

Caracterización y funcionamiento en campo magnético de los fotomultiplicadores del RICH del experimento AMS

P. Aguayo¹, J. Alcaraz¹, J. Berdugo¹, J. Casaus¹, C. Delgado¹, C. Díaz¹, C. Fernández¹, L. García-Tabares¹, F. Giovacchini¹, E. Lanciotti¹, C. Mañá¹, J. Marín¹, G. Martínez¹, E. Sánchez¹, I. Sevilla¹, A. Torrentó¹, J. Yáñez¹

¹ Dpto. Fusión y Física de Partículas. Ciemat. Madrid.

AMS-02 es un espectrómetro magnético preparado para operar en el espacio a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS) durante un periodo de al menos tres años, con objeto de realizar un estudio exhaustivo sobre la composición de los rayos cósmicos primarios en un amplio rango de energía, y detectar materia oscura y antimateria¹.

El detector AMS-02 consta de varios subdetectores, entre los que se encuentra el RICH, capaz de determinar la velocidad de las partículas con gran precisión y el valor de su carga, además de discriminar entre leptones y hadrones, por medio del efecto Cerenkov². La luz del cono Cerenkov se detecta mediante un plano de 680 fotomultiplicadores modelo Hamamatsu R7600-00-M16. Estos sensores tienen una resolución intrínseca del 50% que permite el conteo de fotones (determinación de la carga) y una estructura pixelada que aumenta la resolución espacial del plano de detección (determinación de la velocidad). Además cumplen los requisitos de funcionamiento y seguridad en el espacio.

La caracterización de los fotomultiplicadores, es decir, la determinación de la amplificación de la señal o ganancia, se ha realizado midiendo la respuesta del fotomultiplicador cuando incide un único fotón. El dispositivo experimental utilizado consta de una caja estanca a la luz en cuyos extremos se han colocado un fotomultiplicador y un LED pulsado de forma controlada que genera luz de baja intensidad equivalente a la superposición de la incidencia de 0, 1, 2, ..., n fotones. La carga recogida en el ánodo se digitaliza con un conversor analógico-digital (ADC).

La distribución de la carga en cuentas de ADC que se obtiene típicamente es la superposición de las señales generadas por 0, 1, 2, ..., n fotones (figura 1).

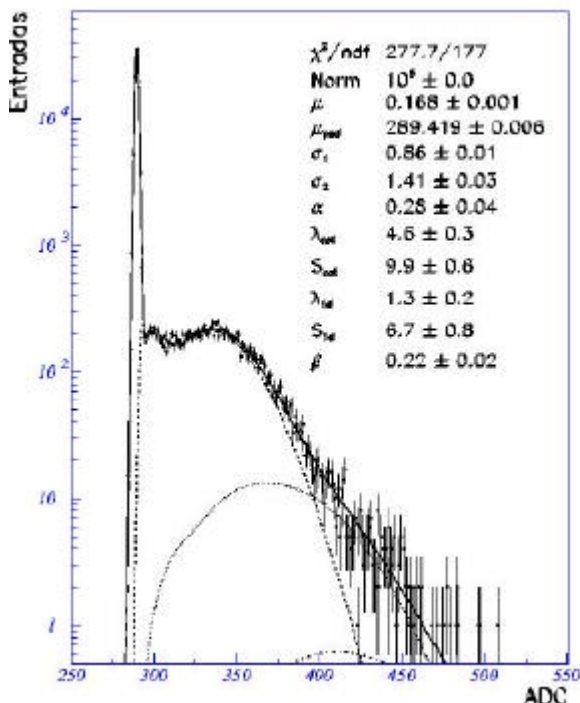


Figura 1. Señal en cuentas de ADC típica recogida en el ánodo con el ajuste de la función [1] superpuesto.

resulta satisfactoria, como se ve en la figura 1, donde además del ajuste se muestran las contribuciones de 1, 2 y 3 fotones (líneas discontinua, punteada y con puntos y rayas, respectivamente).

