

# DETECTOR ESCARAMUJO

---

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA  
DE CHIAPAS



# DETECTOR ESCARAMUJO

Universidad Autónoma de Chiapas  
(UNACH)

Facultad de Ciencias en Física y Matemáticas  
(FCFM)

Centro Mesoamericano de Física Teórica  
(MCTP)

Luis R. Pérez Sánchez

Karen Salomé Caballero Mora

Tuxtla Gutierrez, Chiapas, 2018.

## **AGRADECIMIENTOS**



# Índice

0.1	Introducción . . . . .	8
0.2	EJ-200 . . . . .	9
0.3	SiPM . . . . .	12
0.4	Tarjeta QuarkNet . . . . .	13
0.5	Minicom y raspberry . . . . .	14
0.6	Comandos . . . . .	15
0.7	Datos . . . . .	20
0.7.1	Algoritmo . . . . .	21
0.7.2	Rising Edge y Falling Edge . . . . .	21
	<b>Referencias</b>	<b>25</b>



# Índice de figuras

1	Ruta del viaje realizado abordo de una camioneta. . . . .	8
2	Placas centelladoras EJ-200 forrado en la Universidad Autónoma de Chiapas. Imagen tomado durante el curso. . . . .	10
3	Decaimiento del muon en la placa B, generando una señal en la placa C debido al electrón. . . . .	11
4	Espectro de emisión de la placa EJ-200 amplitud (Amplitude) contra longitud de onda (Wavelength) teniendo un máximo en 425 nm [6]. . . . .	11
5	Fotomultiplicador de silicio. . . . .	12
6	La absorción de luz es alta a partir de la región de la luz visible ( $\sim 400$ nm). . . . .	13
7	Preamplificador con 4 potenciómetros que permiten variar un voltaje de 27 V a 36 V pero para el detector Escaramujo se recomienda no usar voltajes mayores a 30 V. . . . .	14
8	(a) QuarkNet (b) 5 Modulo GPS, 6 antena GPS y 7 sensor de temperatura. . . . .	14
9	Configuración del programa minicom. . . . .	15
10	(a) La raspberry puede usar una memoria MicrosSD como almacenamiento. (b) Arreglo del detector Escaramujo. . . . .	16

## 0.1 Introducción

El documento tiene como primer objetivo guardar algunos de los conocimientos impartido durante el proyecto Escaramujo en Chiapas. El proyecto Escaramujo consistió en una serie de cursos de laboratorio sobre instrumentación de Física de Altas energías y Astropartículas, en instituciones de Latinoamérica impartido por el Físico Federico Izraelevitch que viajó (ver Figura 1) junto a su familia a bordo de una camioneta, desde Chicago hasta Buenos Aires. Los encuentros se llevaron a cabo en instituciones de México, Guatemala, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina, a nivel universitario y posgrado. Los laboratorios se basaron en armar y echar a andar un detector de rayos cósmicos diseñado específicamente para el proyecto. Durante el proyecto Escaramujo se tuvo como prioridad y prueba la detección de rayos cósmicos y en particular muones atmosféricos. Los estudiantes ensamblaron el detector y un detector quedó en cada institución académica para



Figura 1: Ruta del viaje realizado abordo de una camioneta.

ser utilizado en la formación de futuros estudiantes, con la intención de despertar el interés en ciencias e ingenierías [1]. En el documento se presenta las componentes del detector Escaramujo, información de los datos (.txt) y comando básicos para el manejo de la tarjeta QuarkNet usando el sistema operativo linux y minicom. Se pretende que estudiantes puedan introducirse, mejorar o aplicar el uso del detector y también interesarse en los temas de rayos cósmicos, astrofísica o electrónica y programación. El detector Escaramujo se halla en ciudad universitaria de la Universidad Autónoma de Chiapas y está al alcance de todos como una herramienta para la detección de muones atmosféricos, demostraciones, fines didácticos, investigación y desarrollo científico. A continuación algunos conceptos que conciernen al detector:

Los **Rayos cósmicos** son partículas provenientes del espacio exterior que se caracterizan por su alta energía pudiendo alcanzar hasta  $10^{20}$ eV. Hasta el momento ningún acelerador de partículas construido por el humano puede llegar a superar tal energía. Estas partículas (las partículas primarias pueden ser núcleos atómicos, protones, partículas alfa, etc) al chocar con la atmósfera (nitrógeno, oxígeno) de la Tierra llegan a producir numerosas partículas, llamadas partículas secundarias (gamma, electrones, muones, neutrinos, hadrones, etc), formando un chubasco atmosférico. Actualmente existen experimentos que estudian los RC y otras llamadas astropartículas (neutrinos y rayos gamma), como el observatorio Pierre Auger<sup>1</sup>, el experimento HAWC<sup>2</sup>, experimento IceCube<sup>3</sup>, etc. De entre las partículas secundarias, los muones son producto de interacciones atmosféricas de neutrones principalmente con moléculas de la atmósfera. Gracias a que tienen una velocidad muy cercana a la de la luz, pueden llegar a la Tierra a pesar de que tienen una vida muy corta, dos millonésimas partes de un segundo, aún así pueden ser detectados en la superficie. La cantidad de muones que llegan al nivel del mar es de  $\sim 1 \text{ muon/cm}^2\text{min}$ , y debido a que son partículas ionizantes se ha buscado mecanismos para detectarlos. La importancia de obtener información sobre los muones radica en que aún se están realizando estudios sobre el origen de los RC, el mecanismo de su llegada a la Tierra, las interacciones entre partículas en las que están involucrados en la atmósfera, etc.

Los **muones** provienen principalmente del decaimiento de piones cargados y casi todos los muones se producen en la parte alta de la atmósfera  $\sim 30$  km arriba de la superficie de la Tierra [8], son las más abundantes y las únicas capaces de penetrar profundamente bajo Tierra. Los muones forman parte de la familia de leptones del modelo estándar, tienen la misma carga que los electrones pero unas 200 veces más la masa del electrón:

<sup>1</sup><https://www.auger.org/>

<sup>2</sup><http://www.hawc-observatory.org/>

<sup>3</sup><https://icecube.wisc.edu/>

Tabla 1: Propiedades del muon.

Composición	Partícula Elemental
Familia	Fermión
Grupo	Leptón
Generación	Segunda
Interacción	Gravedad, electromagnetismo, interacción débil
Símbolo (s)	$(\mu^-)$
Antipartícula	Antimuón ( $\mu^+$ )
Descubierta	Carl David Anderson (1936)
Masa	$105, 658369(9) \text{ MeV}/c^2$
Vida media	$2.19703(4) \times 10^{-6} \text{ s}$
Carga	-1 e
Espín	$\frac{1}{2}\hbar$

$m_\mu = 105.66 \text{ MeV}/c^2$ <sup>4</sup>. El muon ( $\mu^-$ ) puede desintegrarse en otras partículas, proceso en el que se genera un electrón ( $e^-$ ), un antineutrino electrónico ( $\bar{\nu}_e$ ), y neutrino muónico ( $v_\mu$ ) expresado de la siguiente manera:

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + v_\mu \quad (1)$$

Su antipartícula, el antimuón ( $\mu^+$ ) se desintegra en un positrón ( $e^+$ ), un neutrino electrónico ( $v_e$ ) y un antineutrino muónico ( $\bar{\nu}_\mu$ ):

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + v_e + \bar{\nu}_\mu \quad (2)$$

El tiempo que tarda en desintegrarse el muon o bien el tiempo que tarda en aparecer el electrón es de  $2.19 \mu\text{s}$ , es decir, la vida media del muon es de aproximadamente dos millonésimas partes de un segundo, como se mencionó anteriormente. El muon y electrón puede ser detectado en el detector Escaramujo usando dos placas apiladas como se verá más adelante. El espectro de energía de los muones al nivel del mar tiene un máximo alrededor de los  $4 \text{ GeV}$  y su flujo es de  $\approx 1 \text{ cm}^{-2}\text{min}^{-1}$ . Sólo una fracción llegará al detector con la energía necesaria para detenerse y decaer, el resto lo atravesará y continuará con su trayectoria. La razón entre el número de muones positivos y negativos [2] es de

$$\frac{N^+}{N^-} = 1.24 \pm 0.15 \quad (3)$$

para una altura de  $200 \text{ m s.n.m}$  [3]. Se muestran las propiedades más importantes del muon, Tabla 1<sup>5</sup>. Con la descripción dada, algunos de los principales materiales que se pueden utilizar para medir o contar muones se requiere de placas centelladoras (EJ-200), foto multiplicadores (SiPM), y alguna tarjeta de adquisición (QuarkNet) que se describen a continuación.

