

Deteccción de luvias aéreas extensas

Proyecto final Módulo de Instrumentación

- Jorge Perea (UIS, Colombia)
- María Ramos (ULA, Venezuela)



Latin American alliance for
Capacity building in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea



Detección de lluvias aéreas extensas

Proyecto final Módulo de Instrumentación

Profesor

• Jesús Rodríguez (UIS, Colombia)



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



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea





Outline

- **Introducción teórica**
 - Los rayos cósmicos (CR) y las lluvias aéreas extensas (EAS)
 - Muones
- **Descripción del montaje experimental**
- **Estructura de los datos**
 - Significado de datos crudos.
 - Ejemplo de datos.
- **Análisis para la calibración**
 - Estimación del flujo de muones esperados
 - Calibración del equipo para detectar lluvias aéreas extensas
- **Análisis EAS**
 - Estimación de los tiempos absolutos de trigger.
 - Eventos de las lluvias aéreas extensas
 - Estudio del sistema de trigger
 - Estimación de dirección de las lluvias áreas extensas
- **Conclusiones**
- **Referencias**

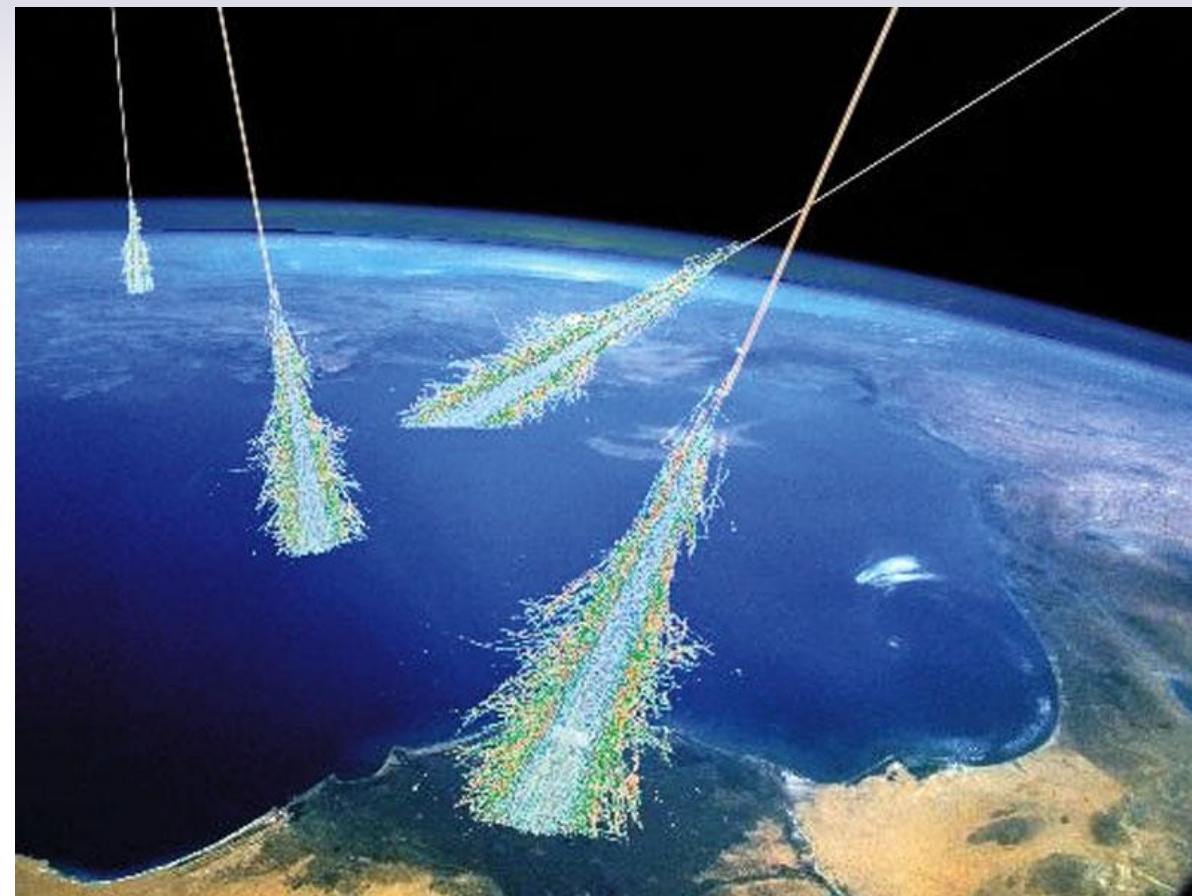
Introducción teórica



Rayos cósmicos (CR) y lluvias áreas extensas (EAS)

