



# Estudio del Ruido Producido por Neutrones Térmicos en las Cámaras RPC de CMS

## Study of noise produced by thermal neutron in the CMS chambers RPC

D. Roa, B. Gómez

Departamento de Física, Universidad de los Andes.

Recibido 22 de oct. 2007; Aceptado 2 de sep. 2009; Publicado en línea 30 de oct. 2009

### Resumen

En este trabajo se analiza la producción y propagación de neutrones térmicos en el detector CMS del colisionador LHC en CERN. Además se estudia el efecto de estos neutrones en los detectores de muones de CMS, concretamente en las cámaras de placa resistiva (RPC). Los neutrones térmicos pueden producir señales en estos detectores, debido a efectos de captura, generando así ruido que interfiere con la detección de muones. En este trabajo se estudia el ruido debido a los neutrones térmicos por medio de simulaciones básicas de la producción, propagación, termalización y captura de los mismos dentro del detector.

**Palabras Clave:** Colisiones hadrónicas, detección de muones, neutrones térmicos.

### Abstract

In this work we analyze the thermal neutron production and propagation inside the CMS detector of LHC collider at CERN. The effect of thermal neutrons in the muon detectors is studied too, concretely in the resistive plate chambers (RPC). Thermal neutrons can produce signals in the muon chambers, resulting from capture effects, and generating noise for muon detection. In this work we study the noise from thermal neutrons, simulating its production, propagation, thermalization and capture inside the detector.

**Keywords:** Hadronic collisions, muon detection, thermal neutrons

©2009. Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

## 1. Introducción

Este trabajo consiste en el estudio del efecto de ruido debido a neutrones térmicos sobre las cámaras de placa resistiva (RPC) del detector *Compact Muon Solenoid* (CMS) de LHC. El CMS es uno de los dos experimentos de propósito general en LHC. CMS es un conjunto de instrumentos de detección colocados en forma cilíndrica. Mide 21.5 m de largo por 15 m de diámetro. Dentro del detector se encuentra un solenoide que proporciona un campo magnético de 4 Tesla, en dirección paralela al haz de partículas. En el interior del solenoide, se encuentran el detector de trazas (tracker) y los calorímet-

ros. El tracker, que está compuesto por detectores de silicio y de gas a pequeña escala, se encarga de hacer el seguimiento de las partículas cargadas que resultan en cada evento, registrando las trazas de su recorrido. Entre el tracker y el solenoide, se encuentran los calorímetros. En el calorímetro electromagnético (ECAL), los fotones y electrones depositan toda su energía. Este calorímetro está constituido por cristales de tungstenato de plomo ( $PbWO_4$ ). El calorímetro hadrónico (HCAL), mide la energía de las partículas que interactúan fuertemente. El HCAL no solo consiste del detector interior al solenoide, sino que también cuenta con los detectores frontales (HCALF), que son detectores en forma de

tambor que se encuentran fuera del solenoide cubriendo la región más cercana al eje del cilindro. El HCALF está cubierto por capas de polietileno, acero y concreto para reducir efectos de irradiación a otros detectores. Todos los componentes del HCAL consisten de placas de aleación de cobre y polímero centelleador. Los detectores exteriores al solenoide están especializados en reconstruir la trayectoria exterior de los muones que se produzcan. Estos detectores son las cámaras de muones, detectores de ionización entre las cuales se encuentran las cámaras RPC. Todo este sistema se encuentra soportado por una estructura de hierro llamada el yugo. Debido a las condiciones de luminosidad y alta energía del haz en LHC, se producen muchas partículas que luego interactúan con los componentes de CMS llevando a la producción posterior de mas partículas. Dentro de toda esta cadena se producen neutrones. Estos neutrones se propagan dentro del detector, perdiendo energía y thermalizándose. Los neutrones térmicos pueden ser fácilmente capturados por un núcleo y éste a su vez puede emitir un fotón. Este fotón puede producir un par electrón-positrón. Si todo esto ocurre en una cámara como la RPC, puede generarse una señal idéntica a la que deja un muón a su paso. Por lo tanto, la presencia de neutrones térmicos puede producir ruido en las cámaras de muones. En este trabajo se realizaron simulaciones del detector CMS y de una cámara RPC, implementando geometrías simplificadas para estudiar los procesos anteriormente mencionados.

