

Medición de la Vida

Media del Muón

Andrés Valle

Lilian García

8 de septiembre de 2016

Escuela de Ciencias Físicas y Matemáticas

Universidad de San Carlos de Guatemala

Tabla de contenido

1. El Muón
2. Decaimiento de una Partícula
3. Detección de Radiación Ionizante
4. Diseño Experimental
5. Radiación de Fondo
6. Resultados
7. Proyectos en Desarrollo

El Muón

El Muón

El muón (μ) es una partícula elemental que pertenece a la familia de los leptones . Algunas de sus propiedades son:

Propiedad	Símbolo	Valor [◇]
Masa	m_μ	105.658 371 5(35) MeV/c ₀ ²
Carga	q_μ	e^\ddagger
Spin	s_μ	1/2
Vida Media	τ_μ	2.196 981 1(22) μ s

[◇] Las cifras en paréntesis representan la incerteza en los últimos dígitos del valor.

[‡] e es la carga del electrón.

Valores obtenidos del *Particle Data Group*

El Muón

El muón (μ) es una partícula elemental que pertenece a la familia de los leptones . Algunas de sus propiedades son:

Propiedad	Símbolo	Valor [◇]
Masa	m_μ	105.658 371 5(35) MeV/ c_0^2
Carga	q_μ	e^\ddagger
Spin	s_μ	1/2
Vida Media	τ_μ	2.196 981 1(22) μ s

[◇] Las cifras en paréntesis representan la incerteza en los últimos dígitos del valor.

[‡] e es la carga del electrón.

Valores obtenidos del *Particle Data Group*

¡El muón tiene propiedades muy similares al electrón!

Decaimiento de una Partícula

Decaimiento de una Partícula

- Cuando una partícula decae se transforma en otras partículas con menor masa.

Decaimiento de una Partícula

- Cuando una partícula decae se transforma en otras partículas con menor masa.

Ejemplo - Decaimiento β^-

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

Decaimiento de una Partícula

- Cuando una partícula decae se transforma en otras partículas con menor masa.

Ejemplo - Decaimiento β^-

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

- Todas las partículas decaen, a menos que lo prohíba una ley de conservación.

Decaimiento de una Partícula

- Cuando una partícula decae se transforma en otras partículas con menor masa.

Ejemplo - Decaimiento β^-

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

- Todas las partículas decaen, a menos que lo prohíba una ley de conservación.

Ejemplo - Decaimiento de un electrón

$$e^- \rightarrow a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

Decaimiento de una Partícula

- Cuando una partícula decae se transforma en otras partículas con menor masa.

Ejemplo - Decaimiento β^-

$$n^0 \rightarrow p^+ + e^- + \bar{\nu}_e$$

- Todas las partículas decaen, a menos que lo prohíba una ley de conservación.

Ejemplo - Decaimiento de un electrón

$$e^- \rightarrow a_1 + a_2 + \dots + a_n$$

- ¡El electrón es una partícula estable!

Modos de decaimiento del muón:

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

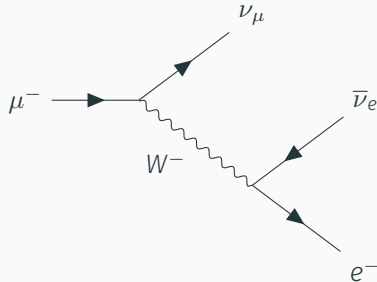
[†] La letra γ representa un fotón y ν un neutrino.

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

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

Valores obtenidos del *Particle Data Group*

Decaimiento de una Partícula



Modo de decaimiento principal del muón

$$\mu^- \rightarrow e^- + \nu_\mu + \bar{\nu}_e$$

- El tiempo entre decaimientos sucesivos del mismo tipo de partículas es un proceso estocástico que puede ser descrito utilizando la distribución exponencial .

Decaimiento de una Partícula

- El tiempo entre decaimientos sucesivos del mismo tipo de partículas es un proceso estocástico que puede ser descrito utilizando la distribución exponencial .
- Si tenemos un número inicial de partículas N_0 y un número $N(t)$ a un tiempo t , la tasa de decaimiento será proporcional a $N(t)$

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N(t)$$

Donde λ es el promedio de decaimientos por unidad de tiempo.

