Medida de la vida media de los hadrones con belleza a las energías del bosón Z.

David Fernández Álvarez

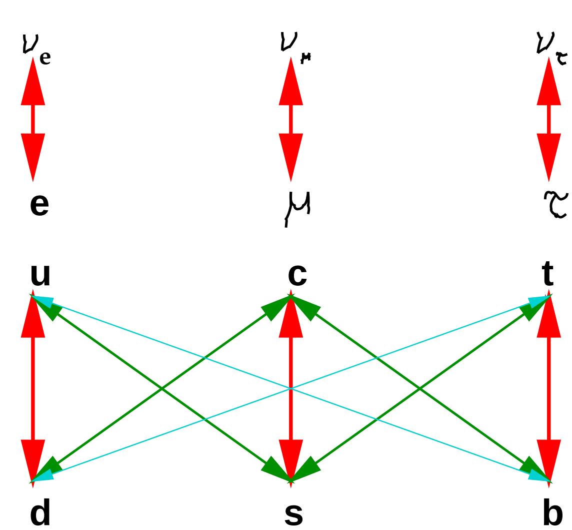
INDICE

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Modelo Estándar.
  - Teoría unitaria y renormalizable.
  - Modelo V-A para las corrientes cargadas.
  - Corrientes neutras sin cambio de sabor: mecanismo de GIM.
  - Ruptura espontánea de simetría (Higgs): M_Z, M_W, m_f.
  - 18 parámetros libres: $\{\alpha,\ G_F,\ M_Z,\ M_H,\ m_f,\ V_{ij},\ \alpha_S\}$.

- Matriz de Cabibbo-Kobayashi-Maskawa.

$$V_{CKM} = \begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$



- Intensidad de los acoplos -

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Proceso $\mathrm{e^+e^-} \to \mathrm{f\bar{f}}$ a energías $\sqrt{s} = M_{\mathrm{Z}}$.

  – Orden Born.

$$\sigma^{0,ff}(M_Z^2) = \frac{12\pi}{M_Z^2}\frac{\Gamma_e\Gamma_f}{\Gamma_Z^2}$$

  – Correcciones radiativas.

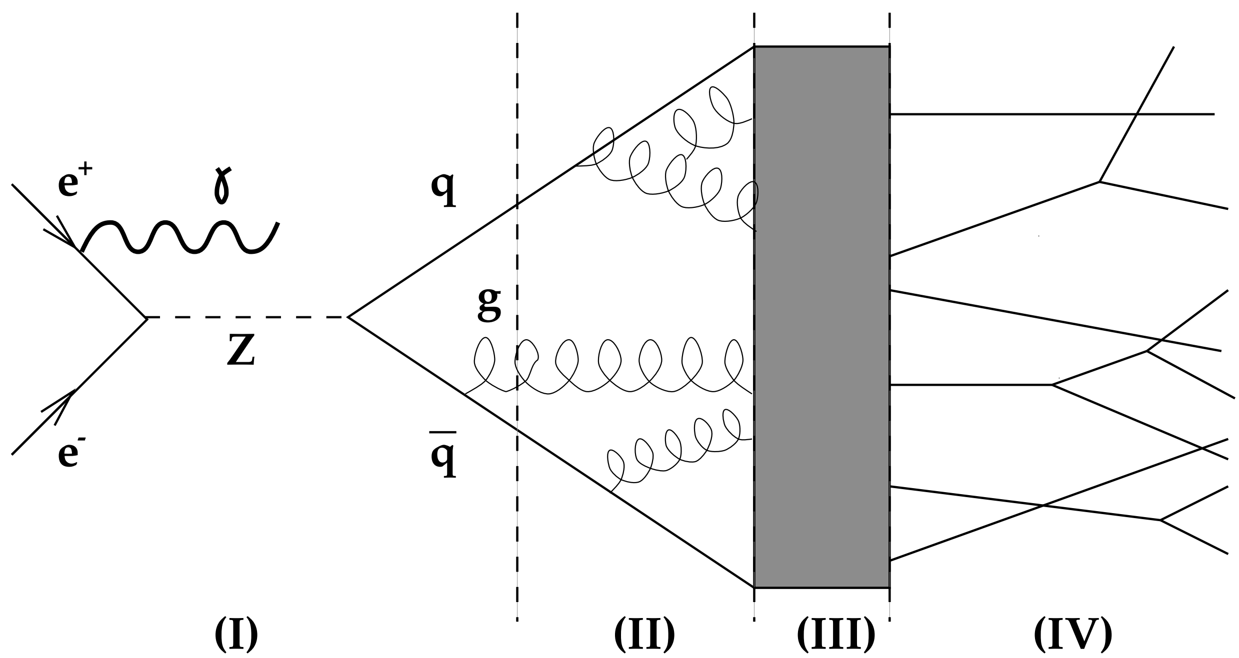
Fermión	fracción
$e,\ \mu,\ \tau$	3.4 %
$\nu_e,\ \nu_\mu,\ \nu_\tau$	6.9 %
$u,\ c$	11.8 %
$d,\ s,\ b$	15.2 %

- *Producción* $\mathrm{e^+e^-} \to \mathrm{f\bar{f}}$ *a energías* $\sqrt{s} = M_{\mathrm{Z}}$ -

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Producción y desintegración de hadrones B.

La observación de los quarks b no es directa:



- Producción y desintegración de hadrones -

I- Producción electrodébil $e^+e^- \to q\overline{q}$.

II- Evolución de los partones.

* QCD perturbativa : Parton Shower.

III- Fragmentación.

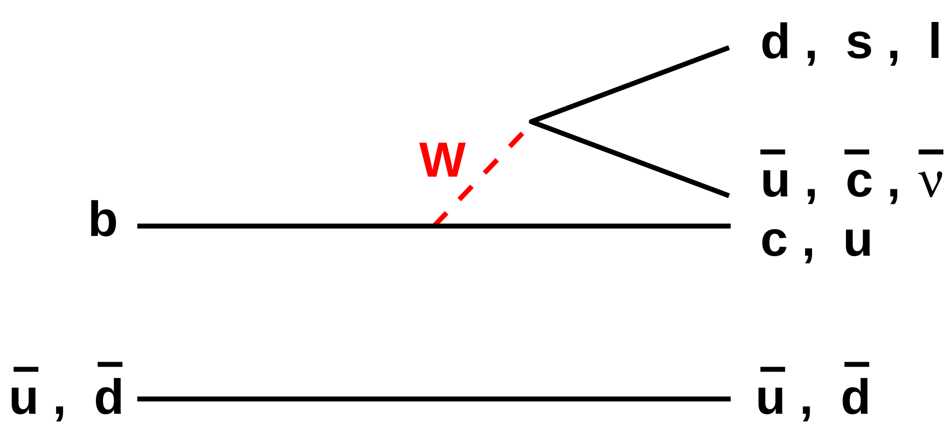
* QCD no perturbativa: Función de fragmentación de Peterson $\Rightarrow$ alto p de los hadrones B.

IV- Desintegración de hadrones pesados.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Desintegración inclusiva semileptónica de hadrones B.

  * Modelo de Quark Espectador:



  * Importancia de otras contribuciones.

  * Otros modelos: ACCMM, ISGW, ISGW**.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

- Cálculo del elemento $\mid V_{cb} \mid$.

Considerando el modelo de Quark Espectador:

$$\Gamma_{sl} = \frac{G_F^2 m_b^5}{192\pi^3} \mid V_{qb} \mid^2 \Phi\left(\frac{m_q}{m_b}, \frac{m_l}{m_b}, \frac{m_\nu}{m_b}\right) \Psi\left(\frac{m_q}{m_b}\right)$$

donde,

- $\Phi(x, y, z)$ es un factor de corrección por espacio de fases.
- $\Psi(\epsilon)$ es un factor de corrección QCD.

Entonces, dado que,

$$\tau_B = \frac{1}{\Gamma_{TOT}} = \frac{Br_{sl}}{\Gamma_{sl}}$$

obtenemos:

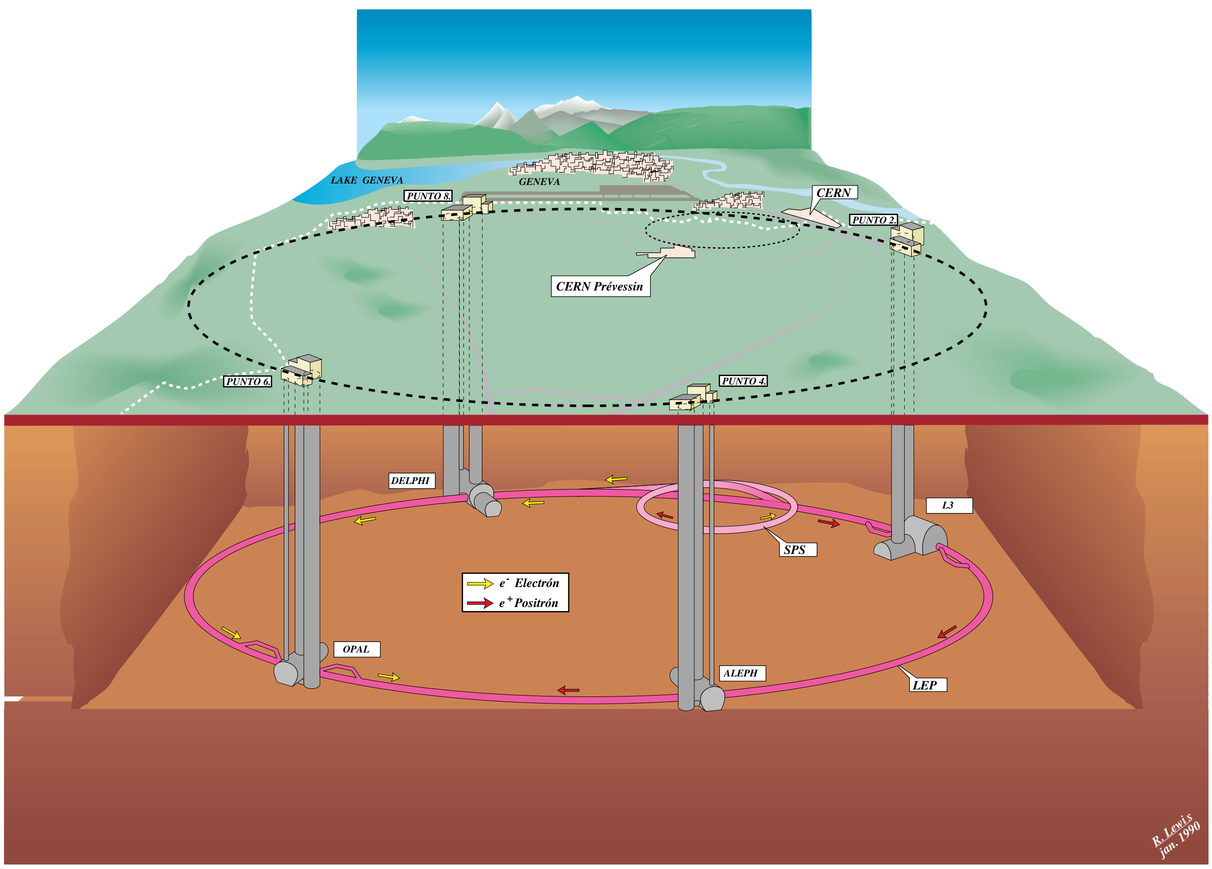
$$|V_{cb}|^2 = \frac{Br_{sl}}{\tau_B} \left\{ \frac{G_F^2 m_b^5}{192\pi^3} \left(F(\epsilon_c) + F(\epsilon_u) \frac{\mid V_{ub} \mid^2}{\mid V_{cb} \mid^2} \right) \right\}^{-1}$$

donde hemos denotado,

$$F(\epsilon_q) \equiv \phi(\epsilon_q)\Psi(\epsilon_q) \qquad \text{y} \qquad \epsilon_q \equiv \frac{m_q}{m_b}$$

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

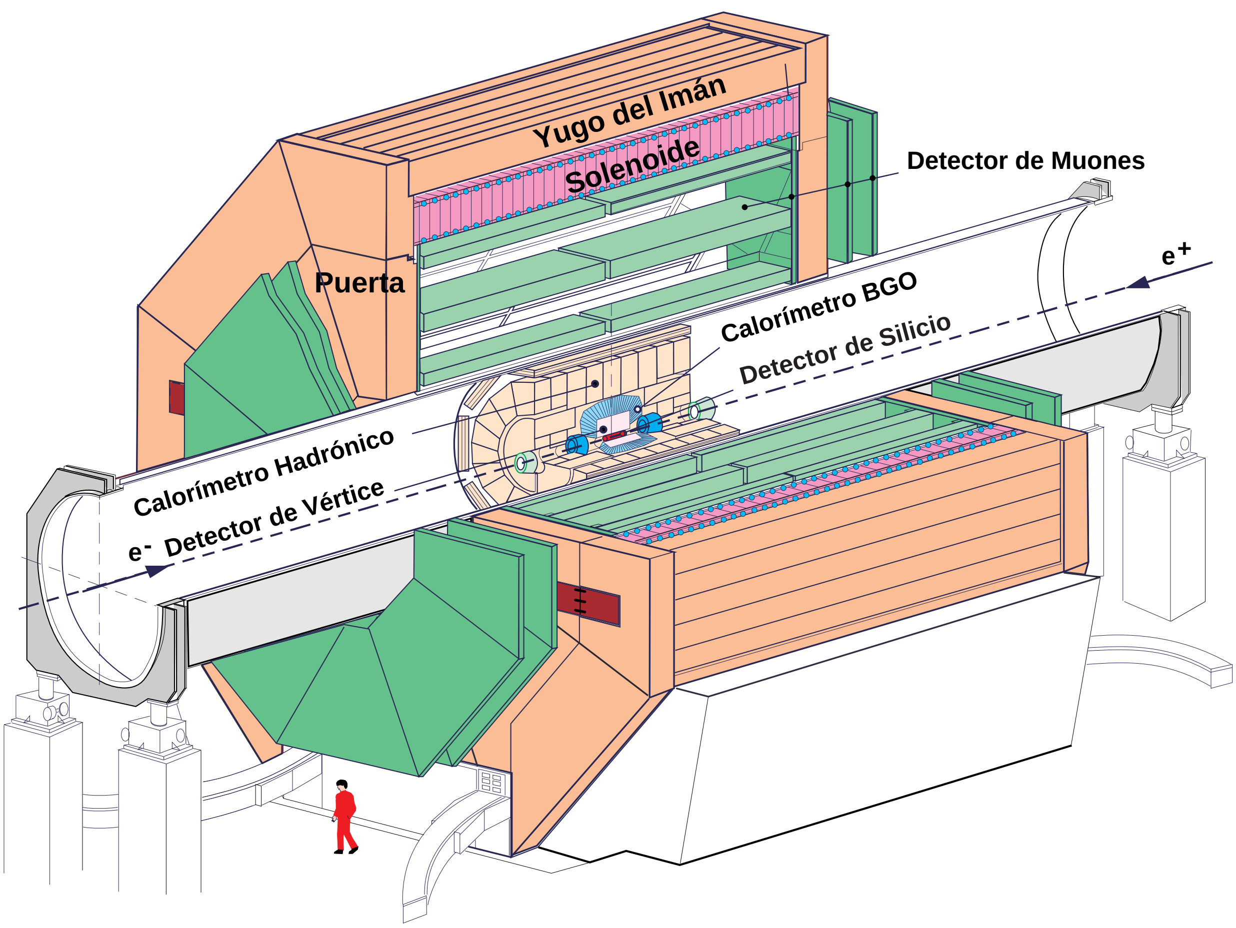
- LEP (CERN).



- Panorámica de LEP -

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

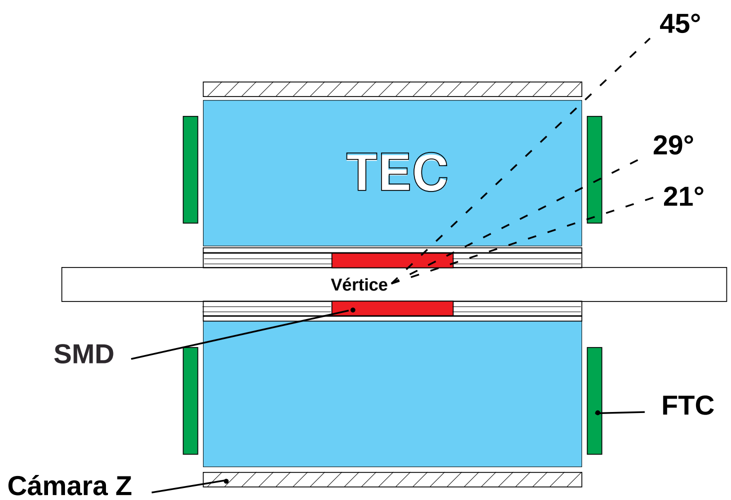
- El detector L3.



