

**Introducción al análisis estadístico del decaimiento de
Mesones B^0 en el canal $B^0 \longrightarrow K^+ \pi^- \pi^0$**

Luis Alejandro Pérez

Tutor: Dr. Luis Nuñez

**Centro de Física Fundamental
Universidad de Los Andes
Venezuela**

Introducción.

El Colisionador PEP-II en SLAC California es una fábrica $B e^+ e^-$ asimétrica. En este tipo de fábricas se hacen colisionar de frente y asimétricamente haces de electrones y positrones con la suficiente energía para producir un par $B\bar{B}$, en donde B representa a un mesón B^+ o B^0 . Cada uno de estos pares $B\bar{B}$ decae muy rápidamente en otras partículas que son detectadas en el detector BaBar. Durante los procesos de colisión $e^+ e^-$ también son producidas otras partículas. Nuestro trabajo es calcular, en el mar de eventos que se producen en PEP-II, el número de eventos $B^0\bar{B}^0$ generados en los cuales el mesón B^0 a decaído al estado final $K^+ \pi^- \pi^0$ para posteriormente calcular el Branching Ratio $\mathcal{B}(B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0)$. Esta tarea no es trivial, de manera que nos vemos en la necesidad de aplicar métodos estadísticos sofisticados. El método que utilizaremos para tal cálculo es el llamado Método de Verosimilitud Máxima.

El Método de Verosimilitud Máxima.

Sean $(\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_n)$ n resultados independientes de un experimento.

Supongamos que esta muestra esta regida por $f_{p.d.f}(\vec{x}; \vec{\theta})$. Se define a la función de Verosimilitud como sigue:

$$\mathcal{L}(\vec{\theta}) = \prod_{i=1}^n f_{p.d.f}(\vec{x}_i; \vec{\theta}) \quad \ln \mathcal{L}(\vec{\theta}) = \sum_{i=1}^n \ln f_{p.d.f}(\vec{x}_i; \vec{\theta})$$

Los Estimadores de los valores verdaderos de $\vec{\theta}$ son aquellos $\hat{\vec{\theta}}$ que maximizan a \mathcal{L} , es decir:

$$\left. \frac{\partial \ln \mathcal{L}}{\partial \theta_j} \right|_{\hat{\vec{\theta}}} = 0 \text{ para } j = 1, \dots, m.$$

La inversa de la matriz de covariancia de los θ_i vendra dada por:

$$V_{ij}^{-1} = - \left. \frac{\partial^2 \ln \mathcal{L}}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \right|_{\hat{\vec{\theta}}} \text{ para } i, j = 1, \dots, m.$$

Análisis Estadísticos.

Los pasos que seguiremos para nuestro análisis son los siguientes:

- Definición de nuestra Muestra Estadística.
- Definición de la p.d.f. que rige a dicha Muestra.
- Validación de la p.d.f usando muestras de control.
- Extracción de parámetros físicos de interes. En nuestro caso, el número de mesones B^0 que decayeron al estado final $K^+ \pi^- \pi^0$.
- Interpretación.

La Muestra Estadística.

Nuestra muestra estadística consta de datos provenientes de Run1, Run2, Run3 y Run4 de la fábrica B PEP-II. Lo que nos interesa para el cálculo del Branching Ratio son aquellos eventos en los cuales se haya generado un par $B^0 \bar{B}^0$ y de estos los eventos en donde el B^0 haya decaído en el estado final $K^+ \pi^- \pi^0$, a estos eventos se les conocen como eventos de señal. La extracción de los eventos de señal amerita la realización de procesos de preselección cuyos criterios dependen del modo estudiado. Estos protocolos de preselección no son 100% exactos, de manera que, hay ciertos eventos dentro de nuestra muestra que no son eventos de señal. A este último tipo de eventos se les conoce como eventos de Fondo. Lo que se concluye de todo esto es que nuestra muestra es una mezcla de eventos de señal y de Fondo. El propósito de nuestro trabajo es discriminar entre las distintas componentes.

Las Muestras de Control.

