

Reporte

Benjamín Rodríguez Valdez

January 29, 2026

1 Introducción

La masa invariante de dos partículas está dada por:

$$m = \sqrt{(E_1 + E_2)^2 - (\vec{p}_1 + \vec{p}_2)^2},$$

donde E_i y $\vec{p}_i = (p_{xi}, p_{yi}, p_{zi})$ corresponden a la energía y el momento de la partícula. Este estudio analiza dos regiones clave:

- El rango bajo (2–5 GeV), donde se encuentra el mesón J/ψ .
- El rango alto (60–120 GeV), donde se espera observar el bosón Z .

1.1 Ajuste Gaussiano de los picos del histograma

Con el fin de obtener una estimación precisa de la masa asociada a cada pico observado en el histograma de la masa invariante, se realiza un ajuste mediante una función Gaussiana.

La función Gaussiana utilizada es

$$G(m) = A \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{(m - \mu)^2}{\sigma^2}\right), \quad (1)$$

donde:

- A es la amplitud del pico (altura del máximo),
- μ es la posición central del pico y representa la *masa estimada* de la partícula,
- σ es la desviación estándar asociada a la resolución instrumental.

El ajuste se realiza usando la rutina `curve_fit` de la librería SciPy, cuyos parámetros iniciales se eligen como:

- A_0 = máximo del histograma local del pico,
- μ_0 = centro del bin del pico detectado por `find_peaks`,
- $\sigma_0 = 0.05$ GeV como valor inicial.

El código correspondiente al ajuste Gaussiano para cada pico es:

```
# Funcion Gaussiana
def gauss(x, A, mu, sigma):
    return A * np.exp(-0.5 * ((x - mu)/sigma)**2)

# Ajuste local de un pico
popt, pcov = curve_fit(gauss, centro_local,
                        conteos_local,
                        p0=[A0, mu0, sigma0])

A_fit, mu_fit, sigma_fit = popt
err_mu = np.sqrt(pcov[1][1])
```

La incertidumbre en la masa estimada μ se obtiene a partir de la matriz de covarianzas del ajuste:

$$\Delta\mu = \sqrt{\text{cov}(\mu, \mu)}. \quad (2)$$

Este procedimiento permite obtener la masa reconstruida de las partículas.

2 Descripción general del código

En principio ambos programas tienen funcionamientos muy similares, en donde en ambos se siguieron los siguientes pasos generales:

1. Se utilizan funciones de búsqueda de picos (`find_peaks`).

```
conteos, edge = np.histogram(m, bins=N, range=(0, 20))
centro = 0.5 * (edge[:-1] + edge[1:])

peaks, _ = find_peaks(conteos, height=np.max(conteos) * 0.02)
```

2. Se construyen histogramas de la frecuencia con respecto a el espectro de masas, mediante el código dado por,

```

plt.figure(figsize=(11,8))
plt.hist(m, bins = N , edgecolor = 'black', linewidth = 0.5)

for p in peaks:
    plt.axvline(x=centro[p], color='red', linestyle='--',
                linewidth=2,
    label=f"Pico en {centro[p]:.3f}+/- {err_mu:.4f} GeV ")

plt.xlabel("Masa (GeV)")
plt.ylabel("Frecuencia")
plt.title("Histograma para datos de Jpsimumu_Run2011A.csv")
plt.grid(True)
plt.legend()
plt.show()

```

Figure 1: Código utilizado para graficar el histograma y los picos detectados en el archivo Jpsimumu.Run2011A.csv.