## 0.2 EJ-200

El detector Escaramujo cuenta con 3 placas centelladoras que son las encargadas de generar las primeras señales de detección. Cuando una partícula logra ionizar los átomos de las placas, éstas producirán una luz de fluorescencia<sup>6</sup> en el interior que después son canalizados. Las placas EJ-200 tiene dimensiones de  $25 \cdot 25 \cdot 1 \text{ cm}^3$  cada uno, estas medidas se tomaron únicamente por cuestiones prácticas del proyecto, es decir, se puede tener placas de hasta  $3 \times 3 \text{ m}^2$ . Cuando una partícula ioniza o excita las placas emiten la luz de centelleo o fluorescencia y, la duración de la luz ocurre en tiempos de nanosegundos ( $10^{-9} \text{ s}$ ), una luz tan efímera que para poder captarla se requiere de sensores muy sensibles y de una electrónica rápida. Las placas combinan dos propiedades importantes: longitud de atenuación óptica larga y tiempo rápido (nanosegundos) que lo hacen particularmente útil para sistemas donde se usan centelladores de más de un metro de longitud. Las placas EJ-200 es el detector de elección para muchas aplicaciones industriales, como la medición y la protección del medio ambiente, donde la alta sensibilidad y la uniformidad de la señal son requisitos operativos críticos [4]. Cuando la intención sea detectar muones atmosféricos se debe asegurar que las placas no estén cerca de alguna fuente de radiactividad (natural o artificial) o aceleradores de partículas que pueda provocar ionización en el material.

Las placas EJ-200 se forraron con papel Tyvek en el interior y con papel EMI-STATIC SHIELD en el exterior,

<sup>4</sup>Esta expresión se deriva del hecho de que la energía puede expresarse como  $E = mc^2$

<sup>5</sup><https://es.wikipedia.org/wiki/Muon>

<sup>6</sup>Emisión de luz al desexcitarse los átomos después de haber sido excitados por el paso de partículas cargadas.

Tabla 2: Características de las placas EJ-200.

Eficiencia de centelleo	10,000 fotones/1 Mev e-
Longitud de onda de Máx. Emisión	425 nm
Rise Time (Tiempo de subida)	0.9 ns
Decay Time (Tiempo de decaimiento)	2.1 ns
Ancho del pulso, FWHM	2.5 ns
Índice de refracción	1.58
Base de polímero	poliviniltolueno
Longitud de atenuación de luz	380 cm
Átomos de H por $\text{cm}^3$	$5.17 \times 10^{22}$
Átomos de C por $\text{cm}^3$	$4.69 \times 10^{22}$
Electrones por $\text{cm}^3$	$3.33 \times 10^{23}$
Densidad	1.023 g/ $\text{cm}^3$
Rango de temperatura	-20 a 60 grados celsius
Salida de luz (antraceno)	64 %

que hacen que la luz de centelleo que se genera en las placas se conduzca a un foto multiplicador (detector de luz, SiPM) a través del fenómeno de reflexión total interna. El papel Tyvek funciona como un reflector de luz en el interior y el papel exterior es para evitar que la luz exterior (luz visible) no penetre dentro de las placas EJ-200. Como se mencionó, las placas se consideran rápidos como se puede observar en la tabla 1 (propiedades de las placas EJ-200) teniendo anchos y subida de los pulsos en tiempos de nanosegundos, donde se hace la aclaración de FWHM (del inglés, full width at half maximum) corresponde a la anchura total a media altura útil para la resolución energética de un detector [5]. En la Figura 2 se muestra una placa EJ-200 antes y después de ser forrado.



(a) EJ-200 sin Tyvek revisando que no exista impurezas.

(b) Forrado interior usando Tyvek. Se dejó un recorte cuadrangular de  $6 \times 6 \text{ m}^2$  en cada placa.

(c) Se adhiere el SiPM en los recortes cuadrangulares y por último el forrado exterior con EMI/STATIC SHIELD.

Figura 2: Placas centelladoras EJ-200 forrado en la Universidad Autónoma de Chiapas. Imagen tomado durante el curso.

Las placas del detector Escaramujo son planas y cuadradas y bien pulidas que hace posible tener diferentes arreglos. La empresa Eljen Technology elabora las placas de cualquier forma geométrica y tamaños [6] para el usuario, sin embargo para la detección de muones con plásticos por lo regular se manejan placas planas para crear arreglos en doble, triple, etc. coincidencias.

Arreglo de las placas para el **decaimiento del muon**, se requiere de al menos dos o más placas apiladas verticalmente como se ilustra en la Figura 3, donde un muon se detiene<sup>7</sup> y decae en la placa B generando después un electrón que es captado por la placa C, las placas B y C pueden estar juntas o bien separados hasta 5 cm, pero no se recomienda un valor mayor a esta. En caso de tener únicamente dos placas centelladoras se esperaría que el muon decaiga en la placa A y el electrón sea detectado en la placa B. Es importante mencionar que la mayoría de los muones terminarán atravesando las placas y que el decaimiento del muon es una situación probabilista por lo que se debe tomar datos por varios días y después hacer un filtro donde se toman los eventos en los cuales hubieron posibles decaimientos, para este ejemplo se buscaría llenar un histograma con la diferencia de tiempos que hay desde B y C. En cuanto a los neutrinos no es posible detectarlos usando este detector por su poca interacción con la materia por lo que no influye en la colección de datos. Se debe configurar algunos parámetros en la electrónica para realizar este experimento (en la sección de comandos ver: tiempo del gate).

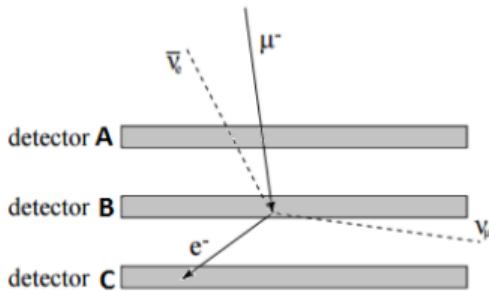


Figura 3: Decaimiento del muon en la placa B, generando una señal en la placa C debido al electrón.

Existen placas EJ-204, EJ-208, EJ-212 que varían en algunas especificaciones, por ejemplo: en la salida de luz, longitud de onda de máxima emisión [6], etc. en la Figura 3 se anexa el espectro de emisión de la placa EJ-200.

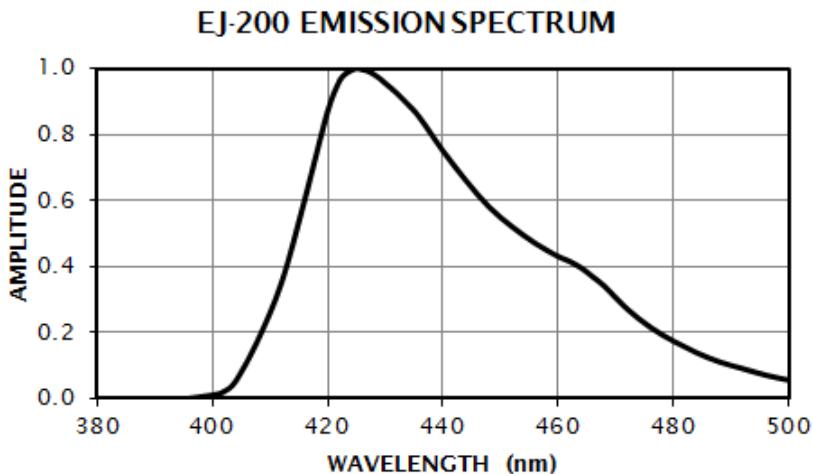


Figura 4: Espectro de emisión de la placa EJ-200 amplitud (Amplitude) contra longitud de onda (Wavelength) teniendo un máximo en 425 nm [6].

