

Medición del flujo de neutrinos cósmicos ultra energéticos mediante detectores de superficie

Pablo Pieroni¹

Directores: Ricardo Piegaia¹ Jaime Alvarez-Muñiz²

¹Departamento de Física - Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires, Argentina.

²Departamento de Física de Partículas - Instituto Galego de Física de Altas Enerxías
Universidad de Santiago de Compostela, España.

14 de marzo de 2016

Parte I

Detección de neutrinos ultra energéticos
con un arreglo de antenas de radio

Motivación

Las lluvias atmosféricas emiten señales de radio.

¿Por qué un arreglo de antenas de radio?

- La amplitud del pulso posee información calorimétrica $\rightarrow E_{prim}$
- Los tiempos de arribo guardan información sobre la distribución longitudinal de la lluvia $\rightarrow X_{max}$
- Casi 100 % de tiempo de operación.
- Bajo costo relativo.

GRAND

Propone desplegar 90000 antenas en Tianshan, China para desarrollar búsquedas de neutrinos cósmicos ultra energéticos.

Esta parte de la tesis:

Estimar el desempeño de un arreglo de 90000 antenas de radio al detectar UHE ν s.

Motivación

Las lluvias atmosféricas emiten señales de radio.

¿Por qué un arreglo de antenas de radio?

- La amplitud del pulso posee información calorimétrica $\rightarrow E_{prim}$
- Los tiempos de arribo guardan información sobre la distribución longitudinal de la lluvia $\rightarrow X_{max}$
- Casi 100 % de tiempo de operación.
- Bajo costo relativo.

GRAND

Propone desplegar 90000 antenas en Tianshan, China para desarrollar búsquedas de neutrinos cósmicos ultra energéticos.

Esta parte de la tesis:

Estimar el desempeño de un arreglo de 90000 antenas de radio al detectar UHE ν s.

Motivación

Las lluvias atmosféricas emiten señales de radio.

¿Por qué un arreglo de antenas de radio?

- La amplitud del pulso posee información calorimétrica $\rightarrow E_{prim}$
- Los tiempos de arribo guardan información sobre la distribución longitudinal de la lluvia $\rightarrow X_{max}$
- Casi 100 % de tiempo de operación.
- Bajo costo relativo.

GRAND

Propone desplegar 90000 antenas en Tianshan, China para desarrollar búsquedas de neutrinos cósmicos ultra energéticos.

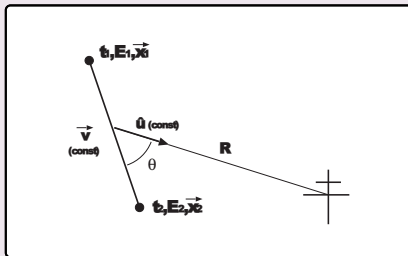
Esta parte de la tesis:

Estimar el desempeño de un arreglo de 90000 antenas de radio al detectar UHE ν s.

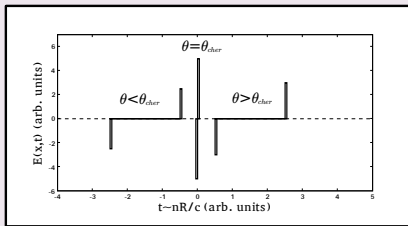
Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Origen

