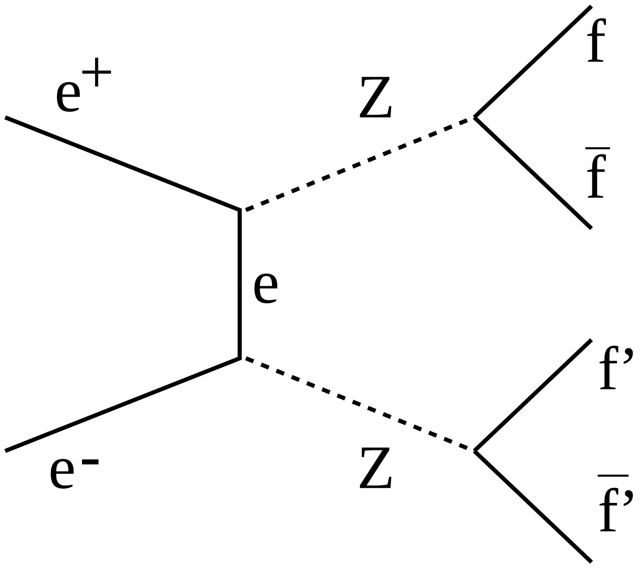
Estudio de la producción de ZZ en colisiones e^+e^- a $\sqrt{s} = 189$ GeV con el detector L3 de LEP

XXVII Reunión Bienal de la R.S.E.F.
Valencia 20 de Septiembre de 1999

Miguel Angel Falagán
CIEMAT

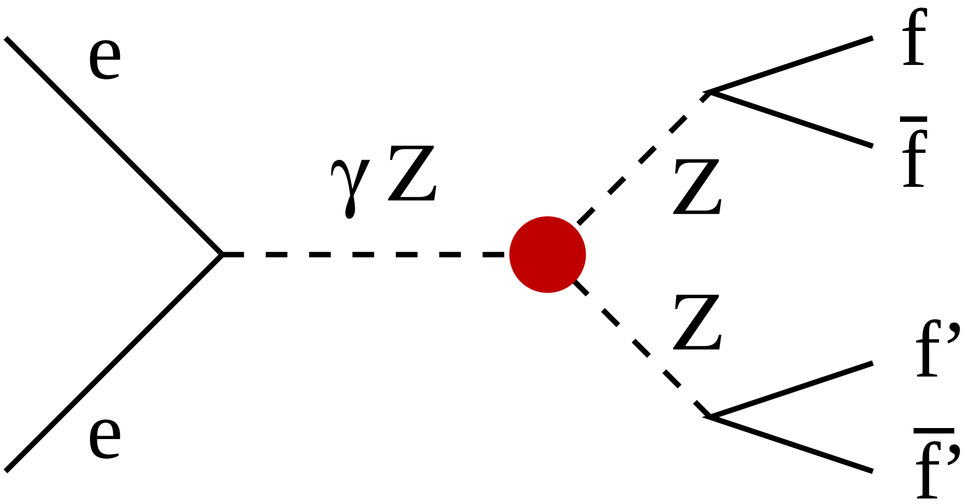
- Introducción
- Selección de ZZ
- Resultados; Sección Eficaz
- Acoplos anómalos ZZZ y ZZγ
- Conclusiones

En las colisiones e^+e^- a $\sqrt{s} \geq 2{\cdot}M_Z \simeq 182$ GeV, la producción de un par de bosones Z, como estado intermedio, contribuye a los estados finales de cuatro fermiones.

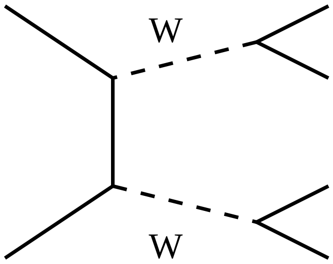


A pesar de la baja sección eficaz y el elevado fondo, desde 1997 se estudia este proceso, y se buscan desviaciones respecto del Modelo Estándar.

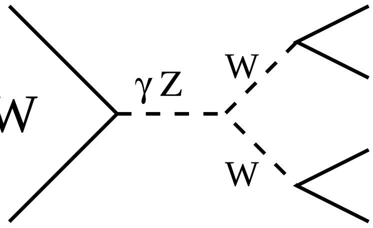
Se mide la sección eficaz, y se ponen límites a los acoplos anómalos ZZZ y $ZZ\gamma$.