<sup>7</sup>Las partículas relativistas pierden energía por ionización que puede ser descrito con la ecuación de Bethe-Bloch.

### 0.3 SiPM

El SiPM es un fotodetector (ver Figura 5) de luz usado para poder detectar y amplificar los primeros fotones que surjan de las placas EJ-200.

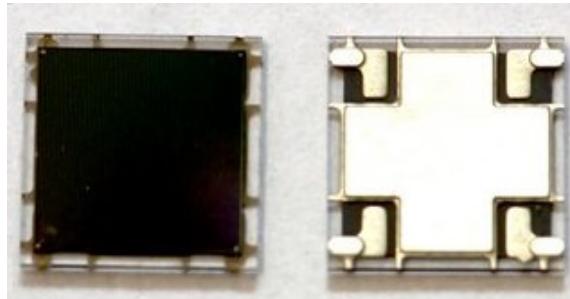


Figura 5: Fotomultiplicador de silicio.

En otras palabras el SiPM es un detector de fotones y el mecanismo de detección es el siguiente: cuando un fotón viaja a través del silicio, puede ser absorbido y transferir energía a un electrón unido. Esta energía absorbida hace que el electrón se mueva de la banda de valencia a la banda de conducción, creando un par de electrón-agujero. La profundidad de absorción de un fotón en silicio depende de su energía (o longitud de onda) como se muestra en la Figura 6. El silicio absorbe eficientemente una amplia gama de longitudes de onda de luz dentro de unas pocas decenas de micras. Decimos que un fotodiodo está formado por una unión p-n de silicio que crea una región de agotamiento que está libre de portadores de carga móvil. Cuando un fotón se absorbe en silicio, creará un par de electrón-agujero. Cuando se genera un campo eléctrico suficientemente alto ( $> 5 \times 10^5$  V/cm) dentro de la región de agotamiento del silicio, un portador de carga creado allí se acelerará a un punto donde lleva suficiente energía cinética para crear pares de cargas secundarias a través de un proceso llamado ionización por impacto. De esta forma, un solo fotón absorbido puede desencadenar una cascada de ionización que se extenderá por todo el volumen de silicio sometido al campo eléctrico. El silicio se descompondrá y se convertirá en conductor, amplificando efectivamente el par original de electrón-agujero en un flujo de corriente macroscópico. Este proceso se denomina descarga de Geiger, en analogía con la descarga de ionización observada en un tubo Geiger-Müller. Un fotodiodo operado en modo Geiger emplea este mecanismo de descomposición para lograr una gran ganancia y se conoce como Single Photon Avalanche Diode (SPAD). El fotomultiplicador de silicio del detector Escaramujo es el SiPM MicroFC-60035 (sensL) que es sensible a la radiación visible y esta compuesto por 18980 microceldas (fotodiodos de avalancha) con tamaño de  $35 \mu\text{m}$  y un sensor de área activa de  $6 \times 6 \text{ mm}$ . Cada fotodiodo de avalancha se opera en modo Geiger, es decir, produce una avalancha de electrones cuando recibe al menos un fotón e independientemente de su número o energía. La salida rápida típica del rise time es de 1 ns, y el ancho del pulso de 3.2 ns<sup>8</sup>. Una característica importante de los SiPM es que son insensibles a la fuerza de los campos electromagnéticos, mientras que los PMT (Tubos Fotomultiplicadores) necesitan un protector magnético para operar correctamente [7] otra de las ventajas del SiPM es que pueden ser operados con voltajes muy bajos comparado con los voltajes que se usan en los PMTs. La ganancia del SiPM depende del voltaje de polarización es decir cada microcelda del SiPM esta sometida a un voltaje de polarización, de manera que cada vez que un fotón interacciona con electrón y genera un par electrón-hueco, los portadores son rápidamente acelerados por el campo eléctrico, aumentando el número de portadores libres en el semiconductor. El SiPM MicroFC-60035 se halla también conectado con el preamplificador, el preamplificador permite ajustar voltajes con el potenciómetro incluido de 27 V a 36 V, pero se recomienda no usar voltajes mayores a 30 V y también permite observar la salida del pulso en un osciloscopio.

<sup>8</sup>Referencia: C-Series Low Noise, Blue-Sensitive Silicon Photomultipliers DATASHEET ([www.sensl.com](http://www.sensl.com))

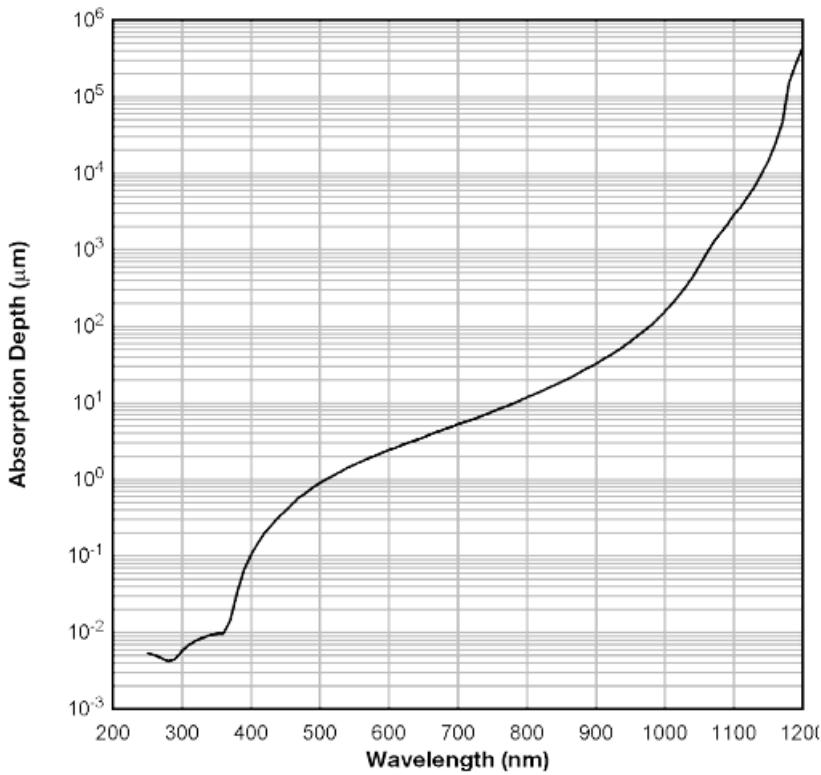


Figura 6: La absorción de luz es alta a partir de la región de la luz visible ( $\sim 400$  nm).

## 0.4 Tarjeta QuarkNet

La adquisición de datos se realiza utilizando la tarjeta QuarkNet desarrollado por científicos de Fermilab, universidad de Nebraska y Washington [8]. El cual tiene las siguientes características (ver Figura 7):

1. Entrada de GPS, en esta parte se conecta el modulo de GPS (ver Figura 7 (b)) donde se halla un sensor de temperatura y una antena GPS (Ublox ANN-MS-2-005 GPS Antenna), la antena tiene un tamaño de 48 x 40 x 13 mm y 5 m de cable coaxial. Al utilizar el GPS, es necesario sacarlo fuera del edificio o de una ventana para que pueda sincronizarse con los satélites que orbitan en la tierra y puede tener tiempos en UTC exactos, tomar en cuenta que el la antena del GPS cuenta con un imán para se adherido en algún soporte. Al principio se requiere únicamente que detecte la señal de al menos 3 satélites después este número puede disminuir o subir, el numero de satélites se puede observar en la salida de datos .txt en la columna 14 y puede llegar a detectar hasta 12 satélites.
2. Salida del GPS para otra tarjeta DAQ.
3. Botón de restablecimiento del la tarjeta (reinicio). Se muestra otro botón en la Figura 7 (a) señalado por la linea roja, éste se utiliza para reiniciar únicamente los conteos o número de trigger y es necesario presionarlo estímulamente cuando se inicie una adquisición de datos con el comando *CE* como se verá más adelante.
4. Cuenta el número de coincidencias. El número de coincidencias puede ser en uno, doble, triple o cuádruple coincidencias.
5. Entrada para 4 canales, en esta parte se conectan los cables coaxiales del preamplificador (Figura 7).
6. CPLD (Complex Programmable Logic Device), Dispositivo lógico complejo programable.
7. Convertidor de tiempo a digital (TMC)
8. Puerto USB que va a la PC (Raspberry PI, ver Figura 9 (a)) para la transferencia de información. Desde ésta conexión se controla el CPLD.
9. Entrada de alimentación
10. Salida de voltaje que sirve para distribución de voltaje. Aquí se alimenta el preamplificador.



