

*Violación de número leptónico en $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$
en el experimento Belle II*

Mayo 2016

Presenta:

MC. David Rodríguez Pérez

Asesores:

Dr. Pedro Podesta Lerma

Dra. Isabel Domínguez Jiménez

XXX Reunión Anual de la División de Partículas y Campos de la SMF





Introducción

Hipótesis

SuperKEKB

Belle II

Objetivos

Basf2(Belle Analysis Framework 2)

Antecedentes

Búsqueda de $\Delta L = 2$

Análisis

Conclusiones

Planes

Modelo Estándar



1

Tres generaciones de la materia (fermiones)

	I	II	III	
masa —	2.4 MeV	1.27 GeV	171.2 GeV	0
carga —	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0
espín —	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
nombre —	arriba	encanto	cima	Y
	u	c	t	Y
	4.8 MeV	104 MeV	4.2 GeV	0
	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	$-\frac{2}{3}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Quarks	abajo	extraño	fondo	gluón
	d	s	b	g
	<2.2 eV	<0.17 MeV	<15.5 MeV	91.2 GeV
	0	0	$\frac{1}{2}$	0
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
	neutrino electrónico	neutrino muónico	neutrino tauónico	bosón Z
	ν_e	ν_μ	ν_τ	Z⁰
	0.511 MeV	105.7 MeV	1.777 GeV	80.4 GeV
	-1	-1	-1	± 1
	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1
Leptonnes	electrón	muón	tauón	bosón W
	e	μ	τ	W[±]

Bosones de gauge



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R

Motivación



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia, $m = 0$**



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia**, $m = 0$
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia**, $m = 0$
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)
- ▶ ...



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia**, $m = 0$
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)
- ▶ ...
- ▶ **Conservación del número leptónico**



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia**, $m = 0$
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)
- ▶ ...
- ▶ **Conservación del número leptónico**
- ▶ ...



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia, $m = 0$**
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)
- ▶ ...
- ▶ **Conservación del número leptónico**
- ▶ ...
- ▶ **Problema de los neutrinos solares, 1970**



- ▶ Entonces el neutrino es ν_L o ν_R
- ▶ $\mathcal{L}^m(x) = -m\bar{\nu}(x)\nu(x) = -m(\bar{\nu}_L(x)\nu_R(x) + \bar{\nu}_R(x)\nu_L(x)) = 0$
- ▶ **consecuencia, $m = 0$**
- ▶ $\nu(x) = \nu_L(x)$ (Goldhaber, Grondzins y Sunyar en 1958)
- ▶ ...
- ▶ **Conservación del número leptónico**
- ▶ ...
- ▶ **Problema de los neutrinos solares, 1970**
- ▶ Oscilación de neutrinos, 2002. $m \neq 0!$



Neutrino como partícula de Dirac

Neutrino como partícula de Majorana



Neutrino como partícula de Dirac

- ▶ Presencia de singletes fermiónicos N_R

Neutrino como partícula de Majorana



Neutrino como partícula de Dirac

- ▶ Presencia de singletes fermiónicos N_R
- ▶ Conservación del número leptónico L

Neutrino como partícula de Majorana



Neutrino como partícula de Dirac

- ▶ Presencia de singletes fermiónicos N_R
- ▶ Conservación del número leptónico L
- ▶ Acoplamientos de Yukawa muy pequeños

Neutrino como partícula de Majorana



Neutrino como partícula de Dirac

- ▶ Presencia de singletes fermiónicos N_R
- ▶ Conservación del número leptónico L
- ▶ Acoplamientos de Yukawa muy pequeños

Neutrino como partícula de Majorana

- ▶ Singletes de mano derecha muy pesados



Neutrino como partícula de Dirac

- ▶ Presencia de singletes fermiónicos N_R
- ▶ Conservación del número leptónico L
- ▶ Acoplamientos de Yukawa muy pequeños

Neutrino como partícula de Majorana

- ▶ Singletes de mano derecha muy pesados
- ▶ No conservación del número leptónico