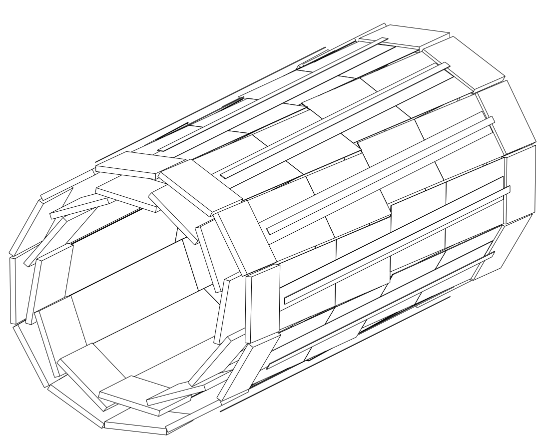
- Esquema general de L3 -

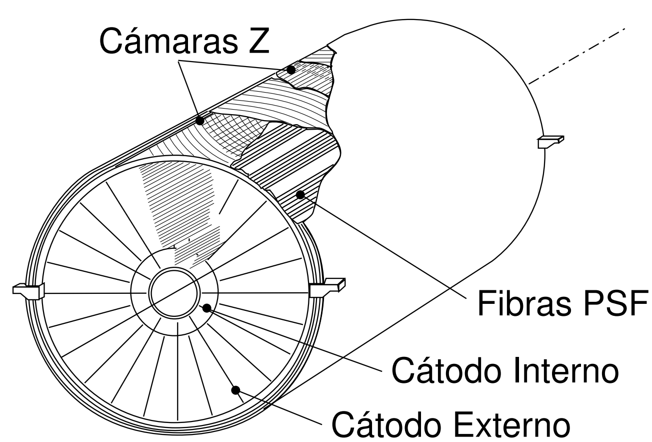
2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- El sistema central de trazas: TEC+SMD



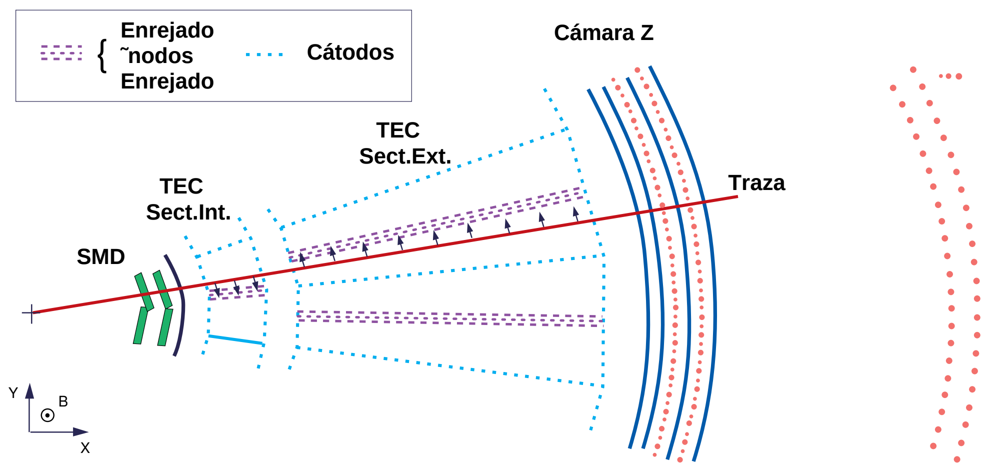
- Esquema general del detector central -



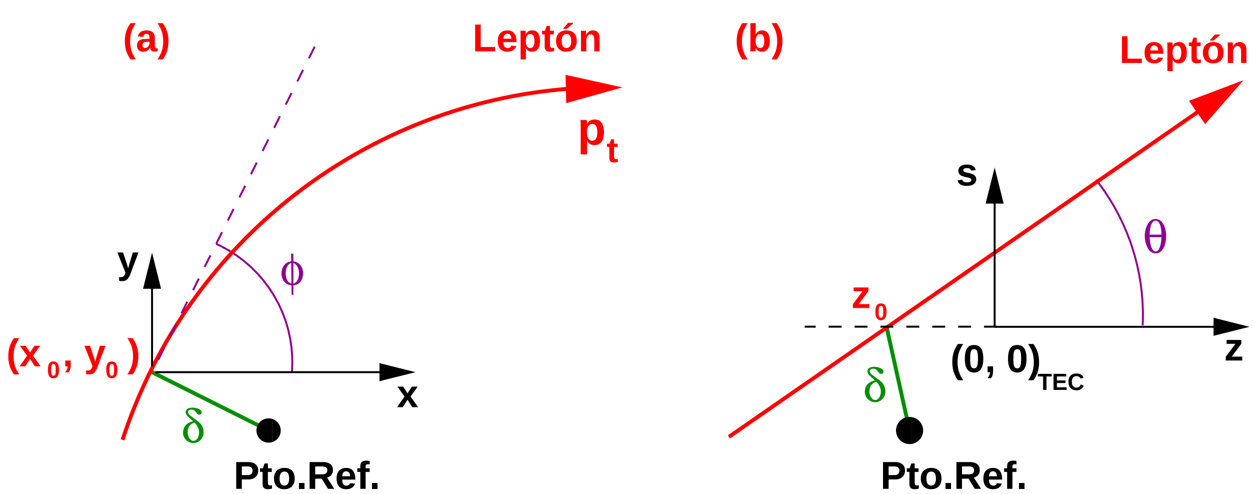


- Esquema general del SMD y la TEC -

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL



- Sección transversal del detector central -

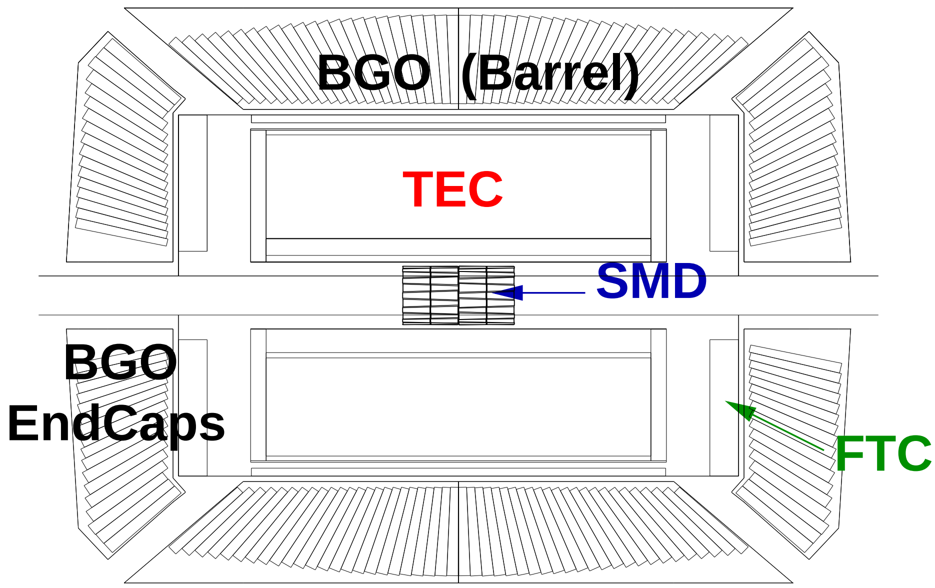


- Traza en el plano (a) $r\phi$ y (b) sz -

- $\sigma_{1/p_t} \sim 0.02$ GeV^{-1}, $\sigma_\delta \sim 100$ μm (TEC).
- $\sigma_{1/p_t} \sim 0.01$ GeV^{-1}, $\sigma_\delta \sim 30$ μm (TEC+SMD).

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- El calorímetro electromagnético (BGO).

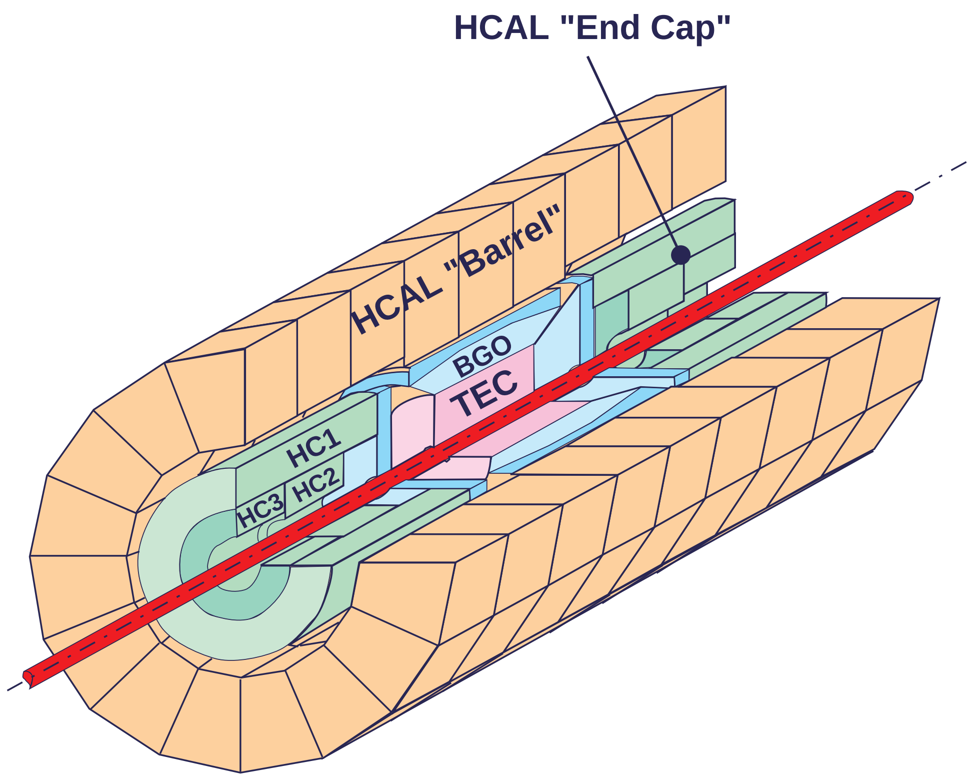


- Sección longitudinal del BGO -

- $\frac{\sigma_E}{E} = \left(\frac{1.5}{\sqrt{E}} + \frac{0.4}{E} + 1.\right)\%$ (E en GeV).

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- El calorímetro hadrónico

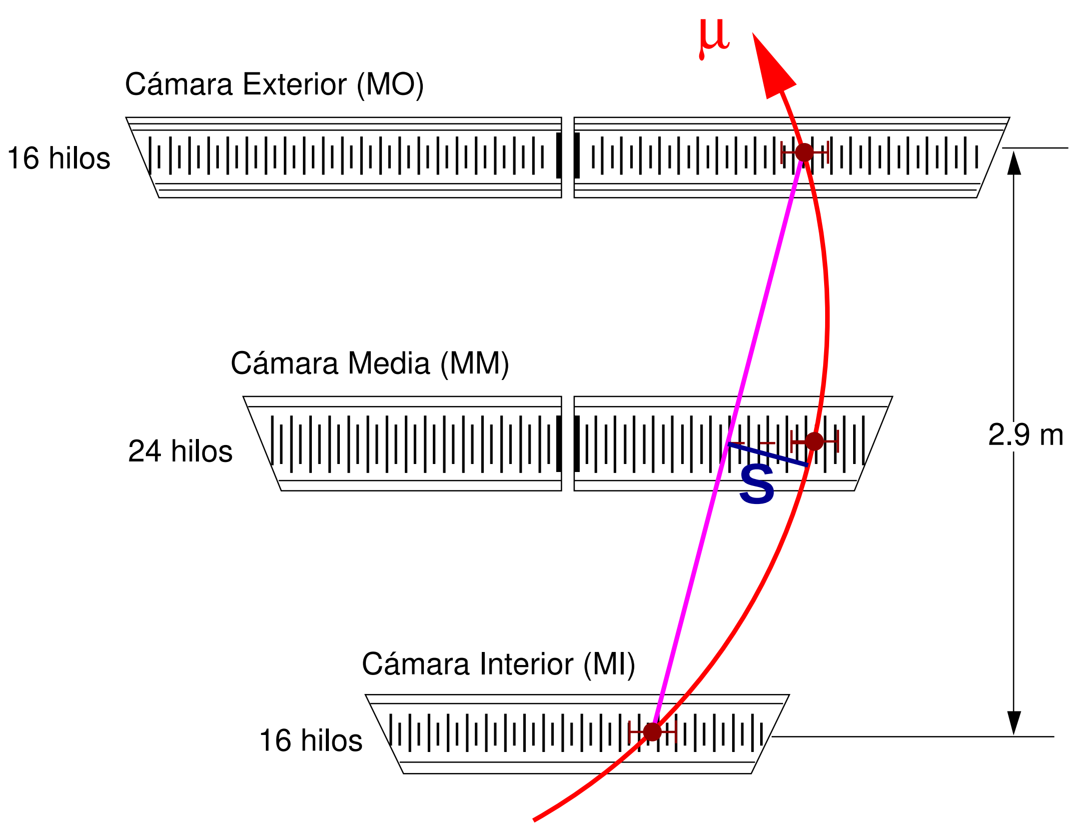


- Esquema del calorímetro hadrónico -

- $\frac{\sigma_E}{E} = \left(\frac{55}{\sqrt{E}} + 5\right)\%$ (E en GeV).

2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

- El detector de muones.



- Corte transversal de un octante -

- $\Delta p/p$ (triplete) $\sim 2.75\%$ (45 GeV).

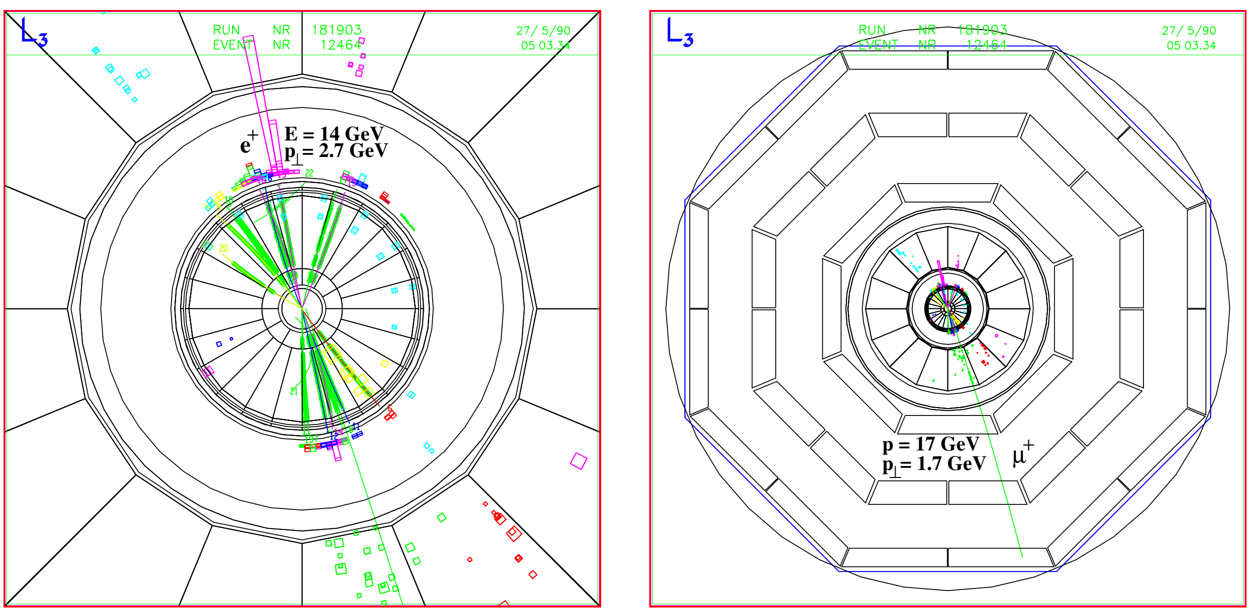
3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

- Luminosidad recogida en L3 (1991-94).

  Eficiencia del *trigger*: $\epsilon_{hadron} \sim 99.99\%$.

  $L = 109.4$ pb^{-1} $\sim 3.10^6$ sucesos hadrónicos.

- Selección de sucesos hadrónicos.



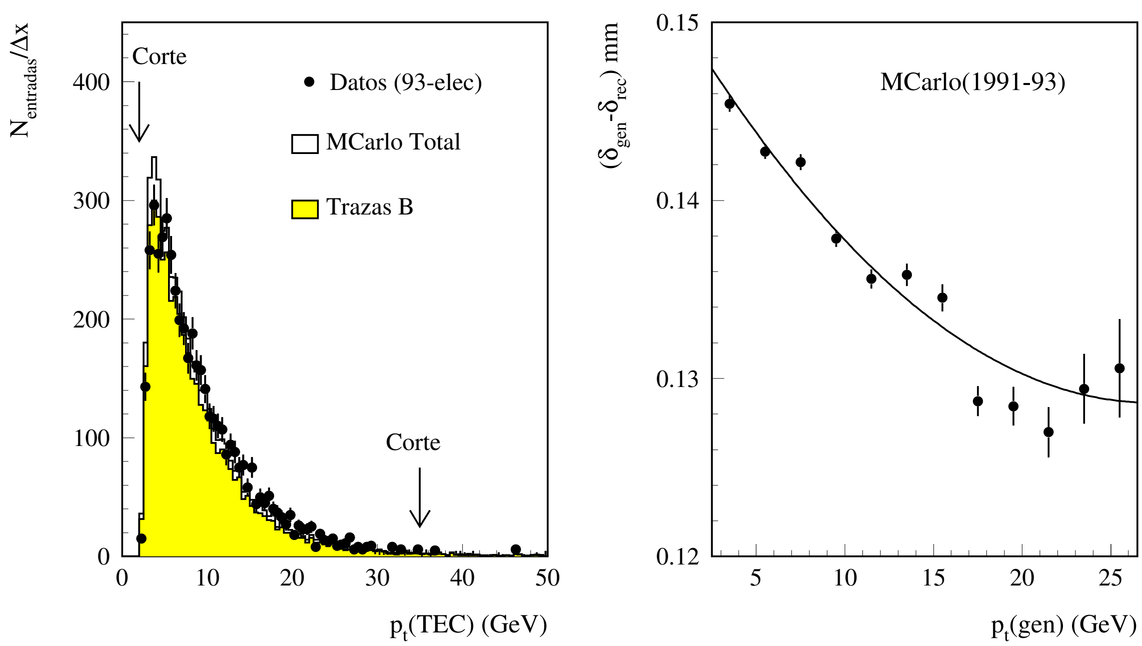
- Suceso hadrónico con un electrón y un muón inclusivo -

- $0.5 \leq E_{vis}/\sqrt{s} \leq 2.0$
- $E_{per}/E_{vis} \leq 0.5$
- $E_{par}/E_{vis} \leq 0.6$
- $N_{asrcs} \geq 13$, (para $\mid \cos(\theta_{thrust}) \mid \leq 0.74$)

  $N_{asrcs} \geq 17$, (para $\mid \cos(\theta_{thrust}) \mid \geq 0.74$)