- Integrando obtenemos

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

- Integrando obtenemos

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

- La vida media (τ) es el tiempo promedio que tarda la partícula en decaer.

$$\tau = 1/\lambda$$

Decaimiento de una Partícula

- Integrando obtenemos

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

- La vida media (τ) es el tiempo promedio que tarda la partícula en decaer.

$$\tau = 1/\lambda$$

- En términos de τ tenemos:

Decaimiento de una Partícula

- Integrando obtenemos

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

- La vida media (τ) es el tiempo promedio que tarda la partícula en decaer.

$$\tau = 1/\lambda$$

- En términos de τ tenemos:

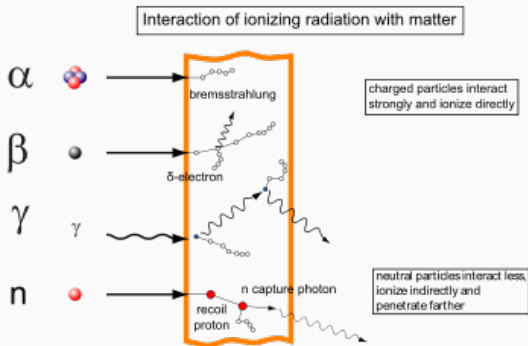
Distribución exponencial

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

Detección de Radiación Ionizante

¿Qué es la radiación ionizante?

Son las radiaciones con la energía suficiente para ionizar la materia.
Se originan en procesos atómicos o nucleares.



Detector de centelleo

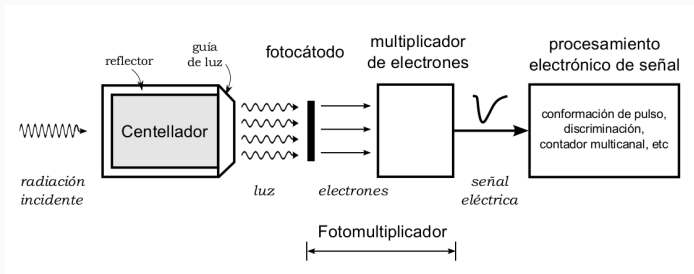


Figura 1: Esquema general de un detector de centelleo, acoplado a un fotomultiplicador. Fuente: F. Izraelevich, *Detectores Centelladores*

Diseño Experimental

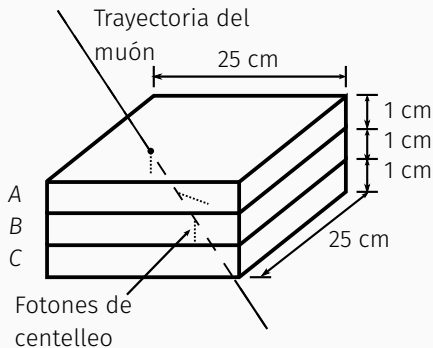


Figura 2: Esquema del arreglo de las tres placas acopladas al fotodiodo. Cada placa mide $(25 \times 25 \times 1)$ cm. La traza dibujada corresponde a la trayectoria de una partícula ionizante cuando pasa a través de las placas.

¿Cómo funciona?

Centellador

Estos detectores se basan en la fluorescencia, que es la emisión de radiación visible de una sustancia, a raíz de la excitación de las moléculas o átomos que forman el material.

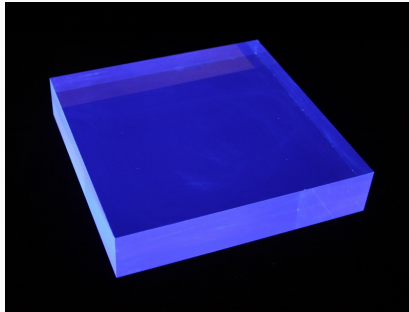


Figura 3: Placa centelladora plástica marca Eljen, serie EJ-200.

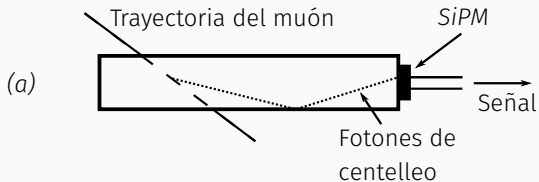


Figura 4: Vista esquemática de la luz colectada debido a la interacción de la radiación con el material centellante.