Partícula que se desplaza en línea recta a velocidad constante



Aproximación ZHS

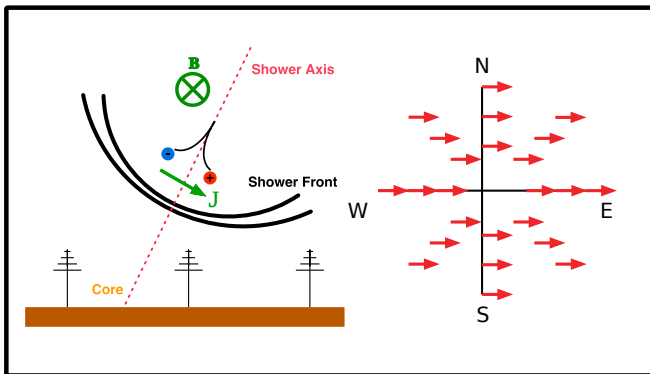


Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Polarización

Dos mecanismos efectivos

- Efecto geomagnético
- Efecto Askaryan

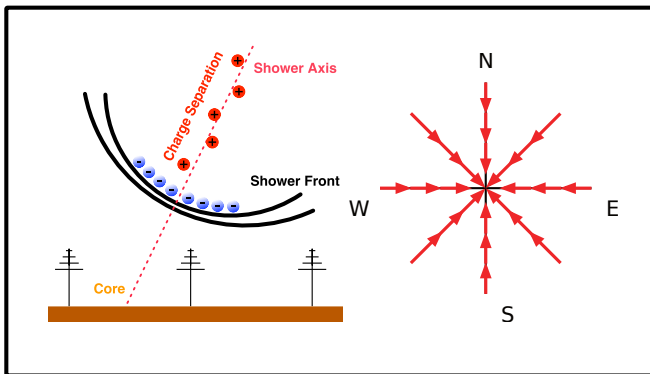


Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Polarización

Dos mecanismos efectivos

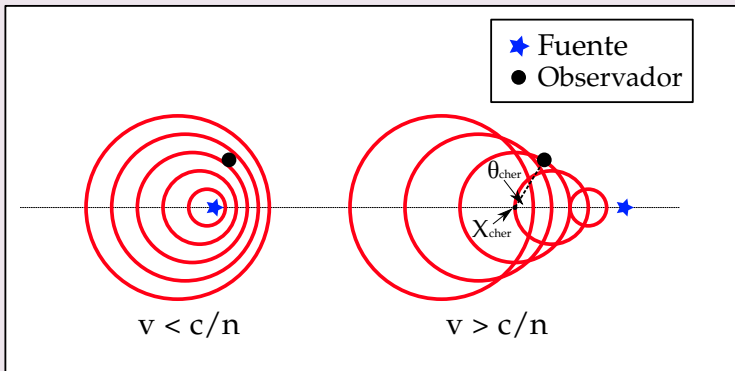
- Efecto geomagnético
- Efecto Askaryan



Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Huella y estructura temporal

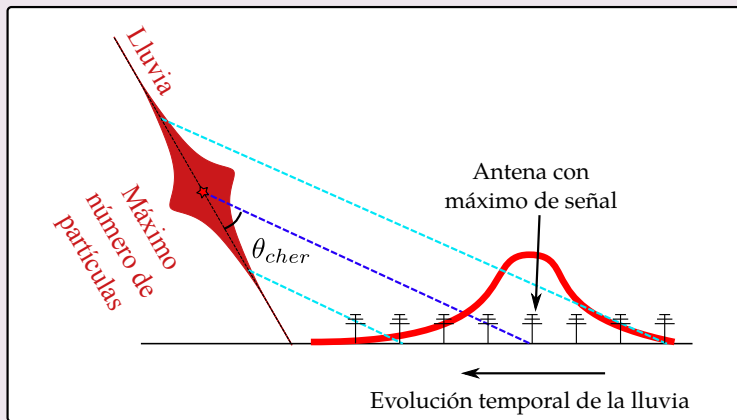
Efecto Cherenkov



Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Huella y estructura temporal