- Muestra de Control para los eventos de Señal:
 - **Señal TM:** Eventos del tipo $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$ generados por Monte Carlo.
 - **Señal SCF:** Eventos del tipo $B^0 \rightarrow K^+ \pi^- \pi^0$ generados por Monte Carlo.
- Muestra de Control Para el Fondo:
 - **El Fondo QQB:** Datos obtenidos del modo de operación Off Peak de PEP-II.
 - **El Fondo BB:** Cocktails de Modos generados por Monte Carlo que se cree que contaminan la muestra estadística.

Las Variables Elegidas.

Las Variables de discriminación elegidas se pueden clasificar en dos tipos:

- **Variables Cinemáticas:**

- m_{ES} . Definida como: $m_{ES}^2 = \left(\frac{E_{haces}^*}{2} \right)^2 - p_{rec}^{*2}$.
- ΔE . Definida como: $\Delta E = \frac{E_{haces}^*}{2} - E_{rec}^*$.

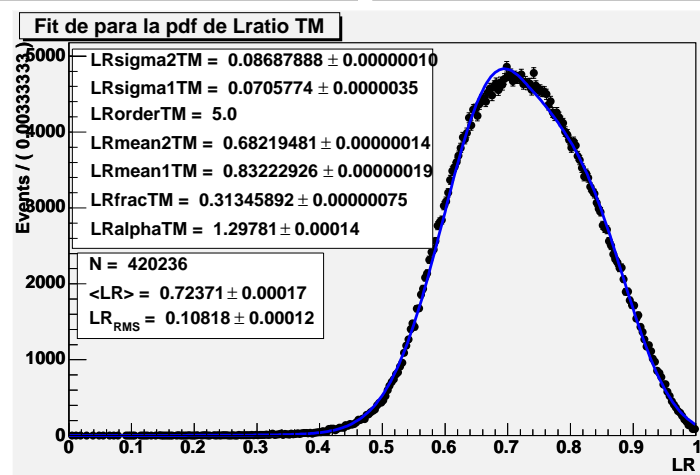
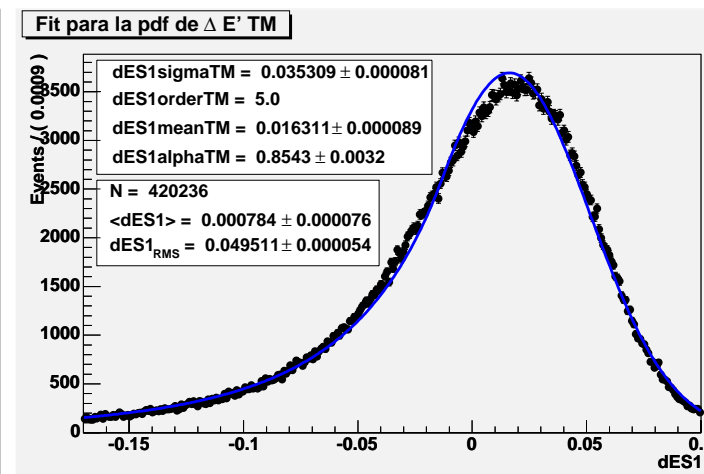
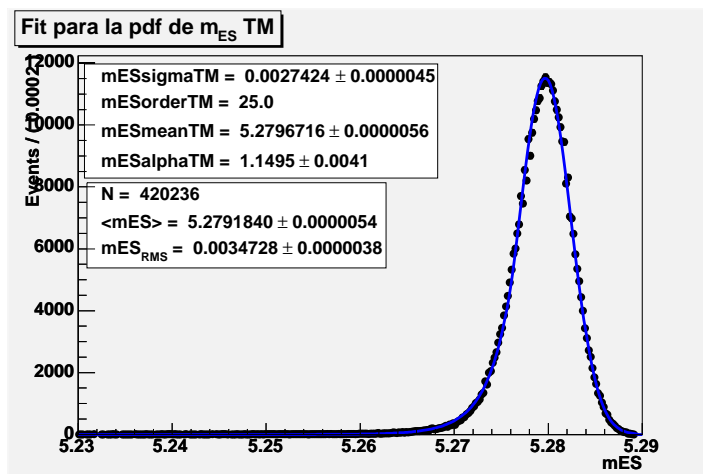
- **Variables Topológicas:**

- LR . Definida como: $LR = 1 - \frac{L_2}{L_0}$. En donde $L_0 = \sum_i p_i^*$ y $L_2 = \sum_i p_i^* |\cos \theta_i^*|$. p_i^* y θ_i^* son los momentos en el C.M. de la colisión y el ángulo con el eje de impulsión de las partículas del resto del evento respectivamente.

