

## Reconstrucción monocular e híbrida de la energía del CLF ubicado en el Observatorio Pierre Auger

María Monasor<sup>1,2</sup>, Dolores Rodríguez-Frías<sup>1</sup>, Fernando Arqueros<sup>2</sup>, Julio Gutiérrez<sup>1</sup>, Diego García-Pinto<sup>2</sup>, Daniel Vega<sup>1</sup>, Raúl Gómez-Herrero<sup>1</sup> y Luis del Peral<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Dpto. Física, Universidad de Alcalá, Facultad de Ciencias, Alcalá de Henares; [maria.monasor@uah.es](mailto:maria.monasor@uah.es)

<sup>2</sup> Dpto. Física Atómica, Molecular y Nuclear, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid;

### I. INTRODUCCIÓN

El Observatorio Pierre Auger, situado en la Pampa Amarilla (Argentina), es un detector híbrido de rayos cósmicos de ultra-alta energía que pretende dar respuesta al origen y naturaleza de estas partículas. Actualmente se está finalizando su construcción, aún cuando ya se están tomando datos reales. En su estadio final constará de un *array* de superficie de 3000 km<sup>2</sup>, formado por 1500 tanques de agua hiperpura, encargados de detectar las partículas producidas en las cascadas atmosféricas generadas por rayos cósmicos de ultra-alta energía, y de 4 sistemas de telescopios situados en los límites del *array* que detectarán la luz de fluorescencia producida por las partículas de la cascada a su paso por la atmósfera<sup>1</sup>.

En el centro del *array* y prácticamente equidistante a 3 de los 4 sistemas de telescopios se sitúa el CLF (*Central Laser Facility*), una estación que alberga un láser despolarizado de luz UV. Su longitud de onda es de 355nm por encontrarse ésta centrada en el espectro UV de fluorescencia producido por las cascadas atmosféricas. Los pulsos de luz emitidos son dispersados en la atmósfera y pueden ser detectados por los telescopios de fluorescencia produciendo una señal similar a la que originan las cascadas atmosféricas. Además, el CLF está colocado junto a uno de los tanques del *array* de superficie de tal manera que algunos de los disparos son divididos y una parte de la luz es conducida a través de una fibra óptica al tanque.

### II. RECONSTRUCCIÓN DE LA ENERGÍA

Este trabajo se ha centrado en algunas de las múltiples aplicaciones del CLF: **reconstrucción geométrica**; puesto que la dirección de cada trayectoria es conocida, permite verificar y depurar los procedimientos usados en la reconstrucción geométrica de las cascadas atmosféricas. **Resolución fotométrica**; la energía de cada láser puede ser reconstruida de forma similar a las cascadas puesto que en ambos casos se usa la ganancia del detector y los parámetros atmosféricos. **Monitorización de la atmósfera**; permite determinar la concentración de aerosoles para poder ser comparada con otros sistemas de calibración (LIDAR, ...).

Todo el procedimiento de reconstrucción se desarrolla con el software oficial del observatorio y se realiza en varias etapas. En un primer paso se transforma la señal recogida en el telescopio a número de fotones incidentes a partir de las constantes de calibración de los telescopios (aprox. 4.5ph/FADC). A partir de un ajuste de la señal recogida se reconstruye el denominado plano de la cascada (fig.1). Este plano se caracteriza por su

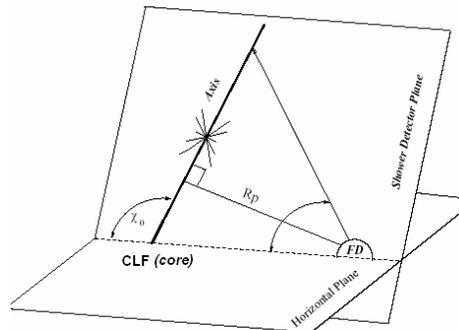


Figura 1. Geometría del proceso.