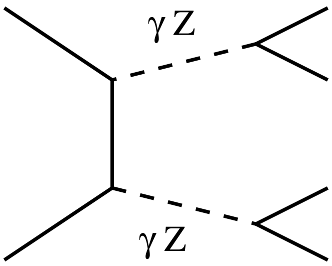


Muchos diagramas de Feynman contribuyen a estados finales de cuatro fermiones. Algunos ejemplos importantes son:



Producción WW

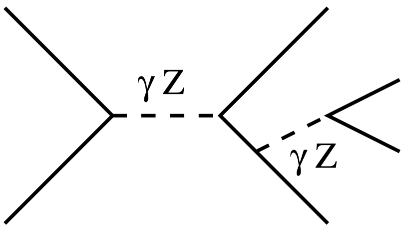




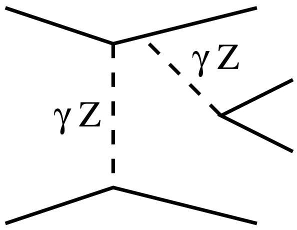
Producción de ZZ, Zγ, γγ

"Diagrama de Conversión"

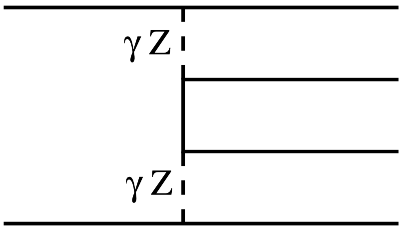
Aniquilación



Bremsstrahlung



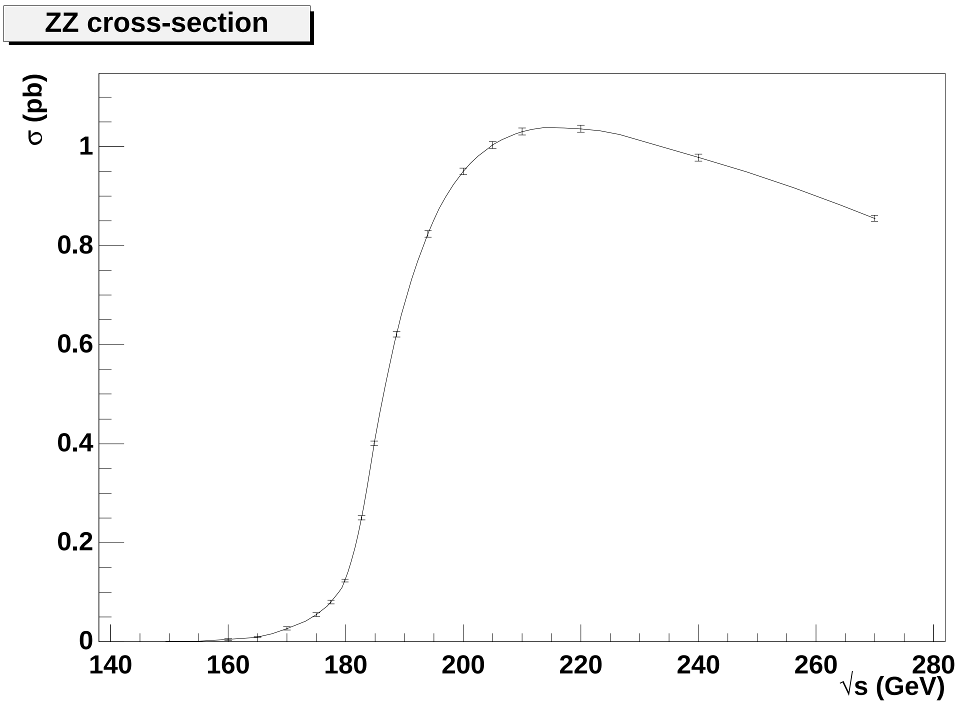
Multiperiférico



Para maximizar la contribución del diagrama de producción de ZZ en su capa de masas, definimos nuestra señal de acuerdo a los siguientes criterios:

