



Proyecto de Trabajo de Grado de Maestría

“Caracterización de un Detector de Muones Atmosféricos basado en Sensores de Centelleo”

Autor: Lic. Víctor Clarizio Canelon

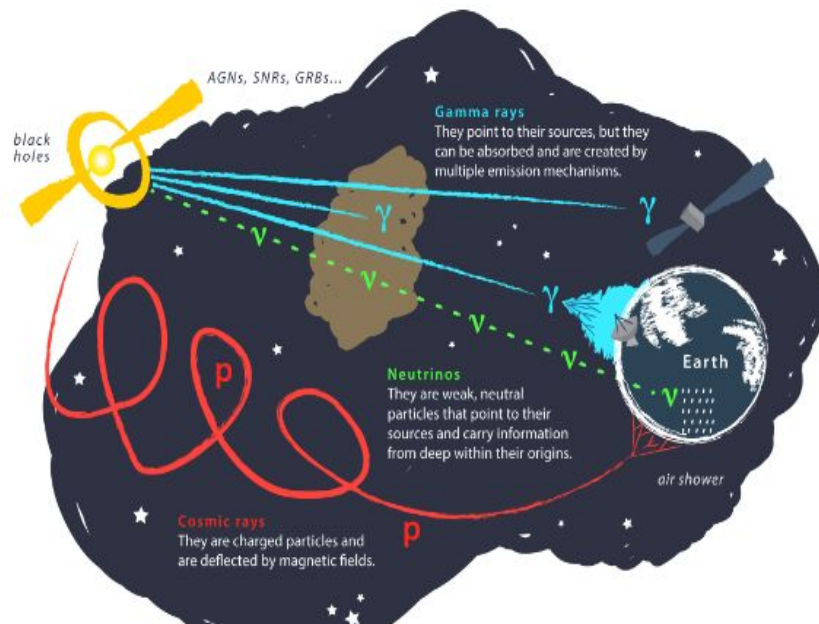
Tutores: J. A. López, C. Sarmiento, L. Nuñez

1 de Marzo, 2024

1.- Fundamentos teóricos: Rayos cósmicos primarios

Partículas que bombardean la atmósfera terrestre desde fuentes galácticas o extragalácticas. Estas últimas son inciertas debido a la falta de estadística en la actualidad.

- Sol
- Agujeros negros
- Jets desde núcleos galácticos activos
- Supernovas, estrellas de neutrones



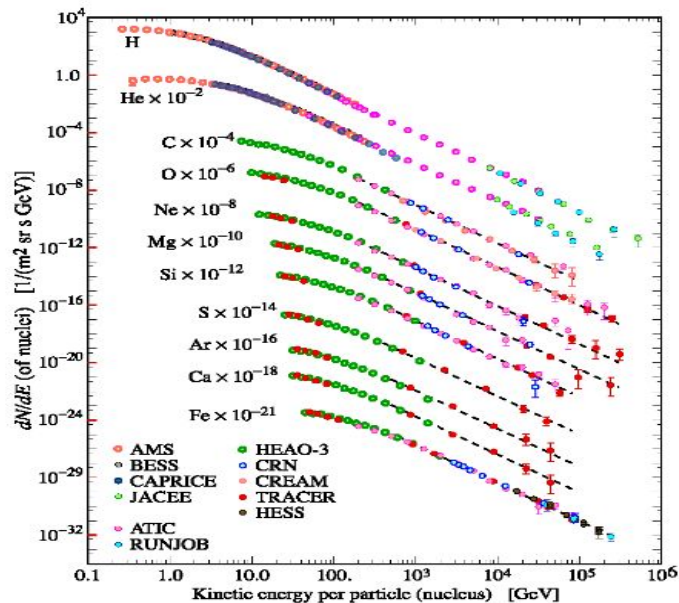
F0. Representación de rayos cósmicos primarios en el espacio exterior

1.- Fundamentos teóricos: Rayos cósmicos primarios

Protones (89%)

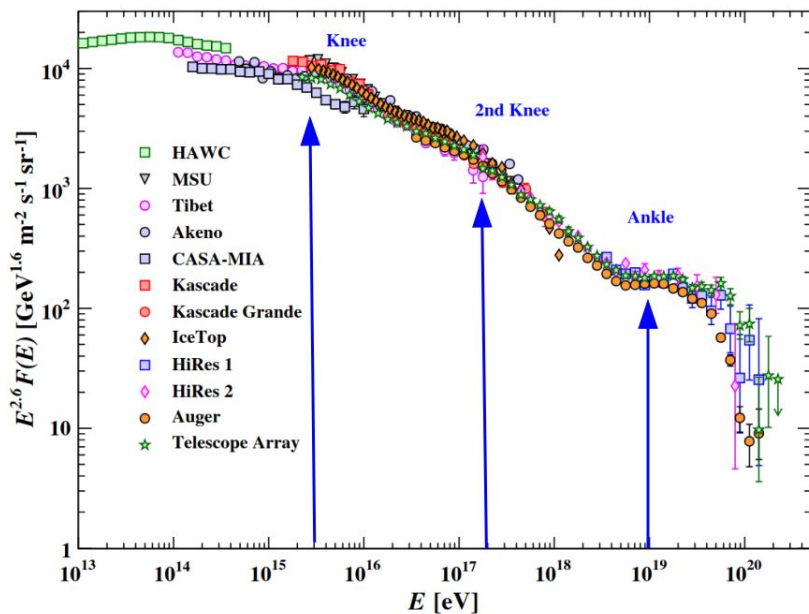
Partículas alfa (10%)

Electrones, Núcleos pesados (1%)