Experimento Belle II



- ▶ Localizado en el laboratorio KEK

Experimento Belle II



- ▶ Localizado en el laboratorio KEK
- ▶ Fabrica de mesones B 's

Experimento Belle II



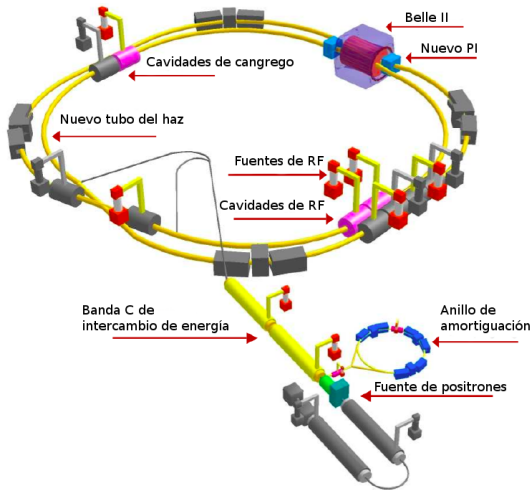
- ▶ Localizado en el laboratorio KEK
- ▶ Fabrica de mesones B 's
- ▶ Colisiona e^+ a 4 GeV y e^- 7 GeV (SuperKEKB)

Experimento Belle II



- ▶ Localizado en el laboratorio KEK
- ▶ Fabrica de mesones B 's
- ▶ Colisiona e^+ a 4 GeV y e^- 7 GeV (SuperKEKB)
- ▶ En el punto de interacción se localiza el detector Belle II

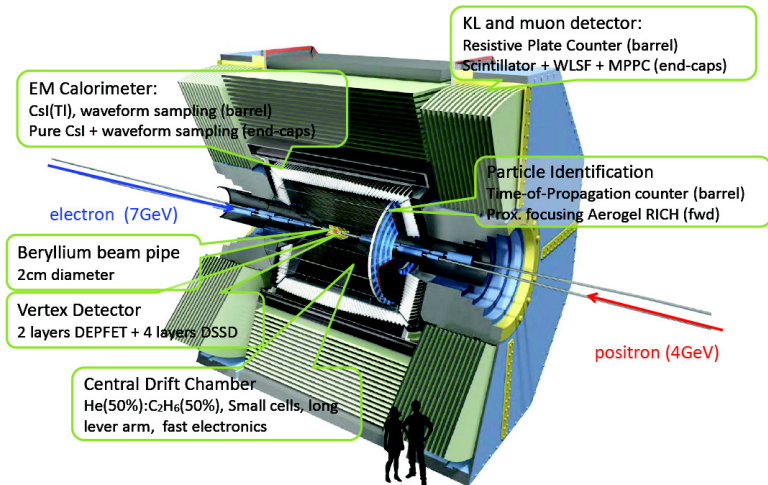
SuperKEKB



Belle II



6



Objetivos



- ▶ Conocer la naturaleza de los ν 's

Objetivos



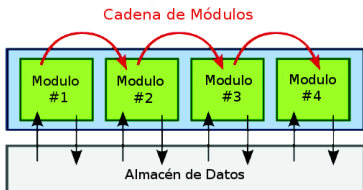
- ▶ Conocer la naturaleza de los ν 's
- ▶ Trabajar en un nuevo decaimiento a cuatro cuerpos, el cual $\Delta L = 2$



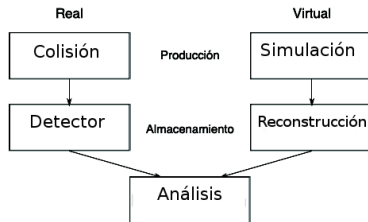
- ▶ Conocer la naturaleza de los ν 's
- ▶ Trabajar en un nuevo decaimiento a cuatro cuerpos, el cual $\Delta L = 2$
 - ▶ Simulaciones usando el método MC
 - ▶ Conocer las distribuciones de los observables de interés