- Dos pares fermión-antifermión con masa invariante en el intervalo (70,105) GeV
- En estados finales con electrones, éstos deben verificar $|\cos\theta_e| < 0.95$
- En estados finales con contribución de WW ($u\bar{u}d\bar{d}$, $c\bar{c}s\bar{s}$, $\ell^+\ell^-\nu\bar{\nu}$) las masas invariantes de los fermiones que podrían resultar de la desintegración de un W no deben estar en el intervalo (75,85) GeV

Usando el generador de 4 fermiones Excalibur, se ha calculado la sección eficaz de producción de ZZ en función de $\sqrt{s}$:



Selección

Los sucesos ZZ se caracterizan experimentalmente por dos pares de fermiones, con masa invariante grande, o un par de fermiones con masa invariante y de retroceso grandes.

$$\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{ZZ} \longrightarrow \mathrm{q_1\bar{q}_1q_2\bar{q}_2}$$

- Cuatro jets hadrónicos.

$$\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{ZZ} \longrightarrow \mathrm{q\bar{q}}\nu\bar{\nu}$$

- Dos jets hadrónicos y energía perdida.

$$\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{ZZ} \longrightarrow \mathrm{q\bar{q}}\ell^+\ell^-$$

- Dos jets hadrónicos y dos leptones.

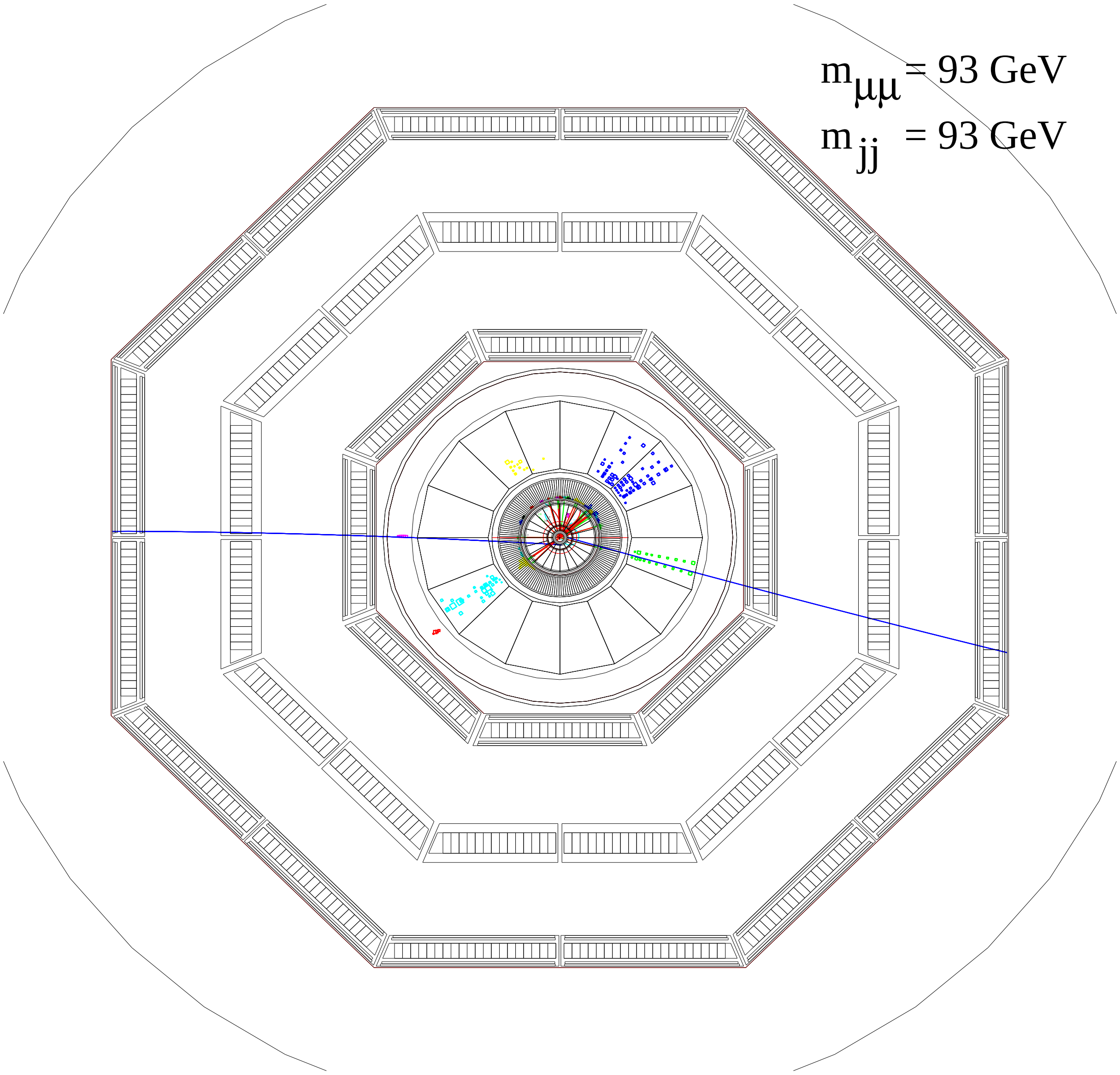
$$\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{ZZ} \longrightarrow \ell^+\ell^-\nu\bar{\nu}$$

