

ESTUDIO ESTADÍSTICO DE LOS EFECTOS ATMOSFÉRICOS DURANTE LAS TORMENTAS ELÉCTRICAS SOBRE LOS REGISTROS DE RAYOS CÓSMICOS

Huaygua N., Velarde A.

*Instituto de Investigaciones Físicas
Universidad Mayor de San Andrés
La Paz-Bolivia*

Saavedra O.

*Dipartimento di Fisica Generale
Universita di Torino, Italia*

RESUMEN

Se hace un estudio estadístico de la ocurrencia de señales en los registros de rayos cósmicos del experimento INCA en el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya (5200 m.s.n.m.) correlacionados con las señales registradas por un cable coaxial que detecta la ocurrencia de descargas eléctricas atmosféricas y un "detector ciego" (sin detector de centelleo) que discrimina señales observadas en los detectores de partículas que corresponden o no a señales inducidas. Nos interesa particularmente el caso de señales observadas en los detectores que no tengan una correlación con señales en el "detector ciego" porque esto significaría que se trata de la detección de un exceso de partículas secundarias producidas por electrones acelerados por el campo eléctrico atmosférico durante las tormentas eléctricas. Se observa que efectivamente existe un número estadísticamente significativo de eventos con estas características.

1. INTRODUCCIÓN

El experimento INCA (Investigation on Cosmic Anomalies), funciona desde diciembre de 1996 en el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya. Fue diseñado con el propósito de detectar partículas secundarias producidas por rayos Gamma con energías superiores a 1 GeV provenientes de un "Relámpago de Rayos Gamma" (Gamma Ray Burst (GRB)).

Es un experimento realizado en cooperación entre el Instituto de Investigaciones Físicas (IIF) de la Universidad Mayor de San Andrés (UMSA) - Bolivia, la Universidad de Torino, - Italia y el grupo BASJE (Bolivian Air Shower Joint Experiment), Tokyo Institute on Cosmic Ray Research - Japón.

En este artículo presentamos un estudio de los efectos meteorológicos en el registro de los datos del experimento INCA.

2. EL EXPERIMENTO INCA

Las "explosiones de Rayos Gamma" (GRB) en el rango de los GeV, podrían ser observadas en tierra. Los pares e^\pm secundarios generados por un gamma con energía superior a 1 GeV pueden ser detectados por un arreglo para detección de chubascos atmosféricos, en altura. Como el número de partículas sería muy pequeño, el experimento INCA utiliza la técnica del registro individual de la serie temporal del número de partículas que llegan a cada uno de doce detectores de centelleo, de $2 \times 2m^2$ cada uno, distribuidos en un área de $15 \times 15m^2$. En la Figura 1 se muestra el arreglo MAS (Minimal Air

Showers) del experimento BASJE del cual obtenemos las señales de los 12 detectores designados por L.

Se esperaba que, en caso de que uno de estos GRB's fuera detectado en tierra por el arreglo, se observaría un incremento simultaneo en el número de cuentas en todos los detectores en coincidencia con el registro de GRB's detectados por BATSE (Burst and Transient Source Experiment) montado en el satélite CGRO (Compton Gamma Ray Observatory) de la NASA. Actualmente este satélite ya no funciona más. La duración de los GRB's detectados por los satélites varía dentro de un amplio rango que va desde los milisegundos hasta los minutos, encontrándose algunos de más de una hora. Su duración típica, sin embargo, es del orden de algunos segundos.

En el CGRO también se encontraba montado el experimento EGRET (Energetic Gamma Ray Experiment Telescope) que trabaja en el rango de energía de 1 MeV. a 30 GeV. EGRET detectó algunos gammas con energía mayor a 1 GeV. La máxima energía detectada fue de 18 GeV. [1] Estos Gammas de alta energía podrían ser vistos en tierra por INCA. A la altura de Chacaltaya (5200 msnm), se calcula que la señal producida por un Gamma primario, en el rango de energías de 1 GeV a 1 TeV, es tres ordenes de magnitud mayor que al nivel del mar. [2]

Los registros de GRB's del satélite BATSE muestran una distribución espacial totalmente isotrópica que da cuenta de que el origen de estos GRB's es cosmológico.