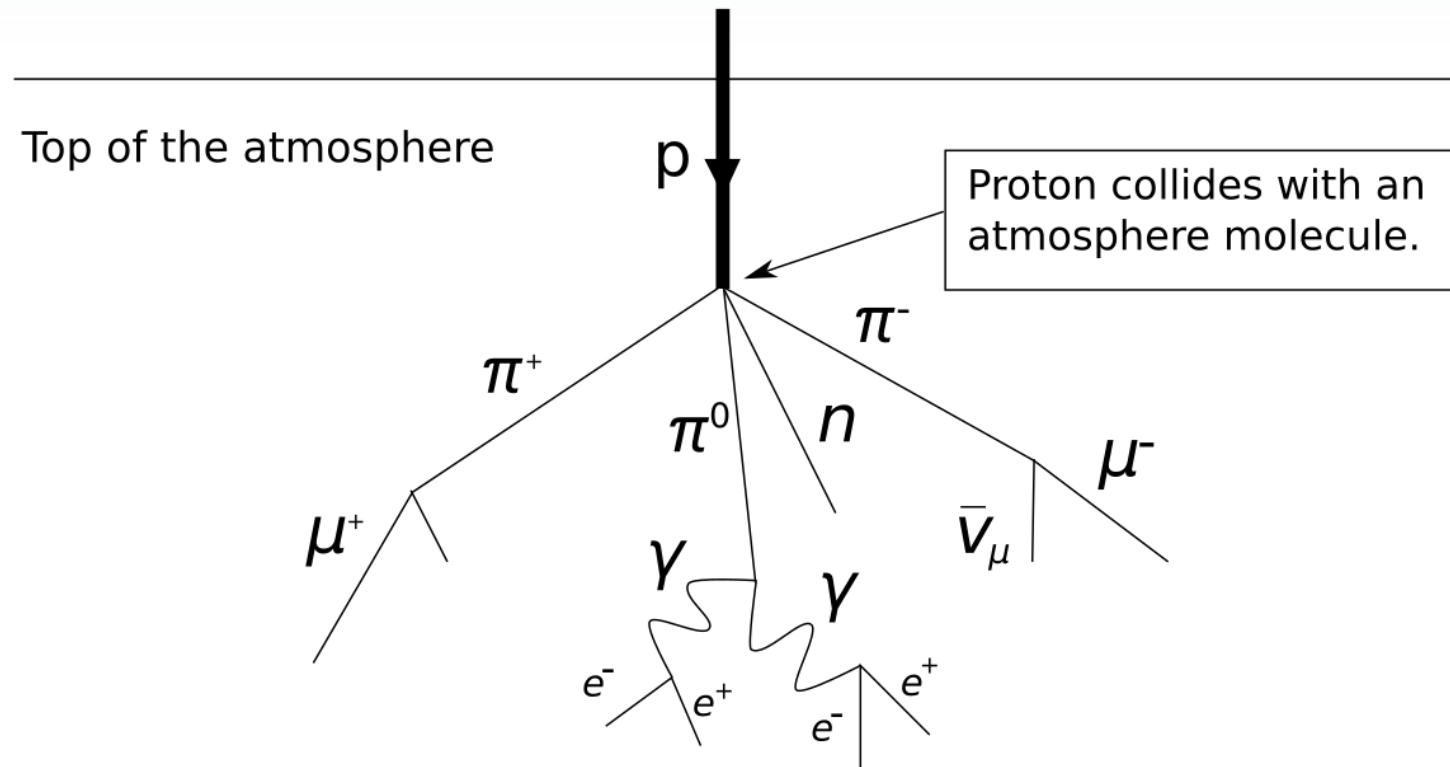
5

- La radiación cósmica son partículas de **altas energías** (entre 1 GeV y 10^8 TeV) que pueden alcanzar a la Tierra.
- Al interactuar con la atmósfera terrestre, los rayos cósmicos primarios originan rayos cósmicos secundarios y estos a su vez pueden formar **lluvias aéreas extensas**.
- Pueden clasificarse de acuerdo a sus partículas:
 - electromagnéticas,
 - hadrónicas,
 - **muones** y neutrinos.
- Los CRs fueron descubiertos por el físico austríaco-americano Victor Hess, en 1912. Luego, en la década de 1930, Bruno Rossi y Pierre Auger, de forma independiente, observaron detecciones **simultáneas** de partículas. Auger concluyó que procedían del mismo evento: una EAS.





- Los muones son partículas elementales: son fermiones pertenecientes a la familia de los leptones y de la segunda generación. Poseen carga eléctrica negativa y tienen masa unas 200 veces mayor al electrón.
- Son partículas inestables con un tiempo de vida de $2.19 \mu\text{s}$.
- Fueron descubiertos por Carl D. Anderson y Seth Neddermeyer en Caltech en 1936, mientras estudiaban los **CRs**.