- Dos leptones y energía perdida.

$$\mathrm{e^+e^-} \longrightarrow \mathrm{ZZ} \longrightarrow \ell_1^+\ell_1^-\ell_2^+\ell_2^-$$

- Cuatro leptones.

Run # 705301 Suceso # 24 Energia total : 171.88 GeV

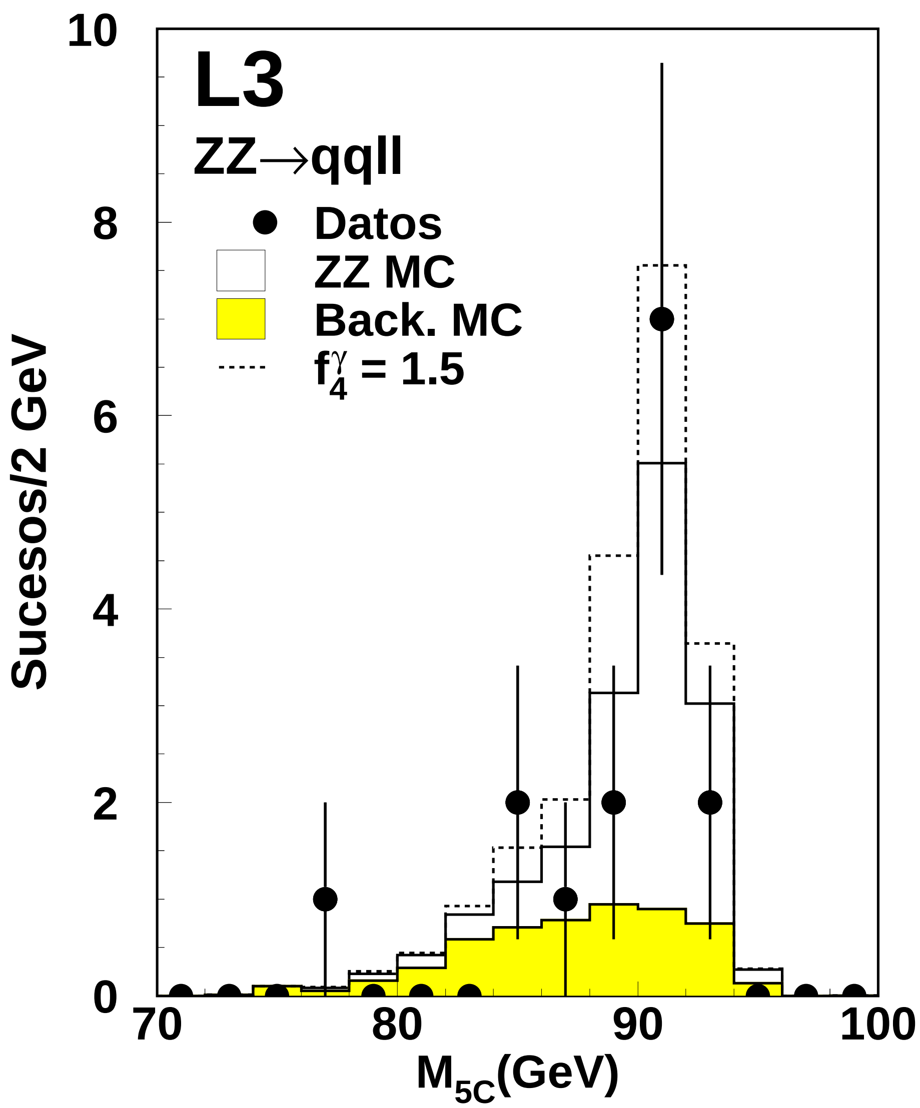


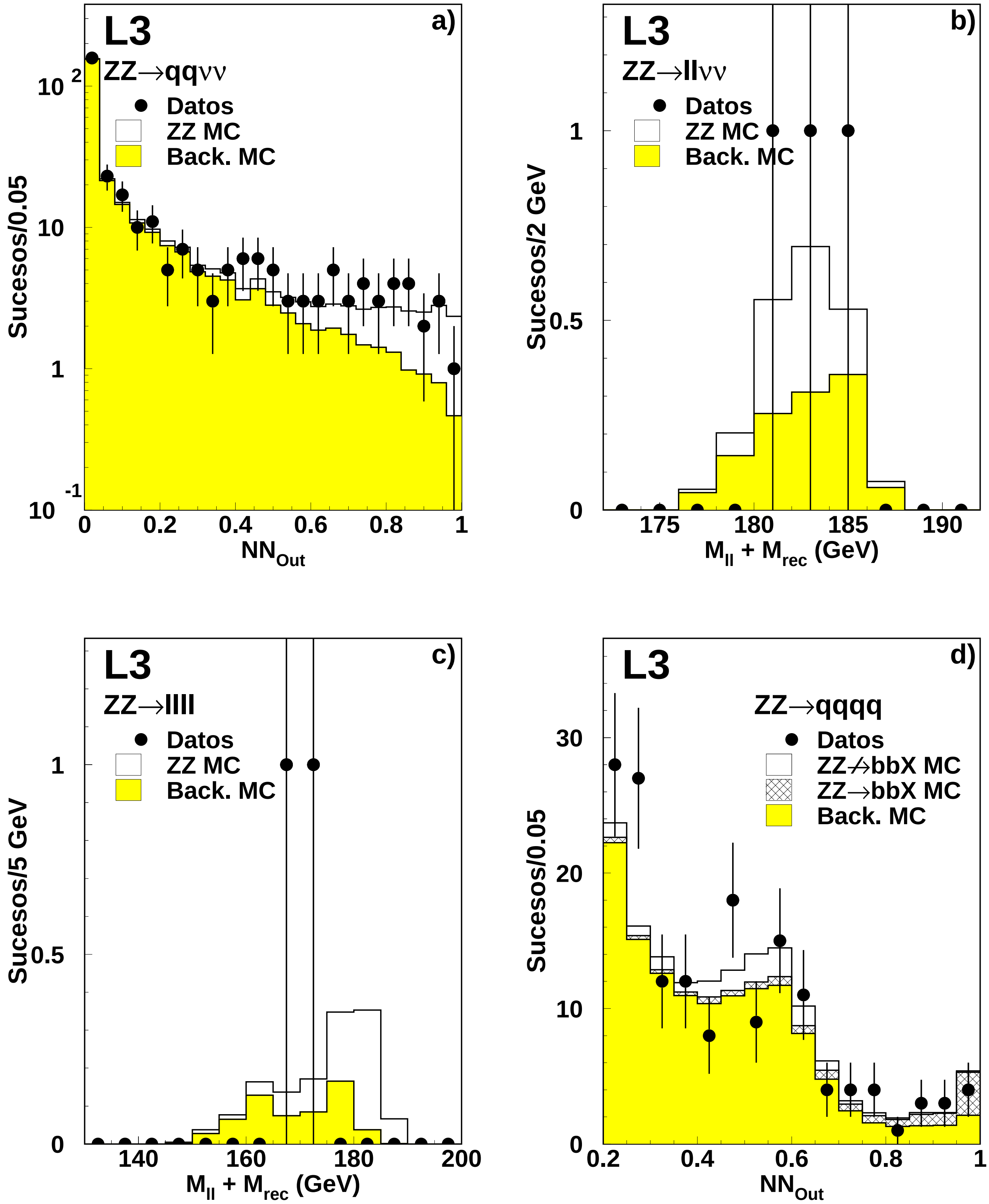
Transverse Imbalance :	.0830		**Longitudinal Imbalance :**	-.0744	
Thrust :	.8584	**Major :**	.4065	**Minor :**	.1667
Event DAQ Time :	*980713 51332*				