Figura 7: Preamplificador con 4 potenciómetros que permiten variar un voltaje de 27 V a 36 V pero para el detector Escaramujo se recomienda no usar voltajes mayores a 30 V.

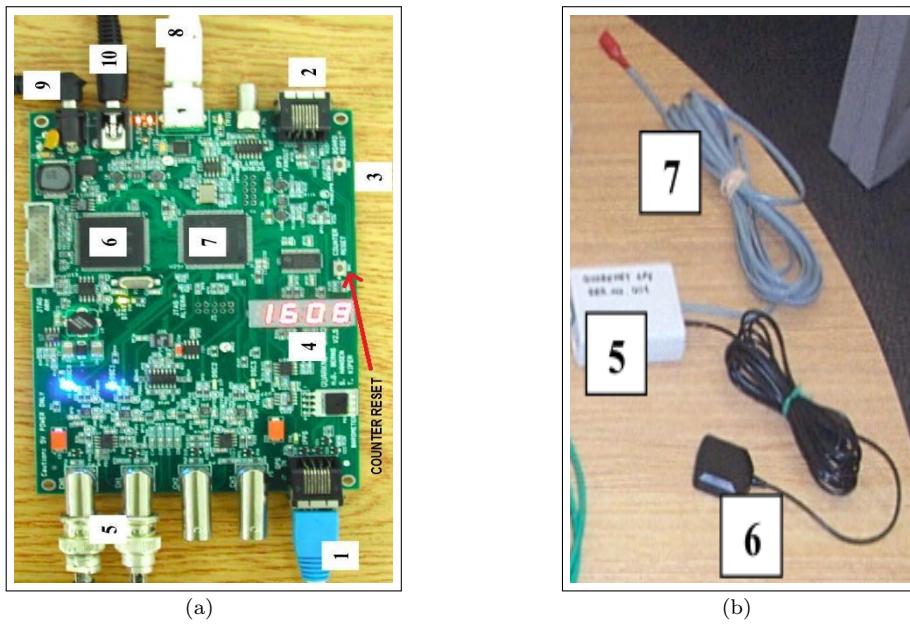


Figura 8: (a) QuarkNet (b) 5 Modulo GPS, 6 antena GPS y 7 sensor de temperatura.

El preamplificador puede utilizarse para encontrar el voltaje óptimo, es decir tener conteos en las placas EJ-200 el cual no se altere por algún cambio mínimo de voltaje que pueda ocurrir. Como continuación se anexa un barrido de voltaje utilizando el comando en la tarjeta QuarkNet ST 3 1 que más adelante se explicará, donde a la vez se cambio el umbral.

El voltaje óptimo en la gráfica puede cambiar por lo que se recomienda siempre hacer la calibración del voltaje óptimo para un nuevo experimento y ensamble del detector.

## 0.5 Minicom y raspberry

Programa de comunicación utilizado para escribir comandos sobre el CPLD (Figura 9 (a), No.7 en la tarjeta QuarkNet), se puede instalar desde un sistema operativo GNU/linux (ubuntu) abriendo una terminal escribiendo el comando:

```
sudo apt - get install minicom
```

después de instalar, se debe configurar los puertos para poder usar la tarjeta QuarkNet. Para configurar se puede abrir el programa desde la terminal linux utilizando *sudo minicom*. Después buscar el menú de ayuda del programa y/o localizar el menú de ajustes (ver Figura 9 ), la configuración exacta de los puertos es el siguiente:

- Dispositivo serial: */dev/ttyUSB0* (donde *ttyUSB0* es el nombre que reconoce la tarjeta QuarkNet por el programa minicom)
- Localización del archivo de bloqueo: */var/unlock*

- Programa de acceso: *si*
- Programa de salida: *si*
- Bps/Paridad/Bits: 115200 8N1 (Bits por segundo)
- Control de flujo por hardware: *No*
- Control de flujo por software: *si*

```

| A - Dispositivo Serial           : /dev/ttyUSB0
| B - Localización del Archivo de Bloqueo : /var/unlock
| C - Programa de Acceso          : si
| D - Programa de Salida          : si
| E - Bps/Paridad/Bits            : 115200 8N1
| F - Control de Flujo por Hardware: No
| G - Control de Flujo por Software: Si
|
| ¿Qué configuración alterar? ■

```

Figura 9: Configuración del programa minicom.

Para crear y guardar un archivo .txt se utiliza el comando:

`sudo minicom -C nombre_del_archivo.txt`

En la mini computadora Raspberry PI (Figura 9 (a)) se encuentra instalado el programa minicom para acceder se debe tomar en cuenta que el usuario es *pi* y password *raspberry*. Para iniciar en la interfaz utilizar el comando *startx*. En la raspberry para crear e ingresar al programa minicom puede omitirse la palabra *sudo*. Los archivos .txt se pueden guardar al clúster de la Universidad Autónoma de Chiapas usando los siguientes comandos desde una terminal:

- Para subir archivos al clúster, escribir el comando:

`rsync -e 'ssh' -a --progress /home/... /.../ archivo a subir usuario@148.222.44.1 : /home /.../dirección del cluster/`

- Otro comando utilizado para subir un archivo al clúster ,es abriendo una terminal, y estando en la carpeta donde está el archivo se escribe ( por ejemplo subiendo el archivo *fermi.zip*):

`scp fermi.zip usuario@148.222.44.1:/home/.../.`  
(se debe escribir el punto final)

- De igual forma para bajar el archivo *fermi.zip* del cluster a una máquina:

`scp usuario@148.222.44.1:/home/.../lugar del archivo/ .`  
(Es importante dejar un espacio antes del punto final)

Después de conocer las componentes del detector, en la Figura 9 (b) se muestra el ensamblaje de estas, primero las placas EJ-200 se hallan forradas con Tyvek en la cual se ha adherido el SiPM, los cables del SiPM van conectados al preamplificador, del preamplificador a la tarjeta QuarkNet es bueno mencionar recordar que la tarjeta QuarkNet alimenta el preamplificador a través de la salida ( $N_o$ , Figura 7 (a)). La tarjeta QuarkNet va conectada a la raspberry (o una laptop) a través del cable numeración 8.