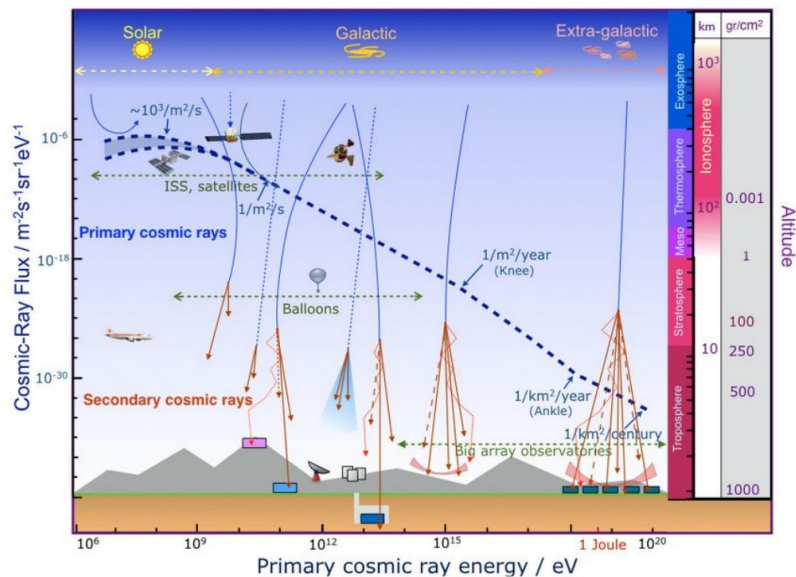


F1. Espectro de energía de RC. primarios

1.- Fundamentos teóricos: Rayos cósmicos primarios

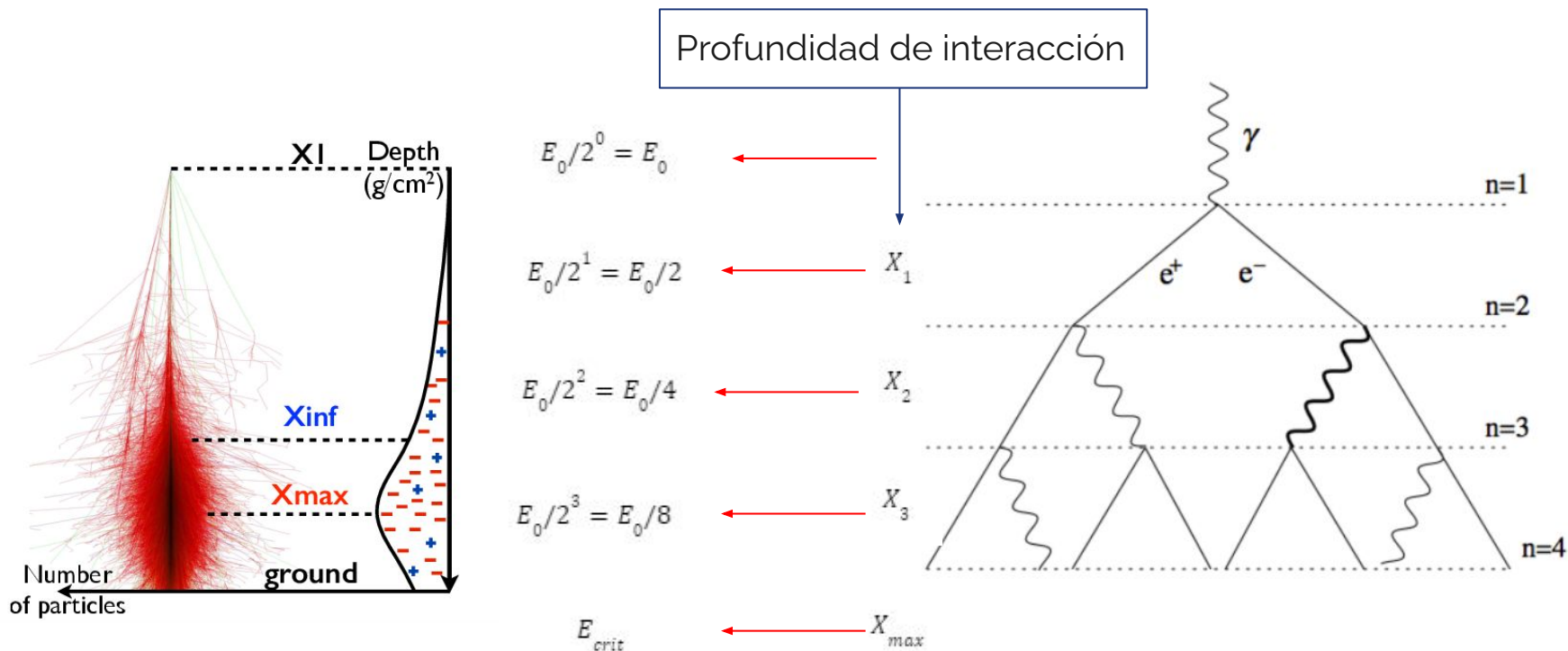


F3. Etapas en el espectro de energía



F4. Esquema de RC. en la atmósfera terrestre

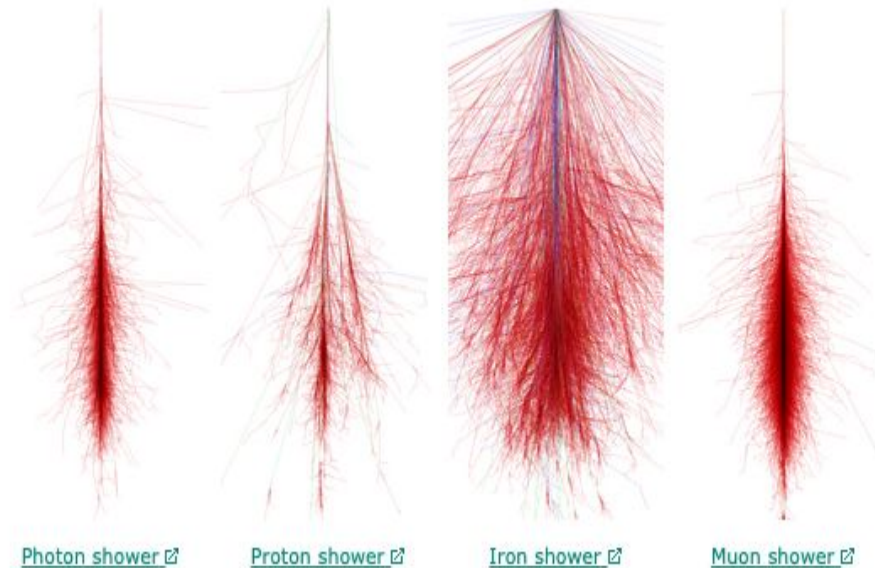
1.- Fundamentos teóricos: Modelo de Heitler



1.- Fundamentos teóricos: Rayos cósmicos secundarios

Se producen EAS para energías alrededor de los cientos de PeV.

La mayoría de estas partículas producidas decaen durante su viaje en la atmósfera.

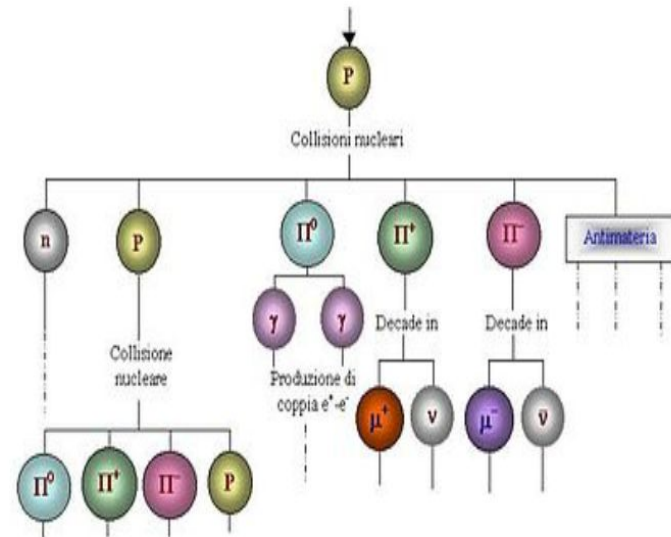


F5. Simulaciones en CORSIKA de las EAS producidas por diferentes RC primarios

1.- Fundamentos teóricos: Rayos cósmicos secundarios

Son el resultado de la interacción entre los R.C. primarios y las partículas que componen la atmósfera terrestre.

