

Búsqueda del Bosón de Higgs en el canal $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\mu$ en el Experimento CMS del CERN

M. Aldaya, P. Arce, J. Caballero, M.Cerrada, N. Colino, B. de la Cruz, M.C. Fouz, P. Garcia-Abia, J.M. Hernández, I. Josa, C. Villanueva

Div. Física de Partículas, CIEMAT, Av. Complutense 22, 28040 Madrid; e-mail: Maria.Aldaya@ciemat.es.

En el Modelo Estándar¹ las partículas adquieren masa por el mecanismo de ruptura espontánea de simetría electrodébil, que introduce un campo (doblete) escalar. El así llamado mecanismo de Higgs² da lugar a una partícula escalar, el bosón de Higgs, sobre cuya masa, m_H , nada dice la teoría. Si esta partícula existe, podrá ser descubierta en los experimentos de LHC, acelerador del CERN que empezará a operar en 2007.

En el experimento CMS³, uno de los canales más limpios para encontrar el Higgs⁴ es el proceso $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\mu$. La topología de estos procesos es cuatro muones aislados (dos positivos y dos negativos) de alto momento transversal, dentro del detector. La masa de los pares de muones es compatible con la del bosón Z, dependiendo de la restricción en el espacio de fases introducida por la propia masa del Higgs. La masa de los cuatro muones es, dentro de la resolución del detector, la del bosón de Higgs.

La contaminación proviene principalmente de sucesos tt, ZZ, Zbb y colisiones inelásticas. La sección eficaz de estos procesos es tan elevada en comparación con la de la señal, unos 10 órdenes de magnitud para los procesos inelásticos, que la proporción de sucesos de señal es despreciable comparada con la contaminación después del primer filtro de selección durante la toma de datos (*Trigger*).

Un delicado proceso de análisis permite seleccionar sucesos con la topología de la señal, reduciendo la contaminación a unos niveles manejables, del orden de magnitud de la señal. Los muones procedentes de desintegraciones de quarks top (t) y bottom (b) están contenidos en *jets* hadrónicos, lo que hace que la condición de aislamiento de los muones sea el principal criterio de selección de la muestra. La contaminación de sucesos ZZ es particularmente difícil de eliminar por tener una topología similar a la de la señal. La eficiencia de selección de sucesos $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\mu$ está entre 25% y 60%, dependiendo de la masa del Higgs. El nivel de contaminación que pasa los criterios de selección, casi exclusivamente sucesos ZZ, está entre el 10% y el 50%, siendo mayor para masas del Higgs en torno a 120 GeV.

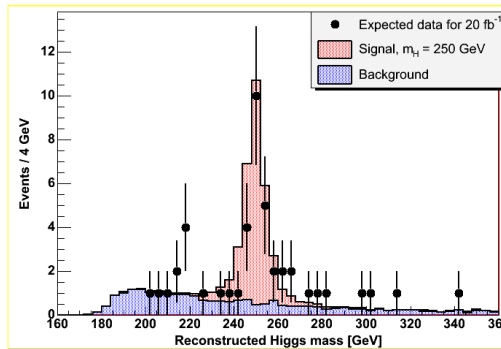


Figura 1. Masa invariante reconstruida en sucesos con cuatro muones en el estado final, para la señal y la contaminación. También se muestra una posible distribución de datos esperada a una luminosidad de 20 fb^{-1} .

La figura 1 muestra la distribución de masa invariante de los cuatro muones del estado final, después de aplicar los cortes de selección, para sucesos de contaminación y para la señal de un Higgs de 250 GeV de masa, para una luminosidad, L , de 20 fb^{-1} . A modo de ejemplo, se muestra también esta distribución para un experimento aleatorio con la estadística esperada a esa luminosidad, en el caso de existir un bosón de Higgs de esa masa.

El análisis se realiza para diferentes hipótesis de masa del Higgs: de 115 a 600 GeV. Una vez obtenidas las distribuciones de masa invariante de los cuatro muones para estas masas, se utiliza el método del *log-likelihood-ratio*^{5,6} para estimar la significación estadística de la señal, S_L , en función de la luminosidad. Por ejemplo, para las distribuciones de la figura 1 ($m_H = 250 \text{ GeV}$ y $L = 20 \text{ fb}^{-1}$) la significación de la señal es 9σ .

El potencial del análisis se mide en términos de luminosidad necesaria para observar una señal a 3σ (evidencia) y 5σ (descubrimiento). Como se aprecia en la figura 2, la luminosidad requerida depende del valor concreto de la masa del Higgs.

Si el bosón de Higgs existe, su descubrimiento en el experimento CMS es factible durante el primer año de toma de datos. Esto es cierto para un amplio rango de masas del Higgs, típicamente por encima de 180 GeV. Para masas más bajas, la combinación de los tres canales leptónicos $H \rightarrow ZZ^* \rightarrow 4\mu$, $2e2\mu$ y $4e$, utilizando métodos estadísticos como el *log-likelihood-ratio*, jugará un papel fundamental en la búsqueda del bosón de Higgs.

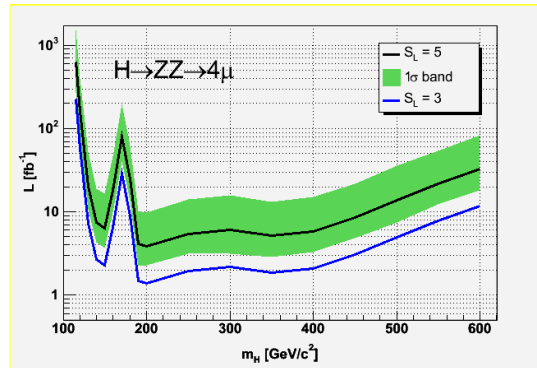


Figura 2. Luminosidad necesaria para establecer la evidencia (azul) o el descubrimiento (negro) de la señal en función de la masa del bosón de Higgs. La banda verde indica el error de 1σ en la luminosidad (para $S_L=5$).

Referencias

- ¹ S.L. Glashow, Nucl. Phys. 22 (1961) 579; S. Weinberg, Phys. Rev. Lett. 19 (1967) 1264; A. Salam, *Elementary Particle Theory*, ed. N. Svartholm (Almqvist and Wiksell, Stockholm, 1968), p. 367.
- ² P.W. Higgs, Phys. Lett. 12 (1964) 132; Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 508 and Phys. Rev. 145 (1966) 1156; F. Englert and R. Brout, Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 321; G.S. Guralnik, C.R. Hagen and T.W.B. Kibble, Phys. Rev. Lett. 13 (1964) 585.
- ³ CMS Collaboration, *CMS Technical Proposal*, CERN/LHCC/94-38 (1994).
- ⁴ S. Abdullin *et. al*, CMS NOTE 2003/033; M. Sani and V. Ciulli, CMS AN 2003/005; V. Bartsch, J. Weng and G. Quast, CMS AN 2003/007.
- ⁵ A.L. Read, *Modified Frequentist Analysis of Search Results (The CLs Method)*, in the 1st Workshop on Confidence Limits, L. Lyons, Y. Perrin and F. James, CERN-EP/2000-005.
- ⁶ ALEPH, DELPHI, L3 and OPAL Collaborations and The LEP Working Group for Higgs Boson Searches, *Search for the Standard Model Higgs boson at LEP*, Phys. Lett. B 565 (2003) 61-75.