Los arreglos y experimentos que se pueden hacer con el detector Escaramujo son:

- Flujo de muones

## 0.6 Comandos

En esta sección se presentan los comandos para controlar la tarjeta QuarkNet, usando el programa minicom. Después de ingresar al minicom con el comando *sudo minicom*, se puede utilizar los siguientes comandos de control:

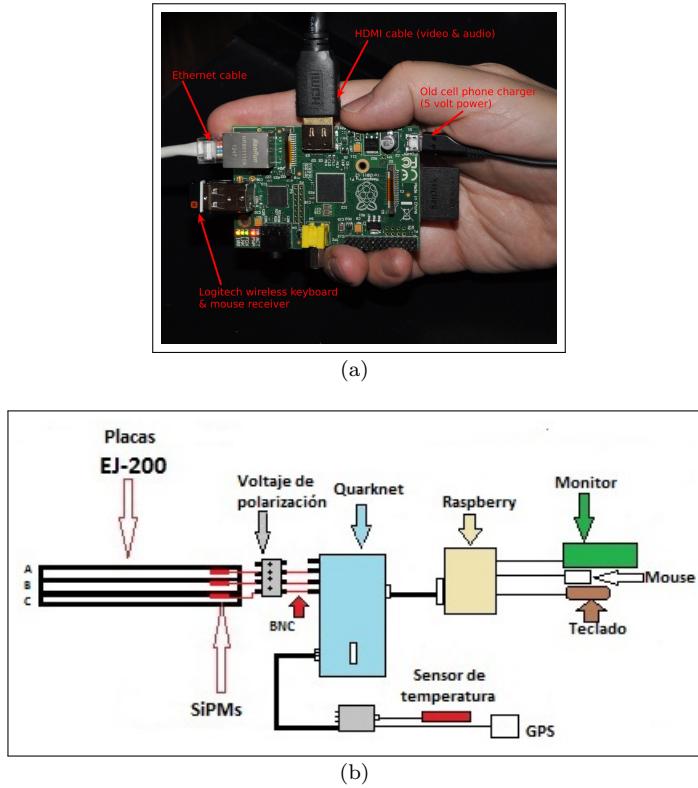


Figura 10: (a) La raspberry puede usar una memoria MicroSD como almacenamiento. (b) Arreglo del detector Escaramujo.

- **HE** Comando de ayuda, despliega las siguientes líneas de información:

```
Quarknet Scintillator Card, Qnet2.5 Vers 1.12 Compiled Oct 22 2014 HE=Help
Serial#=7021 uC_Volts=3.34 GPS_TempC=0.0 mBar=989.6
```

CE	- TMC Counter Enable.
CD	- TMC Counter Disable.
DC	- Display Control Registers, (C0-C3).
WC a d	- Write Control Registers, addr(0-6) data byte(H).
DT	- Display TMC Reg, 0-3, (1=PipeLineDelayRd, 2=PipeLineDelayWr).
WT a d	- Write TMC Reg, addr(1,2) data byte(H), if a=4 write delay word.
DG	- Display GPS Info, Date, Time, Position and Status.
DS	- Display Scalar, channel(S0-S3), trigger(S4), time(S5).
RE	- Reset complete board to power up defaults.
RB	- Reset only the TMC and Counters.
SB p d	- Set Baud, password, 1=19K, 2=38K, 3=57K ,4=115K, 5=230K, 6=460K, 7=920K
SA n	- Save setup, 0=(TMC disable), 1=(TMC enable), 2=(Restore Defaults).
TH	- Thermometer data display (@ GPS), -40 to 99 degrees C.
TL c d	- Threshold Level, signal ch(0-3)(4=setAll), data(0-4095mV), TL= read.
Veto	- Veto select, Off='VE 0', On='VE 1', Gate='VG c', 0-255(D) 10ns/cnt.
View	- View setup registers. Setup=V1, Voltages(V2), GPS LOCK(V3).
HELP	- HE,H1= Page1, H2= Page2, HB= Barometer, HS= Status, HT= Trigger.

- **CE** Comando que permite iniciar la adquisición de datos, para poder usar este comando se recomienda primero crear un archivo nuevo (`sudo minicom -C nombre.txt`). Al teclear este comando se debe también presionar el botón *Counter reset* (Figura 7 (a)) simultáneamente en la tarjeta QuarkNet).
- **CD** Se utiliza para detener la adquisición de datos.
- **WC a d** Comando que permite configurar el número de trigger, asignar el canal del voto, y encender canales. Se usa la escritura para *a*: 00 , es decir WC 00, para escribir *d*, se debe tomar en cuenta la siguiente interpretación del número binario para la tarjeta QuarkNet:

Binario	Decimal	Nivel de coincidencias	Canal/canal del veto
00	0	1	0
01	1	2	1
10	2	3	2
11	3	4	3

es decir el número binario 10 puede indicar triple coincidencias o asignar el canal 2 del voto. *d* se debe escribir primero en binario indicando primero el canal del voto, luego número de trigger y por último los canales a encender.

Ejemplo:

canal del voto (binario) + coincidencias o trigger (binario) + canales (binario)  
 10                            01                            0111

Donde 10 indica que el canal del voto será en **canal 2**, y el bits 01 el número de trigger en **doble coincidencias** por último lo bits 0111 indican los canales y se leen de derecha a izquierda. Para encender y apagar los canales simplemente se usan los bits 1 y 0 respectivamente, por ejemplo para encender los canales 3 1 y 0 es: 1011 o para encender solamente el canal 1 y apagar las demás se utiliza 0010. 0111 indican los canales 0,1 y 2 encendidos. El comando *d* en este caso **10010111** transformando a hexadecimal es: 97, entonces el comando final es : WC 00 97

Ejemplos:

WC 00 23 : Canales encendidos 0 y 1, triple coincidencias.  
 WC 00 13 : Canales encendidos 0 y 1, doble coincidencias.  
 WC 00 17 : Canales encendidos 0, 1 y 2, doble coincidencias.  
 WC 00 27 : Canales encendidos 0, 1 y 2, triple coincidencias.

El canal del voto se puede asignar únicamente en:

Canal uno (CH1): Indicando coincidencias entre A y C.  
 Canal dos (CH2): Indicando coincidencias entre A y B.  
 Canal tres (CH3): Comando WC 00 D7

Se puede configurar coincidencias asignando el *veto* a cualquiera de los canales (a excepción al CH0) posteriormente se puede decir no usar el voto con el comando *VE 0* (apagado) o utilizar el voto usando el comando *VE 1* (encendido).

- **WC 2 nn, WC 3 nn**

Antes de hacer cambios en estos comandos se recuerda al usuario que el gate siempre será mayor al PLD (Pipe

Establezca el ancho de la puerta a 3600 ns (150 x 24 ns; decimal 150 = hex 96)  
 > **WC 02 96**  
 > **WC 03 00**

Configure el retardo a 1200 ns (50 x 24 ns; decimal 50 = hex 32)  
 > **WT 01 00**  
 > **WT 02 32**

Line Delay). El comando *WC 02* utilizado para cambiar el tiempo del gate. Por ejemplo si se requiere que el tiempo del gate sea de 100 ns (nanosegundo), se requiere hallar en decimal un número que al multiplicarlo por 10 se obtenga 100, en este caso  $10 \cdot 10 = 100$  ns luego 10 ns en hexadecimal es A por lo tanto el comando que cambia el gate es:

*WC 02 A*

Ejemplos:

WC 2 1: 10 ns	WC 2 9: 90 ns	WC 2 21: 330 ns	WC 2 29: 410 ns
WC 2 2: 20 ns	WC 2 10: 160 ns	WC 2 22: 340 ns	WC 2 30: 480 ns
WC 2 3: 30 ns	WC 2 11: 170 ns	WC 2 23: 350 ns	WC 2 40: 640 ns
WC 2 4: 40 ns	WC 2 12: 180 ns	WC 2 24: 360 ns	WC 2 50: 800 ns
WC 2 5: 50 ns	WC 2 13: 190 ns	WC 2 25: 370 ns	WC 2 60: 960 ns
WC 2 6: 60 ns	WC 2 14: 200 ns	WC 2 26: 380 ns	WC 2 70: 1120 ns
WC 2 7: 70 ns	WC 2 15: 210 ns	WC 2 27: 390 ns	WC 2 7700
WC 2 8: 80 ns	WC 2 20: 320 ns	WC 2 28: 400 ns	

La función que nos entrega el número decimal ( $D_1$ ) es

$$D_1 = \frac{T_g}{10} \quad (4)$$

donde  $D_1$  es el decimal que será transformado en hexadecimal y  $T_g$  es el tiempo del gate que se desea. El comando **WC 3** normalmente se utiliza para cambiar el tiempo del gate a valores altos, el decimal  $D_2$  que nuevamente será el número transformar en hexadecimal es:

$$D_2 = \frac{T_g}{2560} \quad (5)$$

Ejemplos:

WC 3 1: 2560 ns  
WC 3 2: 5120 ns  
WC 3 3: 7680 ns

También es posible utilizar ambos comandos para acercarnos a algún valor, para tener un gate de 7700 ns basta tomar WC 3 3, después aumentar 20 ns, con WC 2 2.