3. Se muestran histogramas logarítmico donde solo se agrega,

```
plt.yscale("log")
```

para poder cambiar la escala a logarítmico

En el caso del bosón Z , se tiene un ruido que hace tengamos seccionar el histograma para buscar la resonancia en la sección indicada como se muestra en las figuras 6 y 7, esto se logra gracias a que se genera un histograma numerico en el código para encontrar los picos en un rango de (60GeV -120GeV). El código que muestra a continuación,

```

rango_Z = (60 < m) & (m < 120)
m_Z = m[rango_Z]

N_Z = 55      # bins para el zoom

conteos_Z, edge_Z = np.histogram(m_Z, bins=N_Z, range=(60, 120))
centro_Z = 0.5 * (edge_Z[:-1] + edge_Z[1:])

peaks_Z, props_Z = find_peaks(conteos_Z, height=np.max(conteos_Z))

```

3 Resultados del archivo Jpsimumu_Run2011A.csv

Este archivo contiene eventos dimuónicos en donde se seleccionan un rango de masas de $0 - 20\text{GeV}/c^2$ para poder seleccionar las partículas candidatas obtenidas de las colisiones.

3.1 Histograma general

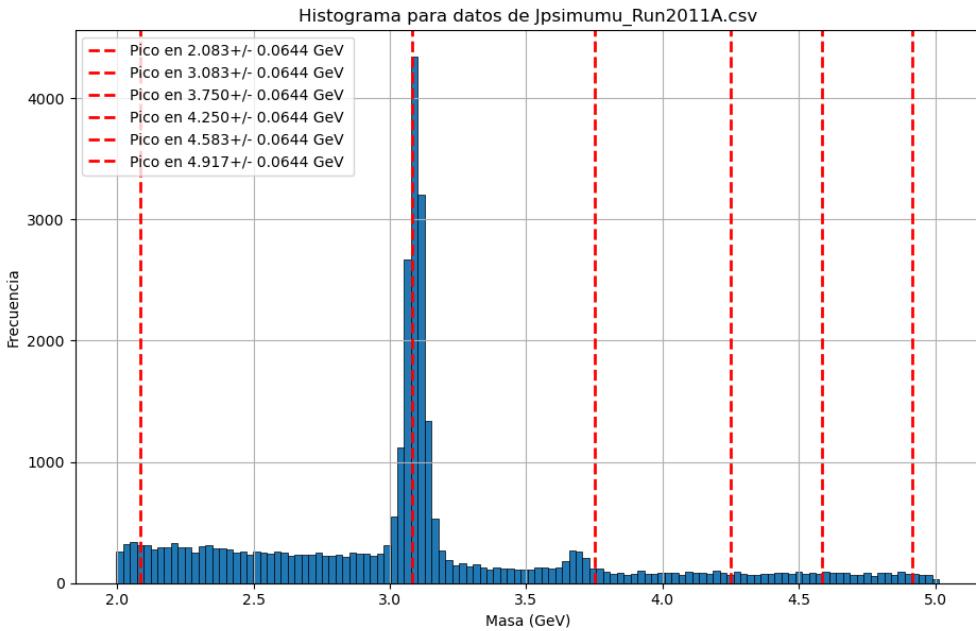


Figure 2: Histograma completo (escala lineal) del archivo `Jpsimumu_Run2011A.csv`.

El histograma lineal muestra un claro máximo alrededor de 3.083 GeV.