Resultados a $\sqrt{s} = 188.6$ GeV

$\mathcal{L} = 176.4\ \mathrm{pb}^{-1}$

Selección	Datos	Señal	BKG	Eficiencia
$q\bar{q}\ell^+\ell^-$	15	10.9	5.4	61%
$q\bar{q}\nu\bar{\nu}$	40	15.7	18.9	49%
$\ell^+\ell^-\nu\bar{\nu}$	3	0.7	1.2	22%
$\ell^+\ell^-\ell'^+\ell'^-$	2	0.7	0.6	37%
$q\bar{q}q'\bar{q}'$	163	24.2	153.0	43%

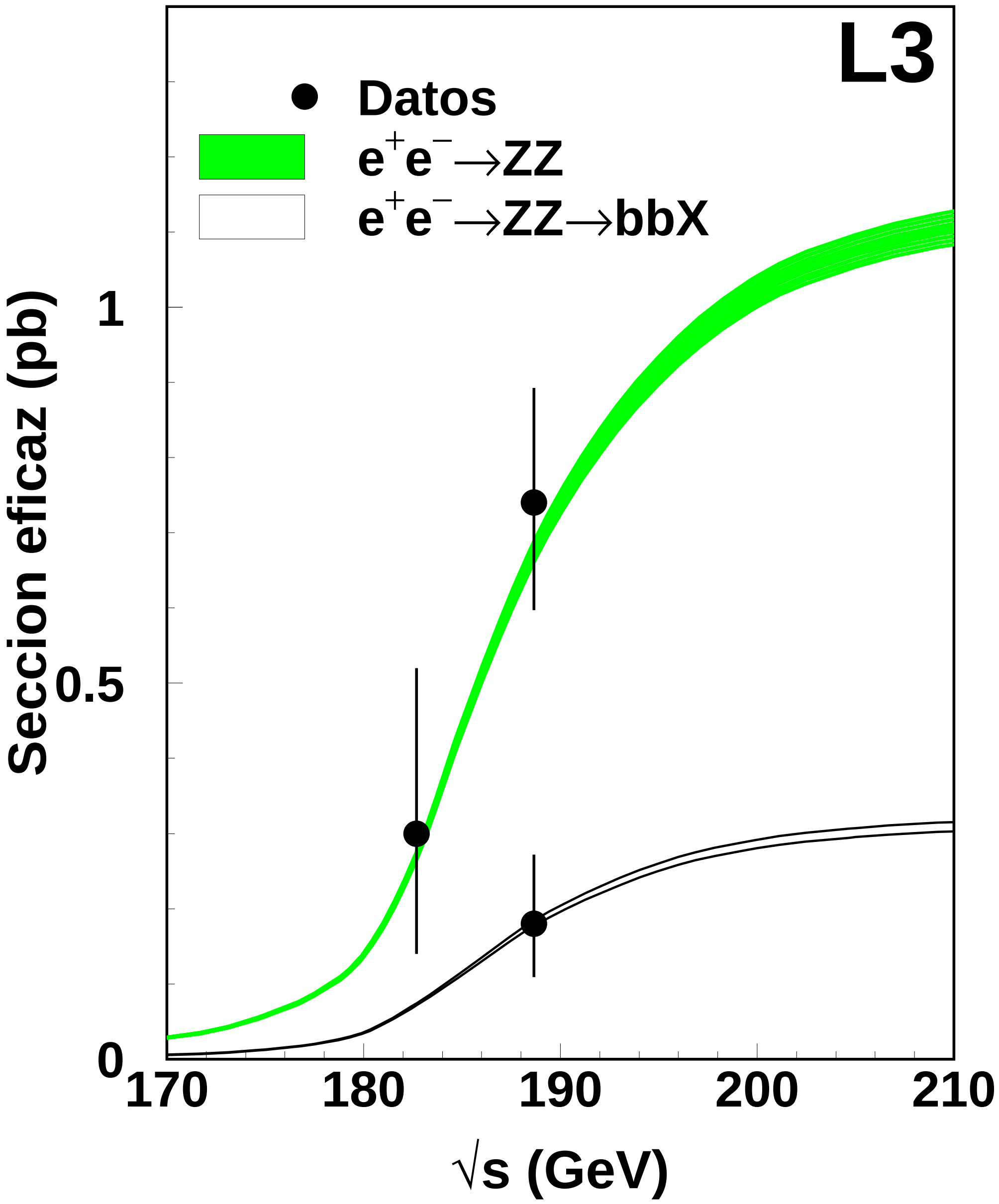



L3
a)
ZZ→qqνν
Datos
ZZ MC
Back. MC
Sucesos/0.05
NN_Out
L3
b)
ZZ→llνν
Datos
ZZ MC
Back. MC
Sucesos/2 GeV
M_ll + M_rec (GeV)
L3
c)
ZZ→llll
Datos
ZZ MC
Back. MC
Sucesos/5 GeV
M_ll + M_rec (GeV)
L3
d)
ZZ→qqqq
Datos
ZZ↛bbX MC
ZZ→bbX MC
Back. MC
Sucesos/0.05
NN_Out

A partir de estas distribuciones se construye una función de verosimilitud con un parámetro libre, la sección eficaz ZZ.