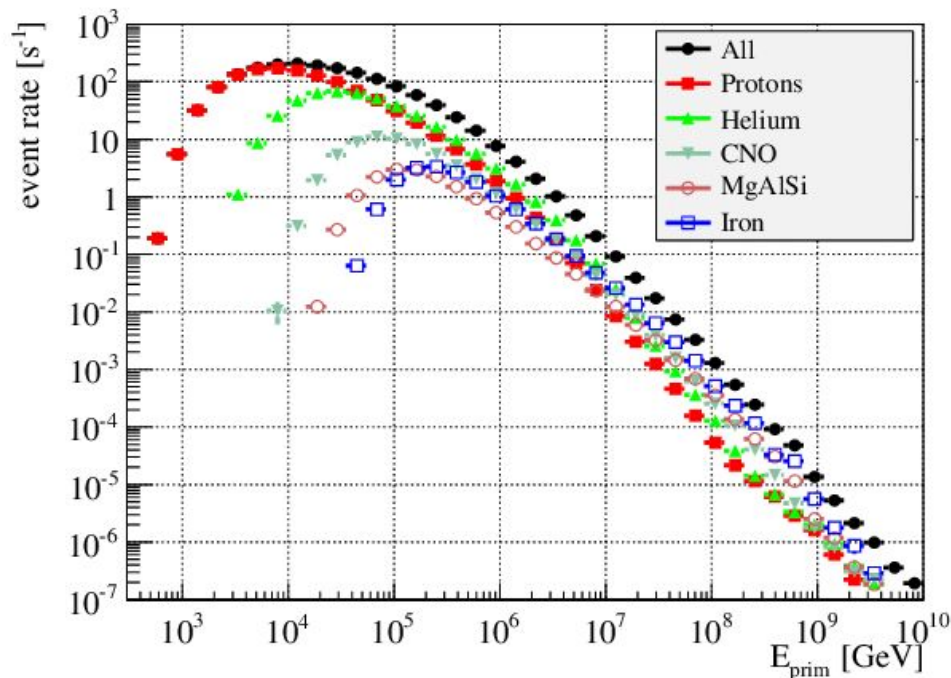
Componente muónica
Componente hadrónica
Componente electromagnética



F6. Formación de cascadas secundarias

1.- Fundamentos teóricos: Muones cósmicos

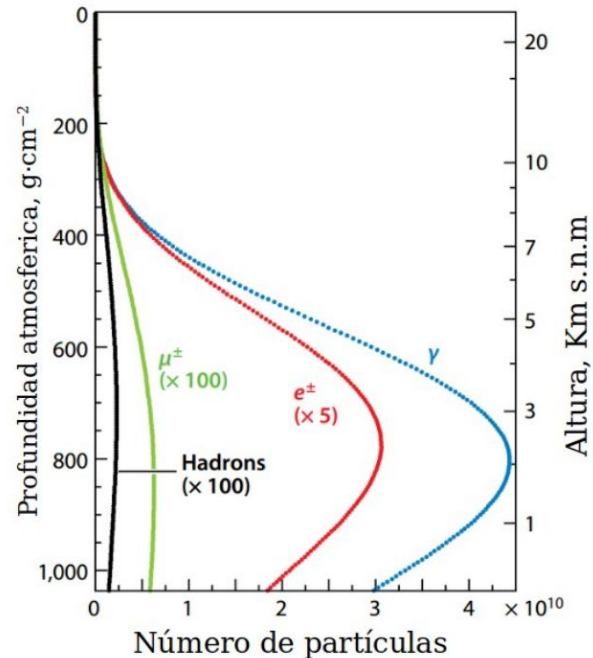
- **Carga y masa:** $-e$, $\sim 207 m_e$
- **Vida media:** $2.2 \mu\text{s}$
- Emiten menos *Bremsstrahlung* que los electrones, por lo que tienen mayor capacidad de penetración
- Producidos por el decaimiento de piones en la atmósfera, que son producidos a su vez por protones como rayos primarios.



F7. Simulación del flujo de muones cósmicos en función del RC primario

1.- Fundamentos teóricos: Perfil longitudinal

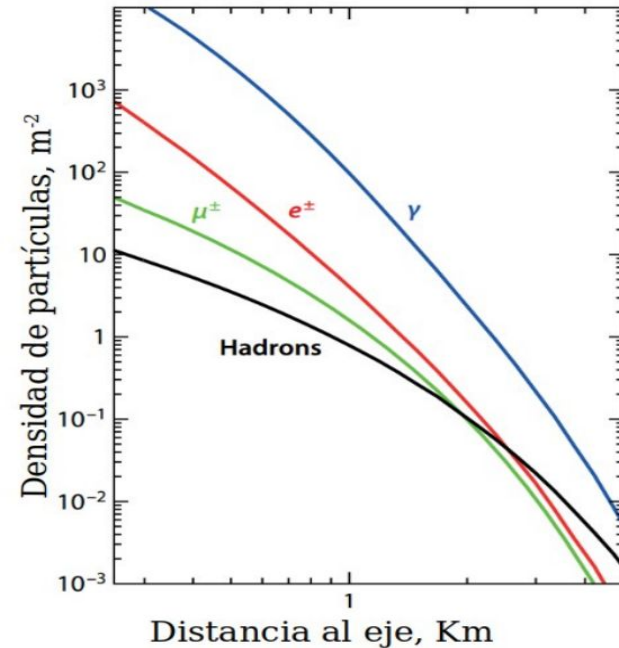
Nos da una descripción de la energía depositada por la partícula primaria incidente como función de la profundidad atmosférica, o de manera equivalente, la altitud.



F8. Perfil longitudinal

1.- Fundamentos teóricos: Perfil lateral

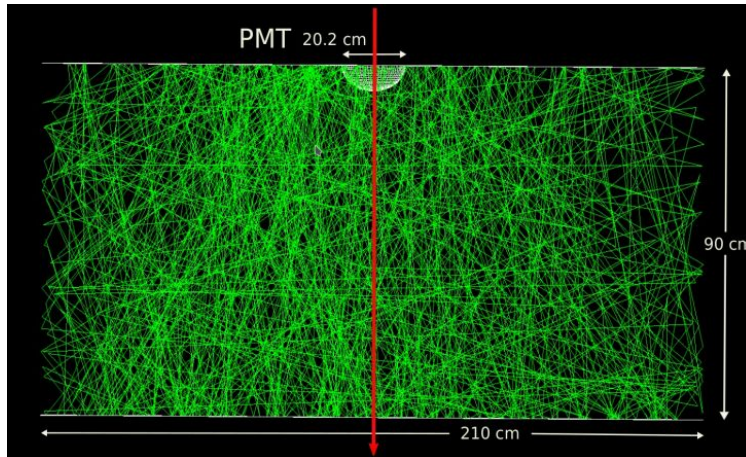
Dada una altitud, nos muestra el número de partículas por metro cuadrado como función de la distancia relativa al eje de la cascada.



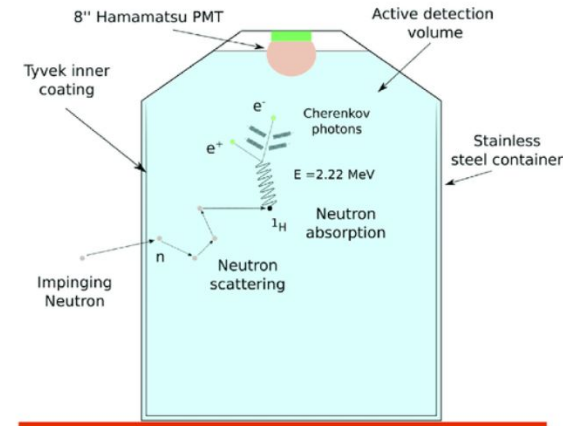
Fg. Perfil lateral de los RC.