3.2 Histograma logarítmico

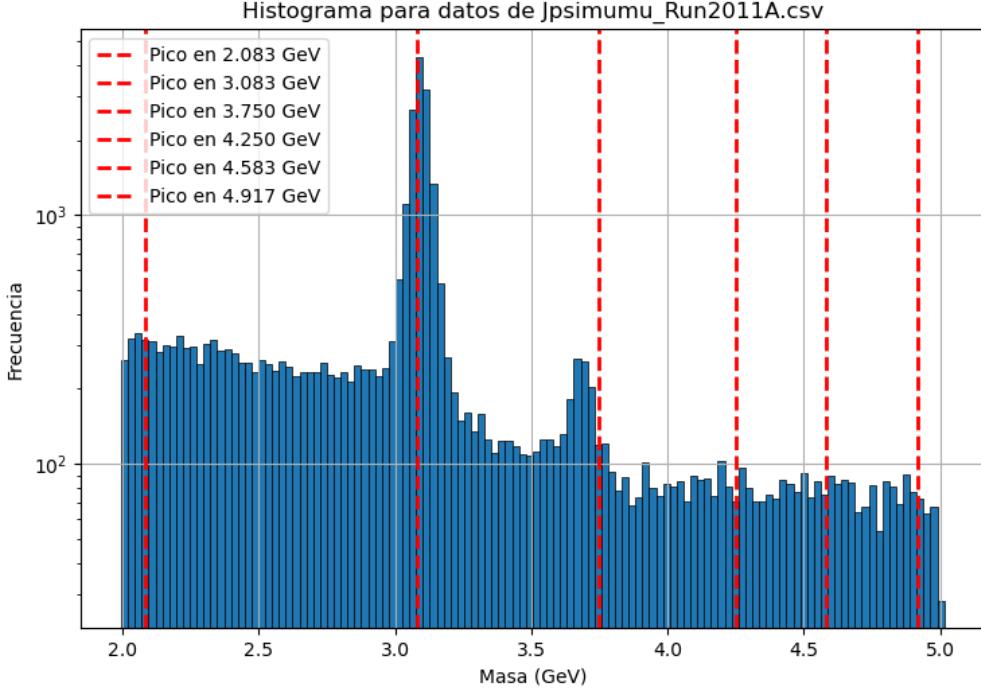


Figure 3: Histograma en escala logarítmica del espectro de masas.

4 Tabla de picos observados

A partir del ajuste gaussiano realizado alrededor de cada máximo del espectro del archivo `Jpsimumu_Run2011A.csv`, se obtuvieron los valores presentados en la Tabla 1. Se incluyen la masa reconstruida, su incertidumbre estadística y la identificación física cuando es posible.

Table 1: Resultados del ajuste gaussiano para los picos observados en `Jpsimumu_Run2011A.csv`.

Pico (bin)	m_{medida} (GeV)	Δm (GeV)	Cuentas	Identificación física
2.083	1.9678	3.1907	2069	Fondo
3.083	3.0932	0.0012	13601	$J/\psi(3096.9 \text{ MeV})$
3.750	3.6726	0.0204	1035	$\psi(2S)(3686.097 \text{ MeV})$
4.250	4.0069	2.0757	555	Fondo
4.583	4.5806	0.1115	547	Fondo
4.917	4.7299	0.0644	485	Fondo

donde podemos observar que no todos los picos observados corresponden a partículas, algunas siendo ruido, esto en coincidencia a los datos del Particle Data Group.

5 Resultados del archivo MuRun2010B.csv

Este archivo permitió analizar los datos para encontrar el valor del bosón Z .

5.1 Histograma completo en escala logarítmica

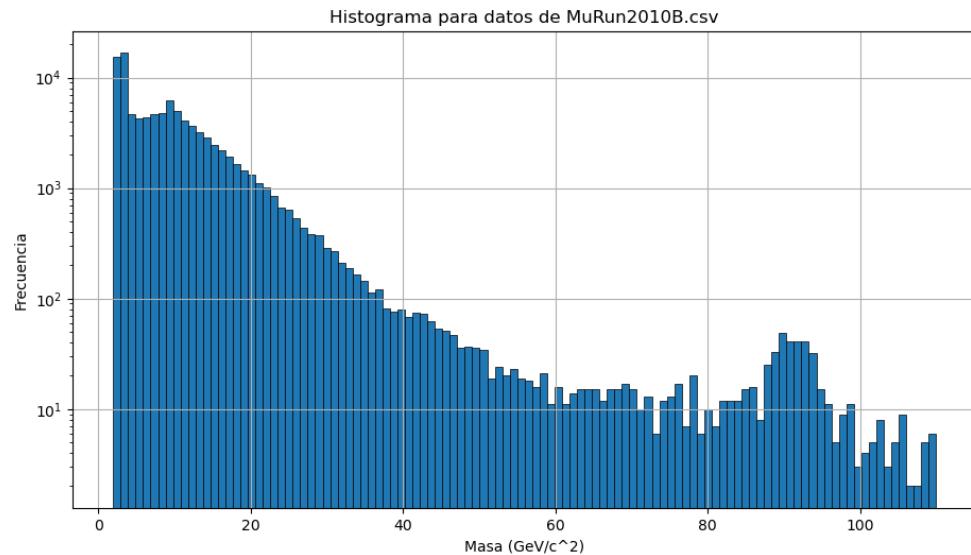


Figure 4: Histograma completo en escala logarítmica del archivo MuRun2010B.csv.