- **WT 1, WT 2**

Comando para modificar los tiempos del “Pipe Line Delay (PLD)”. Nuevamente se recomienda tener el gate mayor que PLD. Comando **WT 1 0** únicamente reinicia el tiempo a 10 ns. El comando **WT 2** seguido de la letra hexadecimal que sera hallado buscando primero el decimal ( $D_3$ ) utilizando la ecuación:

$$D_3 = \frac{T_{PLD}}{10} \quad (6)$$

donde  $T_{PLD}$  es el tiempo que se desea para Pipe Line Delay.

Ejemplos:

WT 1 0: 10 ns  
WT 2 1: 10 ns  
WT 2 2: 20 ns  
WT 2 3: 30 ns  
WT 2 4: 40 ns  
WT 2 **87**: 1350 ns

- **Tiempo del gate**

Tiempo recomendado para realizar:

Decaimiento del muon → ns  
Muon telescope flux → 100 ns

- **Umbral**

Para cambiar el umbral de cualquier canal se usa el comando **TL**, seguido del canal (0,1,2 o 3), finalmente el voltaje en milivolts.

Ejemplo: **TL 1 10**, indica canal 1 con umbral 10 mV.

Para cambiar el umbral de los 4 canales al mismo tiempo, se usa el número 4: **TL 4 20** que indica que el todos los canales tendrán el umbral de 20 mV.

- **ST 3 min** *ST 3* reinicia los conteo y *min* puedes ser reemplazando por 1,2,3...,30 minutos, entregando el número de trigger (coincidencias) y conteos de cada canal por minuto seleccionado. Las lineas de información se muestra en el ejemplo siguiente (DS) se utilizó **ST 3 1** (reinicio cada minuto):

ST 0989 +222 +045 3344 155555 030817 V 12 BE5CE768 112 7021 00DBD500 00107157  
DS 0000017C 000001E6 00000247 00000000 00000138

donde DS entrega la información (en hexadecimal) del número de conteos (por minuto en este caso) en el siguiente orden:

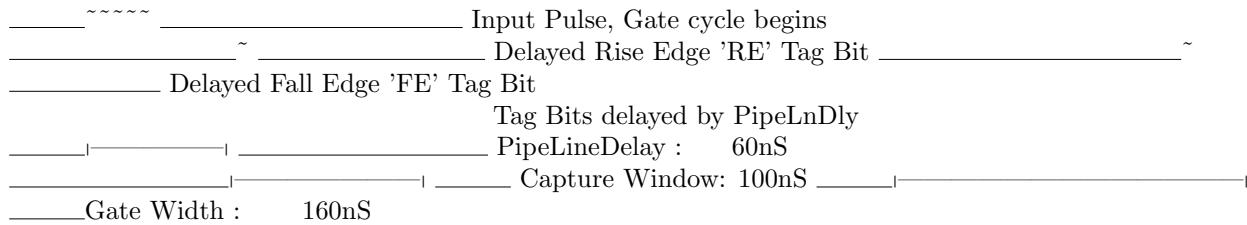
0000017C → canal 0  
000001E6 → canal 1  
00000247 → canal 2

00000000 → canal 3  
00000138 →  $N_o$  trigger

- **V1** muestra las configuración de la tarjeta:

Run Mode	:	Off	CE (cnt enable), CD (cnt disable)
Ch(s) Enabled	:	2,1,0	Cmd DC Reg C0 using (bits 3-0)
Veto Enable	:	Off	VE 0 (Off), VE 1 (On)
Veto Select	:	Ch0	Cmd DC Reg C0 using (bits 7,6)
Coincidence 1-4	:	2-Fold	Cmd DC Reg C0 using (bits 5,4)
Pipe Line Delay	:	60 nS	Cmd DT Reg T1=rDelay Reg T2=wDelay 10nS/cnt
Gate Width	:	160 nS	Cmd DC Reg C2=LowByte Reg C3=HighByte 10nS/cnt
Veto Width	:	400 nS	Cmd VG (10nS/cnt)
Ch0 Threshold	:	0.010 vlts	
Ch1 Threshold	:	0.010 vlts	
Ch2 Threshold	:	0.010 vlts	
Ch3 Threshold	:	0.010 vlts	
Test Pulser Vlt	:	3.000 vlts	
Test Pulse Ena	:	Off	

Example line for 1 of 4 channels. (Line Drawing, Not to Scale) Input Pulse edges (begin/end) set rising/falling tags bits.



If 'RE','FE' are outside Capture Window, data tag bit(s) will be missing.

Capture Window = Gate Width - PipeLineDelay

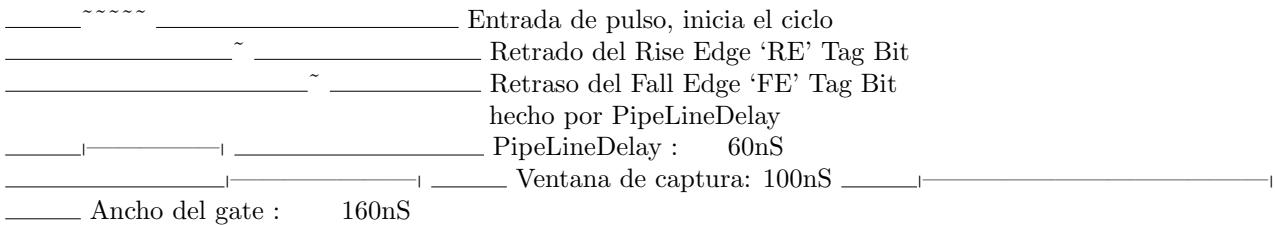
The default Pipe Line Delay is 40nS, default Gate Width is 100nS.

Setup CMD sequence for Pipeline Delay. CD, WT 1 0, WT 2 nn (10nS/cnt)

Setup CMD sequence for Gate Width. CD, WC 2 nn(10nS/cnt), WC 3 nn (2.56uS/cnt)

- Linea 1 , indica que no se ha usado CE, la adquisición de datos se halla apagado
- Linea 2, muestra los canales encendidos 0, 1, y 2 (en este ejemplo)
- Linea 3, voto apagado (off)
- Linea 4, canal en el que se halla asignado el voto
- linea 5, nivel de coincidencias dos veces (2 fold)
- linea 6, tiempo de retardo para los pulsos 60 nanosegundo
- linea 7, Ancho del gatillo, 160 nanosegundo
- linea 8, ancho del voto 400 nanosegundo
- linea 9, nivel de umbral del canal 0 en milivolts
- linea 10, nivel de umbral del canal 1 en milivolts
- linea 11, nivel de umbral del canal 2 en milivolts
- linea 12, nivel de umbral del canal 3 en milivolts

Ejemplo de la entrada de un pulso las lineas no estan dibujados a escala. Muestran los bordes de comienzo y final.



Si 'RE','FE' estan fuera de la ventana de captura, los datos tag bit(s) se pierden. La ventana de captura se define Capture Window = GateWidth - PipeLineDelay

El valor predeterminado de Pipe Line Delay is 40nS y, Gate Width es 100nS.

