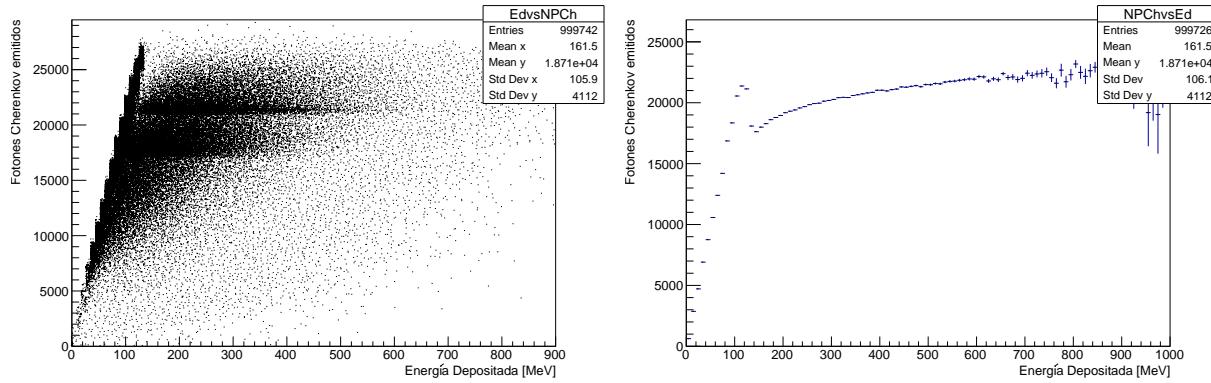


Figura 5: Histograma y perfil de el número de fotones Cherenkov emitidos vs la Energía depositada.

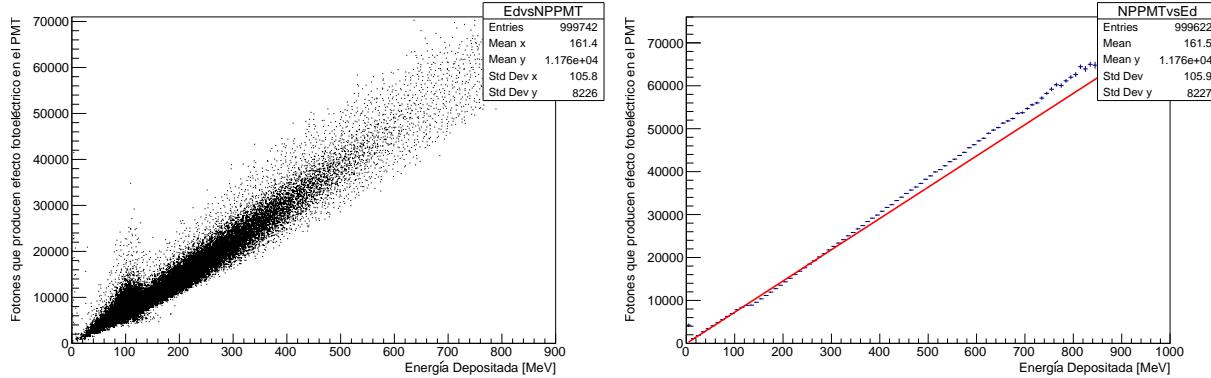


Figura 6: Histograma y perfil de el número de fotones que producen efecto fotoeléctrico en el PMT vs la Energía depositada. La linea roja representa un ajuste lineal.

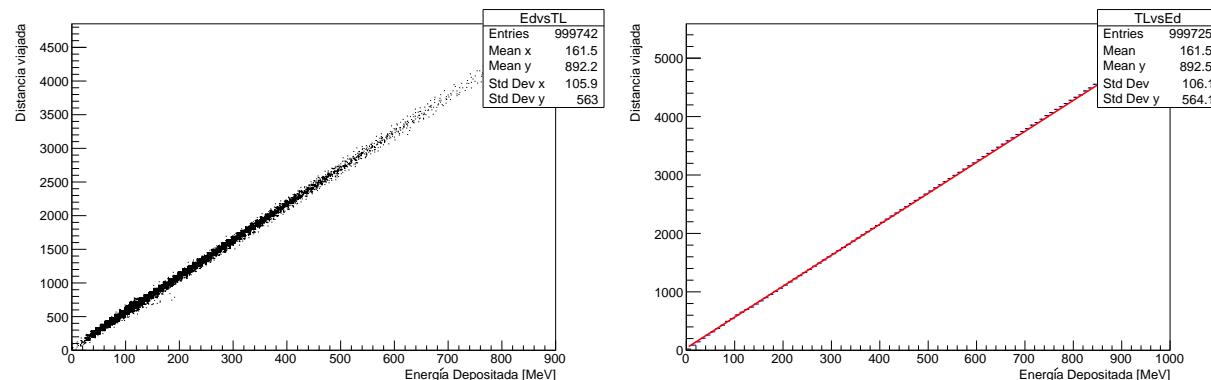


Figura 7: Histograma y perfil de la Distancia viajada vs la Energía depositada. La linea roja representa un ajuste lineal.