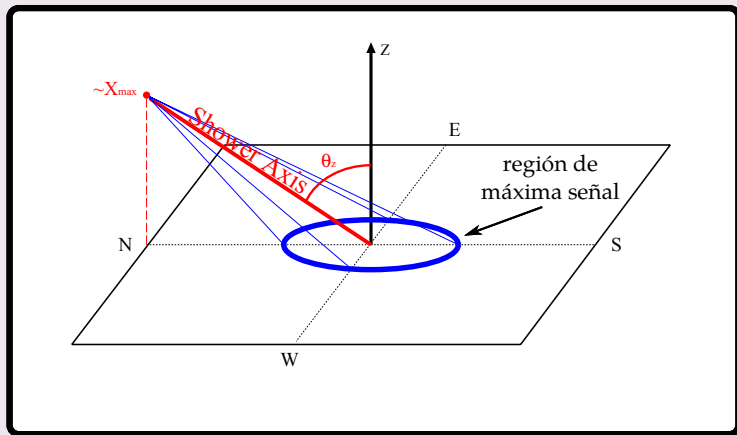
Efecto Cherenkov



Emisión de radio en lluvias atmosféricas

Huella y estructura temporal

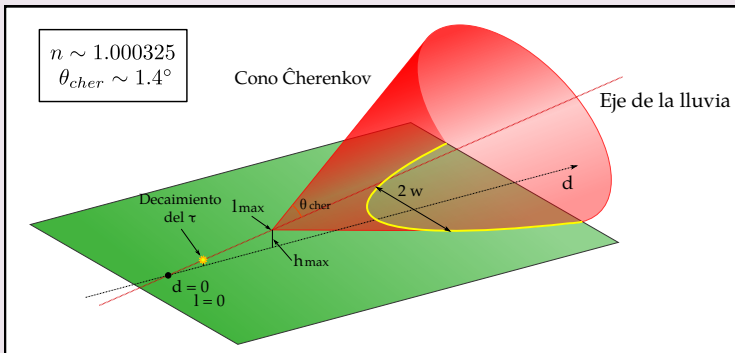
Efecto Cherenkov



Geometría del cono Cherenkov

Eventos ES

Esquema

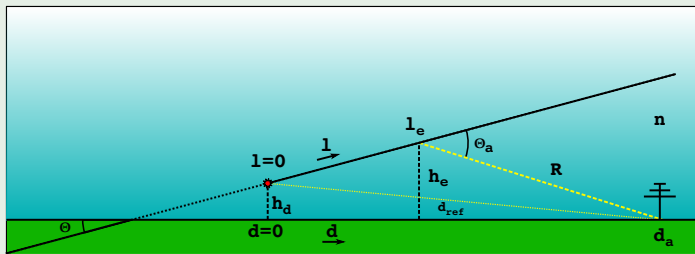


Huella del cono sobre el suelo

$$w^2(d) = (\tan^2 \theta_{cher} - \tan^2(\theta - \frac{\pi}{2})) (\frac{d}{\sin \theta} - l_{max})^2 - \tan(\theta - \frac{\pi}{2}) \frac{h_{max}}{\sin \theta} (\frac{d}{\sin \theta} - l_{max}) - \frac{h_{max}^2}{\sin^2 \theta}$$

Modelo de juguete

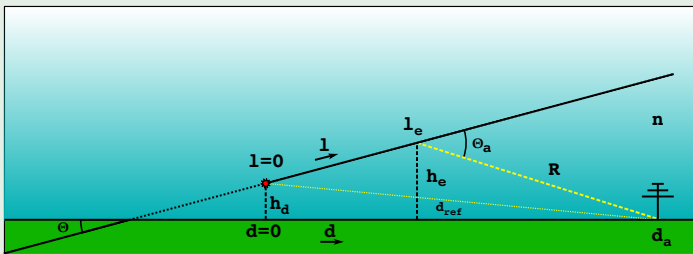
Esquema



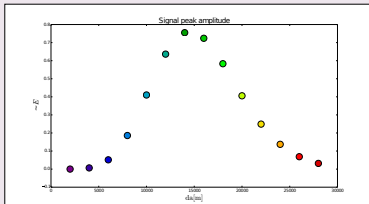
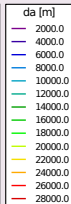
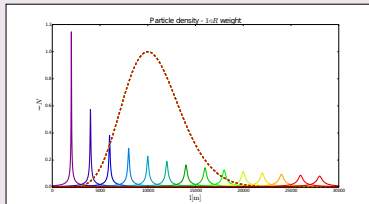
Resultado