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

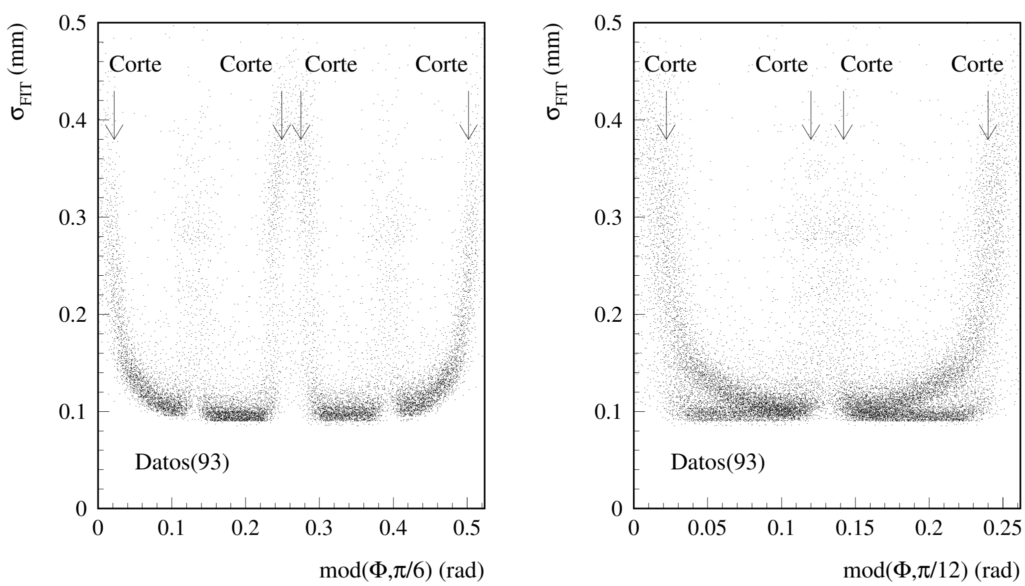
- Cortes de calidad de traza.
  - $N_{hits} \geq 45$
  - $Span \geq 58$
  - $\mid \delta \mid \leq 5$ mm
    $(< \delta >_B \sim 0.35$ mm)
  - $35 \geq p_t \geq 2$ GeV



- Distribución de p_t y dependencia de σ_δ con p_t -

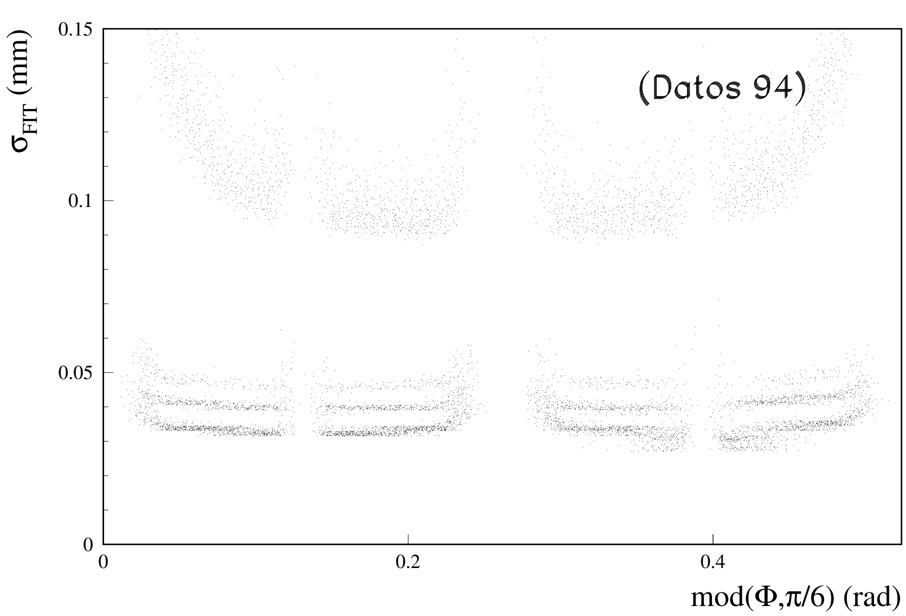
3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

- $\Delta\phi_{catodo\ ext} \geq 22$ mrad $\qquad \Delta\phi_{grid\ ext} \geq 11$ mrad
- $\Delta\phi_{catodo\ int} \geq 22$ mrad $\qquad \Delta\phi_{grid\ int} \geq 13$ mrad



- Distribución de σ_{FIT} en función de ϕ -

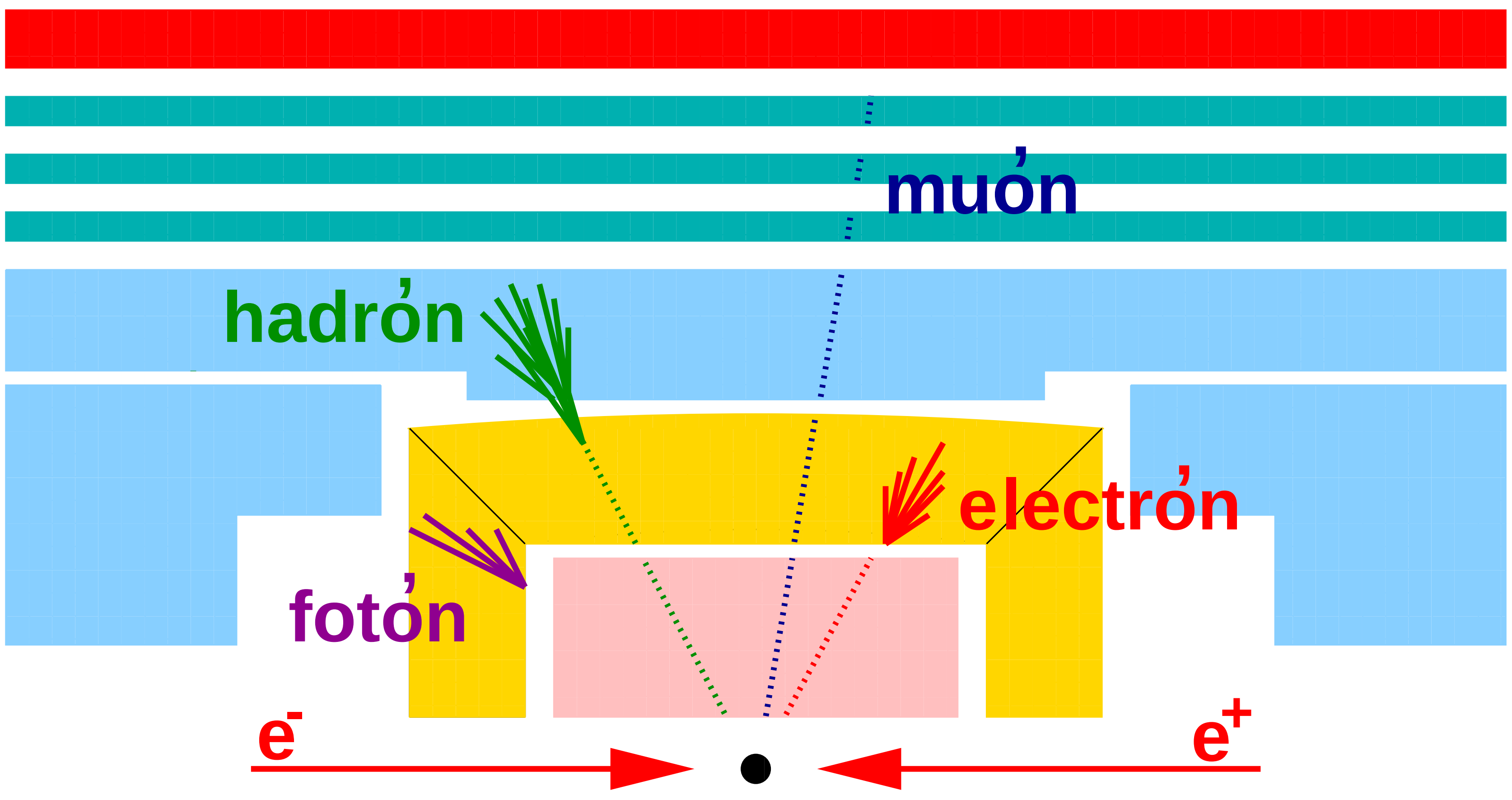
- $N_{hits}(r\phi)_{interno} \geq 1$ (en el SMD)



- Distribución de σ_{FIT} en función de ϕ -

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

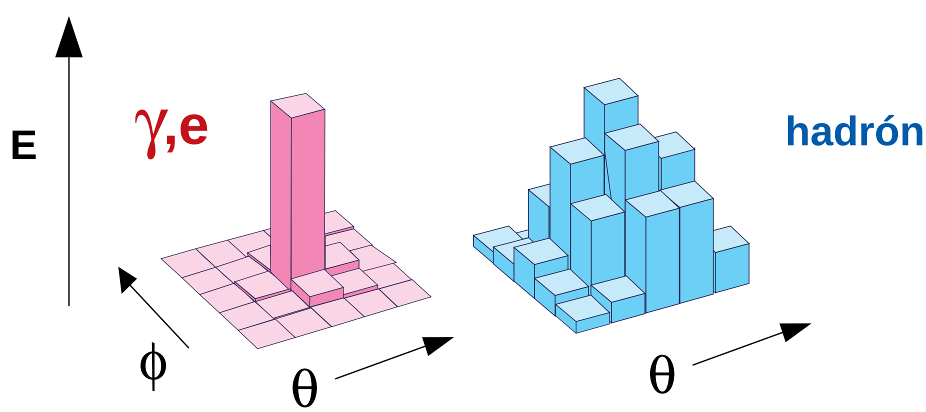
- Selección de leptones inclusivos.



- Selección de leptones inclusivos -

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

- Selección de electrones inclusivos.
  - Volumen fiducial.
  - Identificación de electrones.
    - $E_9/E_{25} \geq 0.95$
    - $\chi^2_{BGO} \leq 6$
    - $N_{cristales} \geq 5$
    - $Cono 7^\circ \leq 3$ GeV



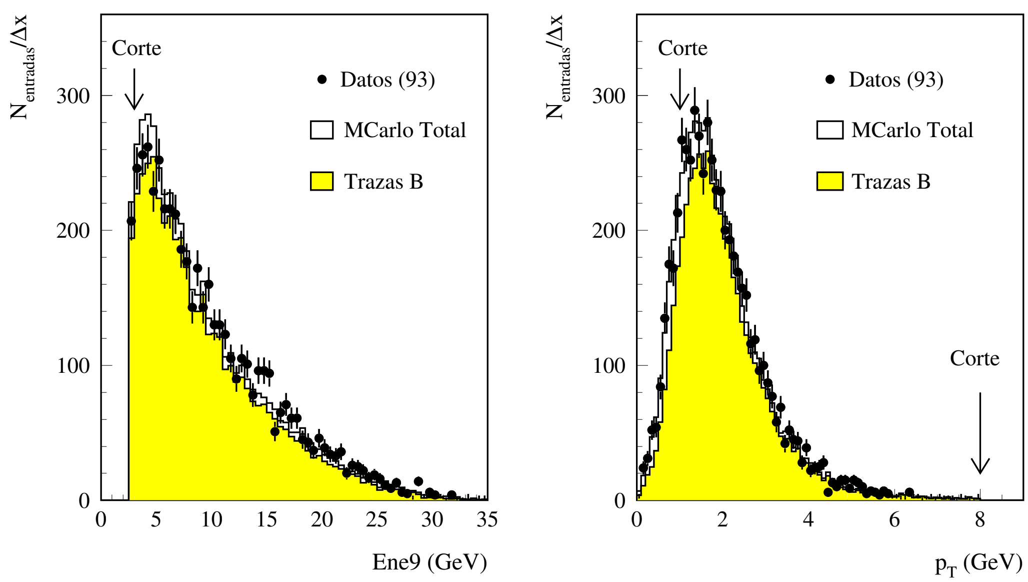
- Cascadas en el BGO -

  - Asociación con una traza de la TEC.
    - $\Delta\phi_{BGO} \equiv |\phi_{TEC} - \phi_{BGO}| \leq 5$ mrad
    - $\chi^2_{E_T p_t} \leq 3$

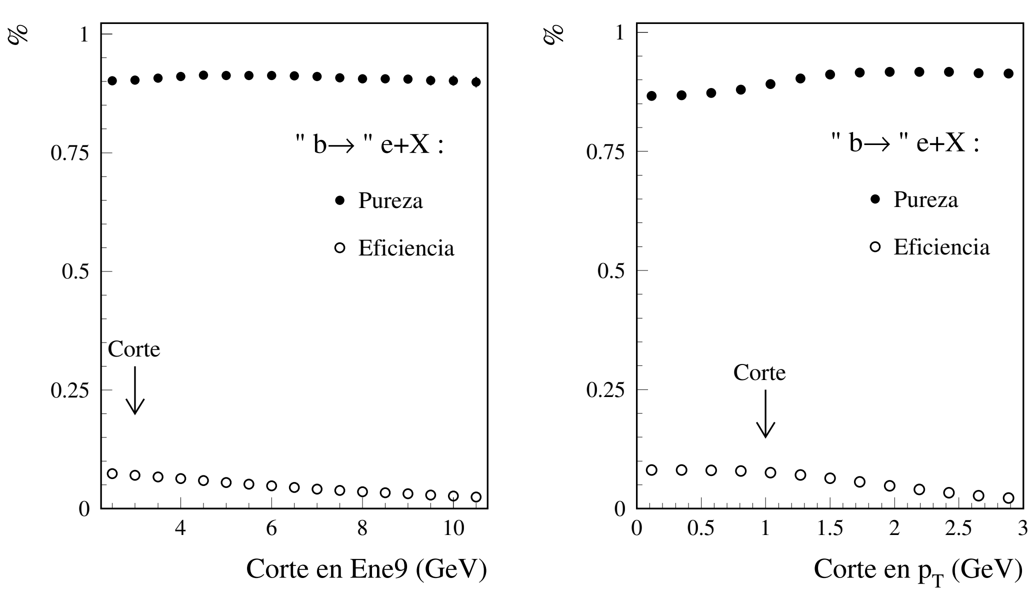
3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

– Cinemática de electrones $b \to eX$:

- $E_9 \geq 3$ GeV
- $1. \leq p_T \leq 8.$ GeV



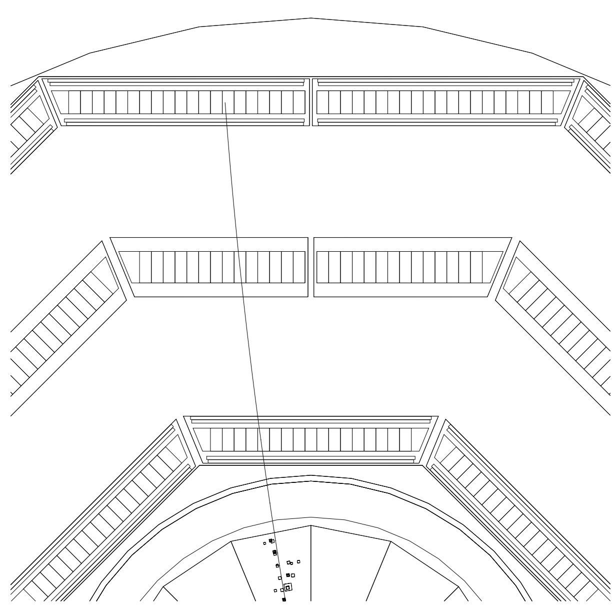
- Distribuciones de E_9 y p_T -



- Eficiencia y pureza de "$b \to$"eX -

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

- Selección de muones inclusivos.
  - Volumen fiducial.
  - Identificación de muones.
    - $N_{SegP} \geq 2$
    - $N_{SegZ} \geq 1$
    - $d_{r\phi} \leq 200$ mm $\qquad d_{r\phi}/\sigma_{d_{r\phi}} \leq 3$
    - $d_z \leq 300$ mm $\qquad d_z/\sigma_{d_z} \leq 4$



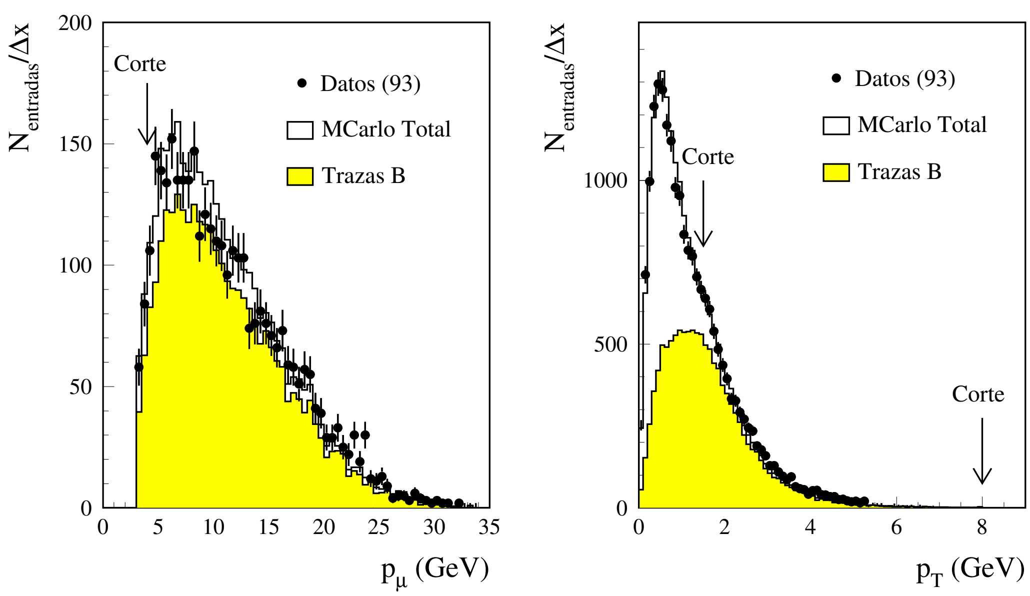
- Identificación de muones -

  - Asociación con una traza de la TEC.
    - $\chi_{TEC} \leq 100$

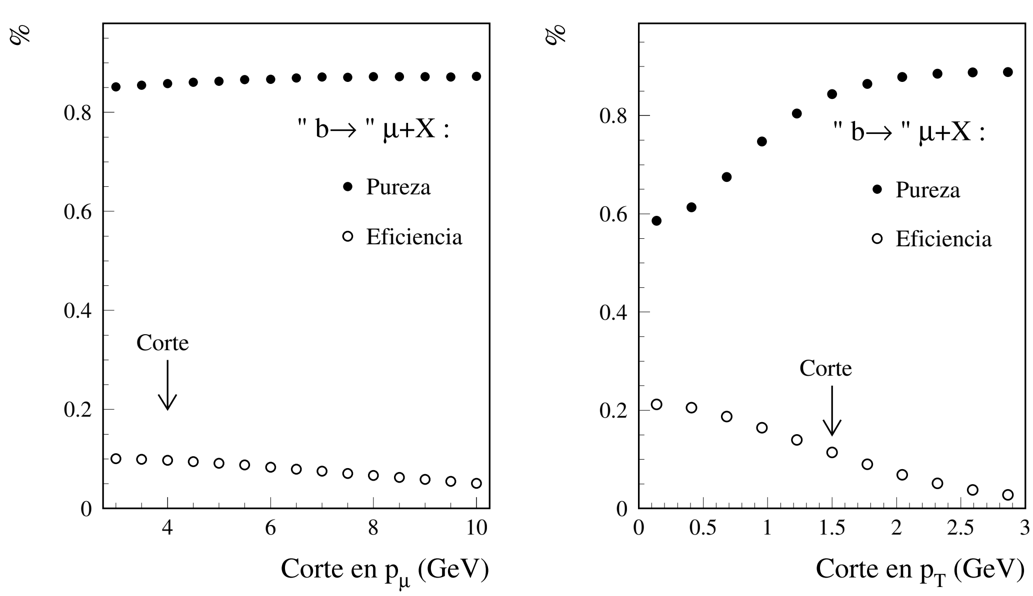
3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

– Cinemática de muones $b \to \mu X$:

- $p_\mu \geq 4$ GeV
- $1.5 \leq p_T \leq 8.$ GeV



- *Distribuciones de p_μ y p_T* -



- *Eficiencia y pureza de "$b \to$"μX* -

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

- Composición de la muestra.