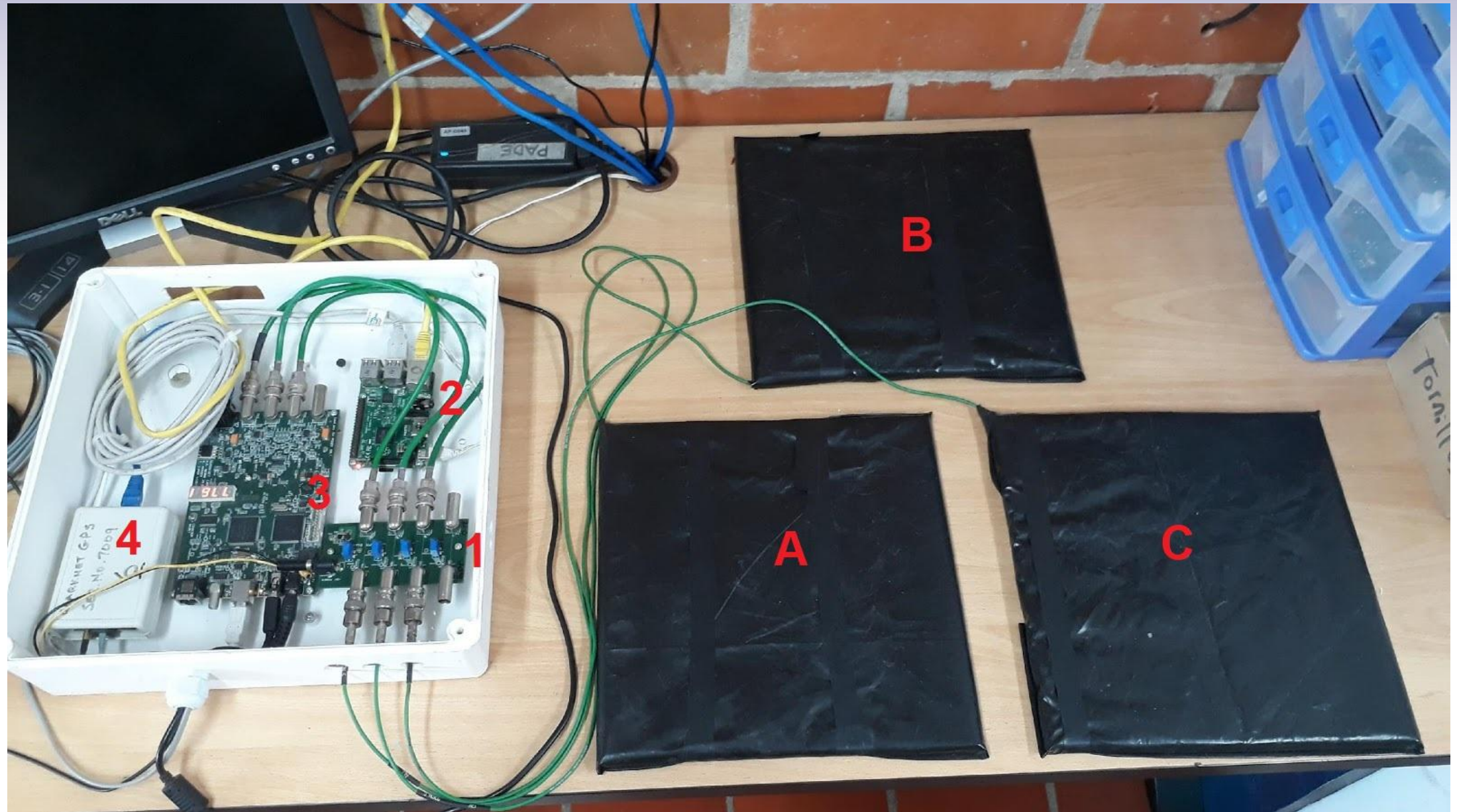


Descripción del montaje experimental



Descripción del montaje experimental

8



Estructura de los datos



Data de detectores									Word 10	Word 11	Word 12	Word 13	Word 14	Word 15	Word 16
Word 1	Word 2	Word 3	Word 4	Word 5	Word 6	Word 7	Word 8	Word 9	Word 10	Word 11	Word 12	Word 13	Word 14	Word 15	Word 16
Trigger Count	RE Detector 0	FE Detector 0	RE Detector 1	FE Detector 1	RE Detector 2	FE Detector 2	RE Detector 3	FE Detector 3	CPLD Count	Tiempo (UTC)	Fecha (UTC)	Estatus del GPS	Número de GPS	Estatus del sistema DAQ	Tiempo de retardo
Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	HHMMSS.mmm	ddmmyy	A/V (válido/inválido)	Decimal	Hexadecimal	milisegundos

Figura 1: Significado y formato de una línea de datos

```
80EE0049 80 01 00 01 38 01 3C 01 7EB7491F 202133.242 080803 A 04 2 -0389
80EE004A 24 3D 25 01 00 01 00 01 7EB7491F 202133.242 080803 A 04 2 -0389
80EE004B 21 01 00 23 00 01 00 01 7EB7491F 202133.242 080803 A 04 2 -0389
80EE004C 01 2A 00 01 00 01 00 01 7EB7491F 202133.242 080803 A 04 2 -0389
80EE004D 00 01 00 01 00 39 32 2F 81331170 202133.242 080803 A 04 2 +0610
```

Figura 2: Ejemplo de evento que contiene 5 líneas de datos. Cada línea posee el mismo formato de 16 palabras separadas por espacio.



Ejemplos de datos

11

	Word 1	Word 2	Word 3	Word 4	Word 5	Word 6	Word 7	Word 8	Word 9	Word 10	Word 11	Word 12	Word 13	Word 14	Word 15	Word 16
0	2041B05A	80	00	00	00	2A	00	2E	00	2022BD66	231158.000	090421	A	11	0	+0074
1	2041B061	00	00	00	00	00	00	00	26	2022BD66	231158.000	090421	A	11	0	+0074
2	2041B065	00	00	00	00	00	30	00	00	2022BD66	231158.000	090421	A	11	0	+0074
3	2E51E182	80	00	00	00	36	00	31	00	2D8BF7A6	231207.008	090421	A	10	0	+0066
4	2E51E185	00	00	00	00	34	31	00	00	2D8BF7A6	231207.008	090421	A	10	0	+0066
...
2199	F3559FF6	00	00	3D	3A	00	00	00	00	F247F3A6	001135.015	100421	A	08	0	+0058
2200	F3559FF7	00	00	00	20	24	21	00	00	F247F3A6	001135.015	100421	A	08	0	+0058
2201	F3559FF7	00	00	00	00	2C	29	00	00	F247F3A6	001135.015	100421	A	08	0	+0058
2202	F3559FF7	00	00	00	00	34	31	00	00	F247F3A6	001135.015	100421	A	08	0	+0058
2203	F3559FF7	00	00	00	00	00	38	00	00	F247F3A6	001135.015	100421	A	08	0	+0058

Tabla 1: Datos crudos (Lote 1)