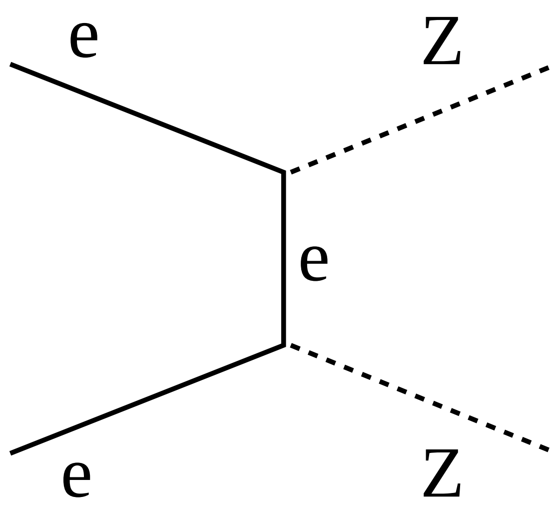
La sección eficaz se obtiene maximizando la función de verosimilitud.

$\sqrt{s}$	Sección eficaz medida	Predicción S.M.
183 GeV	$0.30^{+0.22}_{-0.16}\,^{+0.07}_{-0.03}$ pb	0.25 pb
189 GeV	$0.74^{+0.15}_{-0.14}\,^{+0.04}_{-0.04}$ pb	0.66 pb

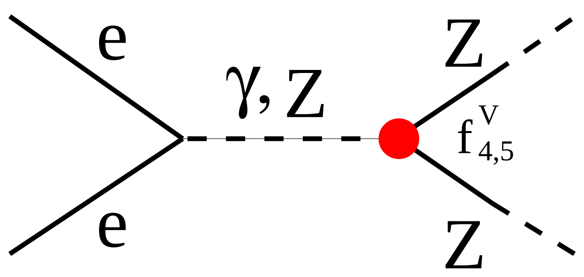


Motivación: Buscar desviaciones del Modelo Estándar en acoplos de tres bosones.

La producción de ZZ es debida principalmente al diagrama de conversión



Los acoplos anómalos darían lugar a nuevos diagramas



Hay 4 posibles acoplos anómalos: f_4^Z, f_4^γ, f_5^Z y f_5^γ, todos son nulos en el Modelo Estándar a nivel árbol.
f_4^Z y f_4^γ violan CP mientras que
f_5^Z y f_5^γ violan P.
(Notación de K. Hagiwara: Nucl. Phys. B282, (1987) 253).