En 1997 el satélite ítalo-holandés Beppo SAX equipado con una cámara WFC (Wide Field Camera) ($40^\circ \times 40^\circ$

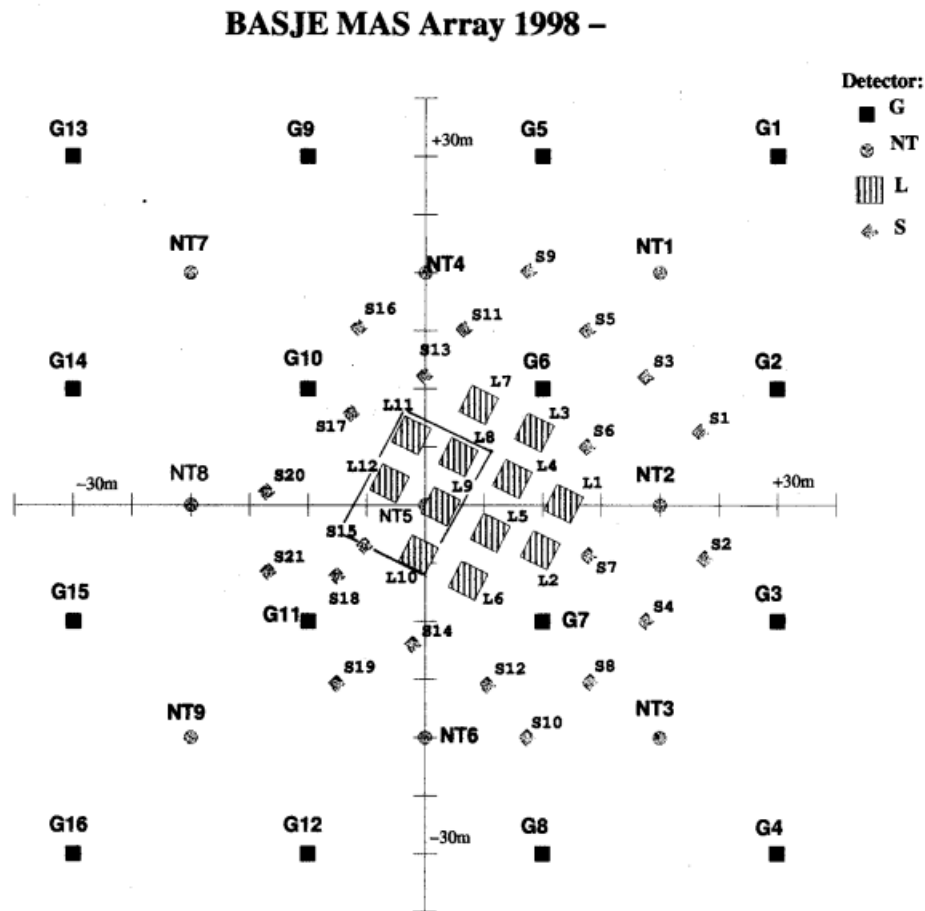


Figura 1. Arreglo MAS. Los detectores L son los detectores achurados. El rectángulo corresponde a los detectores de muones.

) de Rayos X y un monitor de GRBs, fue capaz de encontrar la contraparte de Rayos X de los GRBs registrado y determinar la dirección de arribo con una precisión de $\sim 6'$ de arco. Con esta información, observatorios astronómicos en tierra han logrado identificar las fuentes de las que provienen varios de los GRB's registrados. En todos los casos, se trata de galaxias muy lejanas, a distancias del orden de 10^9 años luz, es decir, los GRB's se han originado en las tempranas épocas de expansión del universo. Queda claro entonces que la componente de alta energía de su espectro ha sido absorbida en el espacio intergaláctico por interacción con fotones, formando pares electrón positrón

$$\gamma + \gamma \rightarrow e^+ + e^-$$

De manera que la gran mayoría fotones de los GRB's que llegan a la Tierra son fotones de baja energía que no pueden ser detectados por INCA. En efecto en cinco años de observación ningún GRB ha sido detectada por INCA.

3. SEÑALES ESPÚREAS EN LOS REGISTROS DE INCA

El método de registro individual de las cuentas de partículas secundarias en cada detector, requiere tener

en cuenta los mecanismos responsables de la variación del flujo de la radiación de fondo. Las modulaciones debidas a la presión atmosférica, la anisotropía diaria y la actividad solar que tienen periodos de varias horas o minutos, no se confundirían con variaciones de corta duración debidas a un GRB de sólo algunos segundos de duración.

Modulaciones de origen meteorológico debidas a campos eléctricos atmosféricos variables durante las tormentas eléctricas y también ruido eléctrico inducido por descargas eléctricas atmosféricas (rayos) o chispas entre los equipos y tierra pueden producir señales de corta duración del orden de segundos o menos. Estas perturbaciones en los registros pueden confundirse con una señal producida por un GRB.

En los registros de INCA se observan gran cantidad de señales que pueden corresponder a estos casos. Afortunadamente no ha ocurrido que alguna de estas señales que llamaremos espúreas coincidiera con el reporte de algún GRB detectado por el satélite.