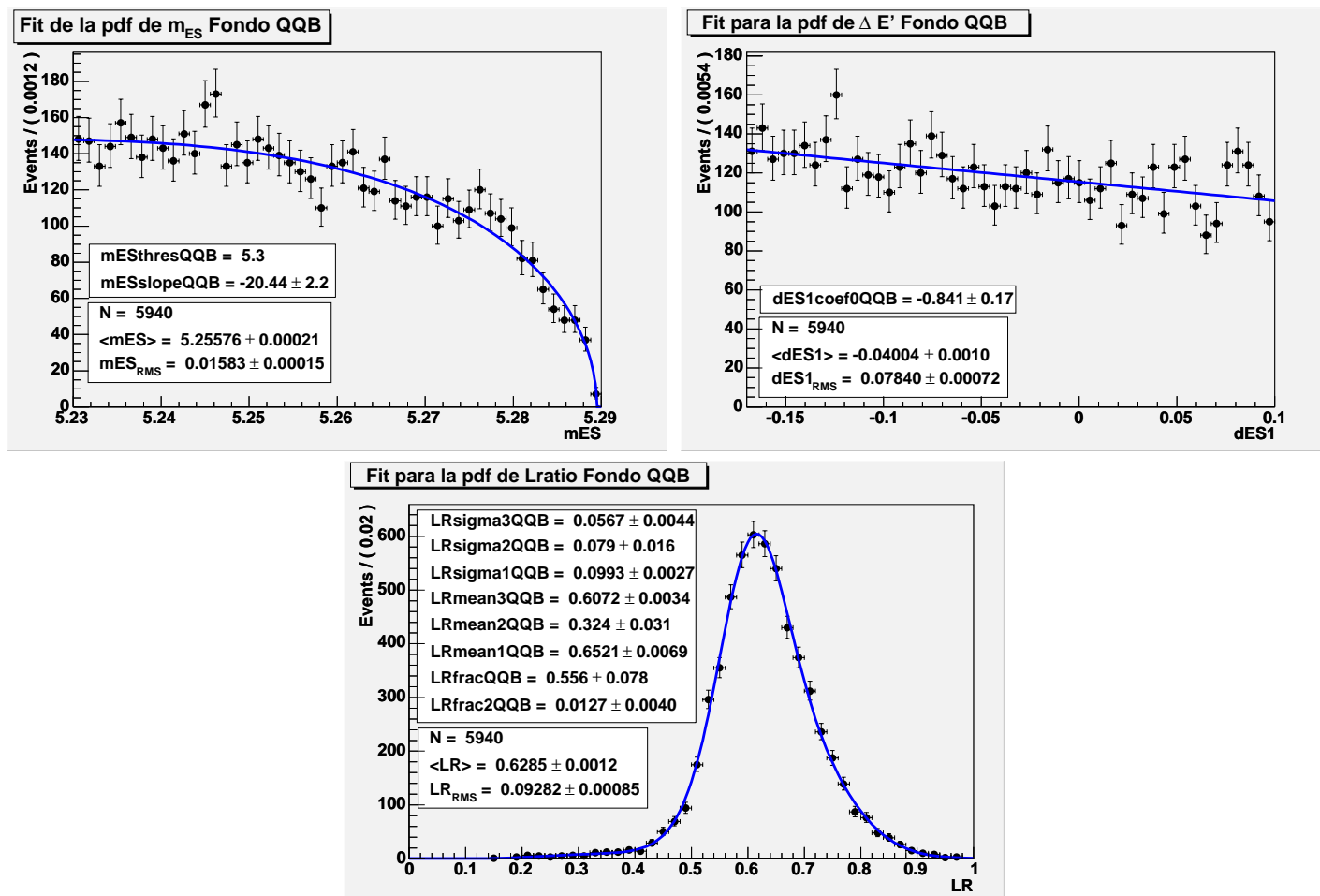
Cada una de estas variables son estadísticamente independientes para todas las componentes de la muestra excepto para el Fondo BB en donde m_{ES} y ΔE están muy correlacionadas.