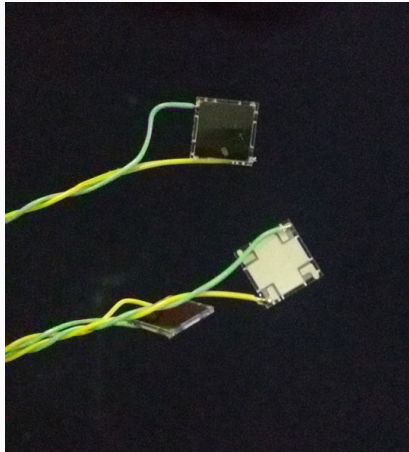
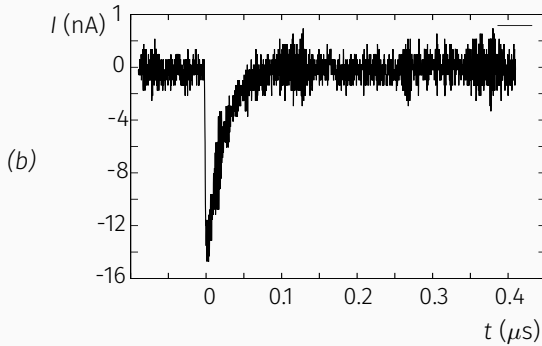


Figura 5: SiPM *Silicon PhotoMultiplier*. Es un arreglo de fotodiodos de avalancha con polarización inversa. Fuente: *Proyecto Escaramujo, Perú*.

Pulso de corriente



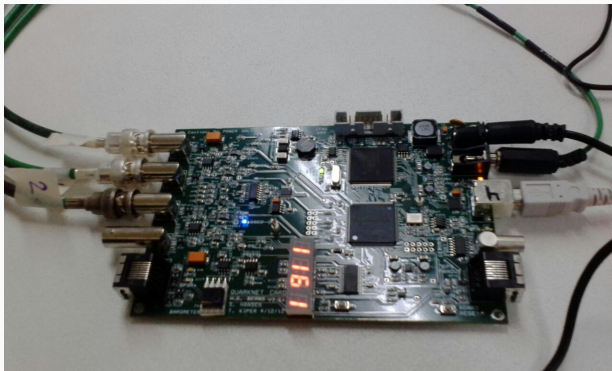


Figura 6: Tarjeta QuarkNet. Paso de señal anaógica a digital. Compara el pulso con un voltaje umbral.

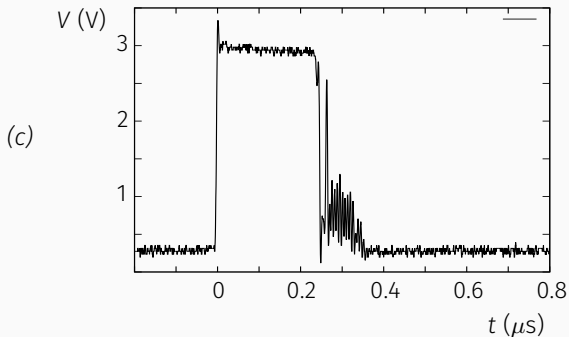


Figura 7: Pulso de salida del discriminador. Éste pulso tiene una duración proporcional al tiempo que el pulso de corriente pasa el voltaje umbral.

Ok, ok, pero ¿Qué estamos buscando?

- **Conteo:** Cada uno de los pulsos que son recibidos por el discriminador.
- **Ventana de adquisición:** Intervalo temporal dentro del cual se toman las mediciones. Inicia al cumplirse una condición.
- **Evento:** Conjunto de conteos dentro de la ventana de adquisición.

Tipos de eventos

Podemos identificar tres tipos de eventos, dependiendo de la cantidad de placas que detectan conteos en forma simultánea.

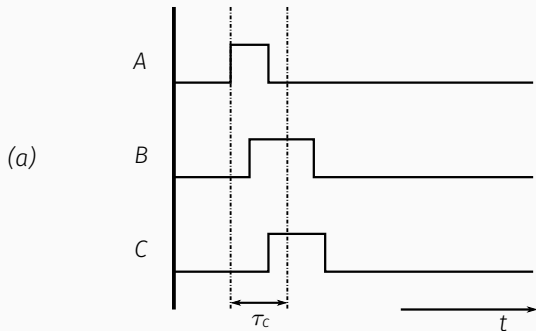


Figura 8: Evento de coincidencia triple. Las líneas verticales punteadas delimitan la ventana de simultaneidad.