El comando de configuración para Pipeline Delay. CD, WT 1 0, WT 2 nn (10nS/cnt)

El comando para de configuración para el Gate Width. CD, WC 2 nn(10nS/cnt), WC 3 nn (2.56uS/cnt)

## 0.7 Datos

Como se vio en la sección anterior (comando *WC a d*) se puede configurar en una, doble, triple o cuádruple coincidencias con las placas, a la que se llamará un *evento* cuando ocurra alguna coincidencia. La tarjeta entrega el número de eventos que ocurrieron, descrito a continuación. La salida de datos de la tarjeta QuarkNet se muestra en formato ASCII, cada línea de datos contiene 16 palabras (o 16 columnas) como se muestra a continuación. Los datos que se muestran a continuación son para un único evento, un solo evento puede abarcar varias líneas de datos.

```
32B48A26 B7 00 00 00 00 00 00 31E26EA4 195041.860 241117 V 00 0 +0034
32B48A26 39 38 3B 00 00 00 00 00 31E26EA4 195041.860 241117 V 00 0 +0034
32B48A27 00 00 00 3D 00 00 00 00 31E26EA4 195041.860 241117 V 00 0 +0034
32B48A28 00 32 00 00 00 00 00 00 31E26EA4 195041.860 241117 V 00 0 +0034
```

La forma de saber cuantos *eventos* ocurrieron se basa en verificar únicamente la segunda columna (formato hexadecimal) y notar si el *Bit 7* es igual a 1 en caso contrario no hay evento nuevo (o bien las lineas siguen siendo del evento anterior), es decir, cada vez que la columna dos tenga el bit 7 sea 1 significa que un evento nuevo a ocurrido. En la columna dos del ejemplo de arriba se tiene B7, 39, 00 y 00. Únicamente la fila donde el valor del Bit 7 es 1 es en B7:

$$\begin{aligned} B7_{hex} &= 10110111_{binario} \\ 39 &= 111001 \\ 00_{hex} &= \\ 00_{hex} &= \end{aligned}$$

las 4 lineas corresponden aun solo evento.

La siguiente salida corresponde una salida de datos en 11 segundos:

EBDA5233	A2	00	24	00	25	00	00	00	EAB99E3D	184712.083	260916	V	03	0	+0039
EC547CE0	A2	00	00	00	25	00	00	00	EC37167D	184713.091	260916	V	03	0	+0047
EC547CE0	00	00	00	00	00	3A	00	00	EC37167D	184713.091	260916	V	03	0	+0047
EC547CE1	00	31	00	00	00	00	00	00	EC37167D	184713.091	260916	V	03	0	+0047
EE4F495E	A7	00	00	00	26	00	00	00	EDB48EBD	184714.083	260916	V	03	0	+0015
EE4F495E	00	00	28	00	00	00	00	00	EDB48EBD	184714.083	260916	V	03	0	+0015
F29B9100	80	00	35	00	36	00	00	00	F22CF77D	184717.091	260916	V	03	0	+0047
F51B35ED	AC	00	2F	00	29	00	00	00	F3AA6FB0	184718.083	260916	V	02	0	+0039
F51B35EF	00	00	00	29	00	00	00	00	F3AA6FB0	184718.083	260916	V	02	0	+0039
F5F597A3	BE	00	00	00	00	00	00	00	F527E7FD	184719.091	260916	V	02	0	+0047
F5F597A4	00	00	22	00	26	00	00	00	F527E7FD	184719.091	260916	V	02	0	+0047
F5F597A5	00	00	00	00	00	3F	00	00	F527E7FD	184719.091	260916	V	02	0	+0047
F7C987EA	BE	00	00	00	3A	00	00	00	F6A5603D	184720.083	260916	V	02	0	+0015
F7C987EB	00	00	2D	00	00	00	00	00	F6A5603D	184720.083	260916	V	02	0	+0015
F7C987EB	00	00	00	3D	00	00	00	00	F6A5603D	184720.083	260916	V	02	0	+0015
F933000A	B0	00	31	00	00	00	00	00	F822D87D	184721.091	260916	V	02	0	+0047
F933000C	00	00	00	3A	00	00	00	00	F822D87D	184721.091	260916	V	02	0	+0047
FC327258	B9	00	00	00	00	00	00	00	FB1DC8FD	184723.091	260916	V	03	0	+0023
FC327259	00	00	00	00	20	00	00	00	FB1DC8FD	184723.091	260916	V	03	0	+0023
FC327259	00	00	00	2E	00	00	00	00	FB1DC8FD	184723.091	260916	V	03	0	+0023
FC32725A	00	00	00	35	00	00	00	00	FB1DC8FD	184723.091	260916	V	03	0	+0023

La información de la columna dos, donde el bit 7 es 1 son:

A2	=	10100010
A2	=	10100010
A7	=	10100111
80	=	10000000
AC	=	10101100
BE	=	10111110
BE	=	10111110
B0	=	10110000
B9	=	10111001

es decir hubieron 9 eventos. En seguida se da el significado de las columnas para ellos se ha nombrado alfabéticamente:

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Ñ	O
EBDA5233	A2	00	24	00	25	00	00	00	EAB99E3D	184712.083	260916	V	03	0	+0039
EC547CE0	A2	00	00	00	25	00	00	00	EC37167D	184713.091	260916	V	03	0	+0047
EC547CE0	00	00	00	00	00	3A	00	00	EC37167D	184713.091	260916	V	03	0	+0047

La columna **K** tiene el formato del tiempo HHMMSS.mmm donde HH = horas, MM = minutos, SS = segundos y mmm = milisegundos. De la primera fila es 184712.083 18 horas, 47 minutos, 12 segundos y 83 milisegundos. **L** indica la fecha con formato de DDMMYY, donde DD = días, MM = mes y YY = años, de la primera fila se observa 260916 día 26, mes 9 y año 2016.

### 0.7.1 Algoritmo

Algoritmo para calcular el tiempo preciso de los eventos. En la tabla de abajo se muestra dos filas para un evento donde se ha representado alfabéticamente las 16 columnas.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Ñ	O
1BB7FB6A	B7	01	37	01	00	01	00	01	1B1F27A0	210727.727	110603	A	06	A	+0096
1BB7FB6D	01	24	01	24	00	01	00	01	1B1F27A0	210727.727	110603	A	06	8	+0096

1. De la columna **K** se toma la hora, minuto, segundos y milisegundos para obtener los segundos y milisegundos (ss.sss):

$$210727.727 \text{ (21 h 07 m 27 s 727 ms)} \xrightarrow{\text{formato ss.sss}} 27.727 \text{ ss.sss}$$

2. Obtener los retrasos **P** = +0096  $\xrightarrow{\text{formato } \pm 0.\text{ddd}} 0.096$

3. Redondear al segundo más cercano que resulte de  $ss.sss + 0.\text{ddd}$ ,  $27.727 + 0.096 = 27.823 \xrightarrow{\text{redondeando}} 28$  segundos (ss).

4. Obtener la velocidad del reloj  $R_1 = (N_{\text{reciente}} - N_{\text{anterior}})$  ticks/seg donde  $N=\text{J}$  que debe ser transformado a decimal,  $N_{\text{reciente}} = 1B1F27A0$  hex = 455026592. En este ejemplo particular no se muestra el  $N_{\text{anterior}}$  pero es posible tomar la frecuencia del reloj de la tarjeta QuarkNet que se está usando. Para series 6000 es de 25 MHz para otras tarjetas antiguas 41.666667 MHz. Tomando 41.666667 que es la versión en este ejemplo aunque (al usar el detector Escaramujo se debe tomar la frecuencia de 25 MHz). Entonces  $R_1 = 41666667$

5. El tiempo en nanosegundo es  $t_{ns} = \frac{N_{\text{trigger}} - N_{\text{reciente}}}{R_1}$  donde  $N_{\text{trigger}}$  se toma de la columna **A**=1BB7FB6A transformando a decimal 465042282:

$$t_{ns} = \frac{465042282 - 455026592}{41666667} = 0.240376558 \text{ ns}$$

$$t_{ns} = \frac{A-J}{J_{\text{rec}} - J_{\text{ant}}}$$

$$\text{el tiempo del evento } ss + t_{ns} = 28 + 0.240376558 = 28.240376558$$

6. Este evento ocurrió a 21 h 07 min 28.240376558 segundos o bien transformando 21 h y 07 a segundos el evento ocurrió 76048.240376558 segundos.