Esto nos ha llevado a analizar estadísticamente el fenómeno de las señales espúreas en nuestros registros.

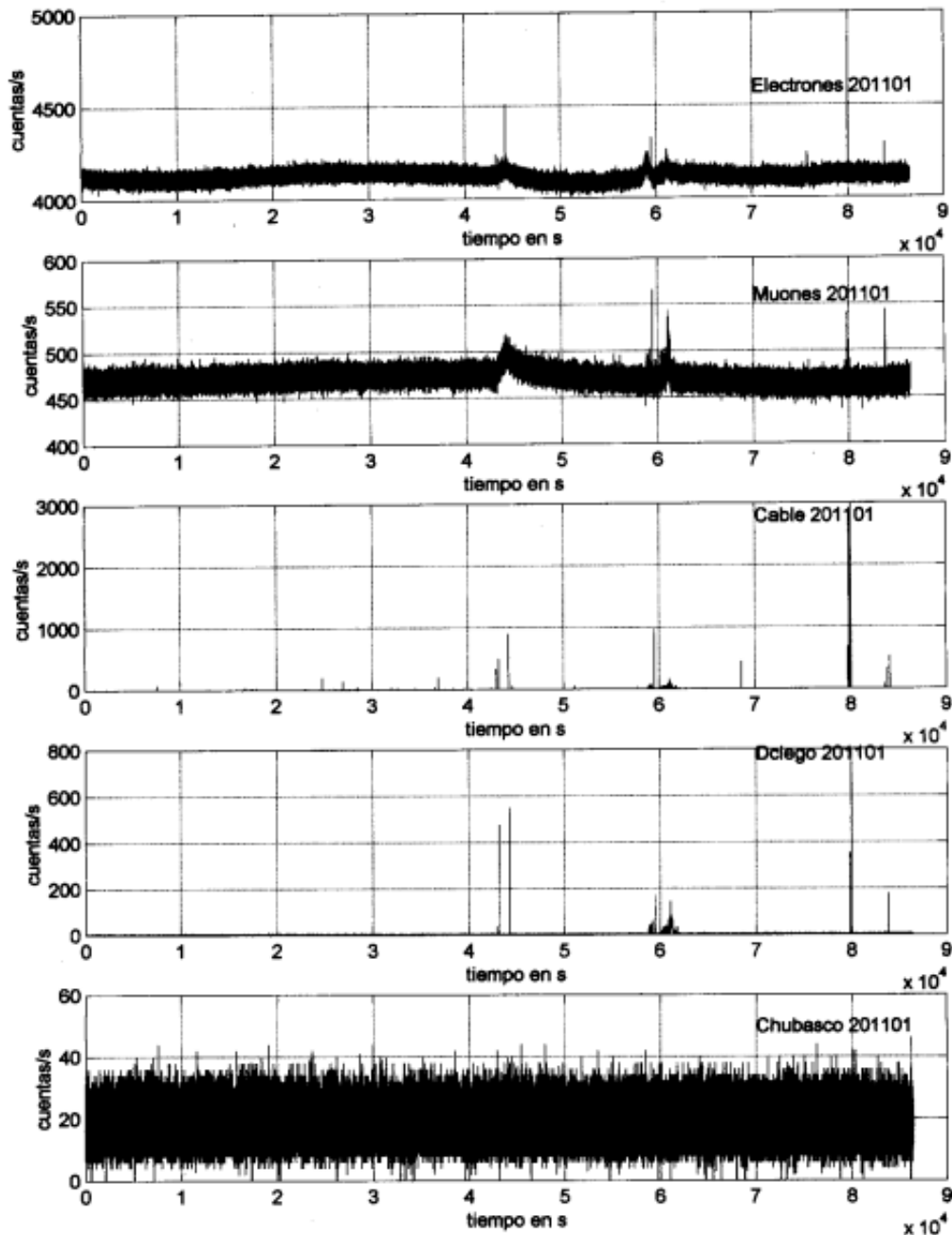


Figura 2. Registros temporales de electrones, muones, cable coaxial, detector ciego y chubascos. Corresponden a un día completo.

4. CRITERIO PARA DETECTAR EVENTOS RELACIONADOS A DESCARGAS ELÉCTRICAS

Para detectar el origen meteorológico de este tipo de señales se colocaron dos registros adicionales. El primero correspondiente a la señal de un cable coaxial con una punta libre colocada a la intemperie, de manera que actúe como una antena para señales electromagnéticas intensas. El segundo, a la señal de un "detector ciego", esto es, un fotomultiplicador sin detector de centelleo.