Modelo de juguete

Esquema



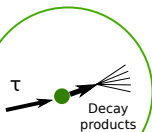
Resultado



Cadena de simulación

Etapas

1. TAUOLA

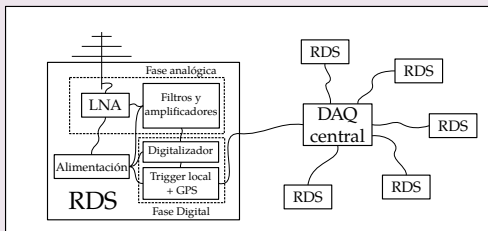


2. ZHAireS

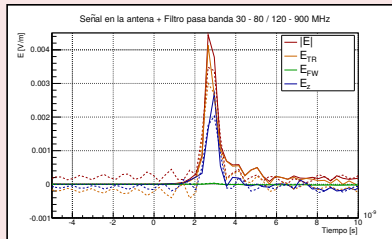
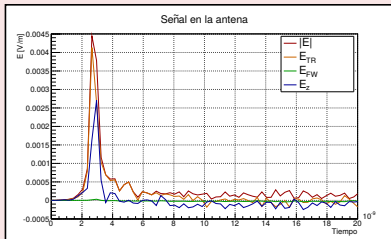
3. Código propio

Representación del detector

Esquema del detector



Antena sobre el cono Cherenkov

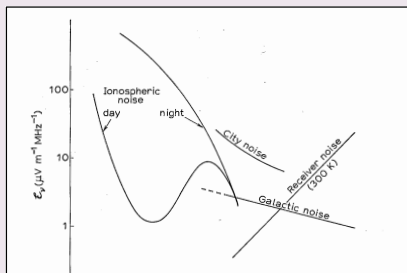


Disparo local

Fuentes

- Ionosférico
- Proveniente de la ciudad
- Galáctico
- Intrínseco

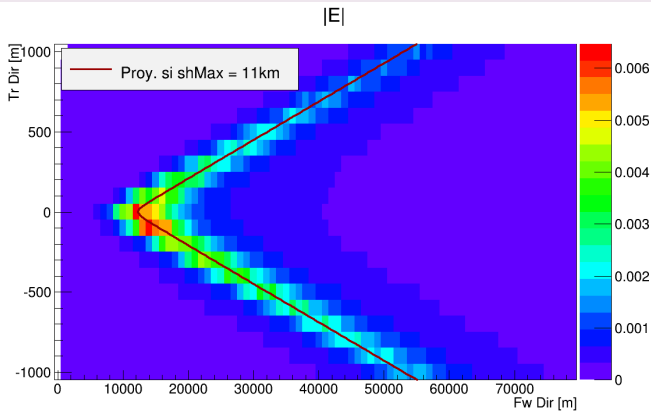
Intensidad



Nivel de disparo local entre $40 \mu\text{V/m}$ y $25 \mu\text{V/m}$

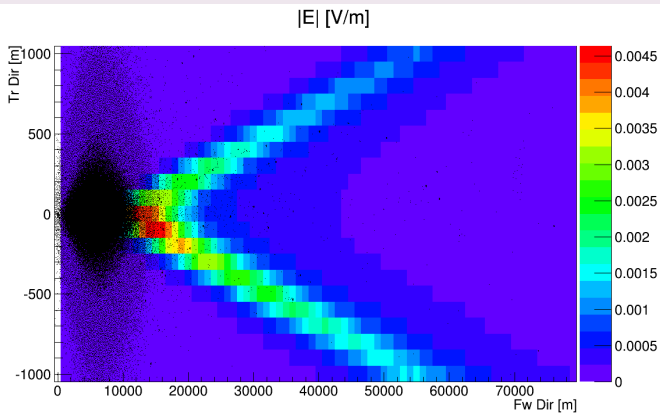
Caracterización

Huella del máximo de campo eléctrico - $\theta = 92,5^\circ$ $x_d = 25\text{m}$ $E_v = 10^{18} \text{ eV}$ $\phi = 90^\circ$