5.2 Histograma completo en escala lineal

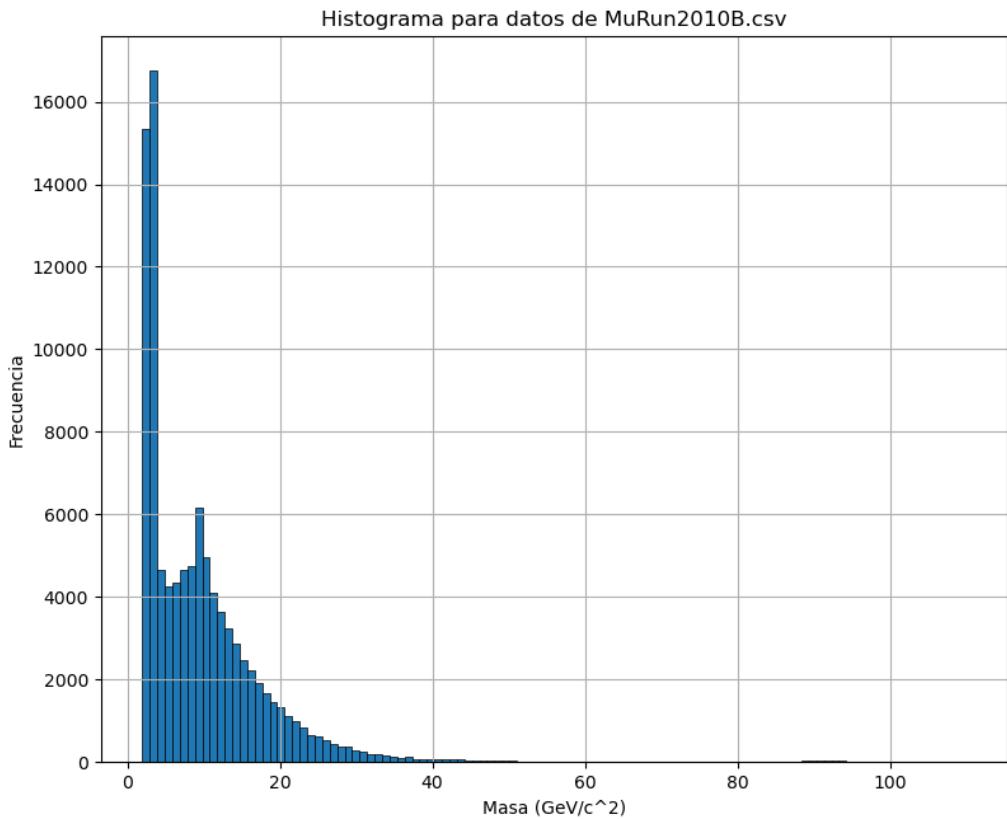


Figure 5: Histograma completo en escala lineal.

En esta versión el bosón Z no es visible debido al predominio del ruido de fondo.

6 Región del bosón Z (60–120 GeV)

En esta sección se aísla la región donde se encuentra el bosón Z .