Canal:	Dt(91-93)	Dt(94)
$q\overline{q} \rightarrow eX$	11064	6403
$q\overline{q} \rightarrow \mu X$	14497	8565

- Nº trazas seleccionadas -

Purezas(91)	Electrones	Muones
$b \rightarrow lX$	$80.08 \pm 0.31\%$	$75.91 \pm 0.28\%$
$b \rightarrow c \rightarrow lX$	$10.12 \pm 0.24\%$	$9.69 \pm 0.19\%$
$c \rightarrow lX$	$4.07 \pm 0.15\%$	$6.98 \pm 0.16\%$
Fondo	$5.72 \pm 0.18\%$	$7.42 \pm 0.17\%$

Purezas(94)	Electrones	Muones
$b \rightarrow lX$	$83.10 \pm 0.22\%$	$76.22 \pm 0.22\%$
$b \rightarrow c \rightarrow lX$	$9.64 \pm 0.18\%$	$9.09 \pm 0.15\%$
$c \rightarrow lX$	$4.60 \pm 0.12\%$	$7.80 \pm 0.14\%$
Fondo	$2.65 \pm 0.10\%$	$6.88 \pm 0.13\%$

- Purezas obtenidas -

3. SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Eficiencia(91)	Electrones	Muones
$b \to lX$	$11.68 \pm 0.10\%$	$16.12 \pm 0.11\%$
$b \to c \to lX$	$1.59 \pm 0.04\%$	$2.21 \pm 0.05\%$
$c \to lX$	$0.81 \pm 0.03\%$	$2.03 \pm 0.05\%$
Fondo	$0.041 \pm 0.001\%$	$0.078 \pm 0.002\%$

Eficiencia(94)	Electrones	Muones
$b \to lX$	$12.98 \pm 0.08\%$	$15.47 \pm 0.09\%$
$b \to c \to lX$	$1.37 \pm 0.03\%$	$1.67 \pm 0.03\%$
$c \to lX$	$0.92 \pm 0.03\%$	$2.02 \pm 0.04\%$
Fondo	$0.019 \pm 0.001\%$	$0.064 \pm 0.001\%$

- Eficiencias obtenidas -

- Fondo.

Composición(91)	Electrones	Muones
Trazas primarias	$53.35 \pm 1.63\%$	$65.03 \pm 1.13\%$
Trazas secundarias	$24.02 \pm 1.39\%$	$16.16 \pm 0.87\%$
Trazas B	$22.64 \pm 1.36\%$	$18.81 \pm 0.93\%$

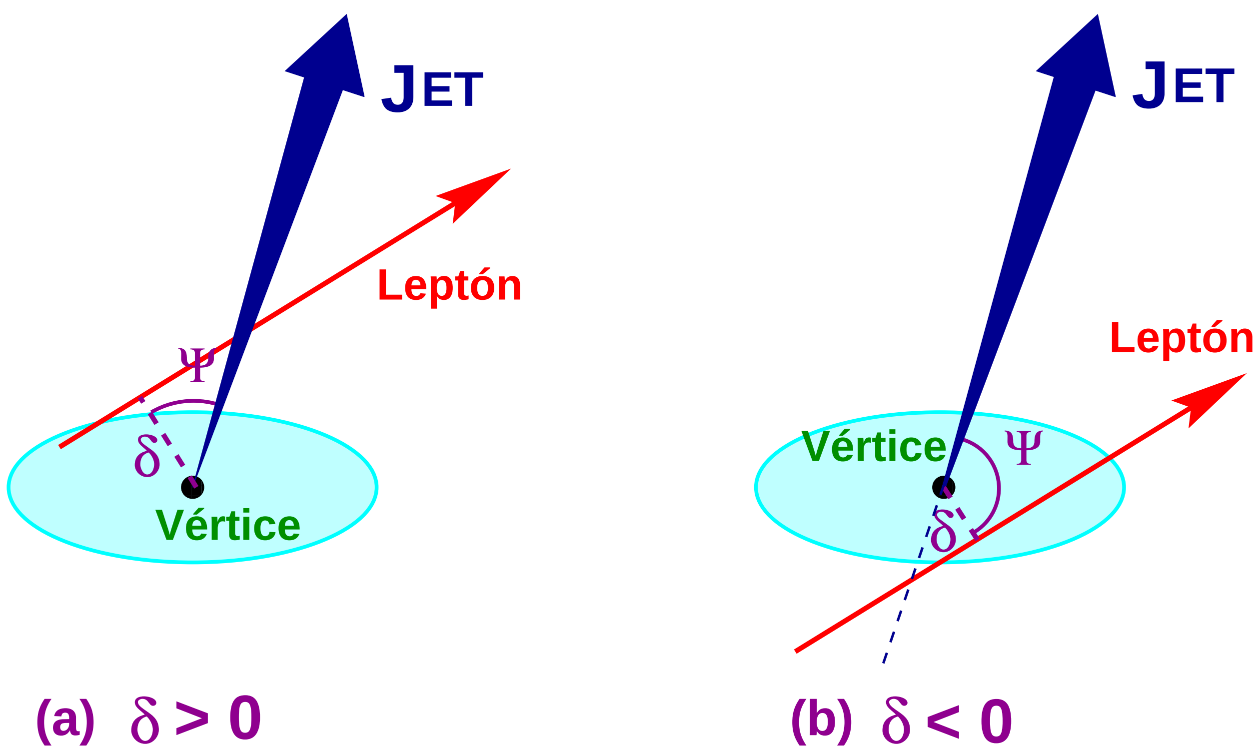
Composición(94)	Electrones	Muones
Trazas primarias	$74.03 \pm 1.60\%$	$66.67 \pm 0.94\%$
Trazas secundarias	$6.29 \pm 0.89\%$	$15.08 \pm 0.71\%$
Trazas B	$19.68 \pm 1.45\%$	$18.26 \pm 0.77\%$

- Composición del fondo -

4. ANÁLISIS

- Método del parámetro de impacto.

$$\delta = \gamma\beta c t \mid \sin\theta \mid \sin\Psi$$



- Definición y signo del parámetro de impacto -

* $< \delta > \propto \tau_B$ (donde $\tau_B \equiv < t >$).

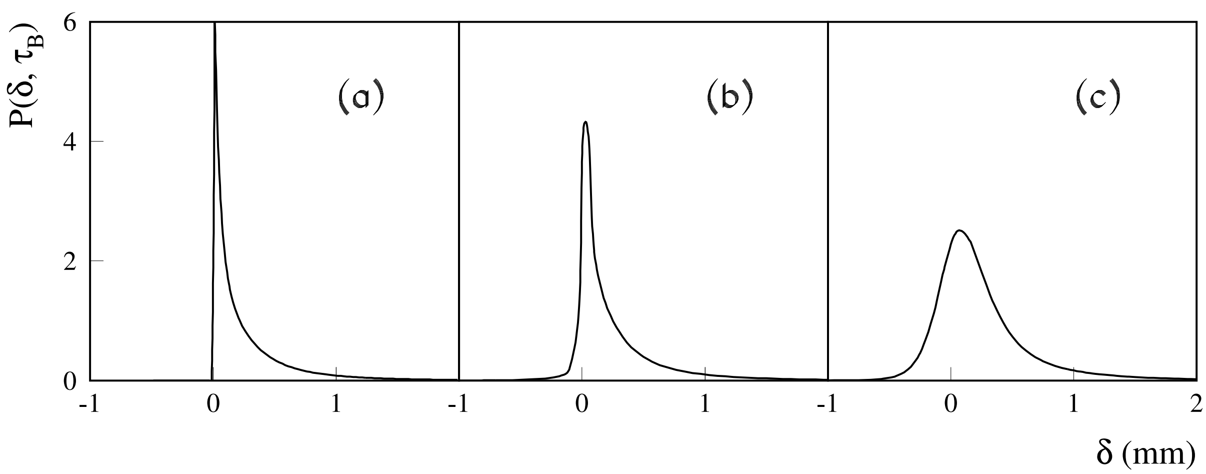
* Cuando $p_B \gg m_B$ entonces $\delta \neq \delta(p_B)$.

4. ANÁLISIS

- Ajuste por máxima verosimilitud:

$$L = \prod_{i=1}^{n} P_i(\delta_i, \tau_\delta)$$

$$P(\delta, \tau_B)d\delta = P_{teor}(\delta, \tau_B) \otimes R(\delta, \sigma_\delta)d\delta$$



- Distribución de parámetro de impacto:

(a) A nivel generador (signo respecto del hadrón B).

(b) A nivel generador (signo respecto del jet).

(c) Observada al incluir la resolución experimental.

- Función de probabilidad desarrollada:

$$P(\delta, \tau_B)d\delta = \Big\{ \{ \pi_{bl} P_{bl}(\delta, \tau_B) + \pi_{bcl} P_{bcl}(\delta, \tau_B) + \pi_{cl} P_{cl}(\delta) + \pi_{Back} P_{Back} \} \otimes R(\delta, \sigma_\delta) \Big\} d\delta$$

4. ANÁLISIS

- Distribuciones Primordiales.

- Parametrización de la distribución obtenida de una simulación Monte Carlo.

- La distribución de parámetro de impacto puede escribirse como una función $universal$ en la variable $y \equiv \frac{\delta}{c\tau_b}$:

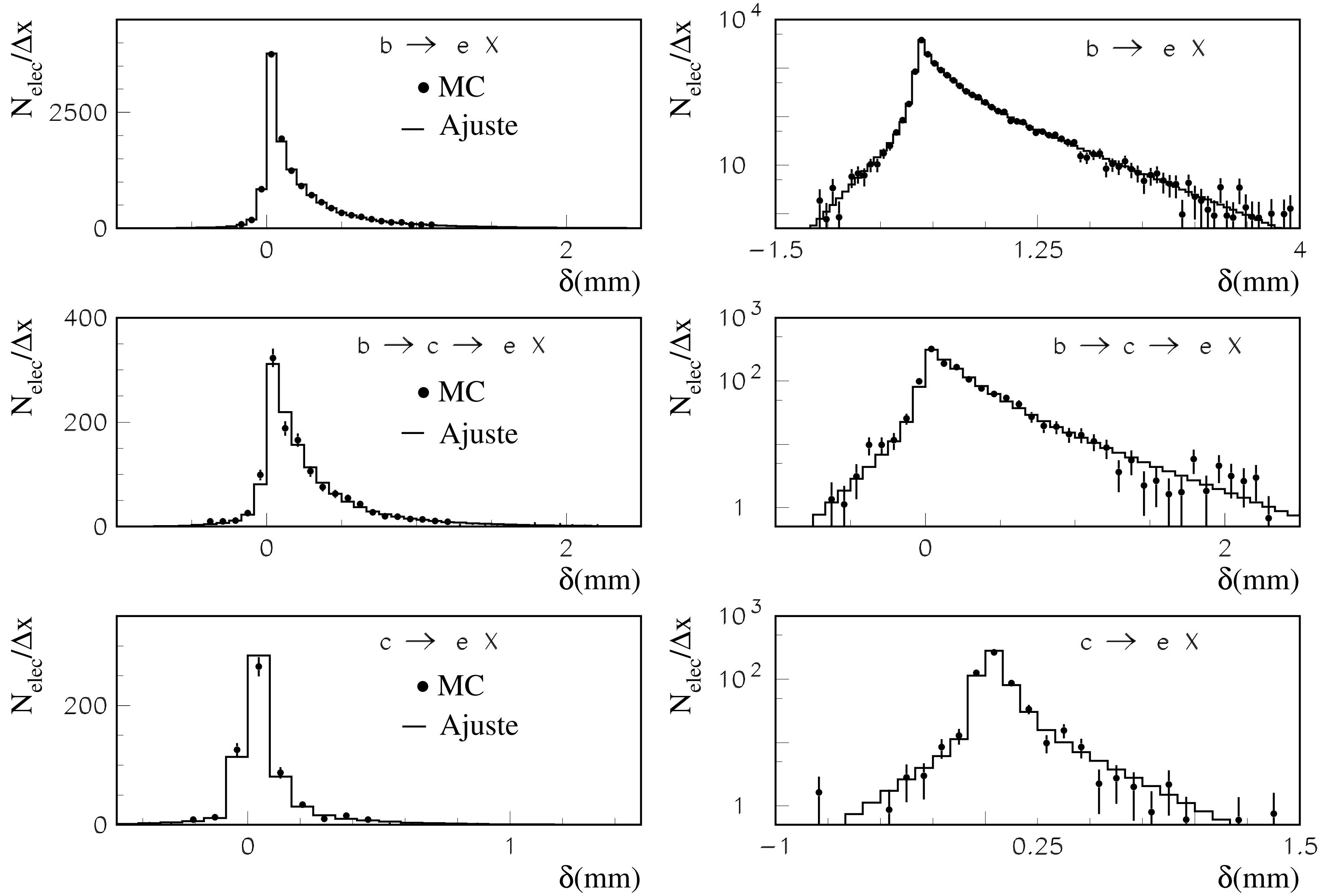
$$P_{teor}(\delta, \tau_B)\ d\delta = P_{teor}(y)\ dy$$

A partir de la parametrización de $P_{teor}(y)$ (para un valor dado de τ_B) obtenemos la de $P_{teor}(\delta)$ para cualquier valor de τ_B.

- Parametrización de $P_{teor}(y)$ a partir de su ajuste a una suma de exponenciales:

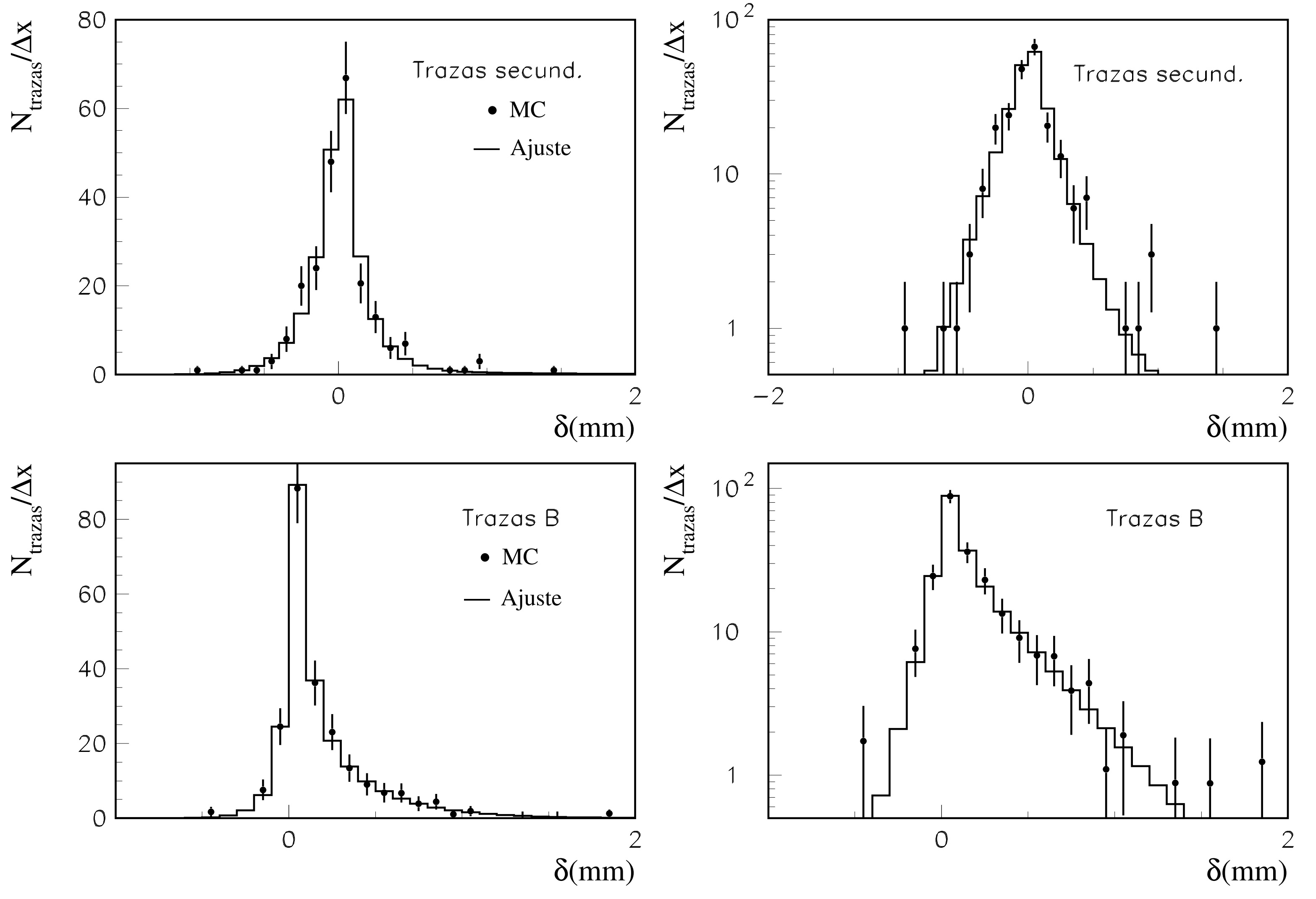
$$\begin{aligned} P_{teor}(y)dy &= \sum_j f_j \lambda_j^u \exp(\lambda_j^u y) dy \\ &= \sum_j f_j \frac{\lambda_j^u}{c\tau_B} \exp(\frac{\lambda_j^u}{c\tau_B}\delta) d\delta \end{aligned}$$

4. ANÁLISIS



- *Parametrización de* P_{bl}, P_{bcl}, P_{cl} -

4. ANÁLISIS



- Parametrización de P_{Back} -

4. ANÁLISIS

- Resolución.

$$\sigma_\delta^2 = \sigma_{BEAM}^2 + \sigma_{MS}^2 + \sigma_{FIT}^2$$

  - Vértice primario y tamaño del haz.
  - Dispersión múltiple.
  - Resolución experimental del ajuste de una traza.

