

Sobre el detector BATATA

Laboratorio Avanzado - Detección de Rayos Cósmicos

Favio Vázquez^{*1}, Susana Marín^{**2}, Francisco Huante^{***1}, and Antonio Rojas^{****3}

¹*Instituto de Ciencias Nucleares, Universidad Nacional Autónoma de México*

²*Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México*

³*Instituto de Física, Universidad Nacional Autónoma de México*

Discusión del detector

1.1 Geometría del detector

BATATA (Buried Array Telescope at Auger) es un detector prototipo que se añadió a AMIGA para cuantificar la contaminación electromagnética, y medir el radio entre la componente muónica y electromagnética proveniente de las lluvias de rayos cósmicos como una función de la profundidad subterránea. El detector se instaló en el arreglo AMIGA y se seleccionaron lluvias de aire extensas de alrededor de 10 PeV con un arreglo triangular de 200 m de lado compuesto con estaciones Cherenkov de superficie 3+2 de Auger.

El detector está compuesto por tres planos de doble capa horizontales enterrados a diferentes profundidades. Cada capa en un plano consiste en 49 tiras rectangulares de 2 m de largo, 4 cm de ancho y un 1 cm de grosor. Las dos capas del plano están rotadas 90° para producir un plano $x - y$ efectivo con 4,1 cm \times 4 cm píxeles cubriendo un área de 4m². Cada plano $x - y$ está adentro de una cubierta hecha de fibra de vidrio. Dos tapas permiten el acceso a las tarjetas del “front-end” y los acoplamientos entre los tubos fotomultiplicadores y las galletas de fibra óptica. Las tapas pueden ser desmontadas para inspección y servicio. Más aún, las cubiertas y tapas son lo suficientemente versátiles para permitir la adición de nuevos componentes y cableados no especificados en el diseño original. El consumo de potencia de BATATA es menor que 200 W. Ésta es suministrada por un arreglo de 20 paneles solares con sus correspondientes baterías, que aseguran una operación continua aún en los meses de invierno donde no hay mucho sol.

Debajo se muestran algunas imágenes de la geometría del detector,

*favio.vazquezp@gmail.com
**susyma3005@gmail.com
***francisco.huante@correo.nucleares.unam.mx
****tinyplack@gmail.com

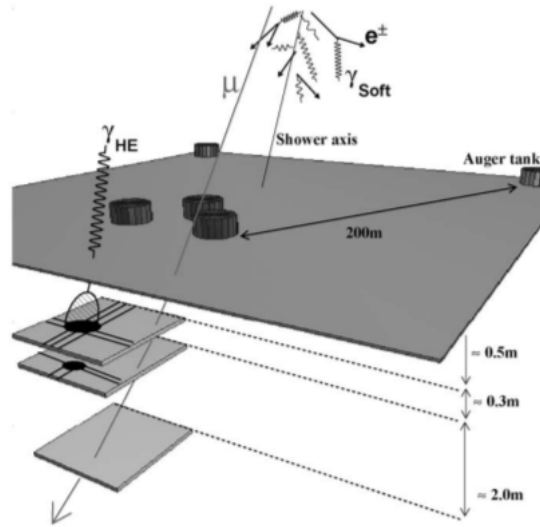


Figura 1: Tanques tipo Auger en la superficie y centelladores de plásticos del detector y su principio de trabajo. Tomada de [1].