### 0.7.2 Rising Edge y Falling Edge

A continuación se muestra una salida de datos del detector Escaramujo:

5C945349	AA	00	2A	00	29	00	00	00	5B5833E8	153459.482	220916	V	08	0	+0039
5C94534A	00	00	00	00	3F	00	00	00	5B5833E8	153459.482	220916	V	08	0	+0039
5C94534B	00	00	00	24	00	00	00	00	5B5833E8	153459.482	220916	V	08	0	+0039
5C94534B	00	2E	00	00	00	00	00	00	5B5833E8	153459.482	220916	V	08	0	+0039
6B2D1A88	B6	00	34	00	00	00	00	00	6A3EE668	153509.483	220916	V	08	0	+0039
6B2D1A8A	00	2E	00	00	00	00	00	00	6A3EE668	153509.483	220916	V	08	0	+0039
6FBEF18D	80	00	3D	00	3E	00	00	00	6EB74F28	153512.491	220916	V	08	0	+0047
7535A922	80	00	2A	00	00	00	00	00	74AD3027	153516.491	220916	V	09	0	+0047
7535A922	00	00	00	00	31	00	00	00	74AD3027	153516.491	220916	V	09	0	+0047
7535A923	00	00	00	00	36	00	00	00	74AD3027	153516.491	220916	V	09	0	+0047
78D7B232	80	00	3E	00	3E	00	00	00	77A820A8	153518.491	220916	V	09	0	+0047
898537E5	AA	00	00	00	00	00	00	00	880C4B68	153529.483	220916	V	09	0	+0015
898537E5	00	00	36	00	00	00	00	00	880C4B68	153529.483	220916	V	09	0	+0015
898537E6	00	00	00	21	00	00	00	00	880C4B68	153529.483	220916	V	09	0	+0015
898537E6	00	2C	00	00	00	00	00	00	880C4B68	153529.483	220916	V	09	0	+0015
A6EF2D79	80	00	00	00	2E	00	00	00	A5D9B068	153549.483	220916	V	09	0	+0015
A6EF2D79	00	00	39	00	00	00	00	00	A5D9B068	153549.483	220916	V	09	0	+0015
A6EF2D7A	00	00	00	25	00	00	00	00	A5D9B068	153549.483	220916	V	09	0	+0015

Para calcular el tiempo del *rising edge* (RE) y *falling edge* (FE) se tomará las líneas de arriba para mostrar el procedimiento. De la primera linea:

5C945349  $\underbrace{AA}_{CH0} \underbrace{00}_{CH1} \underbrace{2A}_{CH2} \underbrace{00}_{CH3} \underbrace{29}_{00} \underbrace{00}_{00}$  5B5833E8 153459.482 220916 V 08 0 +0039

Convertir la columna B<sup>9</sup> a binario para revisar los Bits, en este ejemplo es AA = 10101010, si el Bit 7 es igual a 1 indica que hay un evento nuevo en este caso el primer evento. Si el Bit 5 es igual a 1 101010, entonces se puede tomar el valor del bits 0 a 4 (si Bit 5 = 0 no se toma los valores, es decir datos no válidos) para este ejemplo bits 0-4 = 01010 este valor a hexadecimal es 10 entonces el tiempo del flanco usando la resolución de reloj 1.25 ns:

$$RE0 = (10)(1.25\text{ns}) = 12.5 \text{ ns}$$

FE0= 0 ns , puesto que bit 5= 0 no válido.

2A = 00101010, bit 7= 0 primer evento, bit 5= 1 válido, entonces se puede tomar el valor de bit 0-4: 01010 en hexadecimal es: 10 entonces:

$$RE1 = (10)(1.25) = 12.5 \text{ ns}$$

$$FE1=0$$

5C94534A 00 00 00 00 00 3F 00 00 5B5833E8 153459.482 220916 V 08 0 +0039

1er. RE0 FE0=0 +40ns —— RE1 FE1=0

5C94534B 00 00 00 24 00 00 00 00 00 5B5833E8 153459.482 220916 V 08 0 +0039

1er. RE0 FE0=0 +80 —— RE1 FE1(4\*1.25= 5+80 = 85ns)

5C94534B 00 2E 00 00 00 00 00 00 00 5B5833E8 153459.482 220916 V 08 0 +0039

1er. RE0 FE0(14\*1.25ns=17.5+80ns=97.5ns) +80—— RE1 FE1=0

6B2D1A88 B6 00 34 00 00 00 00 00 00 6A3EE668 153509.483 220916 V 08 0 +0039

2do. RE0(22\*1.25ns=27.5)FE0=0 —— RE1(20\*1.25= 25) FE1=0

6B2D1A8A 00 2E 00 00 00 00 00 00 00 6A3EE668 153509.483 220916 V 08 0 +0039

2do. RE0=0 FE0(14\*1.25= 17.5 + 40 ns =57.5 ns)—— RE1 FE1 =0

6FBEF18D 80 00 3D 00 3E 00 00 00 00 6EB74F28 153512.491 220916 V 08 0 +0047

3er. —— RE1(29\*1.25=36.25) FE1=0

7535A922 80 00 2A 00 00 00 00 00 00 74AD3027 153516.491 220916 V 09 0 +0047

4to. —— RE1(10x1.25=12.5) FE1=0

7535A922 00 00 00 00 31 00 00 00 00 74AD3027 153516.491 220916 V 09 0 +0047

4to.

7535A923 00 00 00 00 00 36 00 00 00 74AD3027 153516.491 220916 V 09 0 +0047

4to.

<sup>9</sup>Ver sección 0.7.1 donde se ilustra alfabéticamente las columnas

78D7B232 80 00 3E 00 3E 00 00 00 77A820A8 153518.491 220916 V 09 0 +0047  
5to. —— RE1(30x1.25=37.5)FE1=0  
898537E5 AA 00 00 00 00 00 00 00 880C4B68 153529.483 220916 V 09 0 +0015  
6to. RE0(10x1.25ns=12.5ns)  
898537E5 00 00 36 00 00 00 00 00 880C4B68 153529.483 220916 V 09 0 +0015  
6to. ——RE1(22\*1.25=27.5) FE1=0  
898537E6 00 00 00 21 00 00 00 00 880C4B68 153529.483 220916 V 09 0 +0015  
6to. +40 ——RE1=0 FE1(1\*1.25=1.25+40=41.25)  
898537E6 00 2C 00 00 00 00 00 00 880C4B68 153529.483 220916 V 09 0 +0015  
6to. RE0=0 FE0(12\*1.25= 15+40= 55ns)  
A6EF2D79 80 00 00 00 2E 00 00 00 A5D9B068 153549.483 220916 V 09 0 +0015  
7mo.  
A6EF2D79 00 00 39 00 00 00 00 00 00 A5D9B068 153549.483 220916 V 09 0 +0015  
7mo. —— RE1(25\*1.25=31.25)FE1=0  
A6EF2D7A 00 00 00 25 00 00 00 00 00 A5D9B068 153549.483 220916 V 09 0 +0015  
7mo. —— RE1=0 FE1(5\*1.25=6.25+40=46.25)



# Referencias

- [1] <http://es.escaramujo.net/>
- [2] J. ESTÉVEZ, L. VILLASEÑOR, A. GONZÁLES & G. MORENO, *Medición de la razón de muones positivos a negativos en la radiación cósmica secundaria.* Revista Mexicana de Física 42, No.4 (1996) 649-662.
- [3] PETER K.F. GRIEDER *Cosmic Rays At Earth, Researcher's Reference Manual and Data Book,* Institute of Physics University of Bern, Switzerland. First edition 2001.
- [4] <http://www.eljentechnology.com/index.php/component/content/article/31-general/48-ej-200>
- [5] ANTONIO FERRER SORIA *Física Nuclear y de partículas,* Segunda Edición.
- [6] <http://www.eljentechnology.com/products/plastic-scintillators/ej-200-ej-204-ej-208-ej-212>
- [7] ERIKA GARUTTI, PETER SCHLEPER. *Study of the Silicon Photomultipliers and Their Applications in Positron Emission Tomography*, zur Erlangung des Doktorgrades des Department Physik der Universität Hamburg.
- [8] JEFF RYLANDER, T. JORDAN, J. PASCHKE & HANS-GERD BERNNS. *QuarkNet Cosmic Ray Muon Detector User's Manual Series “6000” DAQ*, Fermilab, versión 1.1, 1-56, enero de 2010.