(b)

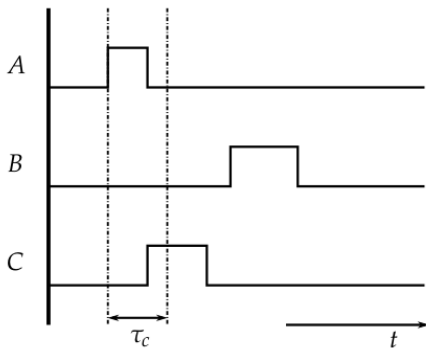


Figura 9: Evento de doble coincidencia.

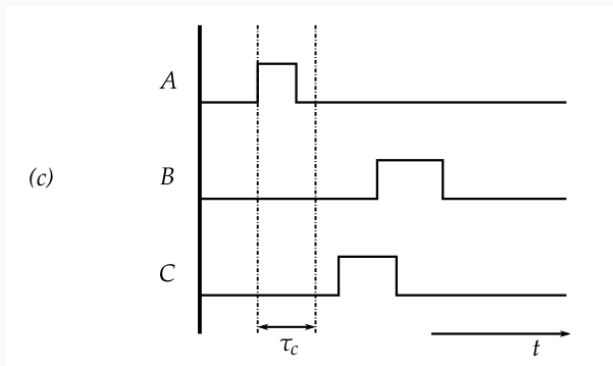


Figura 10: Evento sin coincidencia.

El evento que nos interesa

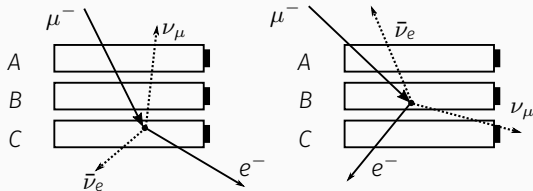


Figura 11: Buscamos algo que nos caracterice las posibles trayectorias del muón a medir.

Esquema del evento

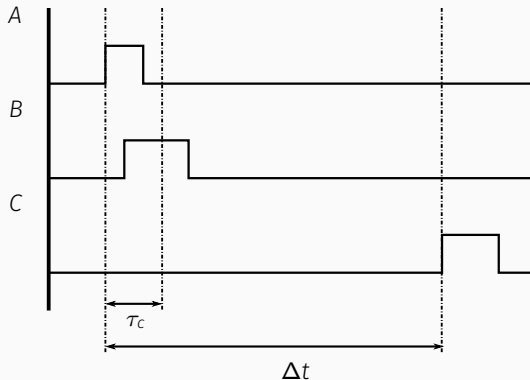


Figura 12: Representación esquemática del evento que se busca. Con τ_c se representa el intervalo temporal dentro del que se define la simultaneidad entre las placas A y B. Con Δt se define el tiempo de decaimiento.

Radiación de Fondo

No todos los eventos que producen una salida como la del evento buscado provienen del decaimiento de muones. Estos eventos también pueden ser producidos por la radiación ionizante de fondo.

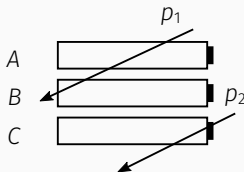


Figura 13: Ejemplo de un evento producido por radiación ionizante de fondo.

- Representamos los conteos debidos a la radiación ionizante de fondo con una distribución exponencial.

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau_\mu} + K_0 e^{-t/\tau_f}$$

- Representamos los conteos debidos a la radiación ionizante de fondo con una distribución exponencial.

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau_\mu} + K_0 e^{-t/\tau_f}$$

- La duración de un evento es la ventana de adquisición $\Delta t = 40 \mu\text{s}$. Si $\Delta t \ll \tau_f$ entonces

$$t/\tau_f \approx 0 \implies K_0 e^{-t/\tau_f} \approx K_0$$

- Tasas de conteos promedio en las placas centelladoras. Se midieron los conteos en intervalos de 1 mín durante 9 h con las placas separadas.

Placa	Conteos (mín^{-1})	
	\bar{x}	σ
A	1172	49
B	1095	40
C	1065	39
Coincidencias	624	25

- Tasas de conteos promedio en las placas centelladoras. Se midieron los conteos en intervalos de 1 mín durante 9 h con las placas separadas.

Placa	Conteos (mín^{-1})	
	\bar{x}	σ
A	1172	49
B	1095	40
C	1065	39
<hr/>		
<i>Coincidencias</i>	624	25

- Con estos datos obtenemos $\tau_f \approx 56\,000\,\mu\text{s}$.