	Trigger Count	RE1 (ns)	FE1 (ns)	RE2 (ns)	FE2 (ns)	RE3 (ns)	FE3 (ns)	1PPS Count	Datetime	Correction	T(sec)	ΔT(cik)	ΔT(sec)	T(abs)
0	541175898	0.00	0.0	12.5	0.00	17.50	0.0	539147622	090421 231158.000	0.074	83518.000	2028276	0.081131	83518.155131
1	541175905	0.00	0.0	0.0	0.00	0.00	7.5	539147622	090421 231158.000	0.074	83518.000	2028283	0.081131	83518.155131
2	541175909	0.00	0.0	0.0	20.00	0.00	0.0	539147622	090421 231158.000	0.074	83518.000	2028287	0.081131	83518.155131
3	777118082	0.00	0.0	27.5	0.00	21.25	0.0	764147622	090421 231207.008	0.066	83527.008	12970460	0.518818	83527.592818
4	777118085	0.00	0.0	25.0	21.25	0.00	0.0	764147622	090421 231207.008	0.066	83527.008	12970463	0.518819	83527.592819
...
2199	4082474998	36.25	32.5	0.0	0.00	0.00	0.0	4064801702	100421 001135.015	0.058	87095.015	17673296	0.706932	87095.779932
2200	4082474999	0.00	0.0	5.0	1.25	0.00	0.0	4064801702	100421 001135.015	0.058	87095.015	17673297	0.706932	87095.779932
2201	4082474999	0.00	0.0	15.0	11.25	0.00	0.0	4064801702	100421 001135.015	0.058	87095.015	17673297	0.706932	87095.779932
2202	4082474999	0.00	0.0	25.0	21.25	0.00	0.0	4064801702	100421 001135.015	0.058	87095.015	17673297	0.706932	87095.779932
2203	4082474999	0.00	0.0	0.0	30.00	0.00	0.0	4064801702	100421 001135.015	0.058	87095.015	17673297	0.706932	87095.779932

Tabla 2: Datos procesados (Lote 1)

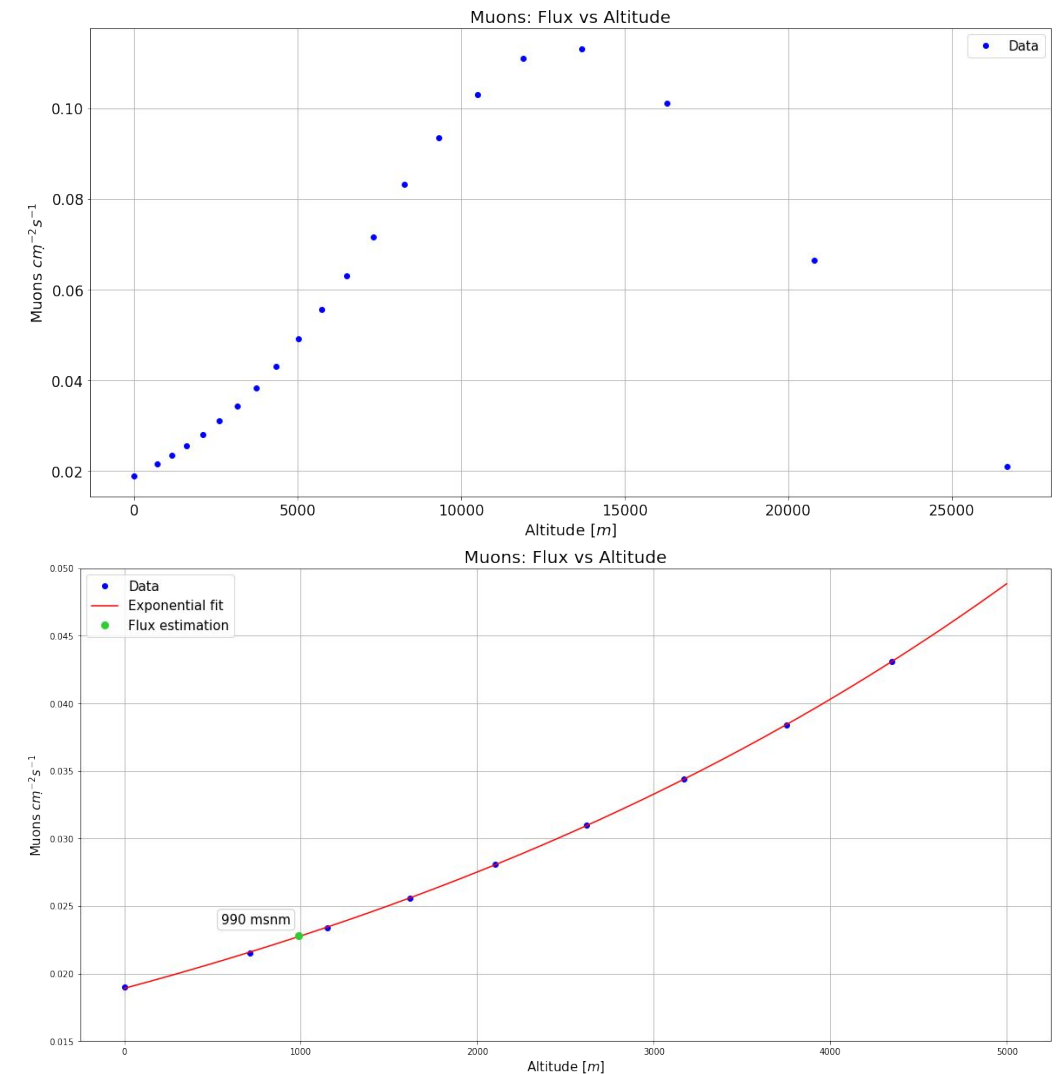
Análisis para calibración



Estimación del flujo de muones esperados

13

- Previo a la calibración del detector, es necesario tener un estimado del flujo de muones que se espera para el experimento.
 - Considerando:
 - un valor tabulado de 1 muon por cm^2 por segundo a 0 msnm,
 - datos: Report No. 094 - Exposure of the Population in the United States and Canada from Natural Background Radiation*.
 - una altura de 990 msnm del mar y
 - tres paneles centelladores de 25 cm x 25 cm
- estimamos un flujo de: **43 muones/s**