2.- Detectores de Superficie: Detectores Cherenkov de Agua (WCD)

- Sensibles a la componente EM y muónica de las *EAS*.
- Detectan indirectamente fotones de altas energías y neutrones cósmicos.



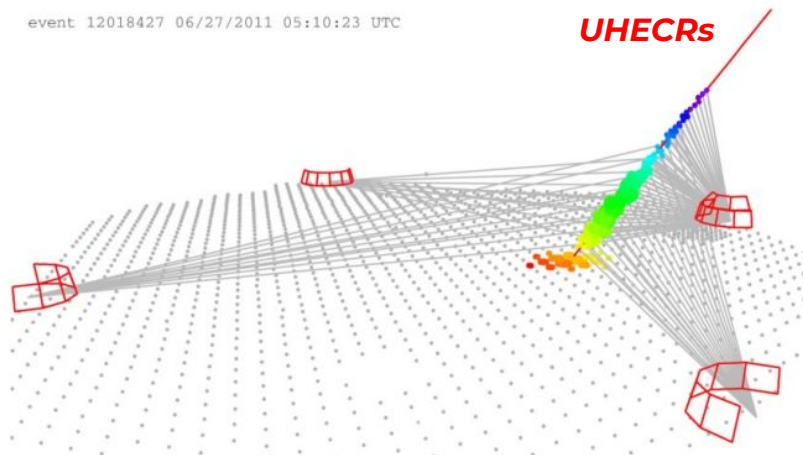
F10. Simulación de un WCD



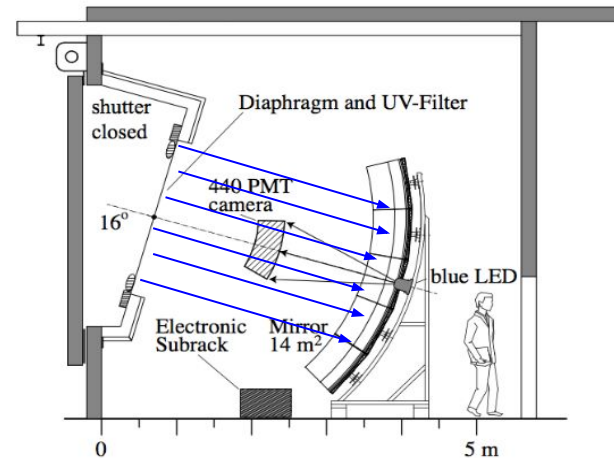
F11. Esquema de un WCD

2.- Detectores de Superficie: Detectores de fluorescencia

- Miden la fluorescencia del nitrógeno al desexcitarse
- Periodo de funcionamiento nocturna sin luna presente



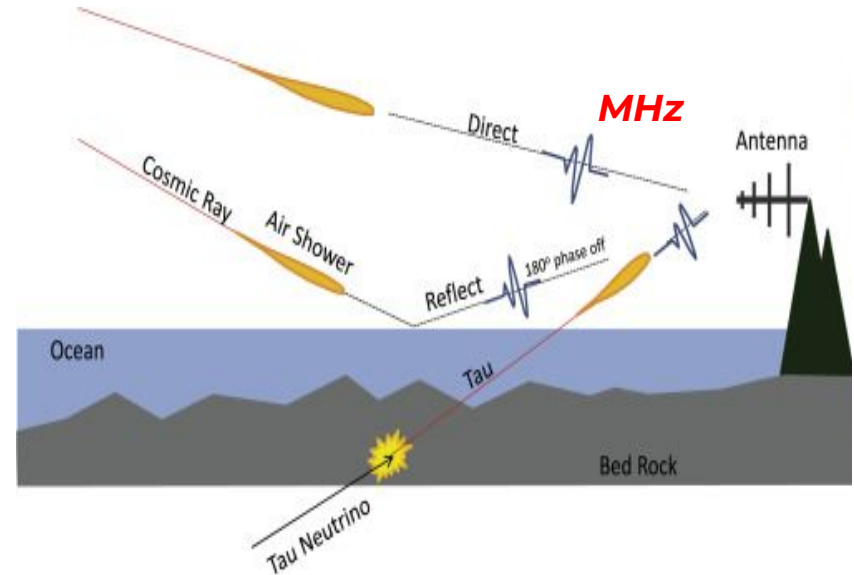
F12. Funcionamiento de un detector de fluorescencia



F13. Esquema de un detector de fluorescencia

2.- Detectores de Superficie: Antenas de radio

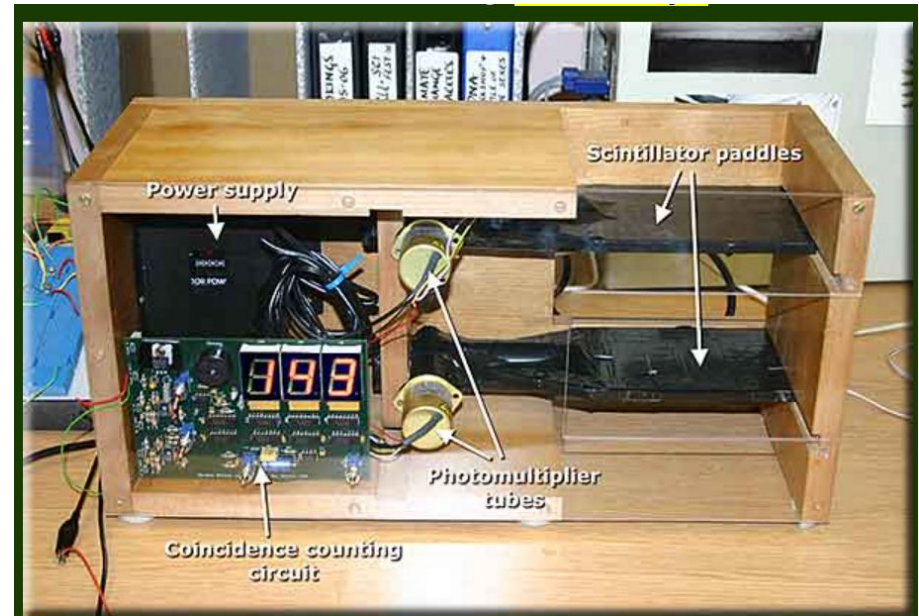
- Promete una escala cuadrática con la energía del RC incidente.
- Alta resolución angular en la reconstrucción del eje de la cascada.
- Sensibilidad a la naturaleza de la partícula primaria.
- Funcional durante todo el día



F14. Funcionamiento de un detector de ondas de radio producidas por RC.