Es claro que cualquier señal en el detector ciego o

en el cable coaxial libre sólo puede ser una señal de ruido electrónico inducido por descargas eléctricas. Si se tiene una señal en los detectores acompañada por una señal en el cable coaxial diremos que está relacionada a una descarga. Si además, el detector ciego también muestra una señal coincidente, significará que se trata de señales eléctricas inducidas por una descarga eléctrica atmosférica, es decir, por un rayo o por pequeñas descargas entre los equipos y tierra (el suelo y las paredes) cuando se establece una gran diferencia de potencial eléctrico

entre ellos.

Otro posible mecanismo [3] es que los electrones de la radiación secundaria sean acelerados por el campo eléctrico atmosférico intenso durante una tormenta y que estos electrones con mayor energía puedan producir otras partículas secundarias en la atmósfera de manera que el incremento en las cuentas corresponda efectivamente a un aumento en el número de partículas incidentes sobre los detectores. En este caso, se espera observar una señal de larga duración en los detectores, que puede durar hasta varios minutos.

En efecto, S. Vernetto [4] señala que, de acuerdo a Gurevich [5], [6], electrones con energías $E > E_c \approx 0.1 - 1 MeV$, moviéndose dentro de un campo eléctrico atmosférico de magnitud mayor a $1 - 2 K V cm^{-1}$ son acelerados y producen nuevos electrones por colisión y estos, a su vez, otros de manera que el número de electrones se incrementa exponencialmente.

En tal caso podríamos seleccionar como candidatos a este tipo de mecanismo las señales que se observen en los detectores de electrones pero no en el detector ciego. Los detectores L no tienen ningún blindaje. A la profundidad de Chacaltaya, $540 gr/m^2$, los electrones son mayoritarios (más o menos constituyen el 55% de la radiación total). De manera que los registros L reflejan básicamente el comportamiento de los electrones.

A fin de ampliar el estudio de este tipo de fenómenos se incluyeron al experimento también los registros individuales de los detectores de muones del experimento BASJE. El detector de muones es un arreglo consistente en 15 detectores de centelleo de $2 \times 2 m^2$ dispuestos juntos cubriendo un área total de $60 m^2$. El arreglo tiene un blindaje de galena equivalente a 3 m de agua, de modo que la componente electrónica (componente suave) es totalmente absorbida. Los detectores μ se encuentran debajo de los detectores L como se muestra en la Figura 1.

Así mismo se incorporó el registro del número disparos de los chubascos detectados por BASJE cada segundo.

En la Figura 2 se muestran los registros completos de un día (20 de Nov. 2001) del promedio de los doce detectores L (electrones), del promedio de los 15 detectores de muones, del cable coaxial, del detector ciego, y de los chubascos.

Observamos tres señales de larga duración y varias de corta duración.

La primera señal de larga duración que ocurre alrededor de los $4.5 \times 10^4 s$, se observa tanto en el registro de los electrones como en el de los muones, no así en los chubascos (por lo menos no a simple vista) y parece ser iniciada por descargas eléctricas que se observan tanto en el cable coaxial como en el detector ciego. Una nueva descarga eléctrica corresponde a su máximo e inicia la declinación de la señal. Entre estas descargas y después hasta que las cuentas vuelven a su nivel normal, hay un exceso de cuentas tanto de los electrones como en los muones, que parecen no tener contraparte en el detector ciego.

Este tipo de señales se ajustarían bien al modelo de la producción de partículas secundarias por aceleración de electrones en un campo eléctrico atmosférico intenso.

En la segunda y tercera señales de larga duración que ocurren alrededor de los $6 \times 10^4 s$, en cambio, se observa que estas van acompañadas por señales en el cable y el detector ciego. Se trata de un caso que claramente corresponde a señales inducidas por descargas eléctricas atmosféricas y entre equipos y tierra.

5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Muchas mediciones en tierra y en balones, reportan incrementos en los registros de rayos cósmicos de baja energía durante las tormentas y también la detección de rayos X producidos por bremsstrahlung por partícula aceleradas. [4]

Esto refuerza la idea de que los electrones secundarios son acelerados por los campos eléctricos atmosféricos produciendo otras partículas secundarias.

En el Laboratorio de Física Cósmica de Chacaltaya se observa también el fenómeno del incremento de las cuentas de partículas durante las tormentas eléctricas. Es muy frecuente que antes que se produzca una descarga eléctrica atmosférica, se produzcan descargas entre los equipos y tierra que acompañan el incremento en las cuentas. Esto se debe a que la tierra común a los equipos, es flotante respecto al suelo y las paredes.