4. ANÁLISIS

- Vértice primario y tamaño del haz: σ_{BEAM}.

- Vértice primario:

  – Punto respecto del cual la suma de las distancias de las trazas en un $fill$ es mínima. Se obtiene minimizando:

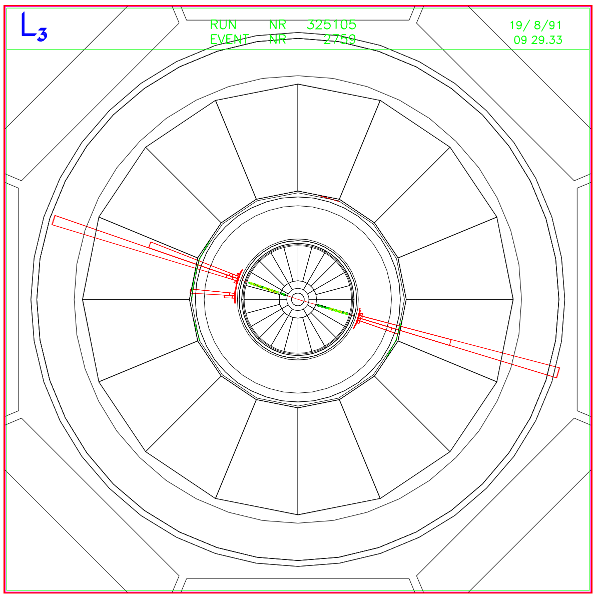
$$\chi^2(\Delta\vec{r}) = \sum_i w^i_{\delta\delta}\ \delta'^2_i(\Delta\vec{r})$$

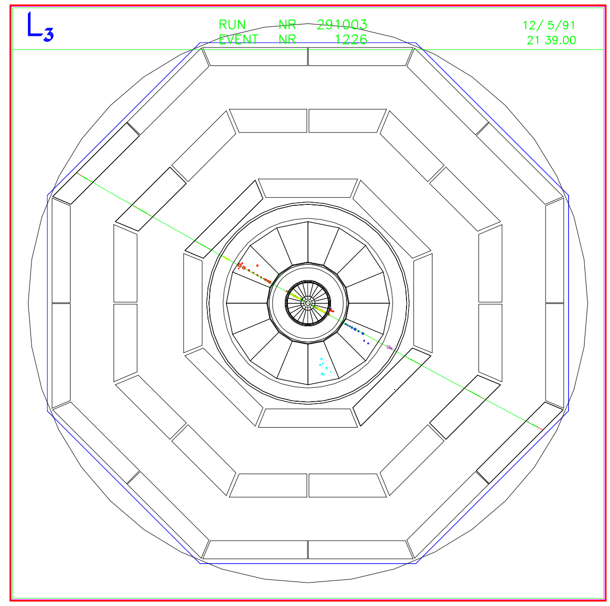
  donde $\Delta\vec{r} \equiv \vec{r}_{V'} - \vec{r}_V$ ($\vec{r}_V$ es la posición del vértice inicial y $\vec{r}_{V'}$ la del final obtenido), y $\delta' = \delta + \Delta r_x \sin\phi - \Delta r_y \cos\phi$.

- Tamaño del haz:

  – Dispersión del vértice de interacción respecto del vértice primario calculado.

  – Selección de una muestra de $bhabhas$ y $dimuones$:





- Suceso bhabha y dimuón -

- Definición de σ^2_{BEAM}:

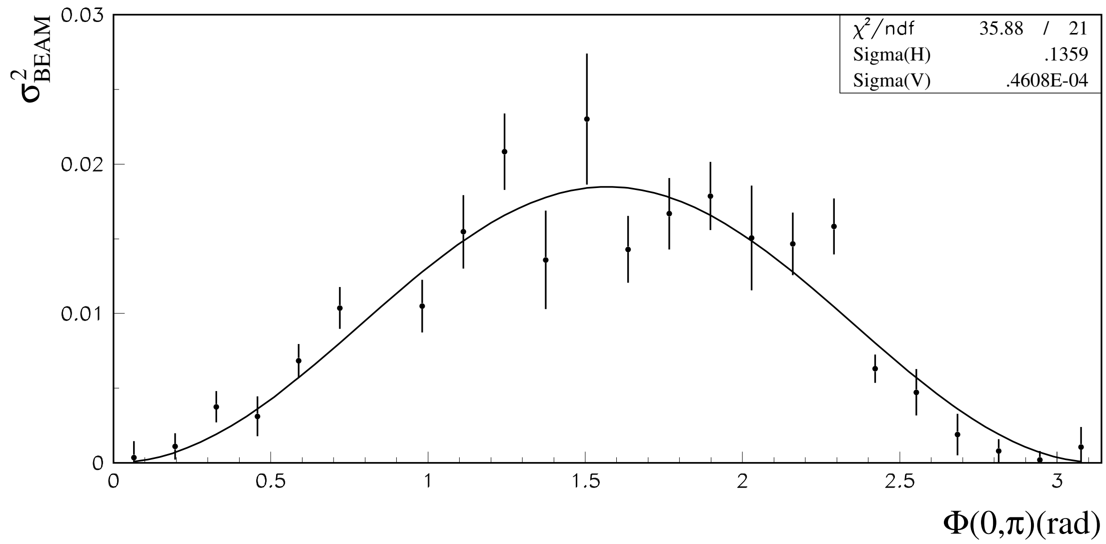
$$\left.\begin{aligned} \delta_1 &= \ \ \delta_{01} + Vert \\ \delta_2 &= -\delta_{02} - Vert \end{aligned}\right\} \Rightarrow \ \sigma^2_{BEAM} = \sigma^2_{DCA_{12}} - \sigma^2_{Missd}$$

donde

$$Missd \equiv \frac{1}{2}(\delta_1 + \delta_2) \qquad DCA_{12} \equiv \frac{1}{2}(\delta_1 - \delta_2)$$

- Ajuste de σ^2_{BEAM}:

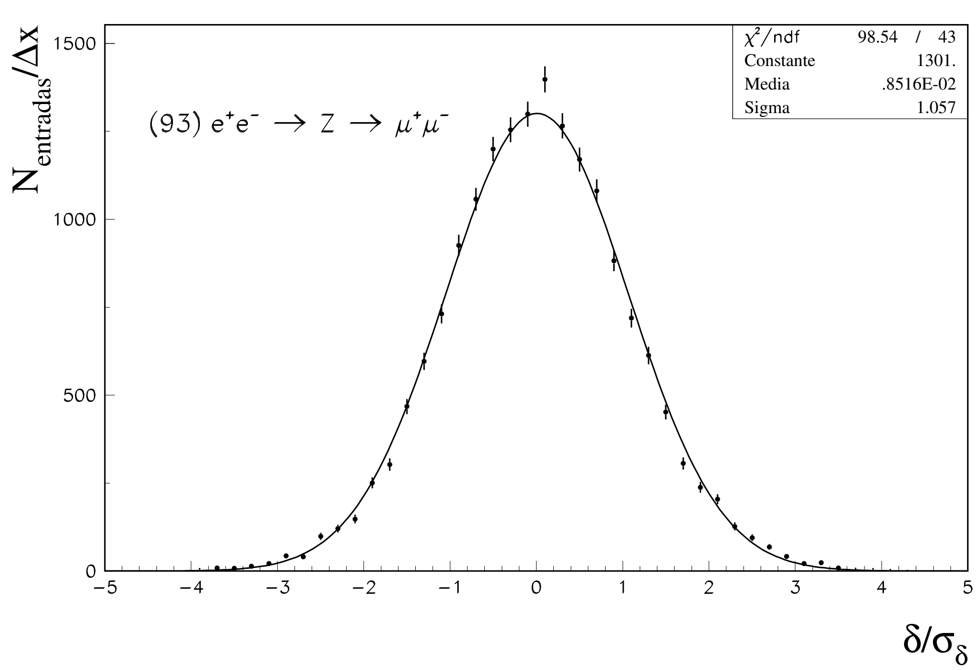
$$\sigma^2_{BEAM} = \sigma^2_H \sin^2\phi + \sigma^2_V \cos^2\phi$$



- *Ajuste de la dependencia de* σ^2_{BEAM} *con* ϕ -

Datos:	91	92	93	94
σ_H (mm)	0.146 ± 0.006	0.099 ± 0.003	0.136 ± 0.003	0.122 ± 0.001
σ_V (mm)	0.001 ± 0.011	0.001 ± 0.010	0.001 ± 0.029	0.003 ± 0.008

- *Tamaño del haz* -



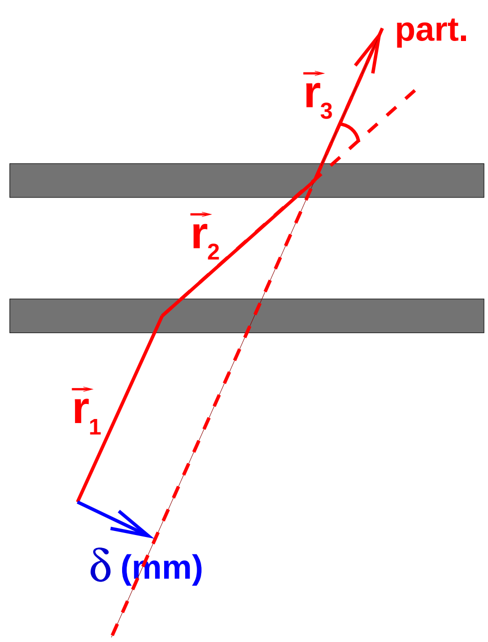
- *Distribución de* δ/σ_δ *para dimuones (1993)* -

4. ANÁLISIS

- Dispersión múltiple: σ_{MS}.

  – Ángulo de deflexión:

$$\alpha = \sqrt{2}\frac{13.6}{E(\mathrm{GeV})}\sqrt{x/X_0}\,\{1 + 0.038\ln(x/X_0)\}$$



- δ generado por la dispersión múltiple -

  – Parametrización y resultados:

$$\sigma_{MS} = \frac{\kappa}{p_t(\sin\theta)^{1/2}}$$

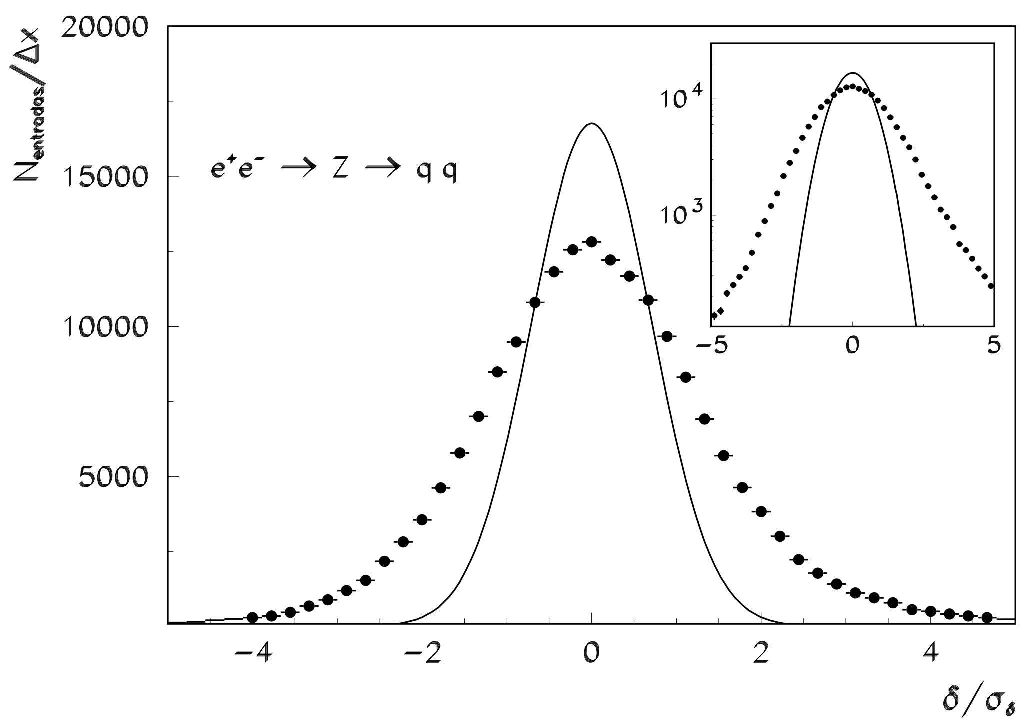
Sin SMD (91+92)	SMD pasivo (93)	SMD activo (94)
$\kappa = 0.065$	$\kappa = 0.106$	$\kappa = 0.095$

- Valores de κ (mm $\times$ GeV) -

4. ANÁLISIS

- Error del ajuste de las trazas: σ_{FIT}.

  El valor de σ_{FIT} para una traza es el error en δ obtenido de su ajuste a una circunferencia.



- Distribución de δ/σ_δ para trazas primarias -

- Selección de una muestra de calibración.
- Parametrización de la función de resolución.

4. ANÁLISIS

- Selección de una muestra de calibración.
  - $p(TEC) \geq 3$ GeV.
  - $E_9/E_{25} \geq 0.85$.
  - $1.0 \geq E_9 \geq 0.1$ GeV.

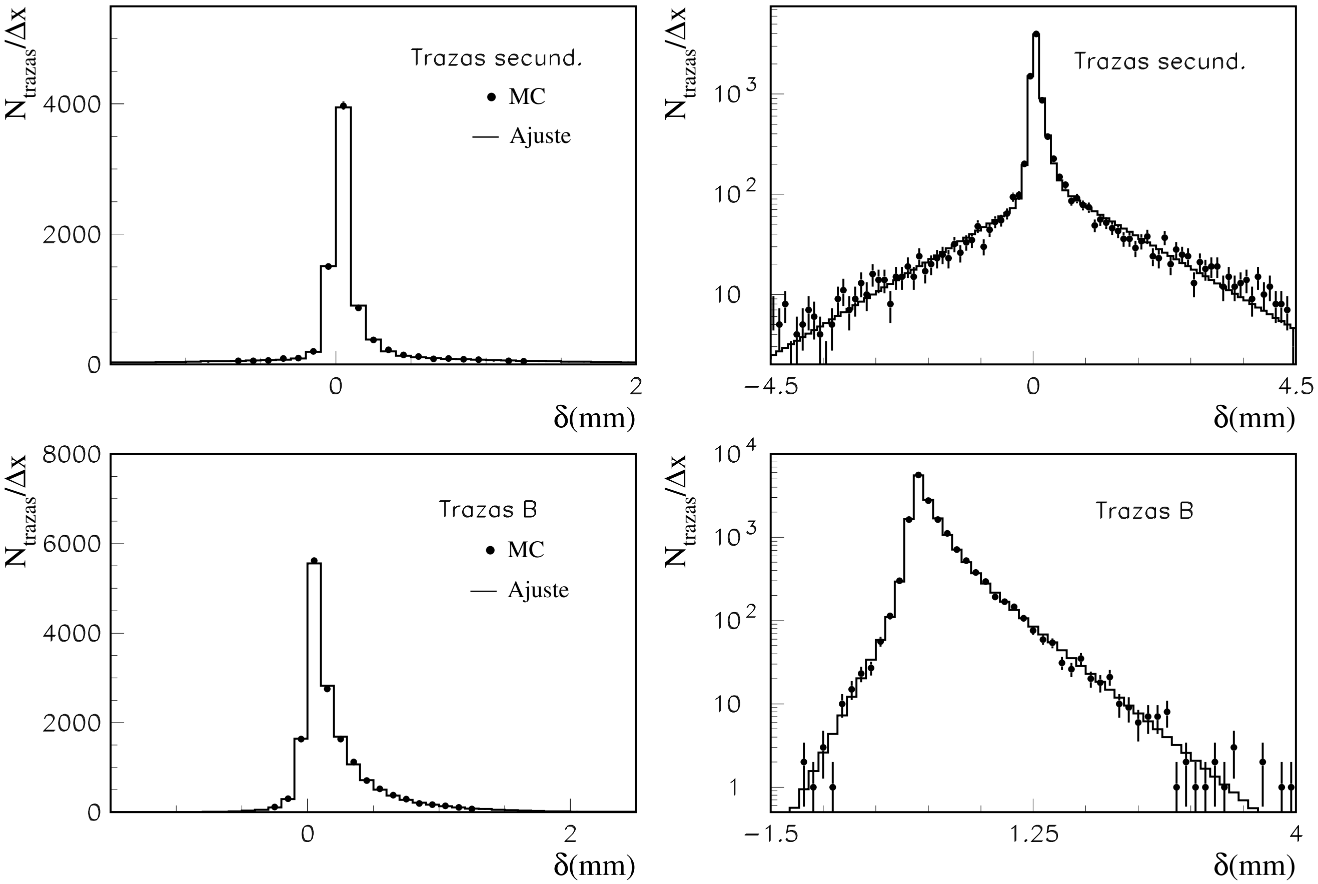
Purezas(1991-93)	$\delta \in [-5,\ 5]$ mm	$\delta < 0$ mm
Trazas primarias	$75.95 \pm 0.13\%$	$82.70 \pm 0.17\%$
Trazas secundarias	$8.97 \pm 0.09\%$	$8.13 \pm 0.12\%$
Trazas B	$15.08 \pm 0.11\%$	$9.17 \pm 0.13\%$

Purezas(1994)	$\delta \in [-5,\ 5]$ mm	$\delta < 0$ mm
Trazas primarias	$77.35 \pm 0.15\%$	$86.15 \pm 0.19\%$
Trazas secundarias	$8.07 \pm 0.10\%$	$6.80 \pm 0.14\%$
Trazas B	$14.58 \pm 0.13\%$	$7.05 \pm 0.14\%$

- Composición de la muestra de calibración -

4. ANÁLISIS

- Parametrización de las distribuciónes primordiales.