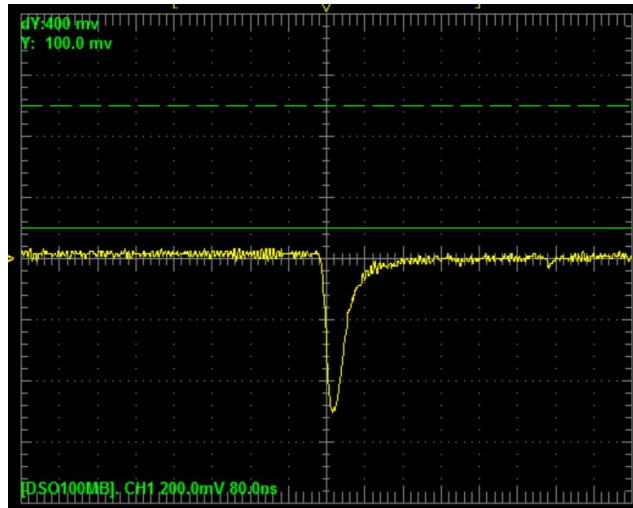
2.- Detectores de Superficie: Hodoscopio de muones

- Planos centelladores
- Fotomultiplicadores de silicio (SiPM)
- Fuente de alimentación
- Electrónica de adquisición de datos

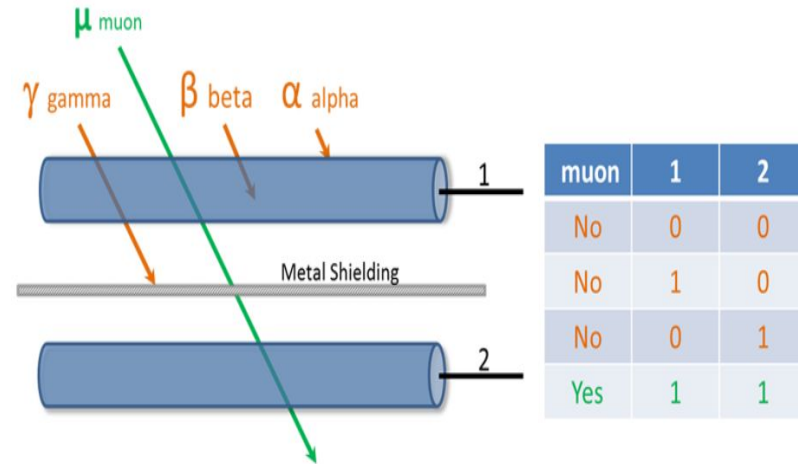


F15. montaje experimental de un modelo de hodoscopio demostrativo

2.- Detectores de Superficie: Hodoscopio de muones



F17. Pulso de 40ns y 120mV producido por el registro de un muón cósmico



F16. Esquema del funcionamiento de un detector de coincidencia

3.- Objetivos del proyecto: General



Caracterización y calibración de un hodoscopio de muones dedicado al estudio de variaciones de densidad.

3.- Objetivos del proyecto: Específicos

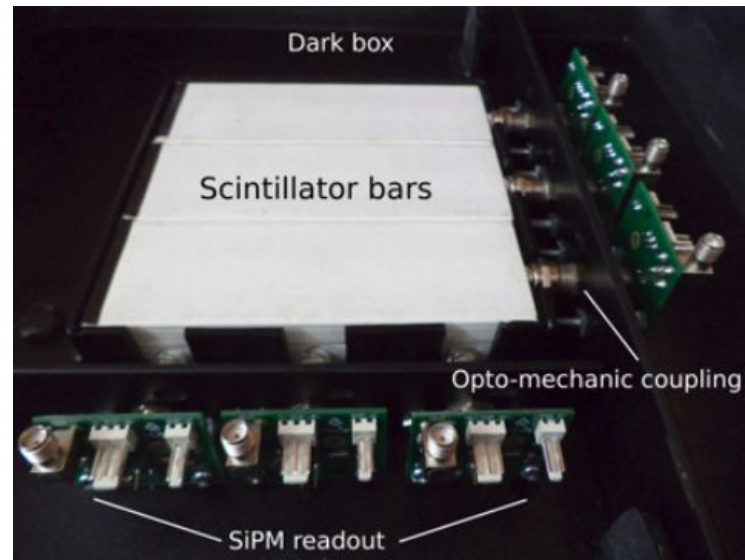
- Calibración de los *SiPMs* y calibración angular del equipo.
- Caracterización de las barras centelladoras.
- Pruebas para determinar condiciones óptimas de funcionamiento (posicionamiento y tiempo de exposición) y resolución de altura de **una columna de agua**.
- Generar la documentación asociada al proceso de puesta en funcionamiento del detector.
- Desarrollar un aporte académico en la forma de práctica de laboratorio de física avanzada

4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*

Cada panel posee:

- 9 píxeles
- 6 tiras centelladoras de 12x4x1cm
- 6 SiPM de salida
- 6 acoples opto-mecánicos.

Se alimenta por una fuente DC dual de +5/-5V.



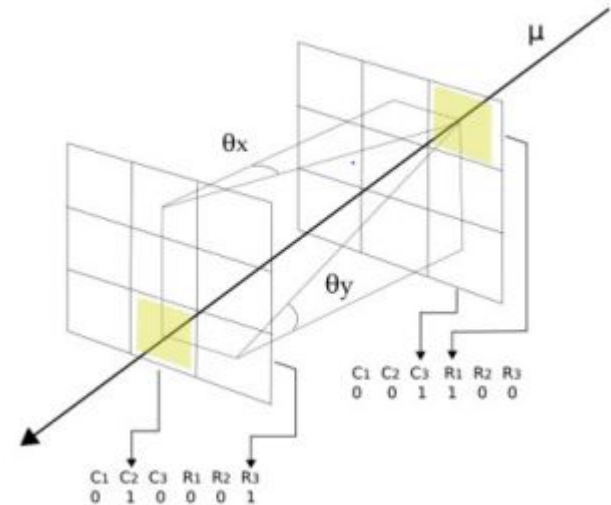
F18. Fotografía del prototipo *mini-MuTe*

4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*

- En el 2018 Se midió el flujo de fondo en el volcán Cerro Machín, en Colombia.
- Las trayectorias posibles son:

$$\#Tr = (2n + 1)^2$$

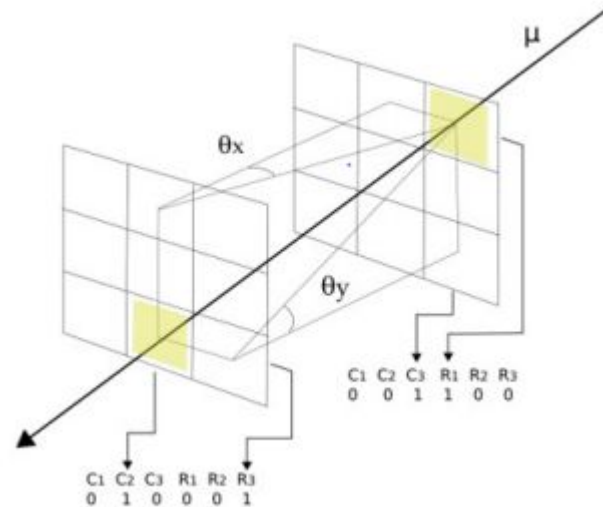
Donde n es el número de filas en un panel centellador. Las trayectorias son expresadas en los ángulos mostrados.