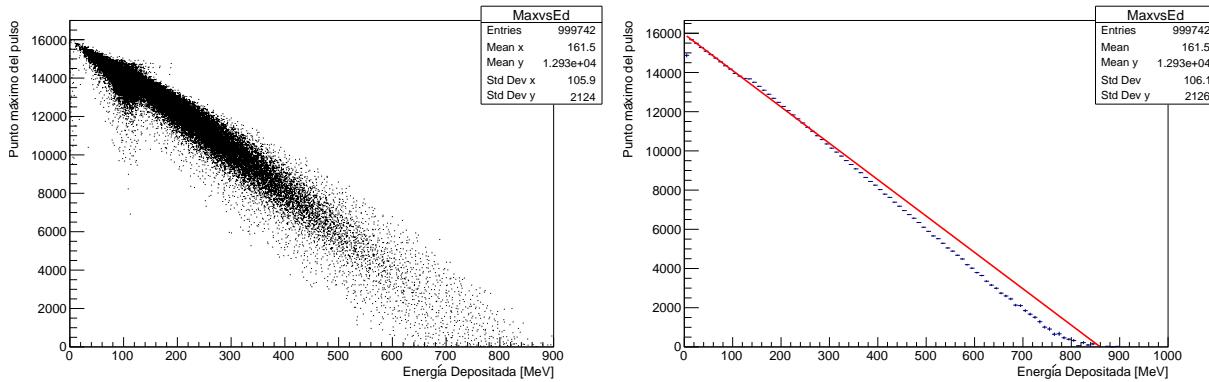


Figura 8: Histograma y perfil de el Máximo del pulso vs la Energía depositada. La linea roja representa un ajuste lineal.

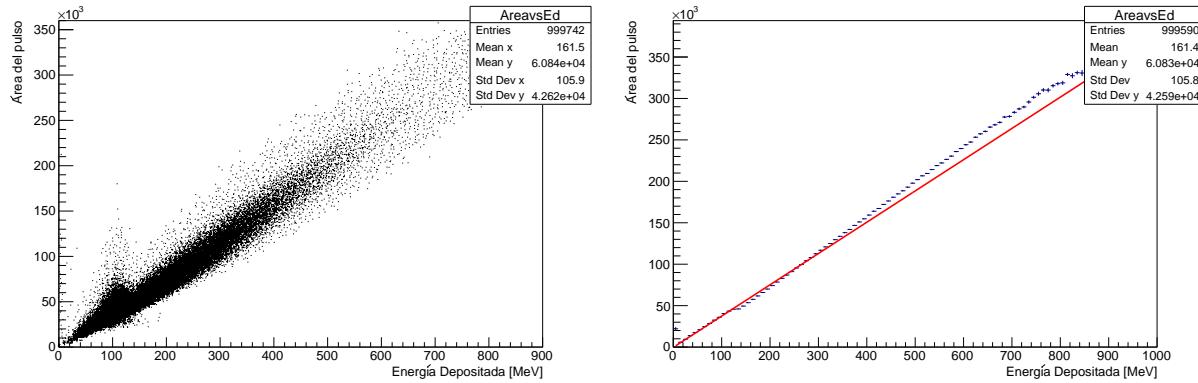


Figura 9: Histograma y perfil de el Área del pulso vs la Energía depositada. La linea roja representa un ajuste lineal.

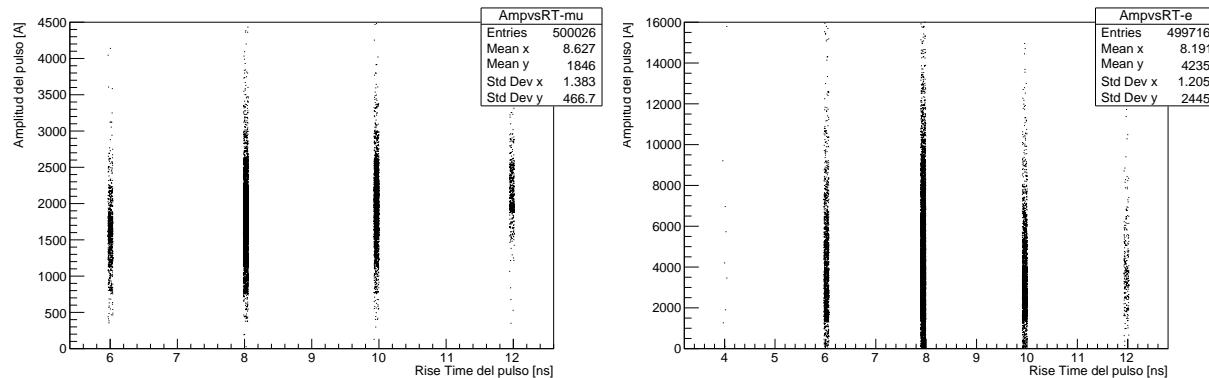


Figura 10: Histograma de Rise time contra Amplitud de los pulsos. La figura de la izquierda corresponde a muones. La figura de la derecha corresponde a electrones.

Referencias

- [CERN] CERN. *A ROOT Guide For Beginners*.
- [2] Piedra, S. E. V. (2016). Implementación y calibración de un detector terrestre cherenkov de agua para rayos cósmicos en la escuela politécnica nacional.
- [3] Valle, A., García, L. C., and Pérez, H. (2019). Medición de la vida media del muón. *Revista de la Escuela de Física*, 5:11–15.
(0)