- *Parametrización de* $P_{sec}(\delta)$ *y* $P_{Trazas-B}(\delta,\tau_B)$ -

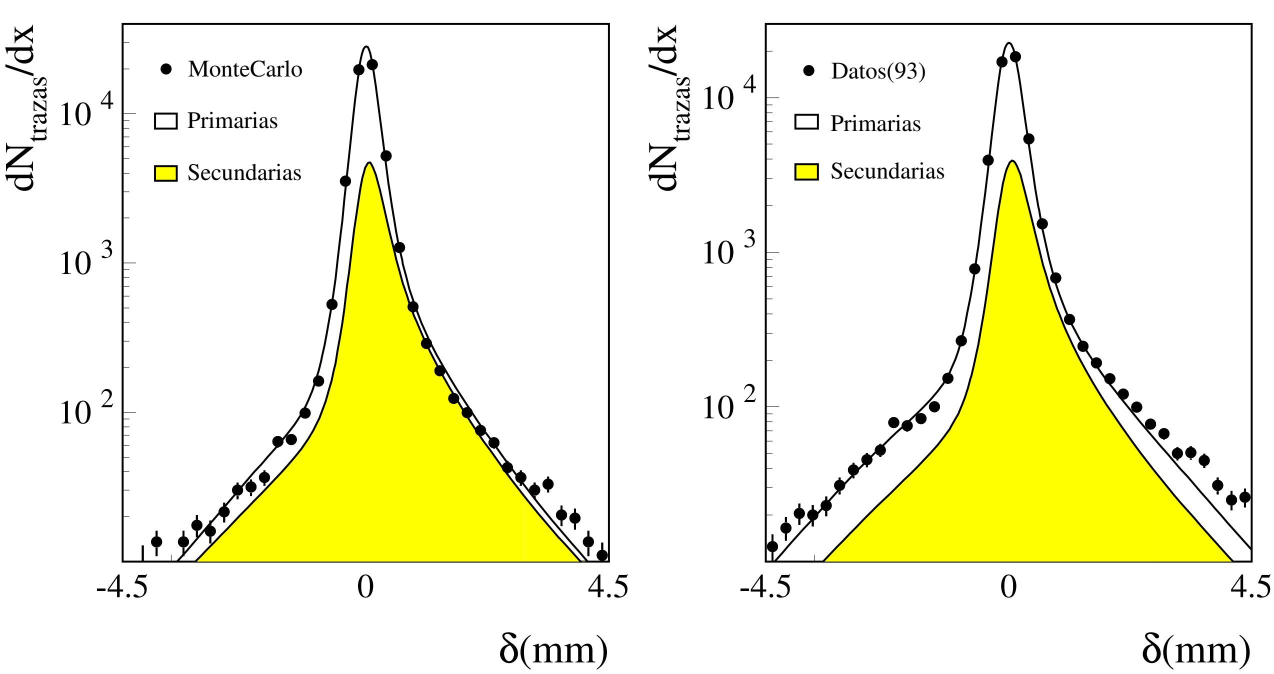
- Parametrización de la función de resolución.

$$R(\delta, \sigma_\delta) d\delta = \sum_{i=1,3} f_i \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{\delta^2}{2\sigma_i^2}\right)$$

con: $f_3 = 1 - f_1 - f_2$ (normalización)

y donde,

$$\sigma_i^2 = (\sigma_{BEAM}^2 + \sigma_{MS}^2 + a_i^2 \sigma_{FIT}^2)$$

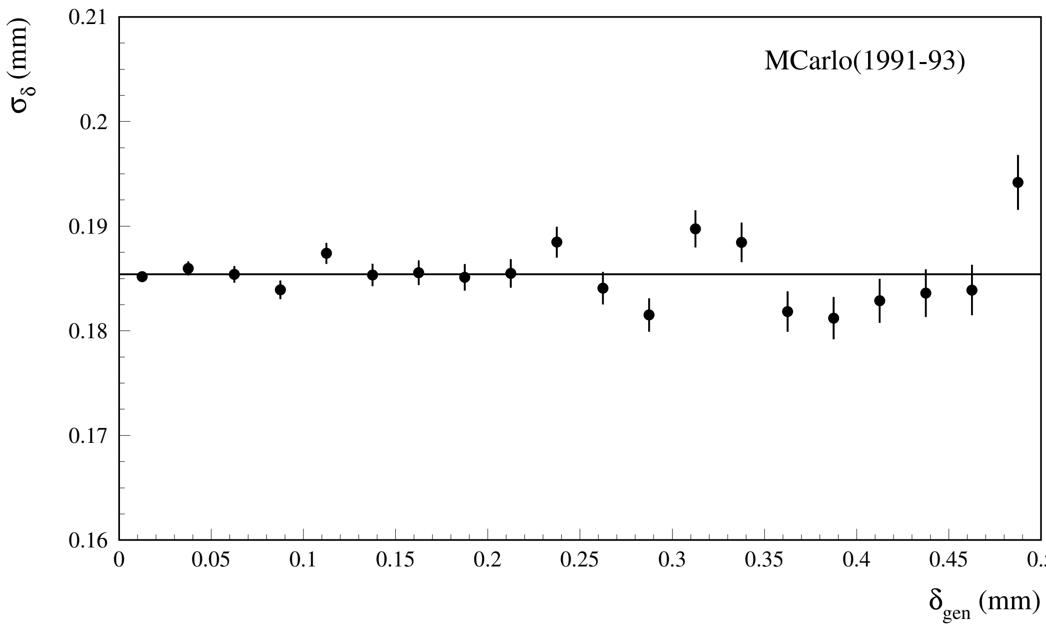


- Parametrización de la función de resolución -

4. ANÁLISIS

- Ajuste final del valor de τ_B.
  - $P(\delta, \tau_B) d\delta = P_{teor}(\delta, \tau_B) \otimes R(\delta, \sigma_\delta) d\delta$

    $\sigma \neq \sigma(\delta)$:



- Valor medio de σ_δ frente a δ_{gen} -

  - Parámetros libres: $\{\tau_B,\ f_1,\ f_2,\ f_{Back}\}$.

4. ANÁLISIS

• Ajuste del Monte Carlo. Consistencia.

Electrones	MC(sin SMD)	MC(con SMD)
τ_B/τ_{mc}	0.989 ± 0.014	1.008 ± 0.010
f_1	1.003 ± 0.010	1.030 ± 0.044
f_2	$-.006\pm0.010$	$-.036\pm0.048$
f_{back} (%)	7.9 ± 1.8	3.6 ± 0.8

Muones	MC(sin SMD)	MC(con SMD)
τ_B/τ_{mc}	1.006 ± 0.014	1.006 ± 0.010
f_1	0.942 ± 0.012	0.948 ± 0.029
f_2	0.056 ± 0.012	0.046 ± 0.031
f_{back} (%)	6.9 ± 1.9	8.4 ± 0.9

- Ajuste final para electrones y muones (Monte Carlo) -

• Ajuste de los datos.

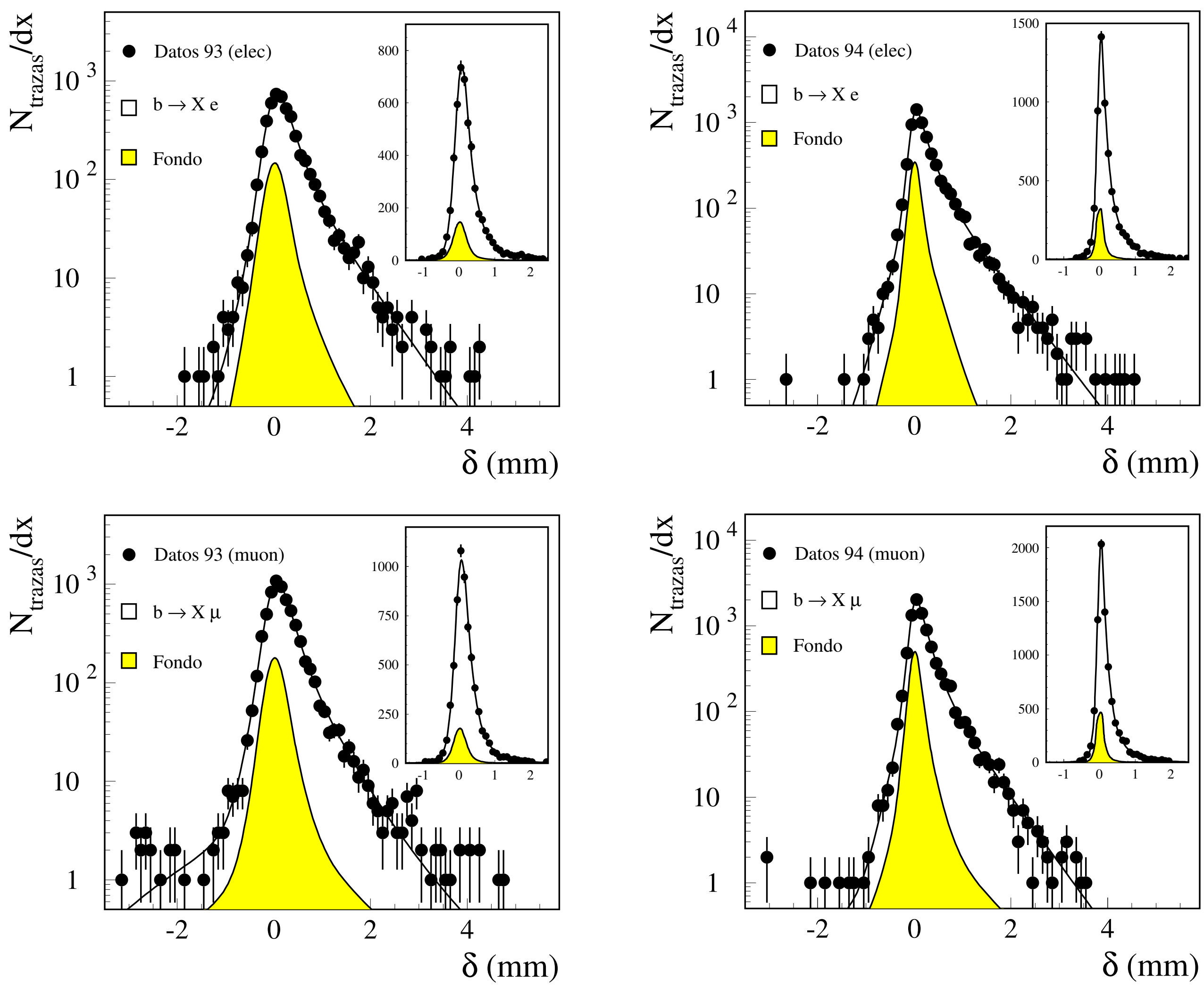
Electrones	Dt91	Dt92	Dt93	Dt94
τ_B (ps)	1.537 ± 0.066	1.496 ± 0.046	1.506 ± 0.046	1.555 ± 0.036
f_1	1.030 ± 0.046	0.995 ± 0.033	1.014 ± 0.029	0.947 ± 0.016
f_2	$-.033\pm0.046$	$-.003\pm0.033$	$-.033\pm0.030$	0.052 ± 0.016
f_{back} (%)	4.7 ± 6.0	11.6 ± 3.5	13.1 ± 3.5	$11.6\ \pm1.9$

Muones	Dt91	Dt92	Dt93	Dt94
τ_B (ps)	1.688 ± 0.101	1.504 ± 0.042	1.478 ± 0.043	1.627 ± 0.034
f_1	0.963 ± 0.029	0.828 ± 0.030	0.917 ± 0.064	0.967 ± 0.016
f_2	0.037 ± 0.029	0.158 ± 0.030	0.062 ± 0.063	0.030 ± 0.016
f_{back} (%)	10.9 ± 6.0	1.1 ± 3.9	5.1 ± 4.4	$9.6\ \pm1.9$

- Ajuste final para electrones y muones (Datos) -

4. ANÁLISIS

(sin SMD) (con SMD)



- Ajuste de las distribuciones de δ (años 1993 y 1994) -

Electrones	1.527 ± 0.023 ps
Muones	1.557 ± 0.022 ps
TOTAL	1.543 ± 0.016 ps

- Ajuste final combinado -

4. ANÁLISIS

- Comparación con el método de los momentos.

  - Tres hipótesis:

    * Primera hipótesis: $f(\delta_{gen})$ puede obtenerse a partir de una función universal en la variable $y = \frac{\delta_{gen}}{c\tau_B}$.

$$dy\ dp\ d\phi\ d\ldots\ f(y,\ p,\ \phi,\ \ldots) \equiv$$
$$d\left(\frac{\delta_{gen}}{c\ \tau_B}\right)\ dp\ d\phi\ d\ldots f\left(\frac{\delta_{gen}}{c\ \tau_B}, p, \phi, \ldots\right)$$

    * Segunda hipótesis: función de resolución gaussiana $G(\delta_{gen} - \delta,\ \sigma)$ de media δ_{gen} y varianza independiente de δ_{gen}.

$$\mathcal{F}(\delta,\ p,\ \phi,\ \ldots) =$$
$$\int G(\delta_{gen} - \delta, \sigma)\ f\left(\frac{\delta_{gen}}{c\ \tau_B}, p, \phi, \ldots\right)\ d\left(\frac{\delta_{gen}}{c\ \tau_B}\right)$$

    * Tercera hipótesis: Existe, debido a su mutua correlación con el momento, una pequeña correlación entre δ y σ. Ésta puede extraerse de la simulación.

4. ANÁLISIS

- Comparación con el método de los momentos.

  - Primer momento:

$$< \delta > \;=\; \mathrm{f_b}\, \frac{\tau_\mathrm{B}}{\tau_\mathrm{mc}} < \delta_\mathrm{mc} >_\mathrm{b} \;+\; \mathrm{f_{nob}} < \delta_\mathrm{mc} >_\mathrm{nob}$$

Sólo necesitamos $< \delta_{mc} >$. No depende de la resolución.

  - Segundo momento:

$$\begin{aligned} < \delta^2 > \;&=\; < \sigma^2 > \\ &+\; \mathrm{f_b} \left(\frac{\tau_\mathrm{B}}{\tau_\mathrm{mc}}\right)^2 < \delta^2_\mathrm{mc} >_\mathrm{b} \;+\; \mathrm{f_{nob}} < \delta^2_\mathrm{mc} >_\mathrm{nob} \end{aligned}$$

No depende del signo de δ y, para $< \sigma^2 > \lll < \delta^2 > - < \delta >^2$, muy poco de la resolución.

  - Tercer momento:

$$\begin{aligned} < \delta^3 > \;&=\; 3\; C_{\delta\sigma\sigma} < \delta > < \sigma^2 > \\ &+\; \mathrm{f_b} \left(\frac{\tau_\mathrm{B}}{\tau_\mathrm{mc}}\right)^3 < \delta^3_\mathrm{mc} >_\mathrm{b} \;+\; \mathrm{f_{nob}} < \delta^3_\mathrm{mc} >_\mathrm{nob} \end{aligned}$$

4. ANÁLISIS

- Resultados con el Monte Carlo.

Canal	Valor inicial	Momento de 1^{er} orden
Electrones	1.31 ps	1.306 ± 0.019 ps
Muones	1.31 ps	1.322 ± 0.018 ps
Electrones	1.55 ps	1.554 ± 0.016 ps
Muones	1.55 ps	1.543 ± 0.015 ps

- Estimación de τ_B con el momento de primer orden -

- Resultados con los datos.

Canal	Momento de 1^{er} orden	Máx.verosimilitud
Electrones 91	1.578 ± 0.067 ps	1.579 ± 0.064 ps
Electrones 92	1.431 ± 0.040 ps	1.412 ± 0.041 ps
Electrones 93	1.392 ± 0.039 ps	1.420 ± 0.038 ps
Electrones 94	1.415 ± 0.028 ps	1.436 ± 0.033 ps
Promedio	1.426 ± 0.019 ps	
Muones 91	1.660 ± 0.072 ps	1.672 ± 0.071 ps
Muones 92	1.580 ± 0.043 ps	1.592 ± 0.047 ps
Muones 93	1.519 ± 0.040 ps	1.537 ± 0.042 ps
Muones 94	1.594 ± 0.029 ps	1.602 ± 0.034 ps
Promedio	1.578 ± 0.020 ps	
Promedio (Todo)	1.498 ± 0.014 ps	

- Estimación de τ_B con el momento de primer orden -

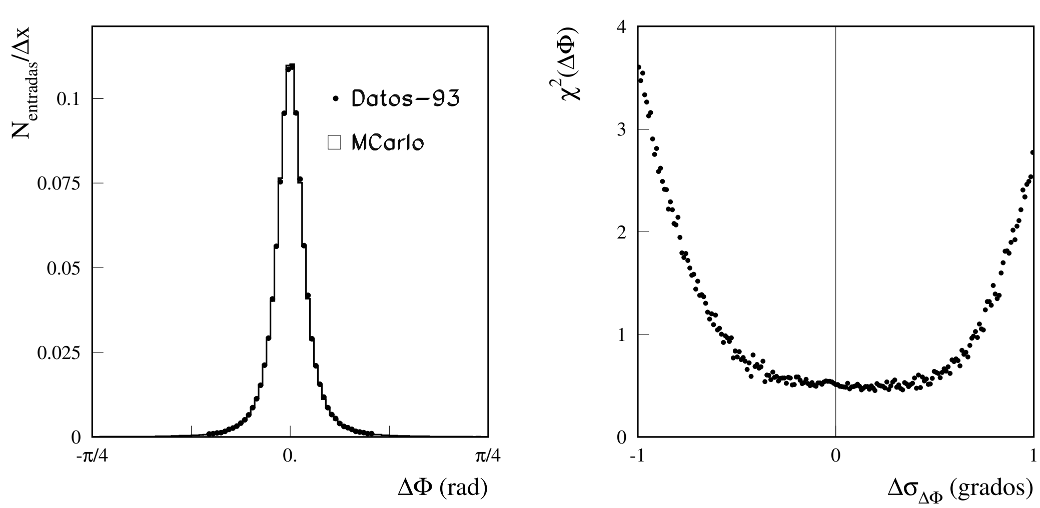
5. ERRORES SISTEMÁTICOS

- Parámetros del Monte Carlo.
- Resolución angular de los jets.
- Estadística limitada del Monte Carlo.
- Función de resolución.
- Calibración de la TEC.
- Parametrización del fondo.
- Criterios de selección.