Como ya se señaló, la forma de distinguir si un incremento en las cuentas se debe a señales electrónicas inducidas en el circuito por descargas o no, es el detector ciego. En tanto que el cable coaxial abierto es un detector de descargas eléctricas atmosféricas. Si se produce una triple coincidencia entre "pulsos" en los detectores, el cable coaxial y el detector ciego significa que es una señal por inducción electromagnética. Si la señal aparece en los detectores sin su contraparte en el detector ciego significaría que hubo un incremento en el número de partículas.

Se han analizado los registros de INCA de agosto de 2001 a marzo de 2002. Se seleccionaron un total de 78 días de registros que están completos y no muestran ningún tipo de errores.

Un día de datos es una muestra estadística. En los registros de un día completo, se cuenta el número n de "pulsos" $> 2\sigma$ ($\sim 98\%$ de confianza) tanto para los electrones (detectores L), para los muones (detectores), para los chubascos, así como para el cable y para el detector ciego. σ es la desviación estándar de la muestra.

Se calcula la probabilidad por segundo de que se produzca un "pulso":

$$p_i = \frac{n_i}{86400}$$

El subíndice i se refiere a los registros de los detectores L, μ , chubascos, cable o detector ciego.

Se calcula la probabilidad de una coincidencia triple puramente casual entre un tipo de partículas (electrones, muones o chubascos), el cable y el detector ciego, como:

$$P = \prod_{i=1}^3 p_i$$

TABLA 1

TRIPLES COINCIDENCIAS: ELECTRONES-CABLE-DET. CIEGO, MUONES-CABLE-DET. CIEGO, CHUBASCOS-CABLE-DET. CIEGO.

Fecha	Variables	Cab.- D.ciego	Cab.-D.ciego- Elec.	Cab.-D.cieg- Mu.	Cab.-D.cieg- Chub.
230202	Esperado	5	0	0	0
	D. Estándar	2.32	0.055	0.02	0.319
	Medido	15	3	2	1
	Normalizado	4.3	54.5	100.0	3.1
240202	Esperado	9	0	0	0
	D. Estándar	3.06	0.06	0.028	0.4
	Medido	19	4	4	0
	Normalizado	3.3	66.7	142.9	0.0
260202	Esperado	6	0	0	0
	D. Estándar	2.44	0.08	0.014	0.33
	Medido	9	3	1	0
	Normalizado	1.2	37.5	71.4	0.0
270202	Esperado	2	0	0	0
	D. Estándar	1.31	0.026	0.013	0.18
	Medido	11	8	5	0
	Normalizado	6.9	307.7	384.6	0.0
280202	Esperado	16	0	0	0
	D. Estándar	3.98	0.066	0.07	0.557
	Medido	34	8	7	1
	Normalizado	4.5	121.2	100.0	1.8
10302	Esperado	18	0	0	0
	D. Estándar	4.284	0.077	0.029	0.576
	Medido	24	0	1	0
	Normalizado	1.4	0.0	34.5	0.0
20302	Esperado	82	0	0	1
	D. Estándar	9.03	0.588	0.03	1.205
	Medido	80	13	1	2
	Normalizado	-0.2	22.1	33.3	0.8
30302	Esperado	0	0	0	0
	D. Estándar	0.52	0.014	0.004	0.07
	Medido	11	7	6	0
	Normalizado	21.2	500.0	1500.0	0.0

Esta obedece a una distribución binomial. Entonces, el número de coincidencias puramente casuales esperado durante un registro diario es:

$$E_b = 86400P$$

con una desviación estándar:

$$\sigma_b = 86400P(1 - P)$$

Contamos las coincidencias N y las comparamos con las esperadas. Tomamos la diferencia en unidades de

la desviación estándar como medida de la discrepancia entre lo esperado y lo observado:

$$D = \frac{N - E_b}{\sigma_b}$$

En la Tabla 1 mostramos algunos ejemplos de los resultados de las coincidencias entre el cable, el detector ciego y electrones, muones o chubascos respectivamente.

En las figuras 3,4 y 5, se muestran los histogramas del número de coincidencias en función de las desviaciones respecto a lo esperado, en unidades de desviación

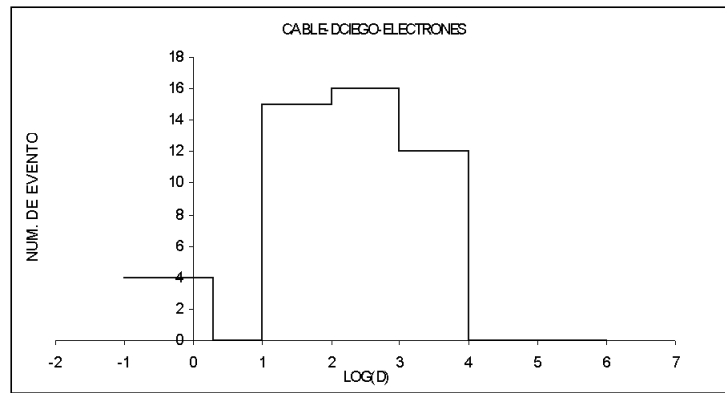


Figura 3. Coincidencias entre detector ciego, el cable y los electrones.