Validación de Las Pdf's de las Muestras de Control.

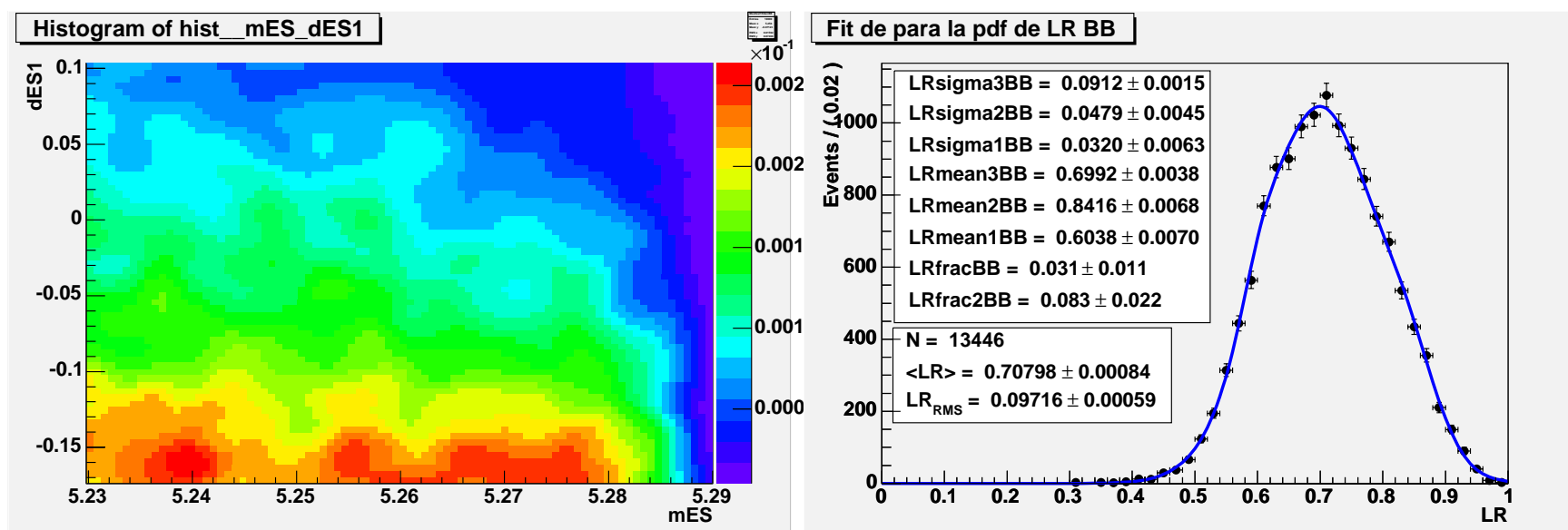
Pdf's de la Señal.



Pdf's del Fondo QQB.



Pdf's del Fondo B.



La Función de Verosimilitud a Utilizar.

La pdf Total que rige a nuestra muestra tiene la siguiente forma:

$$P_{Total}(m_{ES}, \Delta E, LR) = \frac{1}{N_{total}} \sum_{i=1}^{N_s} N_i f_i(m_{ES}, \Delta E, LR)$$