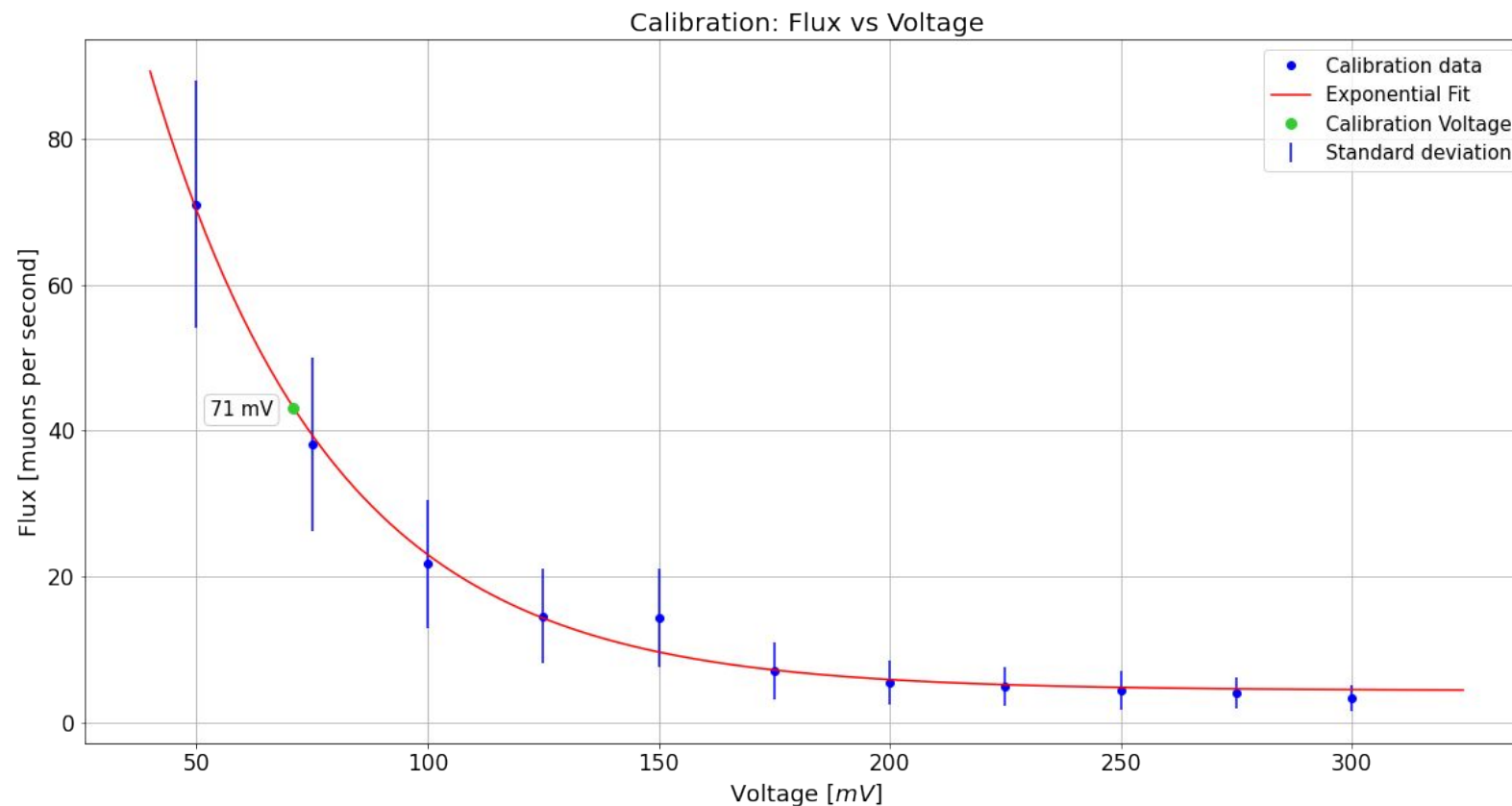


Plot 1: Flujo de muones vs altitud

Plot 2: Ajuste exponencial en gráfica de datos de altitud menores a 5000 m



- Para la calibración se tomaron datos en un rango de voltaje de 50 mV a 300 mV, en cambios de 25 mV, durante 5 minutos para cada uno.
- **Umbral óptimo = 71 mV**, su flujo coincide con los muones estimados.



Plot 3: Calibración considerando el flujo de muones estimado.