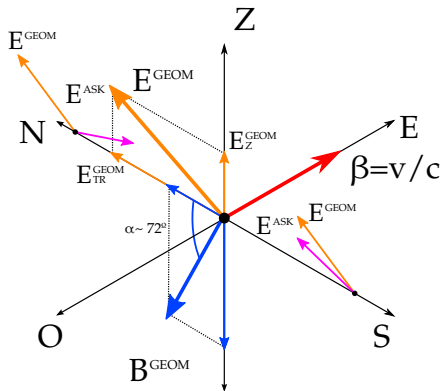
Caracterización

Distribución de partículas



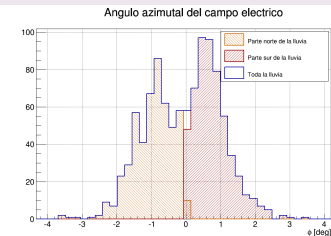
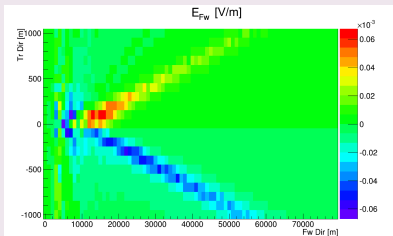
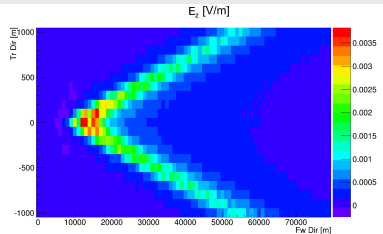
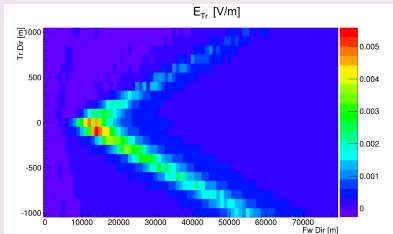
Caracterización

Polarización



Caracterización

Polarización



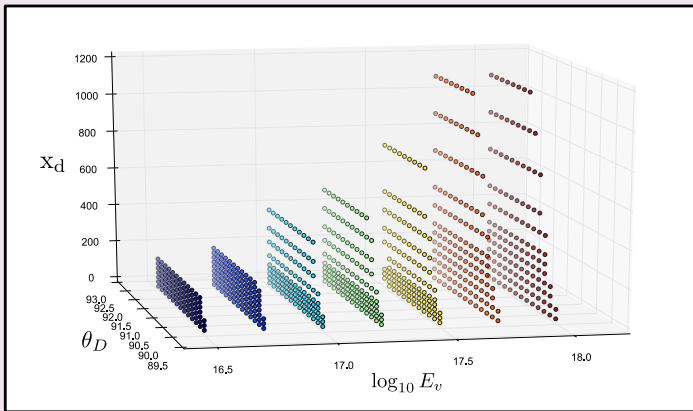
Caracterización

Capacidad de disparo

Mostrar cortes en distintas variables

Espacio de parámetros simulado

Capacidad de disparo



Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \epsilon(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{e^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\lambda(E_\tau)} \frac{dl(x_d)}{dx_d} P(E_{sh}|E_\tau) \\ P(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

Ingredientes

- **Tiempo de medición y área del detector.**
- Eficiencia de detección.
- Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .
- Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .
- Interacción en la tierra.
- Ángulo sólido.

Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \epsilon(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{e^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\lambda(E_\tau)} \frac{dl(x_d)}{dx_d} P(E_{sh}|E_\tau) \\ P(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

Ingredientes

- **Tiempo de medición y área del detector.**
- **Eficiencia de detección.**
- Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .
- Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .
- Interacción en la tierra.
- Ángulo sólido.

Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \textcolor{blue}{\epsilon}(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{\textcolor{brown}{e}^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\lambda(E_\tau)} \frac{\textcolor{brown}{dl}(x_d)}{dx_d} P(E_{sh}|E_\tau) \\ P(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

Ingredientes

- **Tiempo de medición y área del detector.**
- **Eficiencia de detección.**
- **Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .**
- Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .
- Interacción en la tierra.
- **Ángulo sólido.**

Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \textcolor{blue}{\epsilon}(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{\textcolor{brown}{e}^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\lambda(E_\tau)} \frac{\textcolor{brown}{dl}(x_d)}{dx_d} \textcolor{purple}{P}(E_{sh}|E_\tau) \\ P(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

Ingredientes

- **Tiempo de medición y área del detector.**
- **Eficiencia de detección.**
- **Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .**
- **Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .**
- Interacción en la tierra.
- **Ángulo sólido.**

Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \textcolor{blue}{\epsilon}(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{\textcolor{brown}{e}^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\textcolor{brown}{\lambda}(E_\tau)} \frac{\textcolor{brown}{d}l(x_d)}{\textcolor{brown}{d}x_d} \textcolor{violet}{P}(E_{sh}|E_\tau) \\ \textcolor{violet}{P}(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