Ya que $40 \mu\text{s} \ll 56\,000 \mu\text{s}$, la contribución de la radiación ionizante de fondo será constante

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau_\mu} + K_0$$

Resultados

- El evento buscado tiene una tasa muy baja , por lo que fue necesario tomar datos durante un largo período de tiempo para obtener suficientes para el análisis.

- El evento buscado tiene una tasa muy baja , por lo que fue necesario tomar datos durante un largo período de tiempo para obtener suficientes para el análisis.
- Tras tomar datos durante dos meses, se registraron 2.9×10^7 eventos de doble coincidencia. De dichos eventos, se seleccionaron 916 que cumplían con los criterios descritos.

- El evento buscado tiene una tasa muy baja , por lo que fue necesario tomar datos durante un largo período de tiempo para obtener suficientes para el análisis.
- Tras tomar datos durante dos meses, se registraron 2.9×10^7 eventos de doble coincidencia. De dichos eventos, se seleccionaron 916 que cumplían con los criterios descritos.
- Los datos fueron procesados utilizando las librerías del *ToolKit ROOT* v.6.06.04 para C++.

Modelo de ajuste:

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau_\mu} + K_0$$

Constantes del ajuste[†] a los datos medidos:

Constante	Valor	Incerteza	Unidad
N_0	502	28	Conteos
τ_μ	2195	86	ns
K_0	2.3	0.4	Conteos

[†] $\chi^2_\nu = 0.886389$ con un número de grados de libertad de $\nu = 24$. Se consideraron incertezas de tipo Poisson para el total de conteos n_i en cada intervalo ($\sigma_i = \sqrt{n_i}$). Ajuste realizado con *Gnuplot* utilizando un tamaño de intervalo de clase de $1\ \mu\text{s}$.

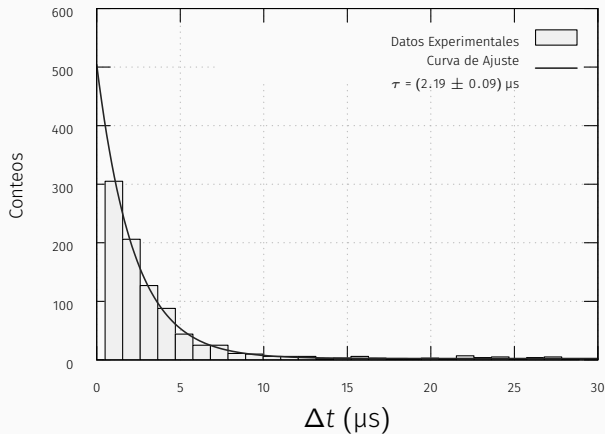


Figura 14: Distribución de la diferencia de tiempo entre los conteos de las placas superiores con el conteo en la placa inferior.

- La vida media medida del muón hallada experimentalmente fue de $(2.19 \pm 0.09) \mu\text{s}$.

- La vida media medida del muón hallada experimentalmente fue de $(2.19 \pm 0.09) \mu\text{s}$.
- El valor experimental más preciso hallado a la fecha es $(2.1969811 \pm 0.0000022) \mu\text{s}$.

- La vida media medida del muón hallada experimentalmente fue de $(2.19 \pm 0.09) \mu\text{s}$.
- El valor experimental más preciso hallado a la fecha es $(2.1969811 \pm 0.0000022) \mu\text{s}$.
- Error absoluto de 0.3 %

Proyectos en Desarrollo



Figura 15: Fotografía del grupo que participó en el taller del Proyecto Escaramujo, del 16 al 19 de septiembre de 2015.

ECFM-USAC / Escaramujo

Unwatch 3 Star 0 Fork 0

Code Issues 0 Pull requests 0 Wiki Pulse Graphs Settings

Cosmic ray detection using scintillator plates. — Edit

33 commits 1 branch 0 releases 1 contributor

Branch: master New pull request Create new file Upload files Find file Clone or download

andresvalle committed on GitHub Updated README file. Latest commit ab6d779 on Jul 8

adquisicion	Updated documentation.	3 months ago
eficiencia	Modified makefiles.	2 months ago
procesamiento	Delete qNet2root6000.sh	3 months ago
timeOverThreshold	Modified makefiles.	2 months ago
vidaMedia	Updated mean lifetime documentation.	2 months ago
README.md	Updated README file.	2 months ago

README.md

Escaramujo Guatemala

El Proyecto Escaramujo es una plataforma para detección de rayos cósmicos con placas centelladoras. En este repositorio se encuentra el código utilizado para la adquisición y el procesamiento de datos.