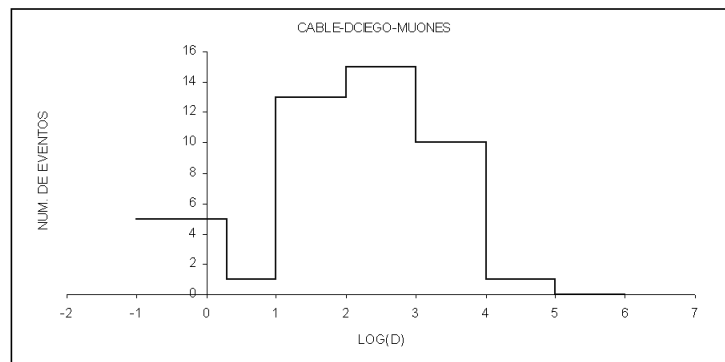


Figura 4. Coincidencias entre muones, cable y detector ciego.

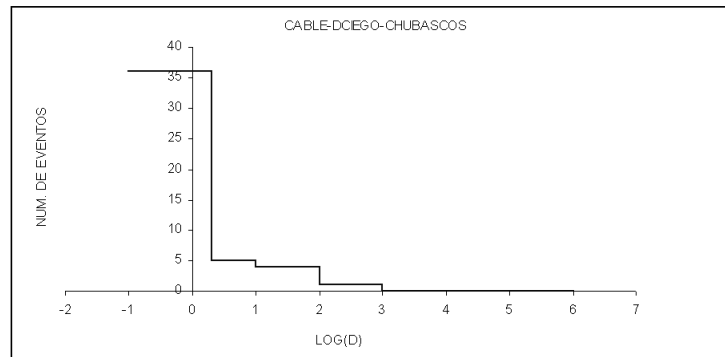


Figura 5. Coincidencias entre Chubascos, cable y detector ciego.

estándar agrupadas por décadas del $\log D$.

En el caso de los electrones el 91.5% de las coincidencias tienen un valor $D > 2$. En el caso de los muones, el 88.9% tiene $D > 2$. En el caso de los chubascos, sólo el 21.7% de los casos tiene un $D > 2$. Esto último significa que una descarga eléctrica atmosférica, la mayor parte de las veces (78.3%), no influye en el registro de los chubascos.

Consideremos ahora señales en los registros de partículas que no son vistas por el detector ciego. Nuestra

hipótesis es que en este caso los detectores estarían viendo un exceso de partículas secundarias. Esto debe ocurrir en el caso de las señales de larga duración. Por lo que el análisis se hace solamente durante la ocurrencia de este tipo de señales. Queremos ver las veces que se produce un número de anticoincidencias superior a las estadísticamente esperadas. La probabilidad P de que se produzca una anticoincidencia entre los registros de los detectores y el detector ciego será:

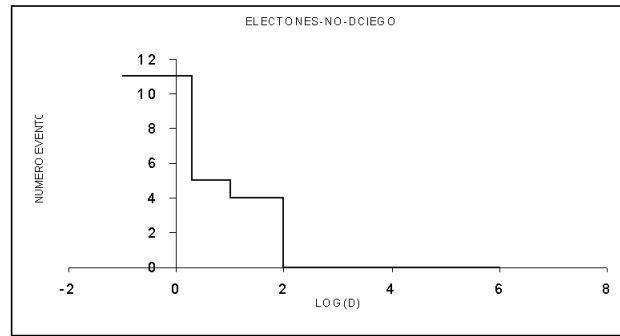


Figura 6. Anticoincidencias Electrones - no Det. Ciego.

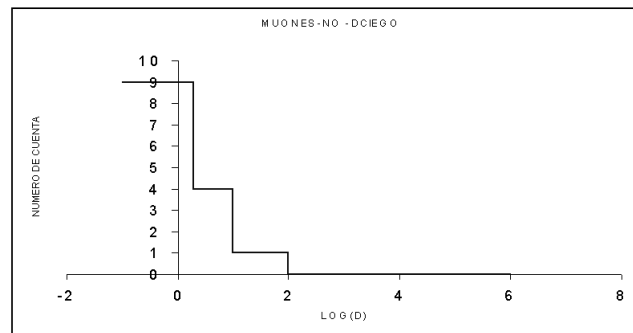


Figura 7. Anticoincidencias Muones - no Det. Ciego.