## 2. Simulación CMS

La simulación de CMS consiste en la implementación de dos partes. En la primera se simula la producción de partículas a partir de la colisión de protones a una energía de 14 TeV en el sistema centro de masa. La segunda parte consiste en simular la propagación e interacción de los productos de la colisión dentro de los componentes del detector. Para la implementación de la simulación de la colisión se utilizó, el paquete PYTHIA 6.409 como generador de eventos a altas energías. El propósito de esta primera simulación es obtener información de cuáles partículas producidas se deben tener en cuenta, por su población y porque tienen el tiempo de vida suficiente como para interactuar con componentes del detector. La mayor parte de las partículas son dispersadas en ángulos pequeños, es decir que siguen casi en la misma dirección de los haces incidentes. Por lo tanto no se tienen en cuenta partículas cuya dirección de dispersión no alcanza para “tocar” el tubo dentro de la extensión del detector. De la simulación aparecen

como producto de la colisión, partículas con valores de energías cinéticas desde cero hasta del orden de TeV. Para esto se toma como energía máxima para cada tipo de partícula producida, la energía por debajo de la cual está el 95 % de la muestra producida en la simulación. Por último se descartan las partículas cuyo tiempo de vida no es suficiente para recorrer la distancia desde el centro del detector hasta el tubo, así fueran dispersadas a su energía máxima. De lo anterior se obtienen las partículas de la Tabla 1, que son las que se tienen en cuenta para la simulación.

Tabla 1: Partículas a tener en cuenta como resultado de la simulación en PYTHIA.

Partícula	$E_{max}$ (GeV)	$E_{Prom}$ (GeV)	Porcentaje
$\gamma$	25	3.492	45.83
$\pi^+$	60	8.759	19.85
$\pi^-$	60	8.712	19.53
$K^+$	80	13.21	2.2
$K^-$	80	13.03	2.13
$K_0$	80	13.3	2.06
$n$	100	17.89	1.98
$\bar{n}$	100	17.74	1.62
$p$	100	17.92	3.22
$\bar{p}$	100	17.69	1.58

La recreación del detector se llevó a cabo con el paquete GEANT4.7.1, el cual es una herramienta para la simulación de interacción de radiación con materiales. Primero que todo se llevaron a cabo simulaciones preliminares consistentes en reproducir el comportamiento de cada uno de los componentes del detector, como un objeto aislado y en presencia de la radiación producida por la colisión. Con esto se estudió la producción de nuevas partículas cuando estos componentes eran irradiados por haces de las partículas que aparecen en la Tabla 1. Los componentes a tener en cuenta son los cilindros de fibra de carbono que sostienen los detectores del tracker, los cristales de  $PbWO_4$  y sistema de refrigeración del ECAL, las capas de cobre, acero y polímero del calorimetro hadrónico, el solenoide, el yugo y placas de aluminio simulando las cámaras de muones. También se tuvieron en cuenta los HCALF y el blindaje de concreto y polietileno de estos. Posteriormente se implementó la geometría completa de CMS, se estudió la producción de neutrones y se contabilizaron los neutrones que atraviesan cada componente. Para la producción se registraron los neutrones producidos en el detector, su localización y su energía. La distribución en energías de los neutrones producidos es decreciente

con la energía, teniendo un comportamiento exponencial en muchos de los casos. En la Tabla 2 se presentan los resultados de la producción en los componentes de CMS.

Tabla 2: Producción de neutrones en los componentes de CMS.

Componente	# Neutrones	Error neutrones	$E_{Prom}$ (MeV)
HCALF	$2,4 \times 10^7$	$\pm 5 \times 10^3$	950
ECAL	$6,4 \times 10^6$	$\pm 2,5 \times 10^3$	970
HCAL	$5,8 \times 10^6$	$\pm 2,4 \times 10^3$	960
Tubo del haz	$1,4 \times 10^4$	$\pm 1,2 \times 10^2$	954
Tracker	$1,4 \times 10^4$	$\pm 1,2 \times 10^2$	991.4
Solenoides	$1,3 \times 10^6$	$\pm 1,1 \times 10^3$	1005
Yugo	$1,9 \times 10^6$	$\pm 1,4 \times 10^3$	949.8