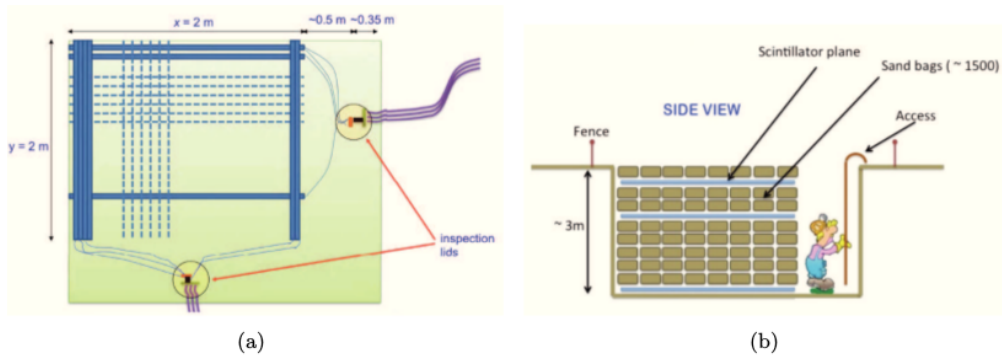


Figura 2: (a) Vista esquemática de la disposición de los centelladores, fibras ópticas, tubos fotomultiplicadores y electrónica de front-end adentro de la cubierta de cualquiera de los tres planos del detector. (b) Vista lateral esquemática de la disposición del detector. Tomada de [2].

1.2 El centellador

Los centelladores sólidos han sido utilizados extensivamente en los detectores de física de partículas, y en particular estos han sido los detectores preferidos para calorímetros de muestreo. Algunas características fueron requeridas para los centelladores que se utilizaron en la construcción de BATATA, entre ellas:

- Buena resolución energética: La salida de luz debía ser suficiente para que la eficiencia de detección para los muones cruzando una tira fuera mayor a 90 %.
- Uniformidad: Para asegurar que era posible corregir para la dependencia de posición de los eventos de lluvia, la salida de luz de las tiras centelladoras no debía variar más de 30 % con respecto a la respuesta nominal a esa posición.
- Atenuación: La luz observada desde los lados cercanos y lejanos de las tiras no debía diferir más que un factor de 5.

- Temporización rápida: Los detectores de centelleo debían tener propiedades intrínsecas que permitieran temporización en nanosegundos.
- Flexibilidad en la lectura de salida.
- Construcción simple y robusta: Que el ensamblado de las tiras de centellador sólidas en los módulos del detector requiriera poco hardware y experiencia.
- Estabilidad a largo plazo: La salida de luz del sistema centellador debía tener una estabilidad a largo plazo con un tiempo de decaimiento de al menos 10 años.
- Bajo mantenimiento: El sistema debía ser bastante robusto y requerir bajo mantenimiento.
- Confiabilidad: No deberían existir fallas en los centelladores que no puedan ser reparados externamente. Se debería poder corregir el decrecimiento en la salida de luz usando datos de calibración.

Las tiras centelladoras son tipo MINOS [3]. Están hechos de poliestireno, dopados con los flúor PPO (1 %) y POPOP (0.030 %). Este compuesto es derretido y extruido en la forma de una barra rectangular con una ranura angosta a lo largo del centro de uno de los lados anchos. La profundidad de la ranura es lo suficiente para contener una fibra óptica de 1.5 mm de diámetro. Una fina capa exterior de TiO_2 (0.25 mm) recubre la barra centelladora casi totalmente excepto por una pequeña región cerca de la ranura y los extremos laterales, para prevenir que luz escape y se incremente la probabilidad de captura por la fibra óptica. Cada tira de centellador tiene 4.1 cm de ancho, 1 cm de grosor y 2 m de largo.

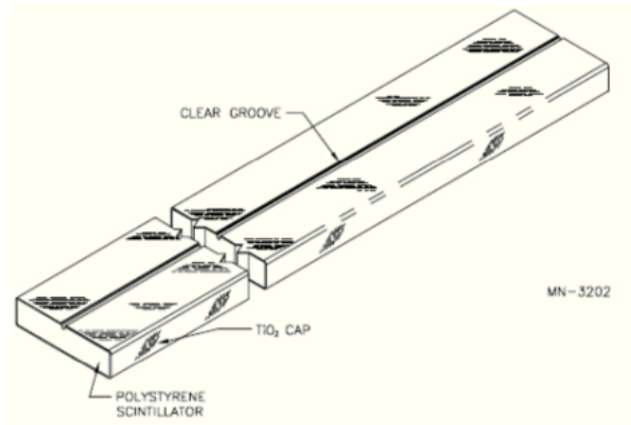


Figura 3: Vista esquemática de una tira centelladora con ranura y cobertura reflectiva. Tomada de [2].