F19. Esquema de validación de un evento de coincidencia en el detector (ventana de 15ns)

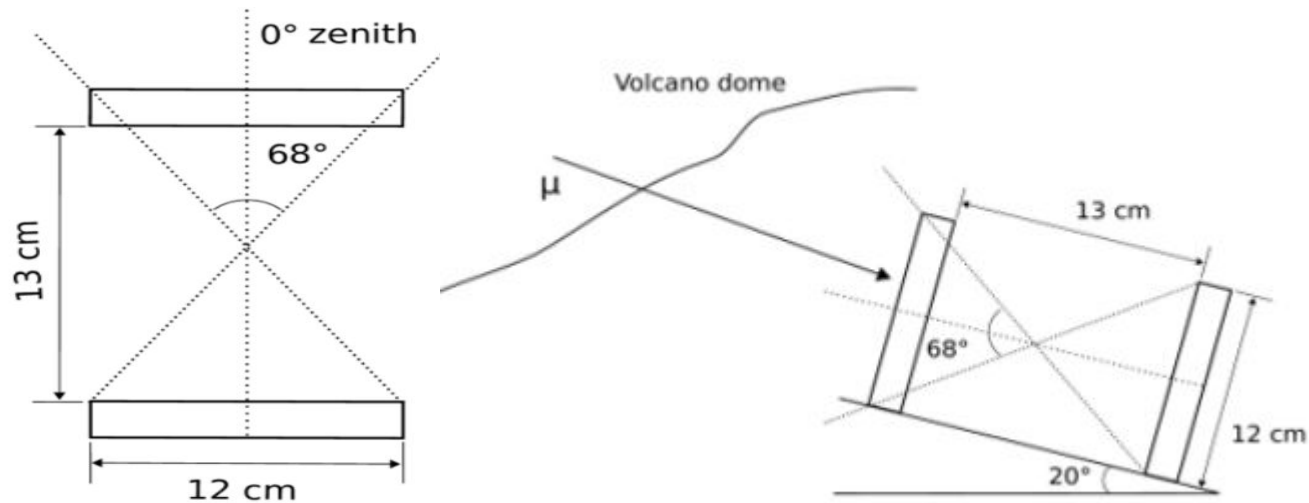
4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*

- Cada panel en el prototipo registran el flujo de fondo de rayos cósmicos con paneles de 12x12cm.
- Ambos paneles están separados uno del otro una distancia de 13cm, generando un ángulo de apertura de 68 grados.



F19. Esquema de validación de un evento de coincidencia en el detector (ventana de 15ns)

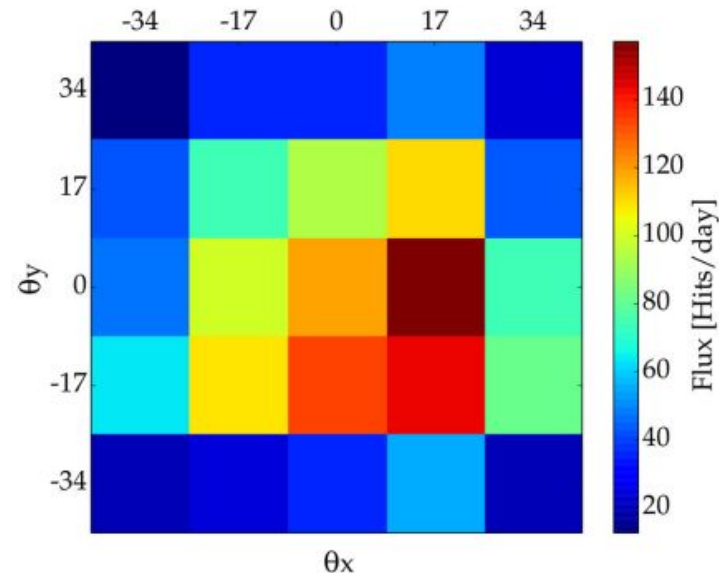
4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*



F20. Esquema de la distribución de los planos centelladores en el hodoscopio y la inclinación respecto al suelo para la medición del flujo

4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*

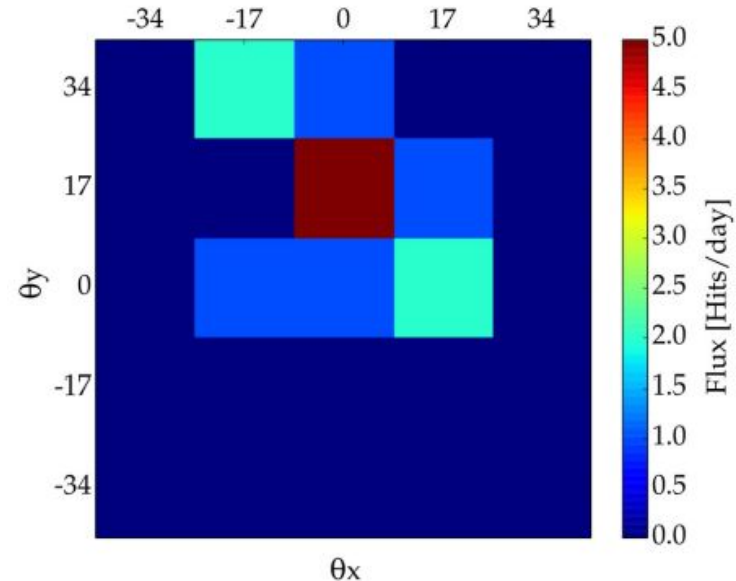
- Datos obtenidos para un área de trabajo de 288cm cuadrados, a 2650m sobre el nivel del mar, registrando un promedio de 0.6 hits/min x cm.
- La posición del máximo obtenido se debe a la posición relativa de los SiPM. Esto fue posteriormente corregido hallando la máxima ganancia de cada canal.



F21. Histograma del flujo de fondo dependiente de la trayectoria del muón incidente.

4.- Instrumentación y metodología: *mini-MuTe*

- En esta imagen se muestra el histograma por día ha disminuido en comparación con la medición de fondo debido a que el flujo es pequeño para ángulos cercanos a 90 cenital.



F22. Histograma del flujo de muones al colocar el dispositivo apuntando a una fracción del Cerro Machin.

4.- Instrumentación y metodología: *Cosmic Watch*

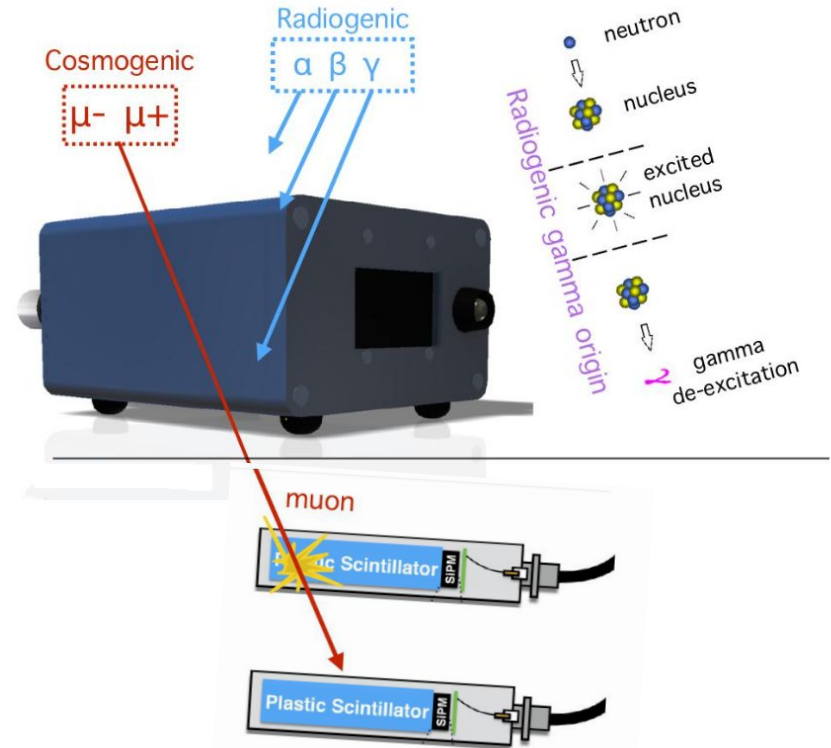
Este detector de muones desarrollado en el *MIT* en conjunto con el Centro Nacional de Investigación Nuclear (*NCBJ*).

