

DESARROLLO Y VALIDACIÓN DEL ALGORITMO DE FILTRADO ÓPTIMO PARA EL CALORÍMETRO HADRÓNICO DEL EXPERIMENTO ATLAS

J. Poveda¹, J. Abdallah¹, V. Castillo¹, C. Cuenca¹, A. Ferrer¹, E. Fullana¹,
E. Higón¹, A. Ruiz-Martínez¹, B. Salvachúa¹, C. Solans¹, A. Valero¹ y J. Valls¹

¹ Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear e IFIC, CSIC-Universitat de València, Edificio Institutos de Investigación de Paterna, Apartado de Correos 22085, 46071 Valencia (Spain)

Joaquin.Poveda@ific.uv.es

Resumen: En este trabajo se muestran los estudios realizados para el desarrollo y validación del algoritmo de reconstrucción de energía Filtrado Óptimo (OF) en el calorímetro hadrónico TileCal del experimento ATLAS. Este algoritmo proporciona la amplitud y la fase de la señal como una suma ponderada de sus muestras digitales para todos los canales. OF minimiza la aportación del ruido a la resolución energética del calorímetro mediante el uso de multiplicadores de Lagrange. En el presente trabajo se describen los fundamentos del algoritmo OF y se estudian sus prestaciones en comparación con otros algoritmos de reconstrucción. Para ello, se han utilizado datos de simulación completa del detector en dos entornos diferentes: considerando únicamente el ruido electrónico y estando presente además el apilamiento de sucesos de *minimum bias* como fuente adicional de ruido (reproduciendo así las condiciones en las que operará LHC).

1. Introducción

ATLAS [1] es un experimento de propósito general para el Gran Colisionador de Hadrones (*Large Hadron Collider* – LHC) [2], un acelerador donde haces de protones colisionarán con una energía en centro de masas de 14 TeV. Tanto ATLAS como LHC se encuentran actualmente en fase final de construcción y puesta a punto, y su entrada en funcionamiento está prevista para noviembre de 2007.

El principal objetivo del experimento ATLAS es el estudio de la física a la escala del TeV, con especial interés en la física del bosón de Higgs y la rotura espontánea de la simetría electrodébil.

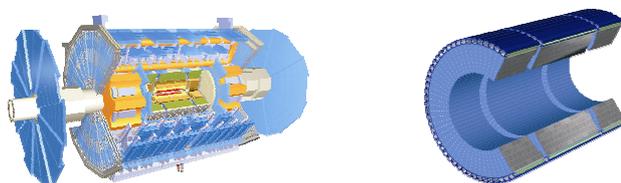


Figura 1. Simulaciones de ATLAS (izquierda) y del calorímetro hadrónico TileCal (derecha).

ATLAS está constituido por varios subdetectores distribuidos en capas, entre los cuales se encuentra el calorímetro hadrónico de tejas (TileCal) [3]. Es un calorímetro de muestreo formado por hierro y tejas de material centelleador. La figura 1 muestra ATLAS y TileCal. Longitudinalmente, TileCal está formado por un barril central y dos barriles extendidos. Cada uno de estos barriles está dividido a su vez en 64 módulos en

la dirección ϕ . Cada módulo está segmentado en celdas siguiendo una geometría proyectiva en η .

Los fotones generados por las partículas al atravesar las tejas centelleadoras son recogidos. Esta luz es recogida en tubos fotomultiplicadores (PMTs), que producen señales eléctricas analógicas que son tratadas en la electrónica frontal del calorímetro. El pulso de salida del PMT es amplificado y conformado separadamente con dos ganancias diferentes, las cuales difieren en un factor 64. Los pulsos de alta y baja ganancia, cuya amplitud es proporcional a la energía depositada, son posteriormente digitalizados a intervalos de 25 ns por conversores analógico-digitales (ADCs). Una de estas series de digitalizaciones es enviada mediante fibras ópticas al siguiente nivel en la cadena de adquisición: los *Read-Out Drivers* (RODs) [5]. Todo este proceso está representado esquemáticamente en la figura 2.