Acoplos anómalos ZZZ y ZZγ

Caracteristicas experimentales

- Cambio en la Seccion Eficaz de $e^+e^- \rightarrow ZZ$
- Modificación de las distribuciones angulares de los Z
- Cambio en la polarizacion promedio de los Z

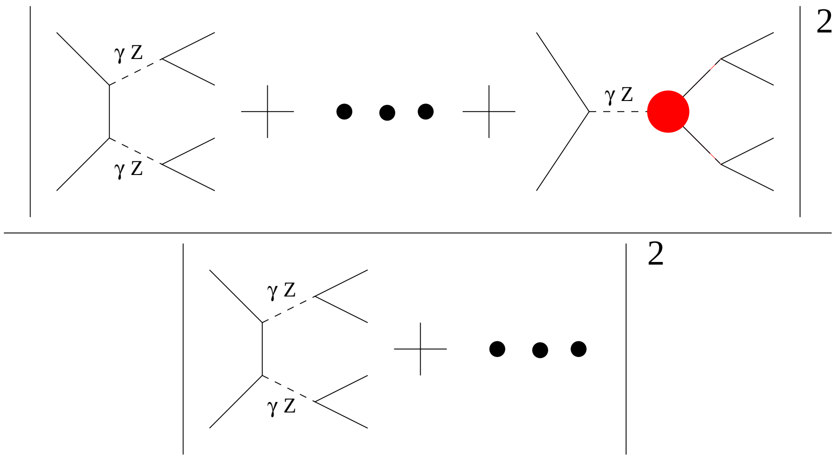
Método de repesado

El cálculo analítico de la amplitud de los diagramas con acoplos anómalos se ha incluido en una rutina de Excalibur, que considera todos los diagramas de Feynman.

Así, para cualquier suceso de 4 fermiones, a partir de los cuadrimomentos se calcula el elemento de matriz al cuadrado en función del valor de los acoplos anómalos.

Las distribuciones con acoplos anómalos se obtienen de las distribuciones del modelo estándar, repesándolas suceso a suceso, con el cociente de los elementos de matriz:

Weight =



Se comparan las distribuciones experimentales con la predicción Monte Carlo, que incluye fonde y señal de ZZ.

El valor de los acoplos anómalos se varía, repesando los sucesos de señal en la distribución Monte Carlo, para maximizar la función de verosimilitud:

$$\mathcal{L} = \prod_{i=1}^{N_{BIN}} [\frac{N_{MC}(i)^{N_{DATA}(i)}}{N_{DATA}(i)!} e^{-N_{MC}(i)}]$$

donde

$$N_{MC}(f_4^V, f_5^V) = N_{BKG} + N_{SIGNAL}(f_4^V, f_5^V)$$

Se obtiene así la medida del acoplo anómalo que maximiza el acuerdo entre datos y Monte Carlo.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

La medida es compatible con el Modelo Estándar, y se obtienen límites al 95 % de nivel de confianza al valor de los 4 posibles acoplos anómalos:

Limites a $\sqrt{s} \simeq 189$ GeV	Limites a $\sqrt{s} \simeq 183$ GeV
$-1.9 < f_4^Z < 1.9$	$-3.6 < f_4^Z < 3.4$
$-5.0 < f_5^Z < 4.5$	$-8.4 < f_5^Z < 7.9$
$-1.1 < f_4^\gamma < 1.2$	$-2.1 < f_4^\gamma < 2.1$
$-3.0 < f_5^\gamma < 2.9$	$-4.9 < f_5^\gamma < 4.8$

CONCLUSIONES

- Se ha medido la sección eficaz de producción de ZZ a $\sqrt{s} \simeq 189$ GeV.

$$\sigma_{ZZ}(189\ \ \mathrm{GeV}) = 0.74^{+0.15}_{-0.14}\,^{+0.04}_{-0.04}\ \mathrm{pb} \qquad (\mathrm{SM}: 0.66\ \mathrm{pb})$$

- No se han encontrado desviaciones del Modelo Estándar, y se han establecido límites al 95% de nivel de confianza on los acoplos anómalos ZZZ y ZZγ.

$$-1.9 < f_4^Z < 1.9 \qquad -5.0 < f_5^Z < 4.5$$

$$-1.1 < f_4^\gamma < 1.2 \qquad -3.0 < f_5^\gamma < 2.9$$