Tiene incorporado centelladores plástico como medio de detección y un SiPM para registrar la luz, con la posibilidad de almacenar la información adquirida en una memoria microSD.



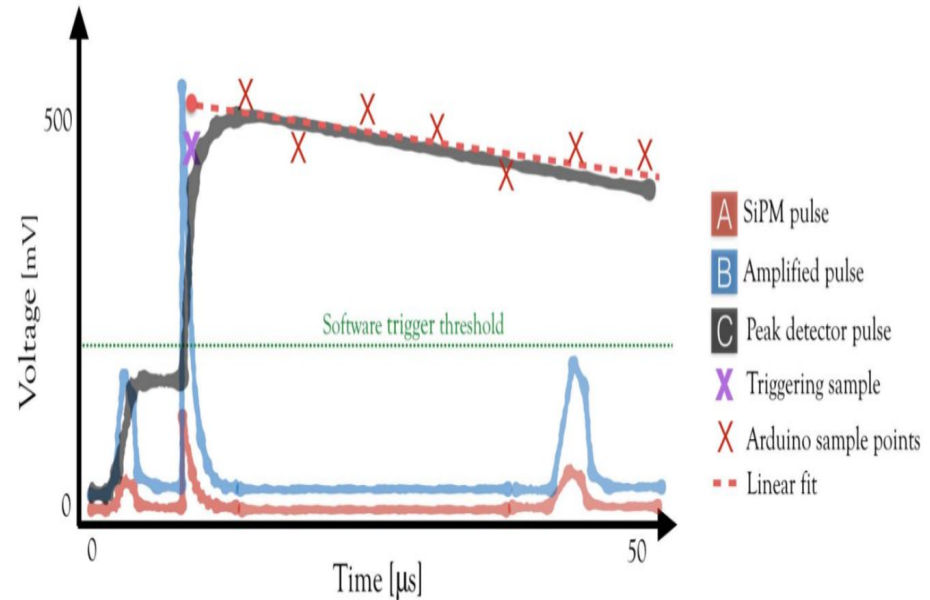
4.- Instrumentación y metodología: *Cosmic Watch*

- Los muones depositan un mínimo de 1-3MeV/cm en el plástico centellador.
- La radiación alfa y beta son detenidos por la carcasa, y los rayos gamma son capaces de atravesarla.



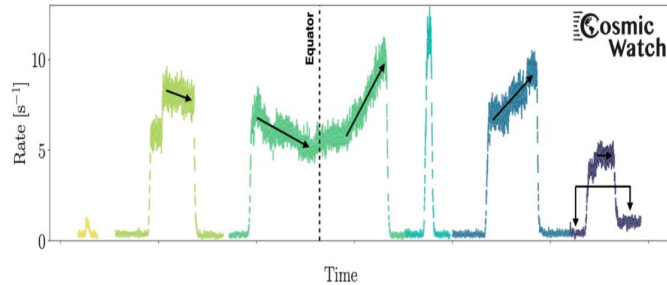
4.- Instrumentación y metodología: *Cosmic Watch*

- Los muones pasan por el centellador y se emite una luz, lo cual genera un efecto cascada en el SiPM, creando un pulso positivo de $0.5\mu\text{s}$ y $10\text{-}100\text{mV}$.
- Este pulso se amplifica por un factor de ~ 6 .
- El detector de pico “estira” el pulso aproximadamente a $100\mu\text{s}$.
- La placa *Arduino* almacena la información para calcular la amplitud inicial del pulso.



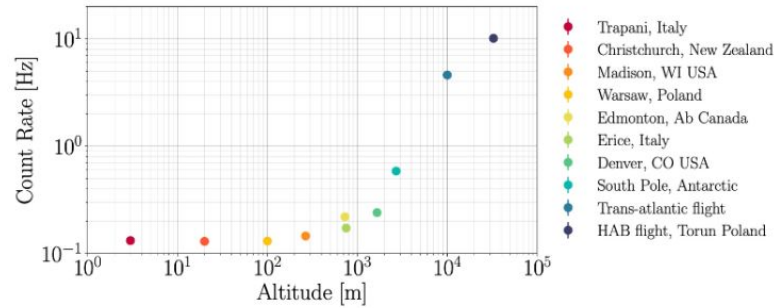
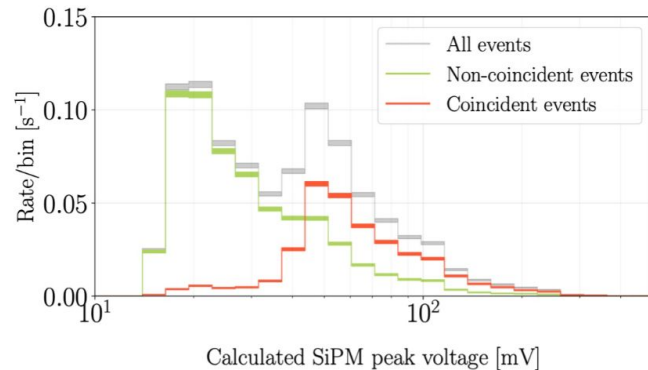
4.- Instrumentación y metodología: *Cosmic Watch*

(1)

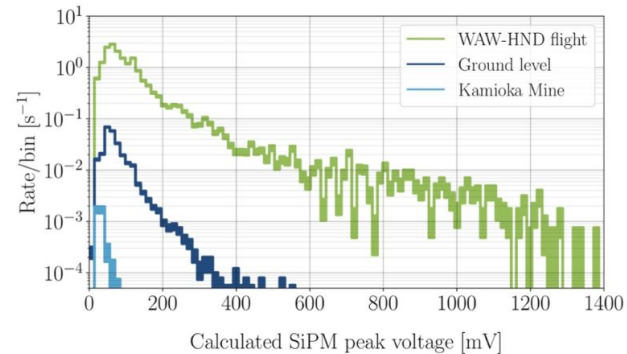


Madison → Chicago → San Francisco → Auckland → Christchurch → McMurdo → South Pole Station
 Chicago → San Francisco → Auckland → Christchurch → McMurdo → South Pole Station

(3)



(2)



(4)

5.- Cronograma de actividades

	Oct-dic 2023	Enc-mar 2024	Abr-jun 2024	Jul-sep 2024
Revisión bibliográfica	X	X		
Calibración SiPM		X	X	
Calibración Barra centelladora		X	X	
Calibración angular			X	
Pruebas de funcionamiento			X	X
Documentación del proceso		X	X	X
Escritura monografía			X	X



2:20 p.m. | sfd-gkdq-bjf

¡Muchas gracias!