Ingredientes

- **Tiempo de medición y área del detector.**
- **Eficiencia de detección.**
- **Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .**
- **Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .**
- **Interacción en la tierra.**
- **Ángulo sólido.**

Cálculo de exposición

Fórmula

$$\mathcal{E}(E_\nu) = 2\pi \textcolor{red}{TA} \int_0^\infty \int_{\theta^{cut}}^{\theta^{max}} \int_0^{E_\nu} \int_0^{E_\tau} \epsilon(x_d, \theta, E_{sh}) \frac{e^{-\frac{l(x_d)}{\lambda(E_\tau)}}}{\lambda(E_\tau)} \frac{dl(x_d)}{dx_d} P(E_{sh}|E_\tau) \\ P(E_\tau|E_\nu, \theta) \sin \theta \cos \theta dE_{sh} dE_\tau d\theta dx_d$$

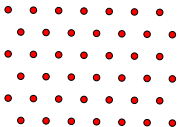
Ingredientes

- Tiempo de medición y área del detector.
- Eficiencia de detección.
- Probabilidad de decaimiento de un τ a altura x_d .
- Probabilidad que un τ de energía E_τ produzca una lluvia de energía E_{sh} .
- Interacción en la tierra.
- Ángulo sólido.

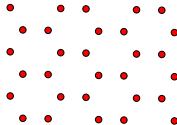
Topografía del detector

Descripción

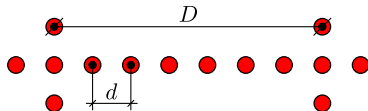
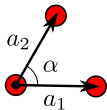
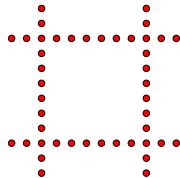
Regular



Panal de abeja

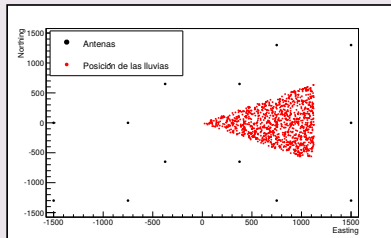
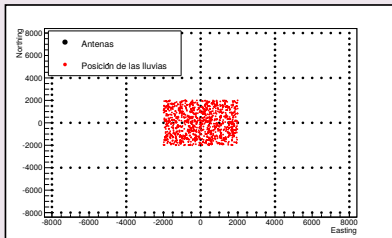
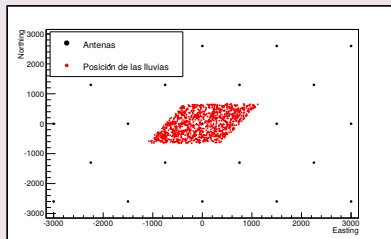
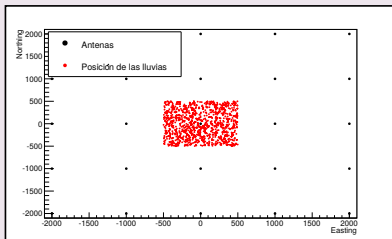