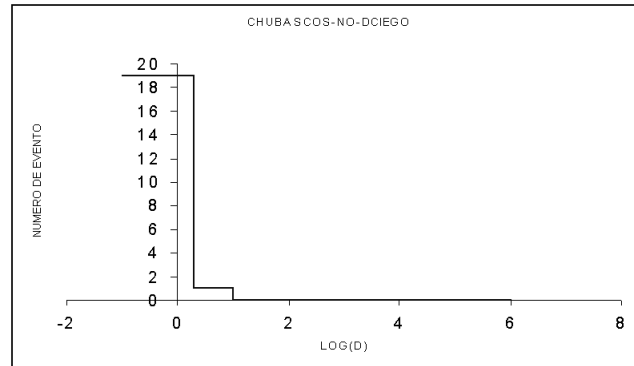


Figura 8. Anticoincidencias: Chubascos - no Det. Ciego.

$$P = p_i(1 - p_{DC})$$

Donde p se calcula sobre un día completo, como en el caso anterior. El subíndice i se refiere al tipo de partículas (electrones, muones o chubascos) y el subíndice DC se refiere al detector ciego. Esta probabilidad obedece, como en el caso anterior, a una distribución binomial. Se eligieron, de la observación de los registros, 20 señales de larga duración. Se tomó la duración de la señal T_S para cada una de ellas. Se calcula el número de coincidencias esperadas puramente casuales durante el intervalo T_S :

$$E_b = T_S P$$

Se calcula la desviación estándar de la distribución

binomial:

$$\sigma_b = T_S P(1 - P)$$

En las tablas 2 y 3, mostramos los resultados.

Como en el caso anterior, se han contado las anticoincidencias N y las comparamos con las esperadas. Tomamos la diferencia en unidades de la desviación estándar como medida de la discrepancia entre lo esperado y lo observado.

$$D = \frac{N - E_b}{\sigma_b}$$

En las figuras 6, 7, 8, se muestran los histogramas del número de anticoincidencias para electrones, muones y

TABLA 2

ANTICOINCIDENCIAS: ELECTRONES-NO DET.CIEGO, MUONES-NO DET.CIEGO, CHUBASCOS-NO DET.CIEGO.

No	Fecha	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
1	201101	Esperado	8	2	541
		D Estándar	2.79	1.28	21.63
		Medido	46	0	556
		Normalizado	13.6	-1.6	0.7
2	180102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	14	75
		D Estándar	0.14	3.6	8.11
		Medido	0	467	62
		Normalizado	0.0	125.8	-1.6
3	180102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	14	75
		D Estándar	0.14	3.6	8.11
		Medido	0	540	55
		Normalizado	0.0	146.1	-2.5
4	180102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	23	125
		D Estándar	0.18	4.73	10.46
		Medido	0	775	122
		Normalizado	0.0	159.0	-0.3
5	200102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	5	91	499
		D Estándar	2.22	9.42	20.33
		Medido	0	1236	457
		Normalizado	-2.3	121.5	-2.1
6	250102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	1	243
		D Estándar	0.29	1.07	14.6
		Medido	0	1	238
		Normalizado	0.0	0.0	-0.3
7	300102	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	1	0	550
		D Estándar	0.9	0.44	19.79
		Medido	18	2	463
		Normalizado	18.9	4.5	-4.4
8	20202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	312
		D Estándar	0.44	0.23	16.53
		Medido	6	1	339
		Normalizado	13.6	4.3	1.6
9	20202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	125
		D Estándar	0.28	0.15	10.46
		Medido	0	0	120
		Normalizado	0.0	0.0	-0.5

chubascos con el detector ciego, en función de las desviaciones respecto a lo esperado, en unidades de desviación estándar agrupadas por décadas del $\log D$.

Para los electrones, un 45% de los casos muestra un valor de $D > 2$. En el caso de los muones un 25% de los casos tiene $D > 2$. Para los chubascos sólo un 5% tiene

TABLA 3
CONTINUACIÓN DE LA TABLA 2.