Respecto a la distribución de los neutrones se puede decir que aunque la mayor parte de ellos se produce en el HCALF, solamente un 10 % logra atravesar el blindaje de concreto y polietileno hacia las cámaras de muones. Se nota un gran aumento de flujo de neutrones en el ECAL, y la cantidad de neutrones sigue aumentando, como se muestra en la Tabla 3. Sin embargo el HCAL absorbe neutrones de energías superiores a 1 GeV. El solenoide contribuye con más neutrones en rangos de cientos de MeV. En las capas del yugo, la cantidad de neutrones y su distribución en energías casi no cambia de una capa a otra y es muy notoria la absorción de neutrones de energías por encima de 10 MeV. En la Tabla 3, YB1, YB2 y YB3 se refieren a las tres capas de hierro en el barril del Yugo. Según lo simulado hasta ahora, la cantidad de neutrones térmicos que llegan a la región de las cámaras de muones, resulta comparable con la cantidad de muones que llegan a esta misma región, lo que conlleva a que el efecto de ruido de neutrones térmicos en las cámaras de muones no sea despreciable. Sin embargo la cantidad de muones y neutrones térmicos que se producen son muy pocos, incrementando el tiempo de simulación. Por lo tanto, la cantidad de eventos simulados hasta ahora debe ser aumentado en un factor de 10 al menos.

### 3. Simulación de la cámara RPC

Como actividad paralela, se ha llevado a cabo la simulación de una cámara RPC. La geometría consiste en dos placas de baquelita de  $30 \times 30 \times 0.2 \text{ cm}^3$  que cubren una capa de iguales dimensiones de  $C_2H_2F_4$  (el gas que llena las RPC). Además cada placa de baquelita tiene una capa exterior de grafito de 0.02 mm y una

capa de polietileno de 0.1mm. La cámara se encuentra en un campo eléctrico de 1.5 kV/mm. En la simulación el sistema es bombardeado de manera uniforme con muones y con neutrones térmicos. La energía de los muones es de 5 GeV que es la energía promedio para estas partículas en las cámaras de muones obtenida de la simulación completa de CMS. Se hace el conteo de la cantidad de electrones que llegan a las placas de baquelita, debido a ionización por muones y por captura de neutrones térmicos. Se obtiene que la relación entre electrones que llegan a la baquelita por el proceso de captura y por ionización es de 0.0203. Teniendo en cuenta errores estadísticos, el valor máximo para esta relación es 0.0211 y el valor mínimo es de 0.0196.

Tabla 3: Neutrones contabilizados al atravesar cada componente de CMS.

Componente	# Neutrones	Error Neutrones	$E_{Prom}$ (MeV)
Tracker	$7 \times 10^5$	$\pm 8 \times 10^2$	103
ECAL	$5,4 \times 10^6$	$\pm 2 \times 10^3$	22.6
HCAL	$7 \times 10^6$	$\pm 2,6 \times 10^3$	9.7
Solenoides	$8,2 \times 10^6$	$\pm 3 \times 10^3$	13.7
YB1	$7,7 \times 10^6$	$\pm 3 \times 10^3$	0.45
YB2	$7,2 \times 10^6$	$\pm 3 \times 10^3$	0.3
YB3	$6,6 \times 10^6$	$\pm 2,5 \times 10^3$	0.27

### Conclusiones

Se realizó la simulación del detector CMS teniendo en cuenta los puntos donde se producen neutrones. Se contabilizó la cantidad y distribución de energía de neutrones que atraviesan cada capa del CMS. La mayor producción de neutrones está en los calorímetros, los cuales aumentan la cantidad de neutrones provenientes del tracker en un orden de magnitud. El efecto del yugo con respecto a neutrones es la efectiva absorción de neutrones con energías mayores a 10 MeV, sin embargo para energías menores la cantidad de neutrones propagados se mantiene. De la simulación se obtiene que la cantidad de neutrones térmicos en las cámaras de muones es comparable con la cantidad de muones en esta misma región. Las señales debidas a neutrones térmicos en la cámara RPC simulada son 2.03 % con respecto de las señales debidas a muones. Se obtiene un valor máximo para este porcentaje de 2.11 % y un valor mínimo de 1.96 %. Este dato para la relación ruido-síñal está en el máximo todavía tolerable para el experimento CMS.

### **Agradecimientos**

Los autores agradecen a la Universidad de los Andes, a Colciencias, a la Red de Altas Energías Latinoamericana Europa (HELEN), al experimento CMS y al laboratorio CERN por el apoyo brindado para hacer posible esta investigación.

### **Referencias**

- [1] CMS Muon Technical Design Report, CERN, CERN/LHCC/97-32, Diciembre 1997.
- [2] Neutron and photon fluxes and shielding alternatives for the CMS detector at LHC. M. Huhtinen, A. Aarnio. Nucl. Inst. and Meth. A 363 (1995).
- [3] Study of neutron sensitivity in CMS-RPC using MC simulation for two different setups. M. Jamil, J. Rhee. Nucl. Inst. and Meth. A 556 (2006) 192-196