1.3 Fibra óptica

Para garantizar una salida de luz aceptable, las fibras ópticas producidas por Bicon y Kuraray fueron probadas en el laboratorio. Se escogió para el detector una fibra óptica de desplazamiento de longitud de onda (WLS¹ en inglés). Cuando una partícula cargada viaja a través de la barra centelladora, una fracción de la luz producida es colectada por la fibra óptica y re-emitida a una longitud de onda diferente. Cada una de las capas x o y de BATATA necesita al menos 141.4 m de fibra óptica, por lo tanto el requerimiento total de fibra óptica del detector es de 848-4 m.

¹Wavelength shifting fibers.

El acoplado de la fibra óptica al tubo fotomultiplicador requiere de un pulido muy fino de la superficie que toca el vidrio en el final del fotocátodo. Para este propósito se usó un cuchillo de hojilla que proveyera un corte eficiente, y se necesitó mucho cuidado para evitar que se rompieran las fibras. Luego del cortado se requirió un fino pulido para asegurar una punta plana y perpendicular al eje de la fibra. Este paso fue muy importante debido a que una punta inclinada o sucia no puede ser acoplada al tubo fotomultiplicador sin que resulte en una considerable pérdida de luz. Se hicieron muchas pruebas para determinar el buen funcionamiento de las fibras, y se limpiaron y pulieron las fibras por última vez para asegurar una buena conexión con los tubos fotomultiplicadores. Debajo se muestran las puntas de las fibras luego de cada etapa.

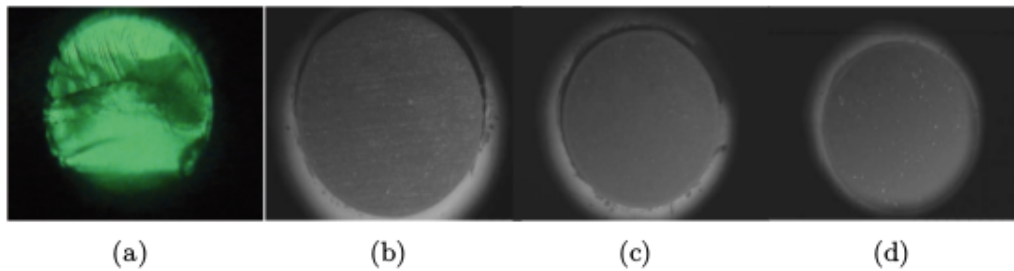


Figura 4: Vista frontal de una fibra obtenida con un microscopio electrónico para los diferentes pasos del pulido. (a) luego del cortado; (b) luego del pulido con una lija de 2000-grit; (c) luego del pulido con una lija de $3\ \mu\text{m}$; (d) luego de un segundo pulido con una lija de $3\ \mu\text{m}$. Tomada de [2].

1.4 Electrónica

La luz de centellador proveniente de cada capa es colectada por un tubo fotomultiplicador de 64 píxeles (H7546B). La electrónica funciona en modo de contador y las señales son transmitidas a la superficie de la etapa de adquisición de datos usando una señalización diferencial de bajo voltaje. Una señal lógica es producida solo cuando la altura del pulso analógico es mayor que un umbral dado, y los umbrales de cada canal puede ser ajustado independientemente a tiempo real. Cualquier señal sobre el umbral abre una ventana de colección de datos de $2\ \mu\text{s}$ GPS. Los datos, incluyendo la señal y el fondo, se adquieren con un sistema de tarjetas FPGA Spartan y una computadora TS7800 de una sola tarjeta. El código que controla el flujo de los datos en el nivel de FPGA fue escrito en VHDL (VHSIC - Very High Speed Integrated Circuits-hardware description language). Las tarjetas de front-end tienen $12,3'' \times 9,3''$ y comprenden 64 canales, pero solo se usan 49. Los tubos fotomultiplicadores multinodo y su suministro de alto voltaje están localizados en la tarjeta. Cada canal contiene:

- Una etapa de amplificación que usa un AD8009 operado con un factor de amplificación cercano a 6.
- Una etapa de discriminación, que usa un MAX9201 de alta velocidad, baja potencia y comparador cuádruple con retraso de propagación rápida (7ns typ a un overdrive de 5mV) conectado en modo bipolar.
- Un convertidor digital-analógico TLC7226C para colocar independientemente un voltaje de discriminación en cada canal.
- Un driver de línea diferencial de alta velocidad SN55LVDS31 para transformar la salida del discriminador en una señal diferencial.

Debajo se muestra una vista esquemática de la tarjeta electrónica correspondiente a una sola capa, también se indican los componentes principales. Cuando los eventos de lluvias llegan al detector puede disparar al menos 10 canales en una escala temporal de microsegundos, lo cual es una tasa mucho más grande que el fondo en kHz del detector debido a la baja energía de los rayos cósmicos y radioactividad natural.

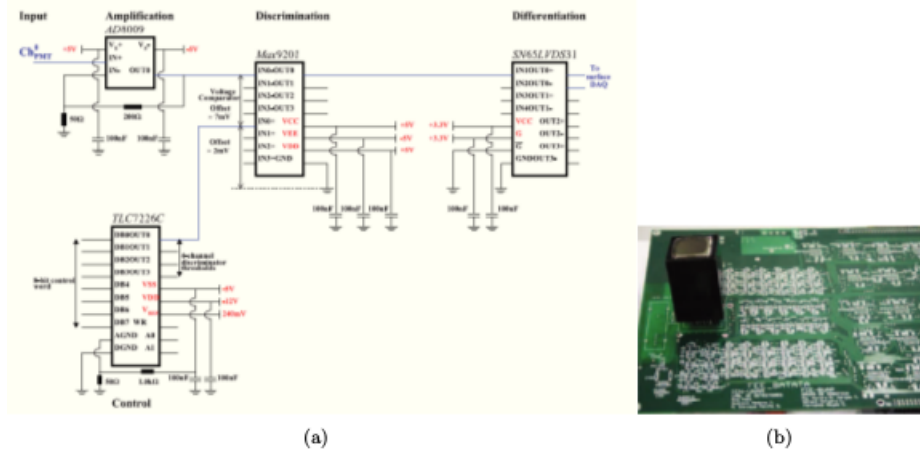


Figura 5: (a) Diagramas de canales de front-end, exceptuando el amplificador, cada dispositivo controla 4 canales. Entonces en una tarjeta de front-end existen 16 de esos componentes y 64 amplificadores. (b) Vista general de la tarjeta de frond end con el tubo fotomultiplicador multiánodo. Tomada de [2].

1.5 Tubo fotomultiplicador

BATATA usa fotomultiplicadores multiánodos Hamamatsu H7546B. Las principales características de estos dispositivos son:

- 8×8 con un tamaño de ánodo $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm}$.
- Área efectiva de $18.1 \text{ mm} \times 18.1 \text{ mm}$.
- Respuesta de alta velocidad.
- Bajo cross-talk (2 % típicamente).
- Alta sensibilidad del cátodo.

Críticas y propuestas al detector

2.1 Geometría del detector

2.2 El centellador

2.3 Fibra óptica

2.4 Electrónica

2.5 Tubo fotomultiplicador

Conclusiones

Referencias

- [1] R. Alfaro et al., *Buried plastic scintillator muon telescope (BATATA)*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. 617, pp. 511-514, 2010.
- [2] E. Trovato, *Perfomance study of the muon prototype detector at the Pierre Auger Observatory*, Tesis de Doctorado, Università Degli Studi Di Catania, 2011.
- [3] The MINOS Collaboration, *MINOS Technical Desing Report*, Documento interno FNAL, NuMI-L-337, 1998.