5. ERRORES SISTEMÁTICOS

- Parámetros del Monte Carlo
  - Producción de sucesos $\mathrm{b\bar{b}}$ y $\mathrm{c\bar{c}}$.
  - Funciones de fragmentación.
  - Fracciones de desintegración semileptónicas.
  - Vida media de los hadrones con encanto.
  - Espectro de los leptones inclusivos.
- Resolución angular de los jets.

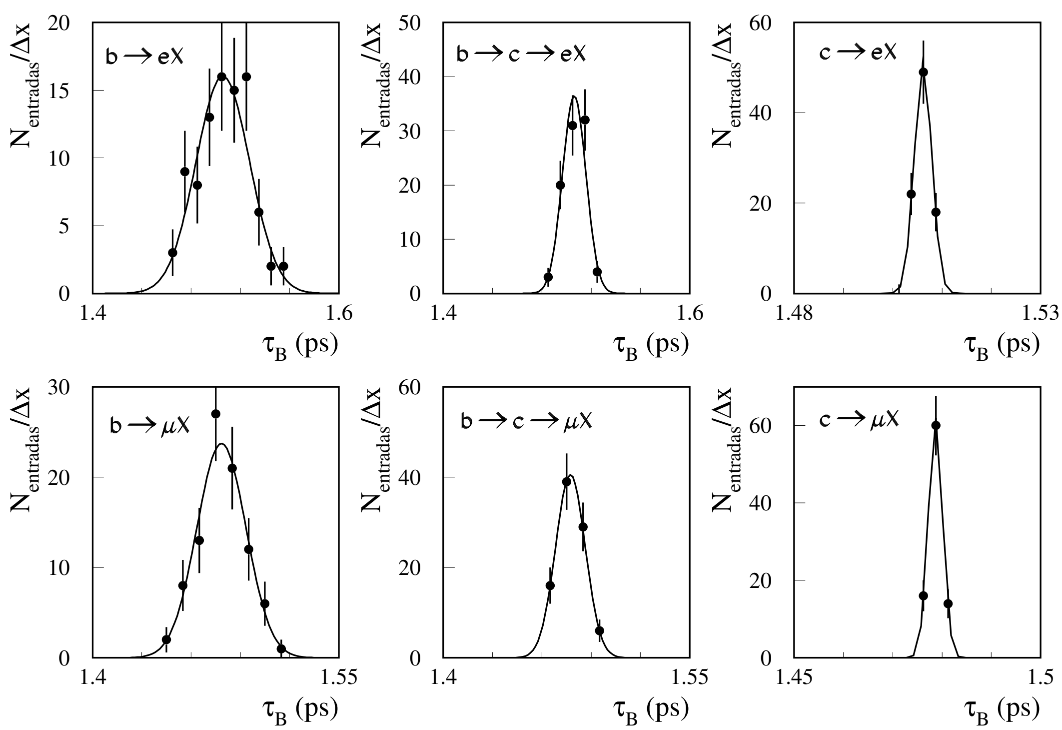
$$\Delta\phi \equiv (\phi_1 - \phi_2)$$



- Comparación datos-Monte Carlo -

5. ERRORES SISTEMÁTICOS

- Estadística limitada del Monte Carlo.



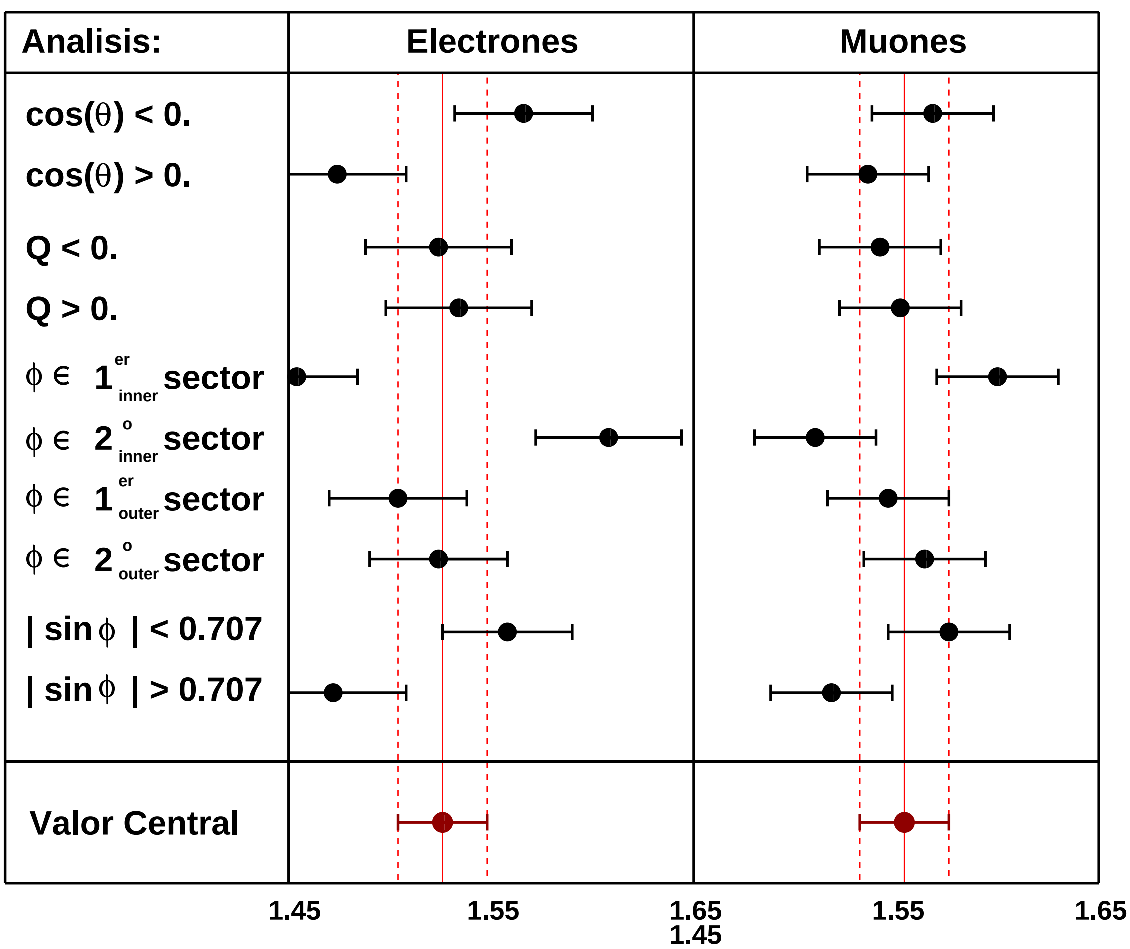
- Desviación del valor de τ_B al generar distintas distribuciones teóricas compatibles estadísticamente entre sí (1993) -

- Función de resolución.

$$\left.\begin{aligned} a_1' &= a_1 \pm \sigma_{a_1} \\ a_2' &= a_2 \pm \rho_{12}\sigma_{a_2} \\ a_3' &= a_3 \pm \rho_{13}\sigma_{a_3} \end{aligned}\right\}$$

5. ERRORES SISTEMÁTICOS

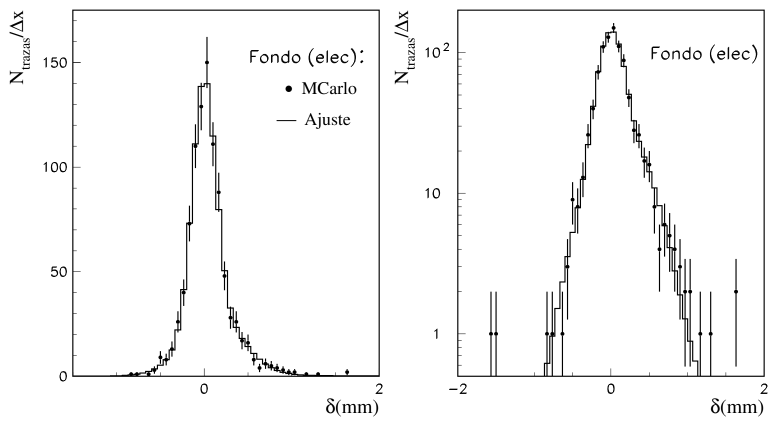
- Calibración de la TEC.
  - Correcciones ($< \delta >$, ϕ_{global} y ϕ_{local}).
  - Posición del vértice primario y tamaño del haz.



- Estudio del error en τ_B debido a la calibración de la TEC -

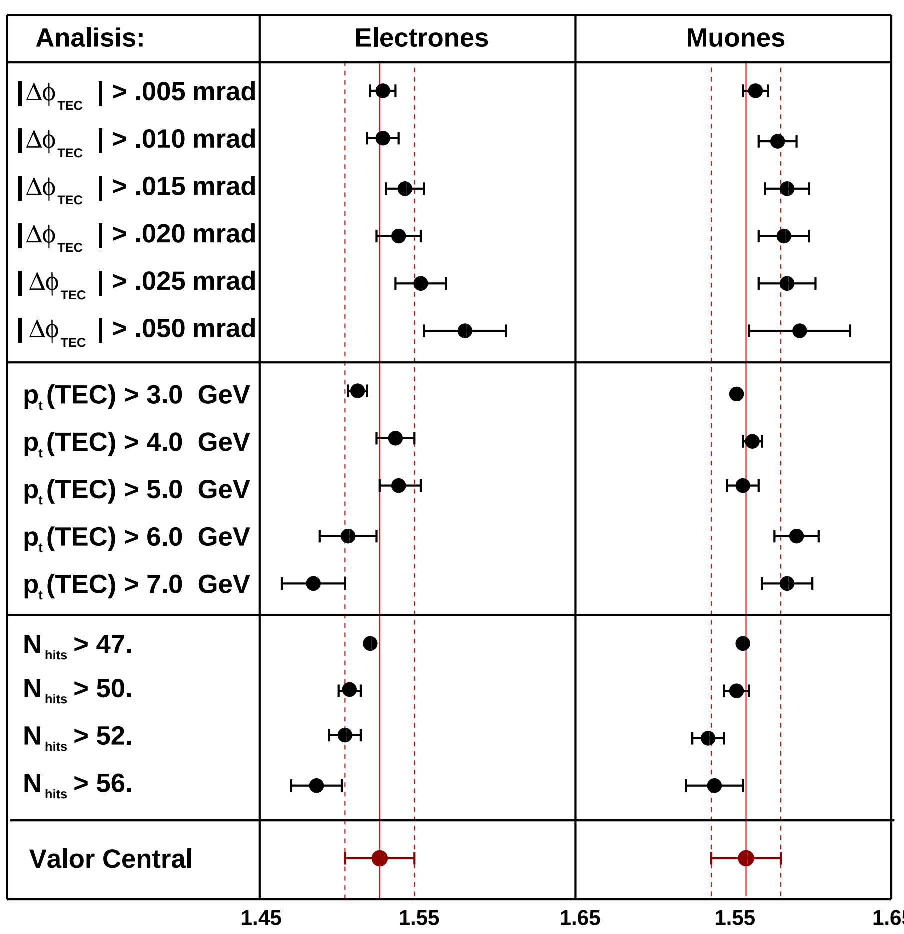
5. ERRORES SISTEMÁTICOS

- Parametrización de la forma del fondo.



- Parametrización del fondo -

- Cortes de selección.



- Error sistemático asociado a los cortes de selección -

5. ERRORES SISTEMÁTICOS

- Tabla de errores sistemáticos.

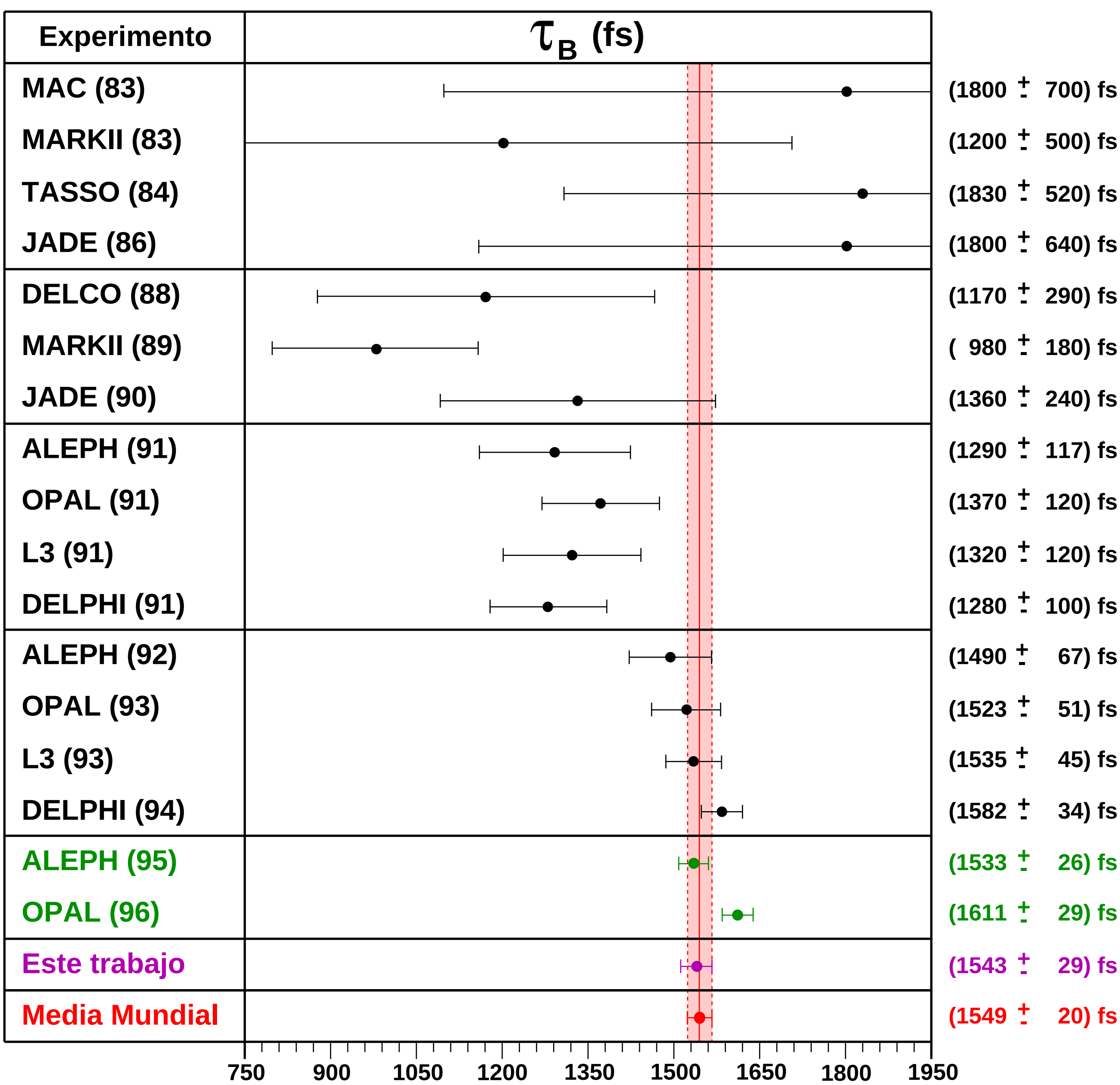
	$\Delta\tau_B^e$ (fs)	$\Delta\tau_B^\mu$ (fs)	Correlacionados?
Parámetros del Monte Carlo:			
• R_b	± 0.0	± 0.5	Si
• R_c	± 1.5	± 1.0	Si
• $\langle x_E \rangle_b$	± 4.5	± 2.5	Si
• $\langle x_E \rangle_c$	± 1.0	± 1.0	Si
• Fracciones de desintegración semileptónicas	± 0.5	± 0.5	Si
• Espectro de los leptones inclusivos:			
Espectro $b \to lX$	$\pm^{4.5}_{0.5}$	$\pm^{6.5}_{1.5}$	
Espectro $c \to lX$	$\pm^{0.5}_{3.0}$	$\pm^{1.0}_{4.0}$	
• Vida media τ_c:			
$c \to lX$	± 0.0	± 0.5	Si
$b \to c \to lX$	± 4.0	± 4.0	Si
Resolución angular de los *jets*	± 4.0	± 5.0	Si
Estadística limitada del MC:			
• $\mathcal{P}_b$	± 14.0	± 11.0	
• $\mathcal{P}_{bc}$	± 7.0	± 6.0	
• $\mathcal{P}_c$	± 1.5	± 1.0	
Resolución experimental:			
Función de resolución	± 3.0	± 1.5	Si
Estadística Monte Carlo	± 0.0	± 0.0	Si
Valor de τ_B	± 0.0	± 0.0	Si
Calibración de la TEC	± 14.5	± 9.0	Si
Posición del vértice primario	± 5.5	± 6.0	Si
Tamaño del haz	± 0.5	± 0.5	Si
Parametrización del Fondo	± 2.0	± 7.0	
Selección (calidad de trazas):			
Distancia entre trazas	± 5.0	± 5.0	Si
Momento transverso p_t (TEC)	± 10.0	± 10.0	Si
Número de impactos	± 10.0	± 10.0	Si
TOTAL	± 28.0	± 25.0	

6. RESULTADO FINAL

- Resultado final: τ_B.