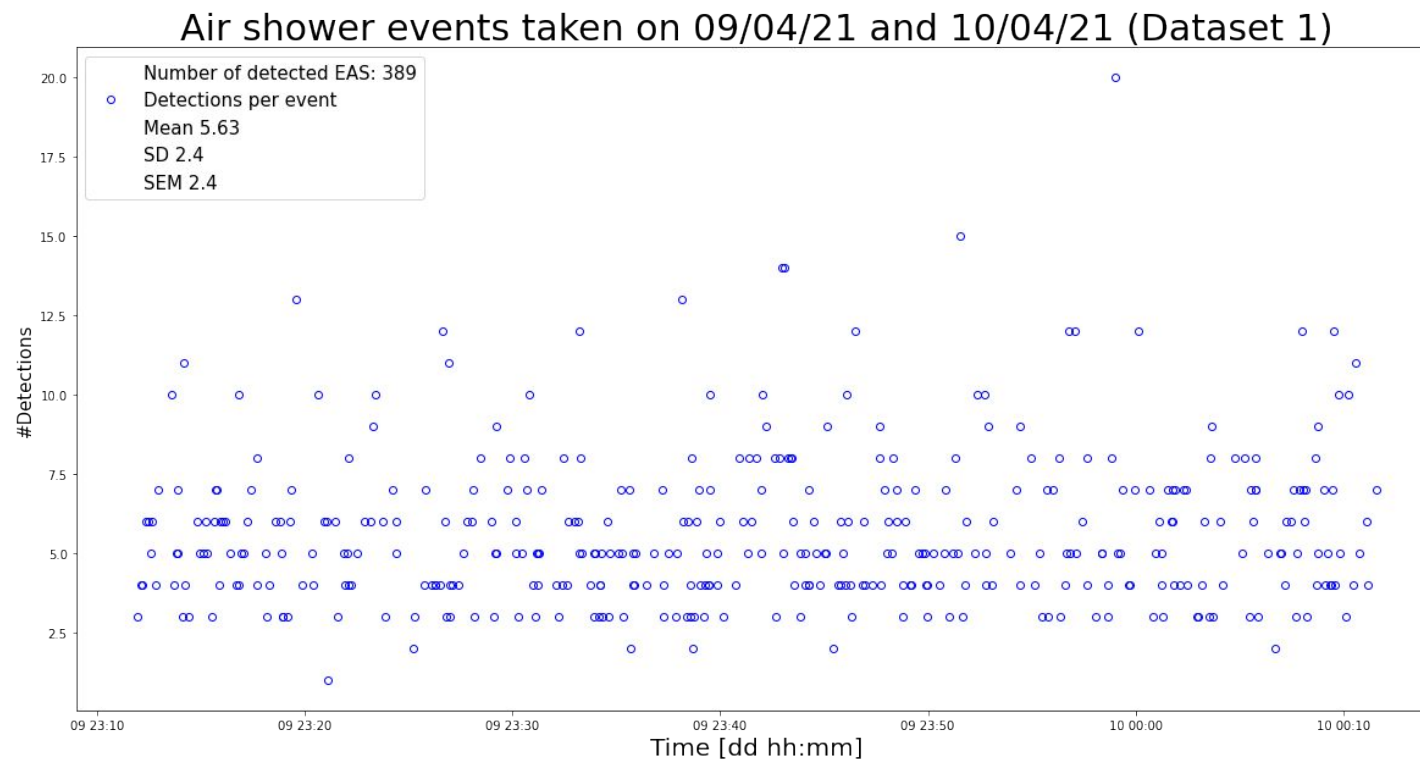
Análisis EAS



Flujo de las lluvias aéreas extensas

16

- Número total de datos obtenidos: 7736
- Número de eventos total de EAS detectadas: 1369
- Tasa promedio de eventos considerando el total EAS detectadas: **6.56 eventos/min**
- Registros promedio por lluvia considerando el total de EAS detectadas: **5.64 registros/evento**



Plot 4: detecciones en eventos de lluvias aéreas extensas (lote 1 de datos)

	Word 1	Datetime
0	2041B05A	090421 231158.000
1	2041B061	090421 231158.000
2	2041B065	090421 231158.000
3	2E51E182	090421 231207.008
4	2E51E185	090421 231207.008
...
2199	F3559FF6	100421 001135.015
2200	F3559FF7	100421 001135.015
2201	F3559FF7	100421 001135.015
2202	F3559FF7	100421 001135.015
2203	F3559FF7	100421 001135.015



Estimación de los tiempos absolutos de trigger

17

Data de detectores									Word 10	Word 11	Word 12	Word 13	Word 14	Word 15	Word 16
Word 1	Word 2	Word 3	Word 4	Word 5	Word 6	Word 7	Word 8	Word 9	Word 10	Word 11	Word 12	Word 13	Word 14	Word 15	Word 16
Trigger Count	RE Detector 0	FE Detector 0	RE Detector 1	FE Detector 1	RE Detector 2	FE Detector 2	RE Detector 3	FE Detector 3	CPLD Count	Tiempo (UTC)	Fecha (UTC)	Estatus del GPS	Número de GPS	Estatus del sistema DAQ	Tiempo de retardo
Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	Hexadecimal	HHMMSS.mmm	ddmmyy	A/V (válido/inválido)	Decimal	Hexadecimal	milisegundos

- Convertir la palabra 1 y 10 al sistema decimal.
- Asumiendo las 00:00:00.000 UTC del 9 de abril como $t=0$
 - Calcular segundos transcurridos hasta el registro de la palabra 11.
- Convertir a segundos lo registrado en la palabra 16.
- Asumir $f_{clk} = 25 \text{ MHz}$
- Calcular los tiempos absolutos en donde ocurrió la activación y desactivación de un trigger, usando:

$$\Delta T_{clk} = \text{Word1} - \text{Word10}$$

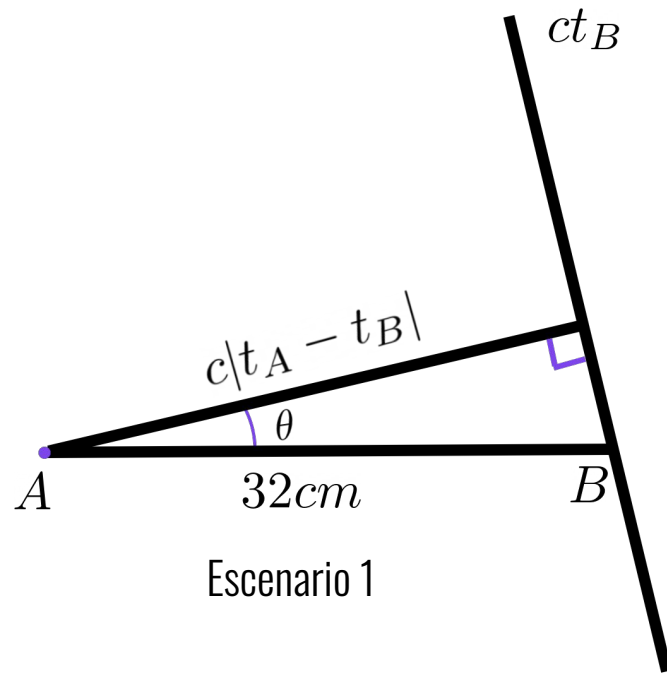
$$\Delta T_{sec} = \Delta T_{clk} \frac{1}{f_{clk}}$$

$$T_{abs} = \text{Time}_{sec} + \frac{\text{Word16}_{sec}}{1000} + \text{Round}\left(\frac{\text{Word1} - \text{Word10}}{f_{clk}}\right)$$