Bordes densos



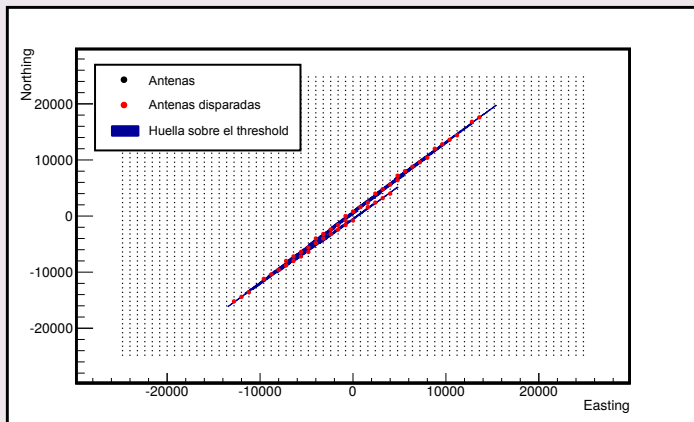
Cálculo de la eficiencia

Se lanzó cada lluvia 1000 veces sobre la celda primitiva



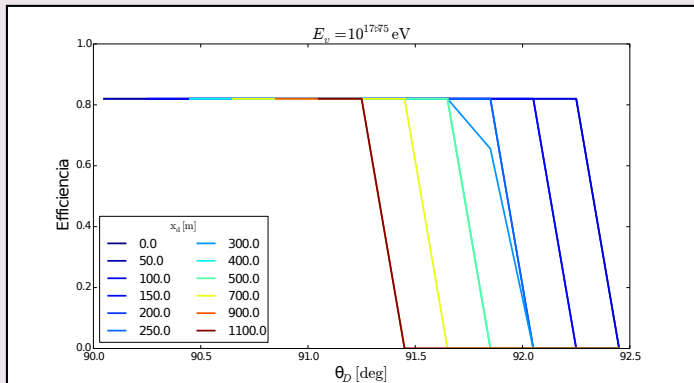
Cálculo de la eficiencia

Se lanzó cada lluvia 1000 veces sobre la celda primitiva



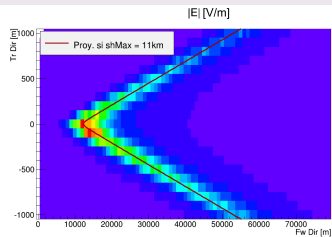
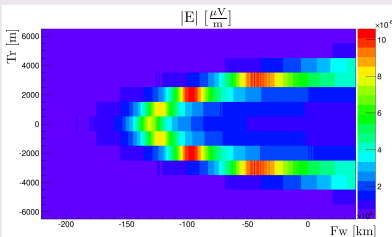
Cálculo de la eficiencia

Curvas de eficiencia

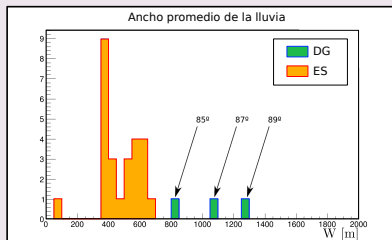
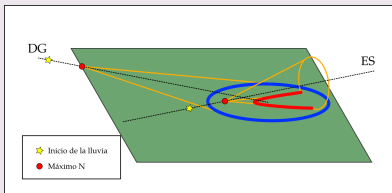