Jorge Roblero

Luis Pabon

Mario I. Calcedo

Miguel Martin

Hely Cordero

Fisica PG

José Antonio Lopez...

2 más

Victor Obantari

11

Microphone, Camera, Gallery, Chat, Screen Share, Hand, More, End Call, Mute, Participants, Messages, Share

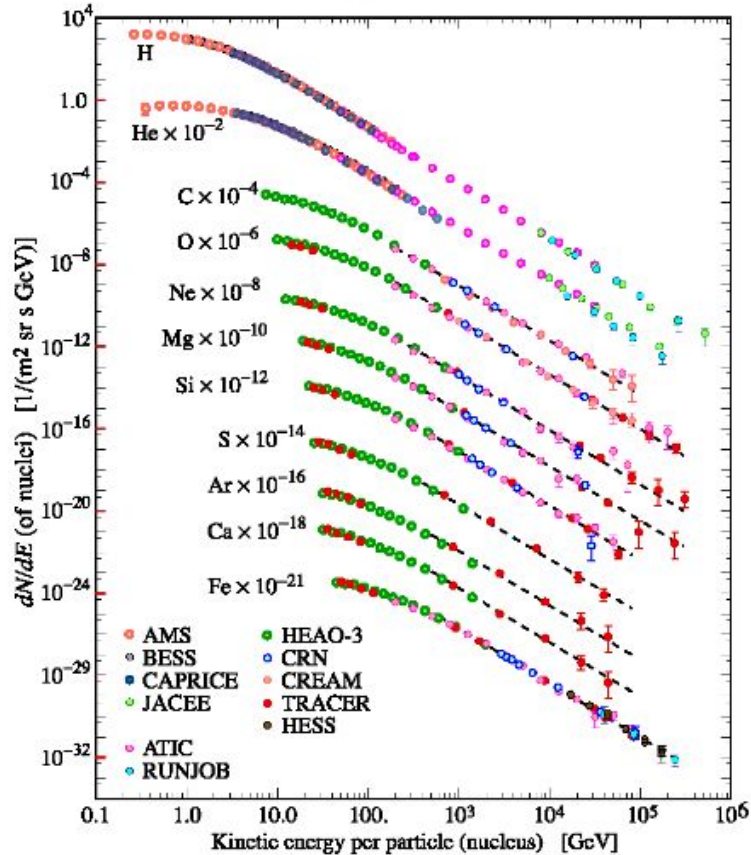
Referencias



SS



Láminas de Apoyo



The energy spectrum of primary nucleons from GeV to ~ 100 TeV is given by:

$$I(E) \approx 1.8 \times 10^4 (E/1 \text{ GeV})^{-2.7} \frac{\text{nucleons}}{\text{m}^2 \text{ s sr GeV}}$$

Where $\alpha \equiv 1 + \gamma = 2.7$ is the differential spectral index. Free protons are about $\sim 79\%$. He is 15%. The rest are heavier nuclei: C, O, Fe and other ionized nuclei and electrons (2%)

Université Libre de Bruxelles,

Juan A. Aguilar

aguilar@icecube.wisc.edu

1.- Fundamentos teóricos:

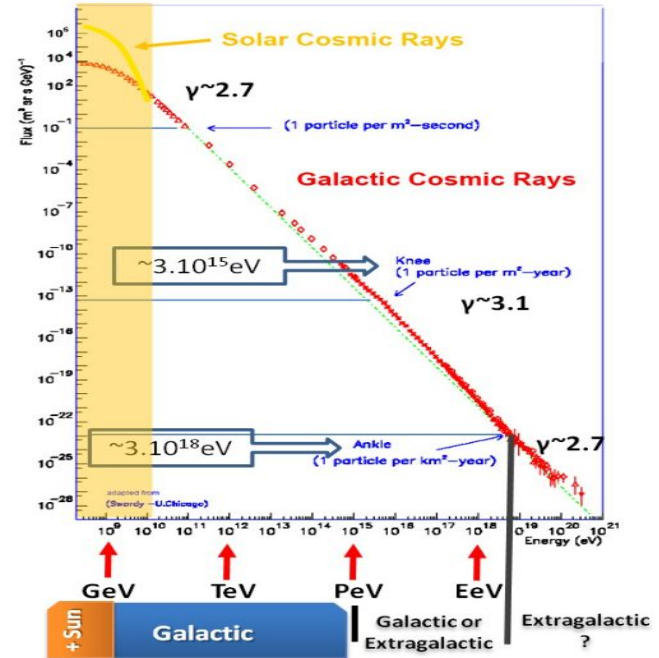
Rayos cósmicos primarios

$$\Phi(E_p, Z, A, \Omega) \simeq j_0(Z, A) \left(\frac{E_p}{E_0} \right)^{\alpha(E_p, Z, A)}$$

$E_p \rightarrow$ Energía de la partícula incidente

$\alpha(E_p, Z, A) \rightarrow$ índice espectral de la partícula incidente

$j_0(Z, A) \rightarrow$ Flujo medido en el tope de la atmósfera con energía de TeV



F2. Espectro de energía de RC.

2.- Detectores de superficie:

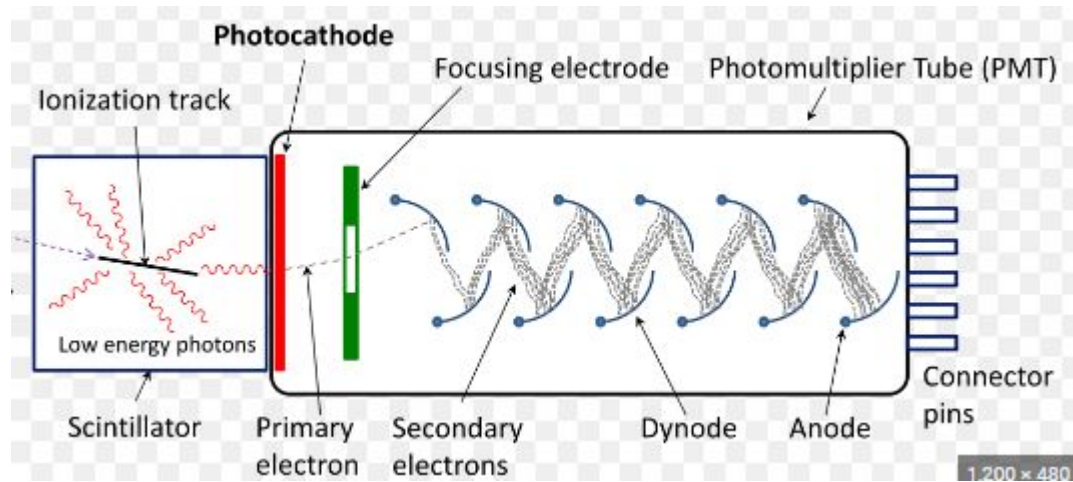
Hodoscopio de muones

- aplicaciones en la detección de muones:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168900224000640>

2.- Detectores de superficie:

Hodoscopio de muones



4.- Instrumentación y metodología

Muon Telescope (MuTe)

Descripción