Figura 2. Esquema del procesado de señal en la electrónica frontal de TileCal. La luz generada por el paso de las partículas es convertida en señales eléctricas y digitalizada antes de ser enviada mediante fibra óptica a los RODs para su posterior procesado.

2. Algoritmo de Filtrado Óptimo

La forma del pulso de salida de la electrónica frontal en función del tiempo se muestra en la figura 3 para las dos ganancias disponibles. La fase del pulso (τ) se define como la diferencia temporal entre la muestra central y el máximo del pulso. Téngase en cuenta que el pulso se sitúa sobre un nivel de pedestal causado por el ruido de la electrónica.

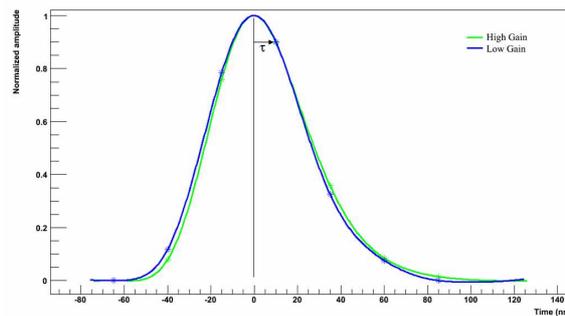


Figura 3. Forma del pulso (normalizada a la unidad) en función del tiempo una vez sustraído el pedestal para el caso de alta ganancia (verde) y baja ganancia (azul). Los asteriscos denotan las muestras digitales. Obsérvese la definición de la fase (τ) y el subimpulso para tiempos altos.

Diferentes algoritmos han sido desarrollados para poder obtener la energía depositada por las partículas a partir de sus muestras digitales de la manera más fidedigna posible. En la colaboración TileCal se usa por defecto el método *Fit*, basado en el ajuste de las muestras digitales a la forma del pulso.

El algoritmo de Filtrado Óptimo (*Optimal Filtering* - OF) [4] obtiene la amplitud y fase del pulso mediante el uso de una media ponderada de las muestras digitales. Los

coeficientes de estas combinaciones lineales se calculan usando multiplicadores de Lagrange, haciendo que la contribución del ruido a la resolución energética sea mínima. Se han desarrollado dos versiones diferentes de este mismo algoritmo, detalladas en las secciones 2.a y 2.b.

2.a. OF1

En esta versión del algoritmo se obtiene tanto el valor de la amplitud (A) y la fase (τ) del pulso como el factor de calidad de la reconstrucción (Q) a partir de las n muestras digitales mediante las siguientes expresiones:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i (S_i - p) \quad \tau = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n b_i (S_i - p) \quad Q = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n |A g_i - S_i + p| \quad (1)$$

donde S_i es el valor de la i -ésima muestra digital, p el valor del pedestal, a_i el peso para la amplitud, b_i el peso para la fase y g_i el valor de la forma del pulso normalizada para la muestra i . Nótese como la media ponderada se realiza sobre las muestras digitales tras haber sustraído el pedestal. Dado el subimpulso de la forma del pulso (figura 3), la estimación más adecuada para el valor del pedestal consiste en tomarlo como el valor de la primera muestra ($p=S_1$).

2.b. OF2

En este caso el pedestal es considerado como otro parámetro más de la reconstrucción, transformándose la expresión (1) de esta forma:

$$A = \sum_{i=1}^n a_i S_i \quad \tau = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n b_i S_i \quad p = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n c_i S_i \quad Q = \frac{1}{A} \sum_{i=1}^n |A g_i - S_i + p|. \quad (2)$$

Nótese que los coeficientes a_i y b_i no son los mismos que en la ecuación (1) ni se sustrae el pedestal a las muestras digitales.

3. Análisis y resultados

La validación del algoritmo OF se ha llevado a cabo dentro del entorno Athena (software general de ATLAS utilizado para tareas *offline*) con datos de simulación completa del detector. Se escogió una muestra de piones generados en el punto de interacción en direcciones aleatorias con energías conocidas. Fueron digitalizados de dos formas diferentes: teniendo en cuenta solamente el ruido electrónico y también añadiendo el apilamiento de sucesos de *minimum bias*. Estos dos conjuntos de datos fueron reconstruidos con los métodos de reconstrucción a estudiar, incluyendo *Fit*, OF1 y OF2.