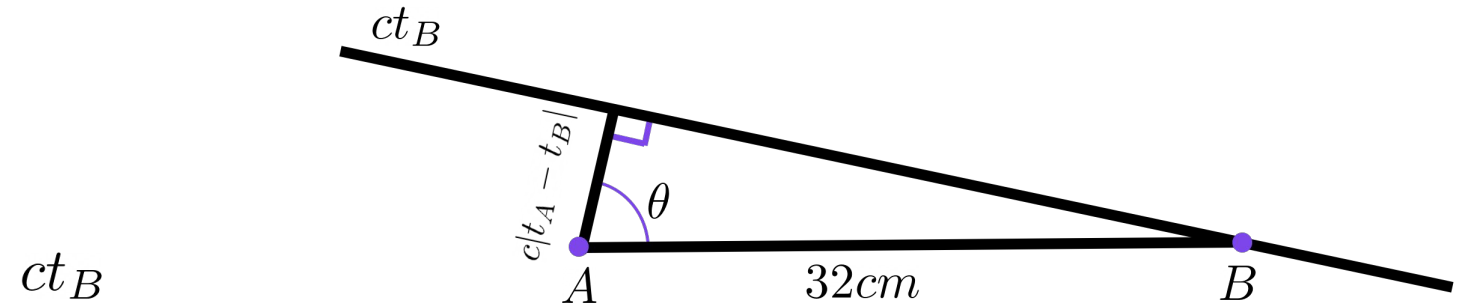


Representación geométrica de un evento EAS

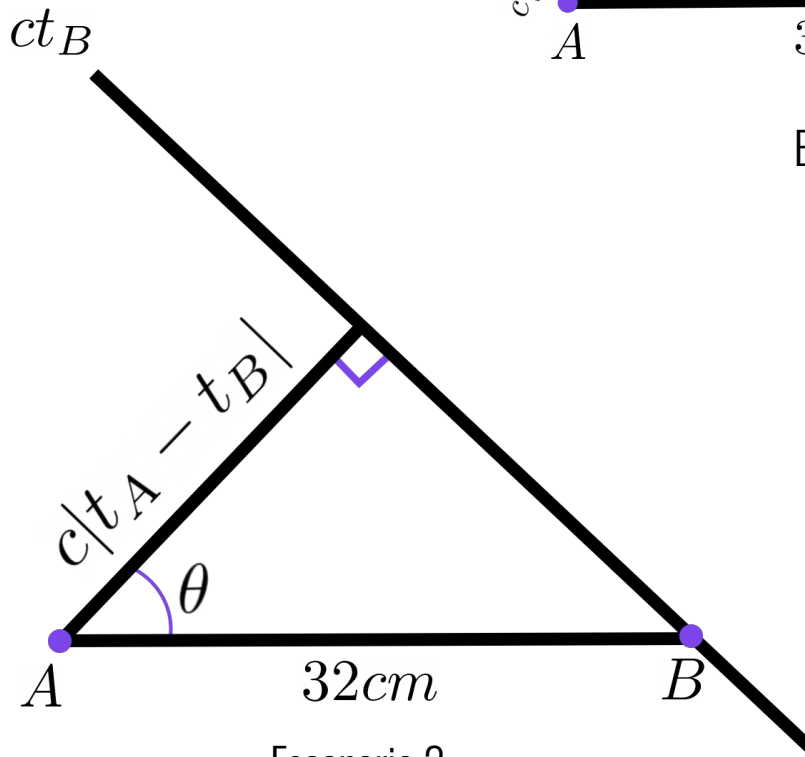
18



Escenario 1



Escenario 3



Escenario 2

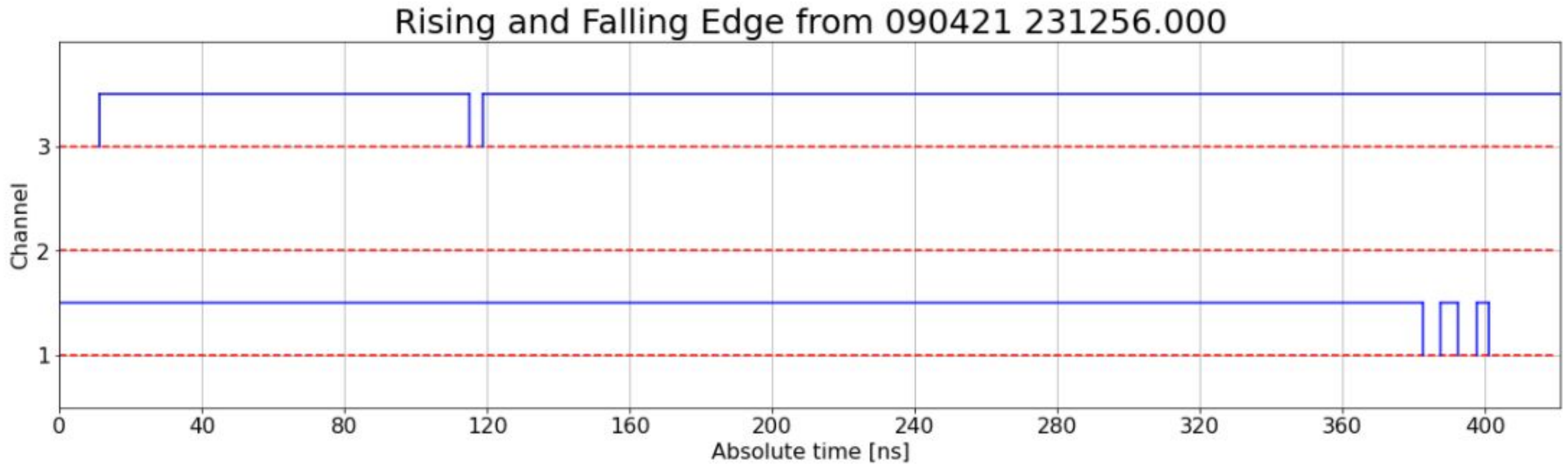


- $0 \leq \theta \leq \frac{\pi}{2} \iff 0 \leq \cos(\theta) \leq 1$ y que $\cos(\theta) = \frac{c|t_A - t_B|}{0.32m}$
- $0 \leq |t_A - t_B| \leq \frac{0.32m}{c} * 10^9 \implies 0ns \leq |t_A - t_B| \leq 1.07ns$
- $|t_A - t_B| = 0 ns$ significa que la lluvia incide horizontalmente al arreglo de detectores, y por el contrario si $|t_A - t_B| = 1.07 ns$ significa que la lluvia incide verticalmente al arreglo de detectores



Estudio del sistema de trigger (activación no útil) 20

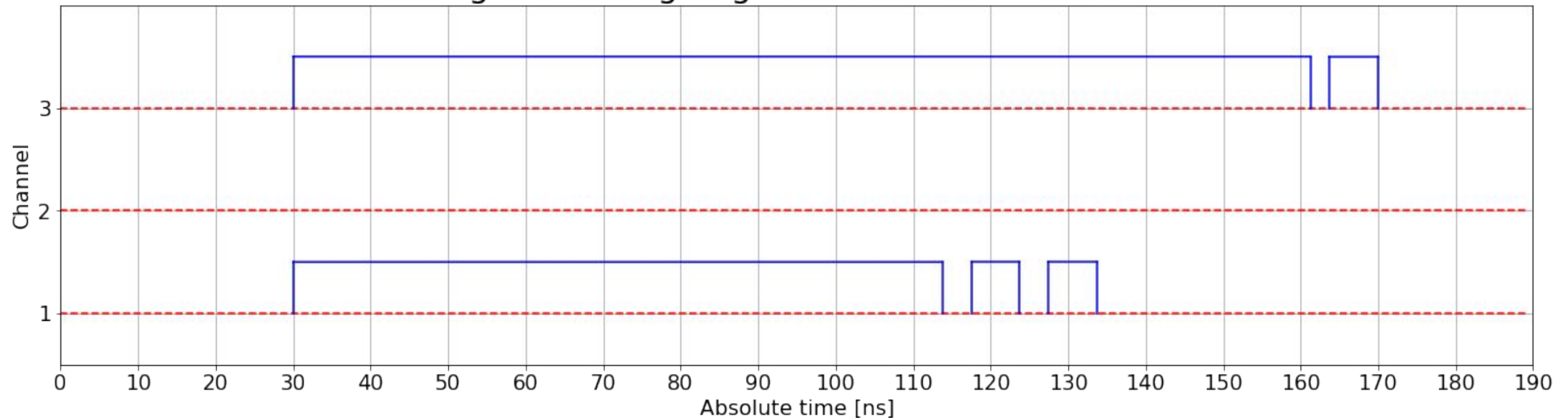
- El delay temporal entre la activación de los triggers 1 y 3 es mayor a 1.07 ns.
- No es compatible con la representación geométrica planar propuesta.





- El delay temporal entre la activación de los triggers 1 y 3 es menor a 1.07 ns.
- Es compatible con la representación geométrica planar propuesta.

Rising and Falling Edge from 100421 005218.007





- Solo 73 eventos EAS fueron compatibles con la representación geométrica planar.

```
Out[85]: [('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0)]
```

```
Out[54]: [('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0)]
```

```
Out[60]: [('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE2', 0.0),  
          ('RE2', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0),  
          ('RE1', 'RE3', 0.0)]
```



- El flujo de muones depende de la altura y, en rangos menores a 5000 metros, aumenta de forma exponencial.
- Para detectar EAS con este arreglo experimental a 990 msnm, se debe considerar un voltaje de polarización de **71 mV**, y coincidencia de dos detectores.