Datos

Enlace

<https://github.com/ECFM-USAC/Escaramujo>

ECFM-USAC / Escaramujo

Unwatch 3 Star 0 Fork 0

Code Issues 0 Pull requests 0 Wiki Pulse Graphs Settings

Branch: master Escaramujo / eficiencia / main.cpp Find file Copy path

andresvalle Removed unneeded files. cc0a248 on Jul 5

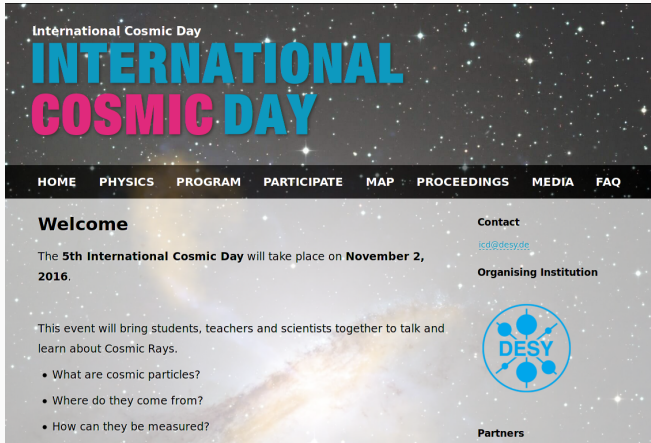
1 contributor

111 lines (83 aloc) | 3.96 KB Raw Blame History

```
1 #include "Escaramujo.h"
2 //Saltar a linea 55
3
4 int main(int argc, char *argv[]) { // code starts // main
5
6     TApplication myApp("myApp", 0, 0, 0, -1);
7
8     vector<string> inFileList; // process the file input file list (in case it is desired to run multiple root files as input
9     int returnCode = processCommandLineArgs( argc, argv, inFileList);
10    if(returnCode!=0){
11        cerr << "Error\n";
12        return returnCode;
13    }
14
15    TChain *dataTree = new TChain("dataTree"); // open a TChain and add the opened root files to it
16    for (unsigned int i = 0; i < inFileList.size(); ++i)
17        dataTree->Add(inFileList[i].c_str());
18    cout << "number of events: " << dataTree->GetEntries() << endl; // check the number of entries in the TChain
19
20    int sizeTDC_0, sizeTDC_1, sizeTDC_2; // cuantos hits hubieron en un evento
21    double TDC_LE_0[kHitsTDCmax]; // todos los flancos iniciales de los pulsos de un evento, canal 0 (leading edge)
22    double TDC_LE_1[kHitsTDCmax]; // todos los flancos iniciales de los pulsos de un evento, canal 1
23    double TDC_LE_2[kHitsTDCmax];
24
```

Enlace

<https://github.com/ECFM-USAC/Escaramujo>



Enlace

<https://icd.desy.de/>

Referencias I



D. Griffiths.

Introduction to Elementary Particles.

Physics textbook. Wiley, 2008.



F. Izraelevich.

Detectores centelladores.

<http://instrumentacion.ecfm.usac.edu.gt/escaramujo/documentos/izraelevitch.pdf>, 2012.



G. F. Knoll.

Radiation detection and measurement.

John Wiley & Sons, 2010.



K. A. Olive et al.

Review of Particle Physics.

Chin. Phys., C38:090001, 2014.



The ROOT Team.

A modular scientific software framework.

<http://root.cern.ch>, 1995–2015.

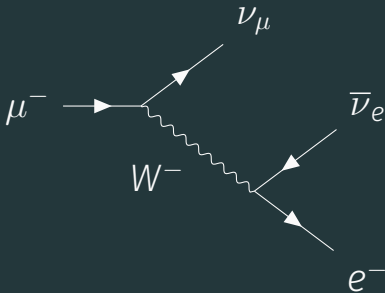


T. Williams and C. Kelley.

Gnuplot 5.0: an interactive plotting program.

<http://www.gnuplot.info/>, March 2015.

Gracias por su atención.



Andrés Valle

andresvalle@ecfm.usac.edu.gt

Lilian García

lkgarcia@ecfm.usac.edu.gt