Electrones Muones	1.527 ± 0.023 (est) ± 0.023 (sis *) ± 0.016 (sis **) ps 1.557 ± 0.022 (est) ± 0.020 (sis *) ± 0.015 (sis **) ps
TOTAL	1.543 ± 0.016 (est) ± 0.024 (sis) ps

- Comparación con otros resultados.



6. RESULTADO FINAL

- El método utilizado,
  - * Utiliza más estadística que los métodos exclusivos.
  - * Comparado con otros métodos, es poco sensible a la fragmentación, la multiplicidad cargada, razones de desintegración, producción de hadrones ligeros de larga vida media, etc.
  - * Comparado con métodos similares utilizados en LEP, permite obtener una medida con menor error sistemático.

6. RESULTADO FINAL

- Determinación de $\mid V_{cb} \mid$.

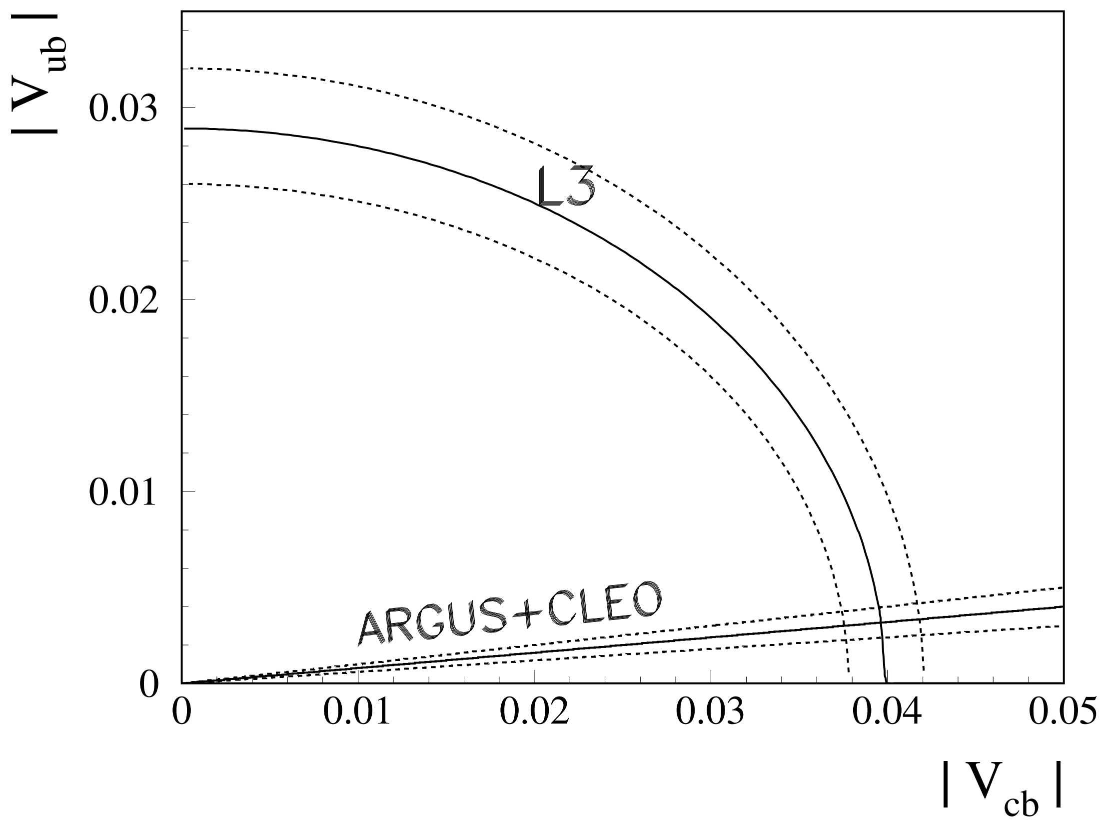
$$|V_{cb}|^2 = \frac{Br_{sl}}{\tau_B} \left\{ \frac{G_F^2 m_b^5}{192\pi^3} \left(F(\epsilon_c) + F(\epsilon_u) \frac{\mid V_{ub} \mid^2}{\mid V_{cb} \mid^2} \right) \right\}^{-1}$$

Parámetro	Valor	Referencia
τ_B	1.543 ± 0.026 ps	Este análisis
$Br(b \to l\nu X)$	10.90 ± 0.39 %	Apéndice A
$\alpha_s(m_b^2)$	0.232 ± 0.023	LEP desde $\alpha_s(m_Z)$
V_{ub}/V_{cb}	0.08 ± 0.02	Particle Data Group
m_u	0.2 ± 0.2 GeV	CLEO y ARGUS
m_b	4.95 ± 0.2 GeV	CLEO y ARGUS
$m_b - m_c$	3.40 ± 0.06 GeV	Neubert

- Valores de los parámetros utilizados en la medida de $\mid V_{cb} \mid$ -

- Correcciones perturbativas: $\Delta\Gamma = -(4.2 \pm 0.5)\%$.
- Correcciones no perturbativas: $(\delta\Gamma/\Gamma)_{pert} \sim 10\%$.

6. RESULTADO FINAL



- Correlación $|V_{ub}|$ frente a $|V_{cb}|$ -

$$\boxed{\mid V_{cb} \mid = 0.0388 \pm 0.0008 \ (\mathrm{exp}) \pm {}^{0.0030}_{0.0026} \ (\mathrm{teo})}$$

- Resultado final -

6. RESULTADO FINAL

- Comparación con otros resultados.

Experimento	$\mid V_{cb} \mid$	Método
ALEPH	$(34.5 \pm 3.7(exp) \pm 1.5(teor)) \times 10^{-3}$	$\bar{\mathrm{B}}^0 \to \mathrm{D}^{*+} l^- \bar{\nu}$
	$(34.4 \pm 2.8(exp) \pm 1.4(teor)) \times 10^{-3}$	$\bar{\mathrm{B}}^0 \to \mathrm{D}^{*+} l^- \bar{\nu}$
OPAL	$(36.0 \pm 3.2(exp) \pm 1.2(teor)) \times 10^{-3}$	$\bar{\mathrm{B}}^0 \to \mathrm{D}^{*+} l^- \bar{\nu}$
Este trabajo	$(38.8 \pm 0.8(exp) \pm 2.8(teor)) \times 10^{-3}$	Inclusivo
Media Mundial	$(41.0 \pm 3.0) \times 10^{-3}$	

- Comparación con otros resultados experimentales -

- La medida inclusiva, respecto de la exclusiva, es:
  - Complementaria.
  - Más precisa experimentalmente pero con mayor error teórico.
  - Consistente.

CONCLUSIONES

- Conclusiones.
  - A partir de una muestra de 109.4pb^{-1} hemos seleccionado ~ 17000 electrones y ~ 23000 muones inclusivos que provienen, en un $\sim 91\%$ y $\sim 85\%$ respectivamente, de la desintegración de hadrones con "belleza".
  - A partir del ajuste de la distribución de parámetro de impacto hemos obtenido una medida de la vida media τ_B:

$$\tau_B = 1.543 \pm 0.016(est) \pm 0.024(sis) \text{ ps.}$$

  - Este resultado es compatible con los obtenidos en otros experimentos. En particular con la media mundial $\tau_B = 1.549 \pm 0.020$ ps. Es además una de las medidas más precisas que existen.
  - A partir del valor de τ_B hemos obtenido una medida inclusiva del elemento de matriz $\mid V_{cb} \mid$:

$$\mid V_{cb} \mid = (38.8 \pm 0.8(exp) \pm \frac{3.0}{2.6}(teor)) \times 10^{-3}.$$

  - Este valor es consistente con otras medidas y en particular con la media mundial $\mid V_{cb} \mid = (41.0 \pm 3.0) \times 10^{-3}$.

MONTE CARLO

- Estudio del Monte Carlo.
  - Producción de sucesos $\mathrm{b\bar{b}}$ y $\mathrm{c\bar{c}}$ en LEP.

	MC_{00}	MC_{94}	Datos
R_b	0.2197	0.2182	0.2206 ± 0.0021
R_c	0.1705	0.1706	0.159 ± 0.010

- Valores de R_b y R_c -

  - Función de fragmentación.

∗ Función de Peterson:

$$f(z) = \frac{N}{z(1 - \frac{1}{z} - \frac{\epsilon_Q}{(1-z)})^2}$$

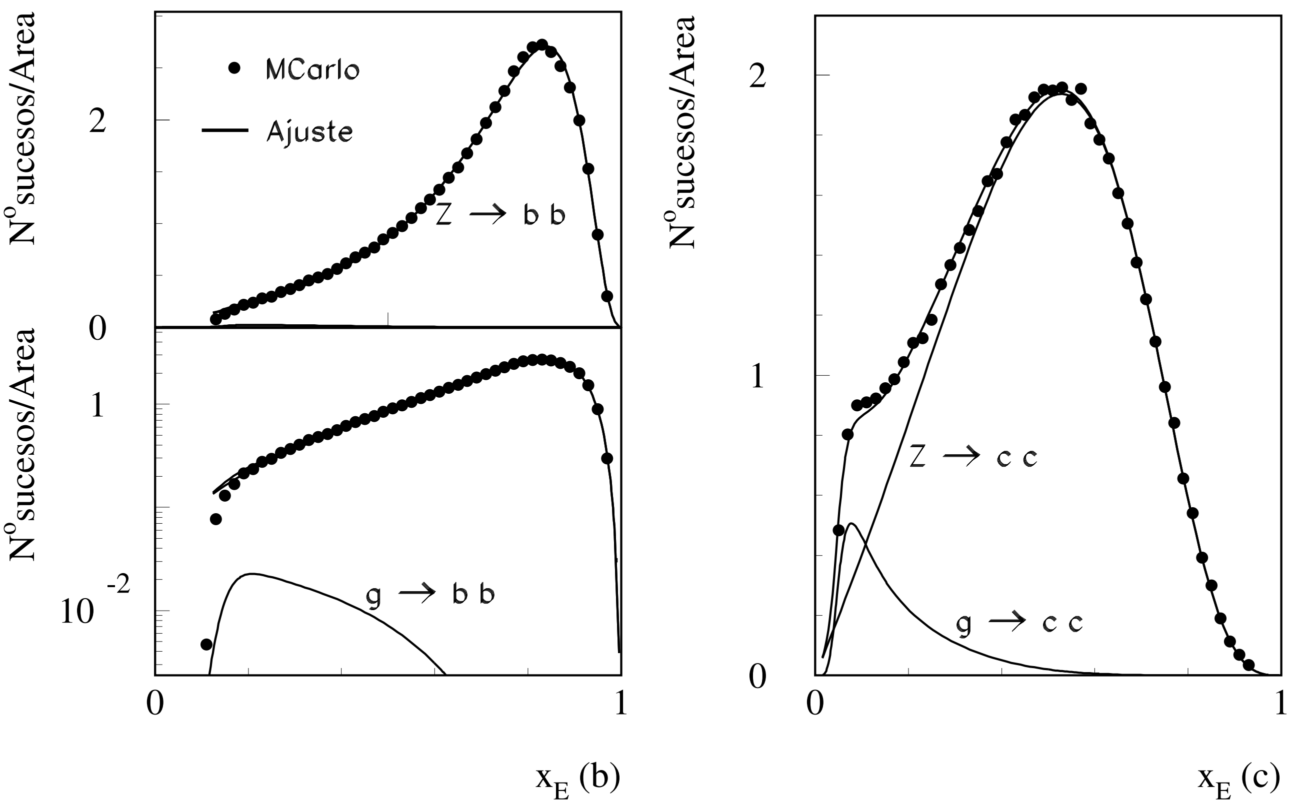
donde $z \equiv \frac{(E+p_{\parallel})_{hadron}}{(E+p)_{quark}}$.

* Experimentalmente se mide:

$$F(x_E) = \frac{N}{x_E^{\epsilon_1}(1 - \frac{\epsilon_2}{x_E} - \frac{\epsilon_3}{(1-x_E)^{\epsilon_4}})^2}$$

donde $x_E \equiv \frac{E_{hadron}}{E_{haz}}$.

MONTE CARLO



- Función de fragmentación del quark b y del quark c -

	MC_{00}	MC_{94}	Datos
$\langle x_E \rangle_b$	0.67	0.70	0.70 ± 0.02
$\langle x_E \rangle_c$	0.45	0.48	0.48 ± 0.02

- Valores de $\langle x_E \rangle_b$ y $\langle x_E \rangle_c$ -

MONTE CARLO

- Fracciones de desintegración y vidas medias.

	MC_{00}	MC_{94}	Datos
$Br(b \to lX)$ (%)	11.2	10.45	10.90 ± 0.39
$Br(c \to lX)$ (%)	9.67 (e) 9.71 (μ)	9.58 (e) 9.62 (μ)	9.78 ± 0.63
$Br(D_s \to \tau \to lX)$ (%)	0.71	0.72	(0.71 ± 0.30)
$Br(b \to c \to lX)$ (%)	9.39 (e) 9.42 (μ)	9.31 (e) 9.34 (μ)	8.36 ± 0.52
$Br(b \to J/\psi \to ll)$ (%)	$7.96 \cdot 10^{-2}$	$7.42 \cdot 10^{-2}$ (e) $7.07 \cdot 10^{-2}$ (μ)	$(7.8 \pm 1.0)10^{-2}$
$Br(\mathrm{b} \to \bar{\mathrm{c}} \to lX)$ (%)	1.306 (e) 1.344 (μ)	1.372 (e) 1.408 (μ)	1.35 ± 0.40
$Br(b \to \tau \to lX)$ (%)	0.64	0.64	0.69 ± 0.17

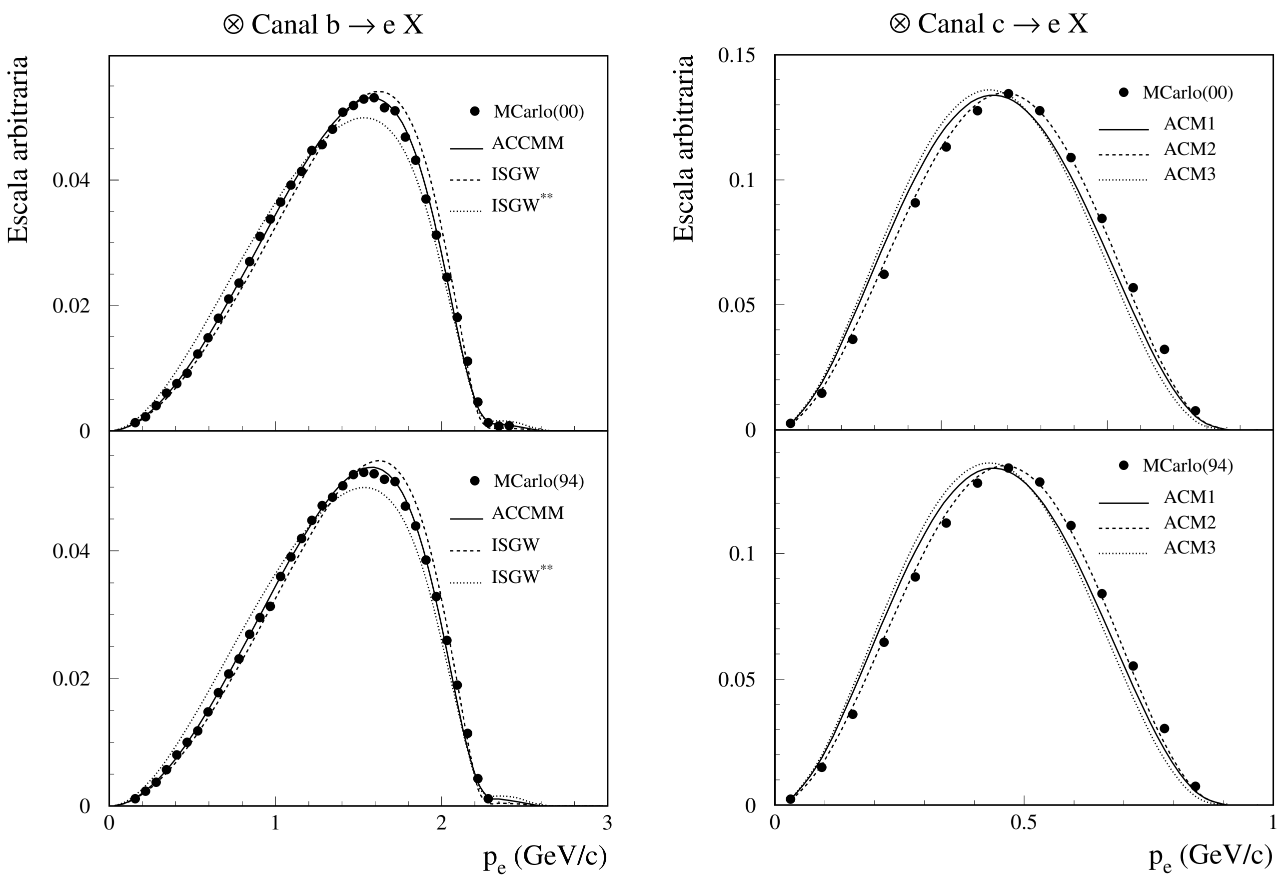
- Valores finales de las fracciones de desintegración -

	MC_{00}	MC_{94}	Datos
$\tau_B(b \to lX)$ (ps)	1.310	1.547	Este trabajo
$\tau_c(c \to lX)$ (ps)	0.712	0.702	0.679 ± 0.050
$\tau_c(b \to c \to lX)$ (ps)	0.670	0.648	0.64 ± 0.07

- Valores finales de vidas medias -

MONTE CARLO

- Espectro de los leptones inclusivos.



- Comparación del momento del electrón en JETSET y otros modelos teóricos, para sucesos:
(a) $b \to e$ en el sistema de referencia del hadrón B y
(b) $c \to e$ en el sistema de referencia del hadrón D.