Los piones simulados atraviesan en primer lugar el calorímetro electromagnético de ATLAS y posteriormente TileCal, depositando parte de su energía en ambos calorímetros. Sin embargo, para este estudio sólo corresponde usar aquellos piones de energía bien determinada, seleccionando los que inicien la cascada hadrónica en TileCal. En otras palabras, se seleccionaron los sucesos en que los piones se comportaran como partículas al mínimo de ionización (MIPs) al atravesar el calorímetro electromagnético. Para ello, se definieron unos cortes en la energía depositada en cada una de las capas del calorímetro electromagnético de modo que ésta fuera compatible con la señal de un muón. Esta misma selección se llevó a cabo durante la toma de datos combinada con haz de prueba durante 2005.

La figura 4 muestra la energía depositada en el calorímetro electromagnético en función de la energía depositada en TileCal antes de aplicar los cortes de selección,

mostrando una fracción de los sucesos donde sólo es significativa la deposición en TileCal. La distribución de la energía depositada obtenida tras seleccionar estos piones que inician la cascada en TileCal también se muestra en la figura 4. Del ajuste de esta última distribución se obtienen la respuesta del calorímetro (definida como la energía media reconstruida sobre la energía inicial de las partículas) y la resolución energética (definida como la sigma de la distribución sobre su valor medio).

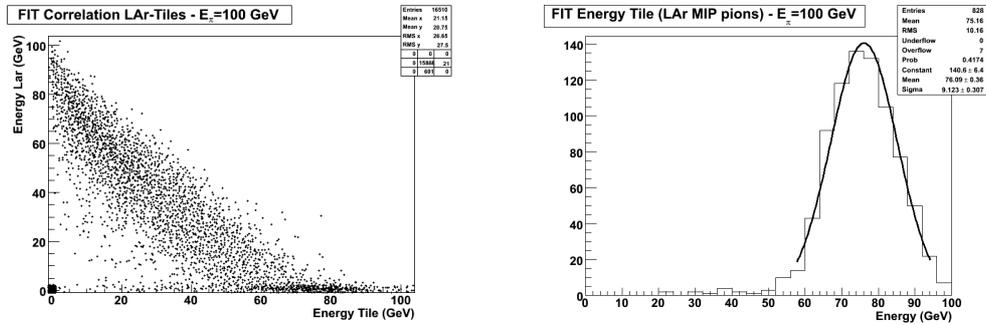


Figura 4. A la izquierda, energía depositada en el calorímetro electromagnético en función de la energía depositada en TileCal para piones de 100 GeV. Nótese como parte de las partículas solamente depositan energía en TileCal. A la derecha, energía depositada en TileCal una vez aplicados los cortes de selección con la esperada forma gaussiana.

Los algoritmos de reconstrucción de energía serán comparados en términos de resolución y respuesta tanto para un entorno donde sólo importe el ruido electrónico como en un escenario más próximo al real donde la mayor fuente de ruido sea el apilamiento de sucesos de *minimum bias*.

En este estudio se demostrará por una parte que los resultados que se logran con OF son equivalentes a los obtenidos con el método *Fit* cuando sólo se tenga en cuenta el ruido electrónico y, por otra parte, que las resoluciones energéticas obtenidas cuando también se incluye el apilamiento de *minimum bias* son mejores que con los métodos empleados hasta la fecha.

Bibliografía

- [1] ATLAS Collaboration. *ATLAS Technical Proposal*, CERN/LHCC 94-33, CERN, Geneva, 1994.
- [2] AA.VV., *LHC Design Report*, CERN-2004-003, CERN, Geneva, 2004.
- [3] ATLAS Collaboration. *Tile Calorimeter Technical Design Report*, CERN/LHCC 96-42, CERN, Geneva, 1996.
- [4] J. Castelo *et al.* ATLAS Internal Note CERN-ATL-TILECAL-2005-003 (2005).
- [5] E. Fullana *et al.* ATLAS Internal Note CERN-ATL-TILECAL-2005-001 (2005).