vector normal ( $\theta_{SDP}$ ,  $\phi_{SDP}$ ). El segundo paso en la reconstrucción geométrica es obtener el eje de la cascada que viene determinado por los parámetros  $R_p$ ,  $\chi_0$  y  $T_0$  (instante en el que la cascada se encuentra a una distancia igual a  $R_p$ ) (fig.1). Para ello se utiliza la diferencia en los tiempos de llegada de la señal (reconstrucción monocular) y la señal recogida en el tanque de superficie (reconstrucción híbrida). Finalmente, utilizando la geometría reconstruida, se corrige el número de fotones recogidos de la atenuación y dispersión molecular y de aerosoles<sup>2</sup> para obtener el número de fotones en función de la altura lo que permite, tras el ajuste de este perfil, reconstruir la energía del láser.

### III. RESULTADOS

Se han utilizado los dos métodos de reconstrucción geométrica propuestos (monocular e híbrido). Se muestran los resultados obtenidos para el error en la reconstrucción de los parámetros geométricos (tabla 1) y de la energía (tabla 2). En la figura 2 se muestra el error en la reconstrucción de la energía para distintos valores de  $l_{Mie}$  (parámetro dependiente de la concentración de aerosoles). Para la reconstrucción de la energía se ha utilizado el valor de  $l_{Mie}$  que permite ajustarla mejor al valor real. Según se puede ver en la figura 2 el valor elegido es  $l_{Mie} = 25$  km.

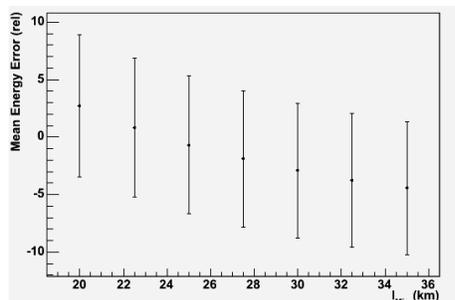


Figura 2. Variación del error en la reconstrucción de la energía con la concentración de aerosoles.

Tabla 1. Comparación de la reconstrucción geométrica monocular e híbrida. Las distribuciones que se muestran son para los errores de los parámetros (valor reconstruido – valor real).

	Reconstrucción Monocular		Reconstrucción Híbrida	
	Media	RMS	Media	RMS
$\theta_{SDP}$ (deg)	0.08	0.09	-0.07	0.09
$\phi_{SDP}$ (deg)	0.05	0.02	0.04	0.02
Core ( <i>Northing</i> ) <sup>3</sup> (m)	-132.5	1094	-20.72	36.19
Core ( <i>Easting</i> ) (m)	-258.5	1376	0.98	78.40
$R_p$ (m)	-182.3	1491	-11.53	88.77
$\chi_0$ (deg)	0.70	2.77	0.20	0.17

Tabla 2. Comparación de la reconstrucción de la energía fijando la geometría del láser, con reconstrucción monocular e híbrida. Distribución  $(E_{reconstruida} - E_{real}) / E_{real} * 100$ .

	Sin reconstrucción geométrica		Reconstrucción Monocular		Reconstrucción Híbrida	
	Media	RMS	Media	RMS	Media	RMS
Energía (%)	-0.68	5.98	-0.76	18.90	1.31	8.23

#### Agradecimientos:

Los autores agradecen al Ministerio de Ciencia y Tecnología la concesión del proyecto coordinado FPA2003-08733 entre la UA y la UCM dentro del marco del proyecto internacional Pierre Auger. María Monasor agradece a la UA y a la Consejería de Educación y Ciencia de la Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha la concesión de una beca FPI.

1www.auger.org

2Dispersión molecular: scattering Rayleigh; dispersion por aerosoles: scattering Mie.(Introduction to Ultrahigh Energy Cosmic Ray Physics, Pierre Sokolsky, 1989).

3Core: punto de intersección del eje con el suelo. Coordenadas: sistema UTM, zona H19.