- Se registraron **7736 datos**, que representan **1369 lluvias**, en un tiempo de 3 horas y media. Se determinó una tasa promedio de **6.56** eventos de EAS/min
- Solo **73 eventos EAS** fueron compatibles con la representación geométrica planar planteada.
- Todos estos 73 eventos EAS incidieron **horizontalmente** sobre el arreglo de detectores.



- 1 P. Sommers. *Extensive air showers and measurement techniques*. 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.crhy.2004.03.009>
- 2 R. Batista et al. *Open Questions in Cosmic-Ray Research at Ultrahigh Energies*. Front. Astron. Space Sci. 2019.
<https://doi.org/10.3389/fspas.2019.00023>
- 3 Spurio, M. (2014). *Particles and Astrophysics: A Multi-Messenger Approach* (Astronomy and Astrophysics Library) (2015th ed.). Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-319-08051-2>
- 4 Grieder, P. K. F. (2010). *Extensive Air Showers*. Springer Publishing.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-76941-5>
- 5 Jeff Rylander, T. Jordan, J. Paschke & Hans-Gerd Berns. *QuarkNet Cosmic Ray Muon Detector User's Manual Series "6000" DAQ*, Version 1.1, 1-53, January 2010



<http://laconga.redclara.net>



contacto@laconga.redclara.net



lacongaphysics



Latin American alliance for
Capacity buildiNG in Advanced physics

LA-CoNGA physics



Cofinanciado por el
programa Erasmus+
de la Unión Europea

El apoyo de la Comisión Europea para la producción de esta publicación no constituye una aprobación del contenido, el cual refleja únicamente las opiniones de los autores, y la Comisión no se hace responsable del uso que pueda hacerse de la información contenida en la misma.