La determinación de la ganancia para un fotón se realiza ajustando la distribución anterior con una función basada en la propagación estadística de los electrones a través de la cadena de díodos, cuya expresión es

$$P(x) = \sum_{i=0}^n C_i P_i \quad [1]$$

donde los coeficientes $C_i = e^{-\lambda} \lambda^i / i!$ expresan la probabilidad de que incidan i fotones y la función P_0 describe el ruido electrónico (o pedestal) con una distribución gaussiana.

Las funciones P_i describen las señales obtenidas cuando inciden i fotones, y se han caracterizado mediante la función $P(x|\lambda, s)$, que ha sido especialmente desarrollada para este propósito y cuya expresión es³:

$$P(x|\lambda, s) = N(\lambda, s) \frac{\lambda^{x/s} (\lambda/s)^{1/2}}{(\lambda/s + 1)} \quad x, \lambda, s \in \mathbb{R}^+$$

donde $N(\lambda, s)$ es el factor de normalización y λ y s (factor de escala) son parámetros reales que están correlacionados con la ganancia Q y la anchura ϕ de la señal. La descripción de la distribución de señal obtenida con la función [1]

Se ha aplicado este método de caracterización a 225 fotomultiplicadores, obteniendo unos valores de ganancia para un fotón típicamente del orden de $1.5 \cdot 10^6$, con una resolución $s/Q \approx 0.5$, con lo que quedan comprobadas las capacidades de estos fotomultiplicadores para amplificar la señal y contar fotones. La uniformización de los distintos valores de ganancia al valor típico se consigue en el intervalo de voltaje 750-900 V.

El imán superconductor de AMS-02 hace que en el plano de detección del RICH existan valores de intensidad de campo magnético que pueden afectar la respuesta de los fotomultiplicadores, aunque estos estén apantallados individualmente. Los valores máximos de campo magnético apantallado que se esperan son $B_x \approx 150$ G, $B_y \approx 30$ G y $B_z \approx 10$ G.

Se ha realizado una caracterización de la respuesta del fotomultiplicador similar a la anterior cuando éste opera bajo la influencia de campos magnéticos en las tres direcciones del espacio, introduciendo la caja dentro de un electroimán y midiendo la carga en el ánodo con el mismo dispositivo experimental. En la dirección donde se espera una intensidad del campo magnético mayor (X) se obtiene una variación del 4% en la ganancia (figura 2) y del 3% en la resolución, dentro del intervalo de campo apantallado. En las direcciones Y y Z la degradación observada es mucho mayor, pero considerando los valores del campo esperados las variaciones están dentro del 7% y 1% en la ganancia y del 5% y 1% en la resolución, respectivamente.

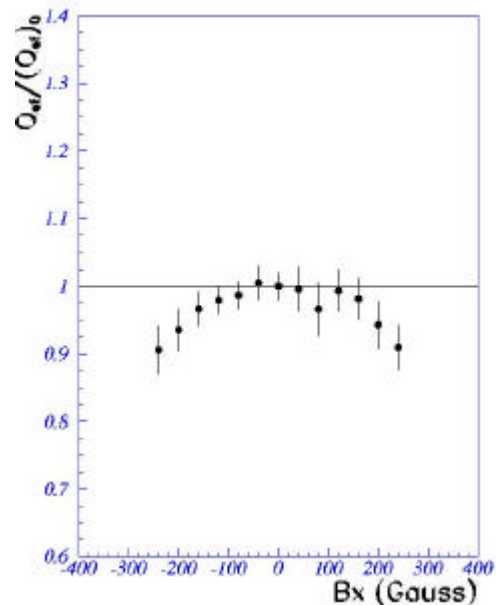


Figura 2. Variación de la ganancia con el campo magnético en la dirección X . Valores relativos al medido sin campo.

¹ C. Delgado, contribución a este congreso.

² E. Lanciotti, contribución a este congreso.

³ P. Aguayo et al. *Parametric model for the response of a photomultiplier tube*. Enviado a Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A en 2002.