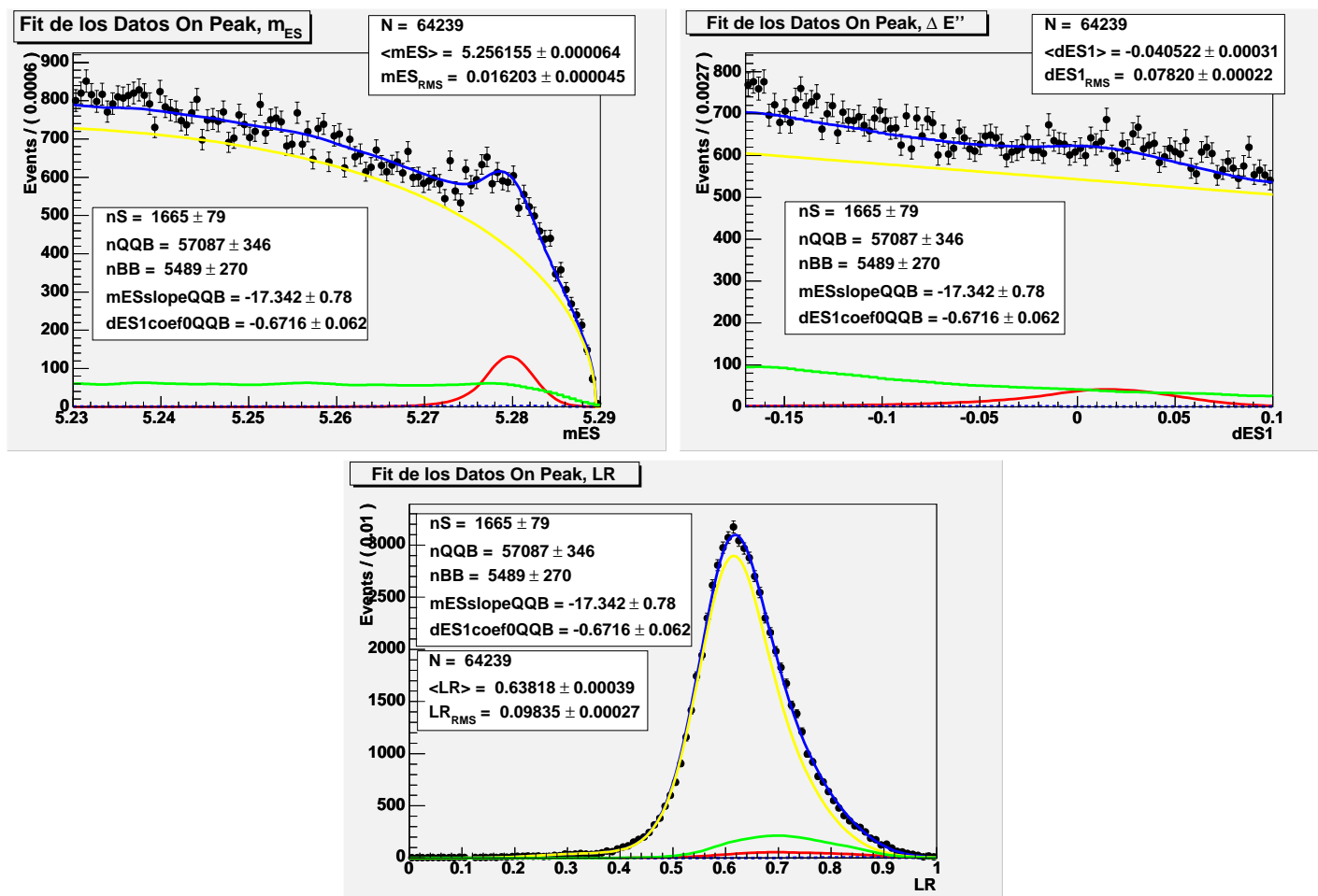
en donde N_s es el número de especies en la muestra, N_i es el número de eventos de la especie i , N_{total} es el número total de eventos en la muestra y

$$f_i(m_{ES}, \Delta E, LR) = f_i(m_{ES}) f_i(\Delta E) f_i(LR)$$

excepto para el fondo BB en donde m_{ES} y ΔE están muy correlacionadas. Para el Fondo B se tiene:

$$f_B(m_{ES}, \Delta E, LR) = f_B(m_{ES}, \Delta E) f_B(LR)$$

Resultados del Fit Nominal



El número de señal obtenido fue: $N_{\text{señal}} = 1665$ eventos.

Correcciones por eficiencia al número de Señal y Cálculo de Errores Sistemáticos.

Para el cálculo del Branching Ratio se necesita conocer el número de eventos de señal dentro del mar de eventos que se produjeron en el Detector BaBar durante todo su tiempo de operación. Debido a que el proceso de preselección no es 100% eficiente no todos los eventos de señal están dentro de nuestra muestra estadística. Por esto último, el valor obtenido en el fit nominal necesita ser corregido por eficiencia. Esta parte es una de las últimas etapas de nuestro análisis y está en proceso todavía.

Las muestras de control no representan al 100% a las distintas especies dentro de la muestra estadística. Por este motivo, el hecho de validar las pdf's con dichas muestras tiene una componente de error sistemático. La estimación de estos errores es una de las últimas partes de nuestro análisis y está en proceso en este momento.