6.1 Histograma lineal

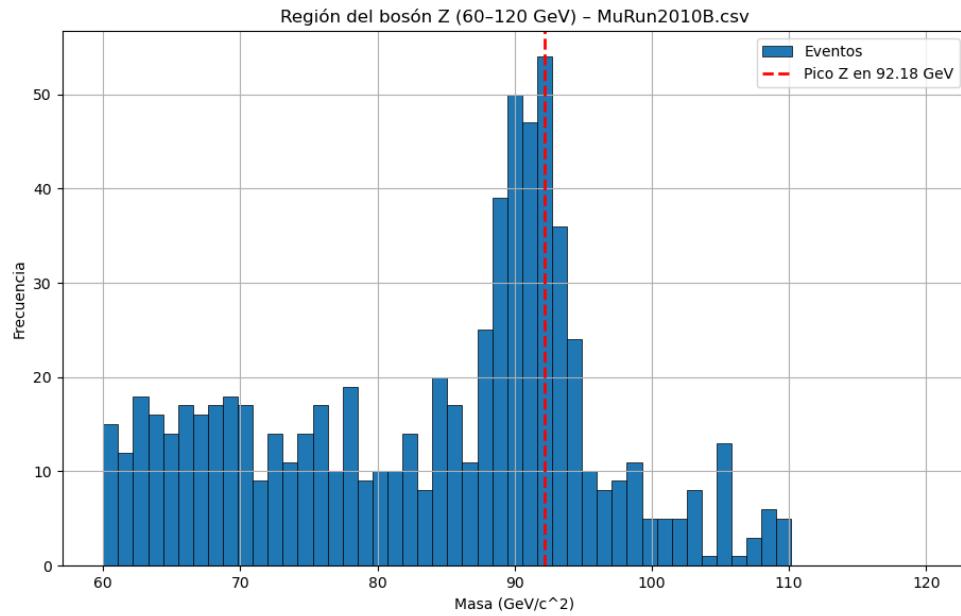


Figure 6: Región 60–120 GeV en escala lineal. Se observa un máximo cercano a 92 GeV.

6.2 Histograma logarítmico

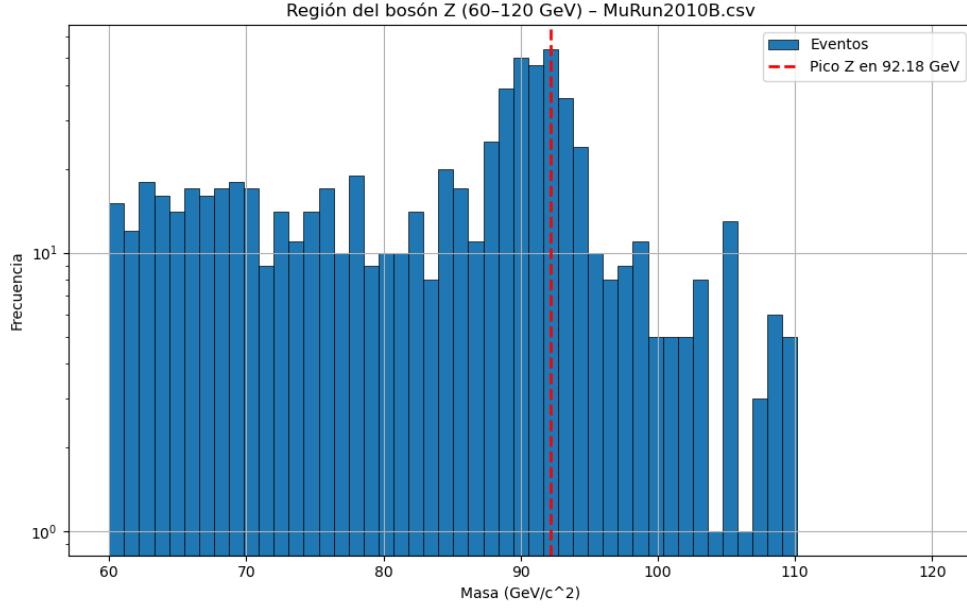


Figure 7: Región del bosón Z en escala logarítmica.

El valor aproximado de la masa es:

$$m_Z = 92.18 \text{ GeV},$$

el cual concuerda de manera razonable con el valor reportado por el PDG:

$$m_Z = 91.1880 \pm 0.002 \text{ GeV}.$$

7 Tabla comparativa de resultados

Los valores experimentales obtenidos se resumen en la siguiente tabla:

Table 2: Resultados obtenidos comparados con los valores PDG.

Resonancia	Masa medida (GeV)	Valor PDG (GeV)	Diferencia
J/ψ	3.0932 ± 0.0012	3.0969	-0.0037
$\psi(2S)$	3.6726 ± 0.0204	3.686	-0.0134
Bosón Z	92.18 ± 0.3	91.1880	+0.9924