10	30202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	18	1578
		D Estándar	0	4.2	37.23
		Medido	0	14	1567
		Normalizado	0	-1.0	-0.3
11	30202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	2	146
		D Estándar	0	1.33	11.31
		Medido	0	118	103
		Normalizado	0	87.2	-3.8
12	160202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	545
		D Estándar	0	0.315	21.89
		Medido	0	0	531
		Normalizado	0	0.0	-0.6
13	170202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	1	533
		D Estándar	0.563	0.7625	21.76
		Medido	5	6	513
		Normalizado	8.9	6.6	-0.9
14	260202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	24.2
		D Estándar	0	8.45	14.57
		Medido	0	1	263
		Normalizado	0	0.1	16.4
15	260202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	1	604
		D Estándar	0	0.72	23.04
		Medido	0	3	622
		Normalizado	0	2.8	0.8
16	280202	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	269
		D Estándar	0.33	0.45	15.26
		Medido	0	0	258
		Normalizado	0.0	0.0	-0.7
17	10302	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	368
		D Estándar	0.17	0.33	17.96
		Medido	0	0	373
		Normalizado	0.0	0.0	0.3
18	30302	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	0	0	401
		D Estándar	0.37	0.52	18.63
		Medido	0	0	421
		Normalizado	0.0	0.0	1.1
19	50302	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	409	2	1751
		D Estándar	19.33	1.31	39.14
		Medido	2428	1	1736
		Normalizado	104.4	-0.8	-0.4
20	80302	Variables	Mu no D.Ciego	Electr. no D.Ciego	Chub. no D.Ciego
		Esperado	126	128	1334
		D Estándar	11.18	11.26	34.96
		Medido	681	1	1290
		Normalizado	49.6	-11.3	-1.3

un $D > 2$.

6. CONCLUSIONES

Lo primero que se observa es que las señales de corta duración, inducidas por descargas eléctricas atmosféricas, se dan con mucha frecuencia para los registros de electrones y muones, no tanto para los chubascos. En este trabajo se presenta un análisis muy preliminar de las anticoincidencias entre detectores de electrones (L), muones (μ) o el disparo de chubascos del BASJE respectivamente con el detector ciego.

Los disparos de los chubascos no han mostrado señales de alto aumento de eventos que puedan ser comparados con los observados por EAS TOP [4] simplemente por el hecho de que nuestro análisis se refiere al estudio de un total de sólo 78 días, en comparación con los varios años de registros observados por EAS TOP.

La Figura 6 nos muestra que para el caso de las anticoincidencias entre los detectores L con el detector ciego, existe un número estadísticamente muy significativo (45%) de señales de larga duración con anticoincidencias superiores a las esperadas. El número de eventos de la misma naturaleza entre los muones y detector ciego (Figura 7) es también significativo (25%). En el caso de los chubascos (Figura 8) se da un solo caso en 20 (5%).

Vemos, sin embargo en las tablas 2 y 3, que sólo 6 eventos (30%) muestran una señal fuerte de electrones en anticoincidencia con los muones y con el detector ciego. Estos eventos serían una prueba de que, efectivamente, los electrones son acelerados por el campo eléctrico atmosférico durante las tormentas eléctricas, como sostiene Gurevich. En estos eventos la ausencia de eventos de muones se entiende porque el umbral de los detectores de muones es de aproximadamente 600MeV y, en consecuencia, los muones mismos no podrían ser acelerados a esos niveles de energía por el campo eléctrico atmosférico.

Se observan también dos casos (10%) de eventos de muones que no tienen el correspondiente aumento en electrones, pero que sí están en anticoincidencia con el detector ciego. Esto probablemente se deba a efectos inducidos en la electrónica. Lo mismo para los 3 eventos (15%) en que ambos, electrones y muones, están en anticoincidencia con el detector ciego.

Así, al margen de este tipo de señales inducidas, el estudio estadístico de las anticoincidencias entre electrones y detector ciego sin contraparte de muones muestran que existe un número significativo de señales de larga duración que pueden corresponder al mecanismo de producción de partículas adicionales secundarias por electrones acelerados por el campo eléctrico atmosférico durante una tormenta eléctrica.

Estos son resultados preliminares. Una mayor prueba de cuanto decimos en estas conclusiones se darán en un próximo trabajo sobre la base de analizar una mayor cantidad de datos.

REFERENCIAS

- [1] Search for Gamma Ray Bursts at Chacaltaya, S. Vernetto, *Nuovo Cimento* 24C, 631, Proc. Chacaltaya Meeting on Cosmic Rays Physics, Julio 2000.
- [2] Search for Gamma Ray Bursts in the GeV energy range at Mt. Chacaltaya (5200 m), *Il Nuovo Cimento*, 20C, 2, 137 (1997)
- [3] Wilson C.T.R, *Proc. Cambridge Philos. Soc.*, 22, 534, 1925.
- [4] The EAS counting rate during thunderstorms, S. Vernetto, 27th ICRC, 2001.
- [5] Gurevich A.V. et al., *Phys. Lett. A*, 165, 463, 1992.
- [6] Gurevich A.V. et al., *Phys. Lett. A*, 254, 79, 1999.