Eficiencias de identificación

Eventos DG dejan huellas más anchas que los ES

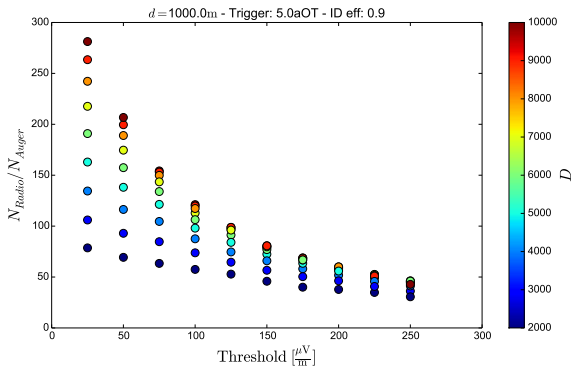


Pueden ser discriminados



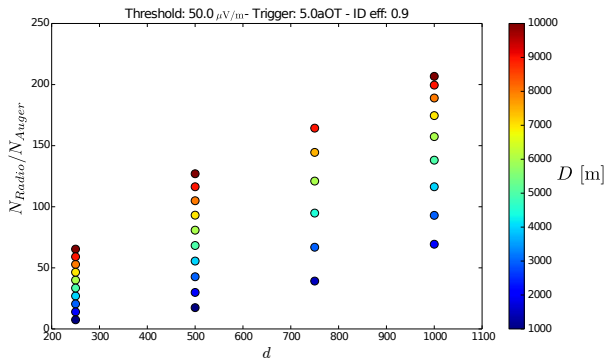
Comparación con Auger

Cociente de cantidad de eventos esperados como función del threshold local



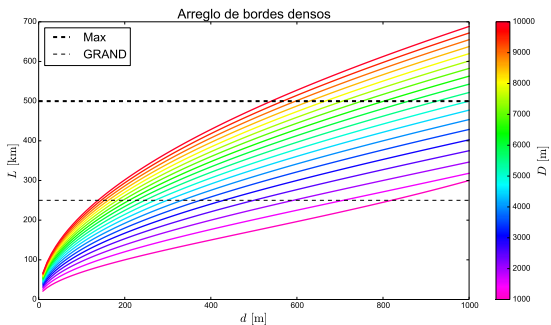
Comparación con Auger

Cociente de cantidad de eventos esperados



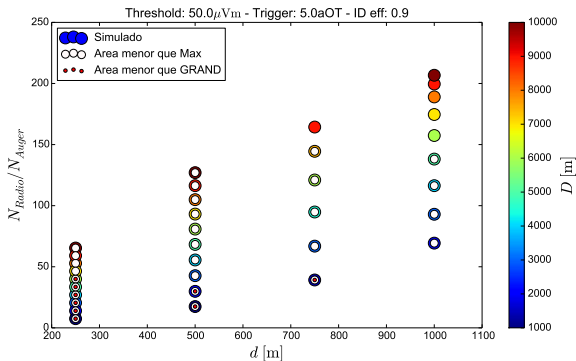
Comparación con Auger

Tamaño dle detector



Comparación con Auger

Tamaño dle detector

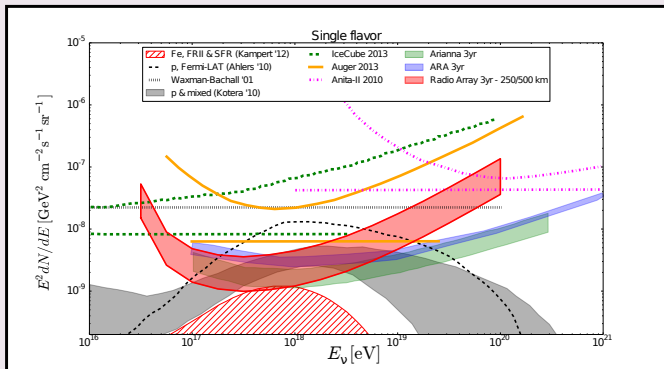


Límite diferencial en 3 años de exposición

Cálculo del límite

Se asume un flujo: $\Phi_\nu = k E_\nu^{-2} \Rightarrow k(E_\nu) = \frac{2,4}{E_\nu + \Delta \int_{E_\nu - \Delta}^{E_\nu + \Delta} \tilde{E}_\nu^{-2} \mathcal{E}(\tilde{E}_\nu) d\tilde{E}_\nu}$

Límite diferencial: 90000 antennas - Trigger local $50\mu\text{Vm}$ - $L = 250\text{ km} - 500\text{km}$



Desempeño - $L = 250$ km

Rate de eventos

Modelo	Topografía - $L = 250$ km		
	Regular	Panal de abeja	Bordes densos
Cosmogénico - proton, FRII	45.3	52.2	52.5
Cosmogénico - proton, Fermi-LAT	34.1	39.4	39.5
Cosmogénico - proton, SFR	10.3	11.8	11.9
Cosmogénico - Híbrido	5.8 - 14.9	6.7 - 17.2	6.7 - 17.3
Cosmogénico - iron, FRII	3.2	3.6	3.7
IceCube extrapolado E^{-2}	13.1	15.1	15.2
IceCube extrapolado <i>Best fit</i>	12.9	14.9	15

Desempeño - $L = 500$ km

Rate de eventos

Modelo	Topografía - $L = 500$ km		
	Regular	Panal de abeja	Bordes densos
Cosmogénico - proton, FRIL	185.8	193	191.3
Cosmogénico - proton, Fermi-LAT	140.3	146.0	144.8
Cosmogénico - proton, SFR	42.1	43.8	43.4
Cosmogénico - Híbrido	23.9 - 61.3	24.8 - 63.7	24.6 - 63.2
Cosmogénico - iron, FRIL	13.0	13.4	13.3
IceCube extrapolado E^{-2}	53.6	55.5	55
IceCube extrapolado <i>Best fit</i>	52.4	53.8	53.3