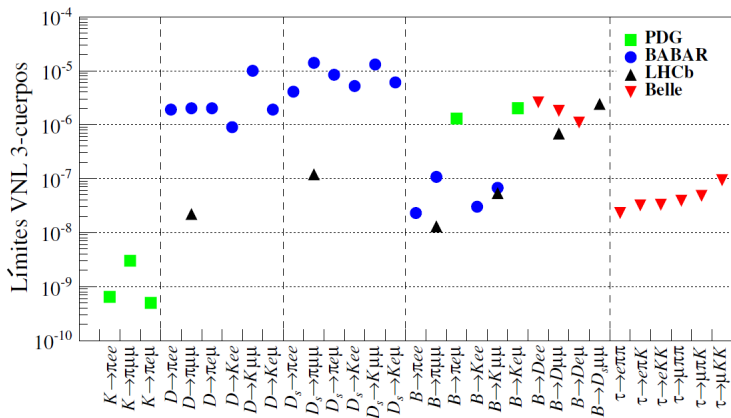
Estructura



Simulación



Antecedentes



Búsqueda de $\Delta L = 2$



Canales de decaimiento



Canales de decaimiento

- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$ (BR $\lesssim 10^{-8}\%$) [2], señal



Canales de decaimiento

- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$ (BR $\lesssim 10^{-8}\%$) **[2]**, señal
- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$ (BR $9.31 \pm 0.06\%$) **[1]**, ruido



Canales de decaimiento

- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$ (BR $\lesssim 10^{-8}\%$) **[2]**, señal
- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$ (BR $9.31 \pm 0.06\%$) **[1]**, ruido
- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^- \nu_\tau$ (BR $\sim 10^{-6}\%$) **[2]**, ruido



Canales de decaimiento

- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$ (BR $\lesssim 10^{-8}\%$) [2], señal
- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$ (BR $9.31 \pm 0.06\%$) [1], ruido
- ▶ $\tau^- \rightarrow \pi^- \mu^+ \mu^- \nu_\tau$ (BR $\sim 10^{-6}\%$) [2], ruido

[1] K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. **C38**, 090001 (2014) (URL:<http://pdg.lbl.gov>)

[2] Néstor Quintero, Estudios de violación del número leptónico en procesos resonantes inducidos por un neutrino de Majorana. (2015)



Las observables a considerar son:



Las observables a considerar son:

- ▶ Momento transversal P_t
Suficiente energía depositada en los detectores



Las observables a considerar son:

- ▶ Momento transversal P_t
Suficiente energía depositada en los detectores
- ▶ Pseudorapidez η



Las observables a considerar son:

- ▶ Momento transversal P_t
Suficiente energía depositada en los detectores
- ▶ Pseudorapidez η
- ▶ Ángulo polar θ



Las observables a considerar son:

- ▶ Momento transversal P_t
Suficiente energía depositada en los detectores
- ▶ Pseudorapidez η
- ▶ Ángulo polar θ
Decaimientos dentro del detector.



Las observables a considerar son:

- ▶ Momento transversal P_t
Suficiente energía depositada en los detectores
- ▶ Pseudorapidez η
- ▶ Ángulo polar θ
Decaimientos dentro del detector.

Se generó una muestra de 50,000 eventos de cada uno de los canales.



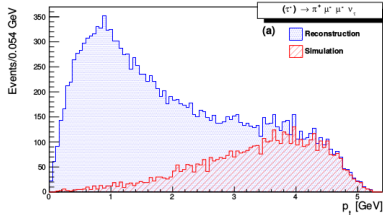
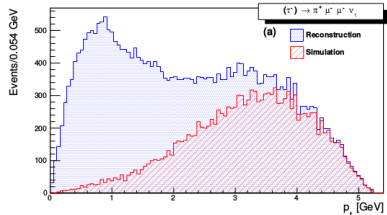
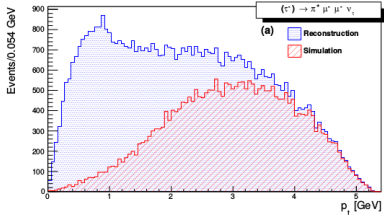
Este análisis se basará en conocer la eficiencia del detector.
Realizando cortes en las siguientes variables:

- ▶ Masa invariante del τ .
- ▶ Capacidad de identificación de π 's y μ 's.
- ▶ Masas restringidas por el haz.



P_t con cortes en la masa invariante

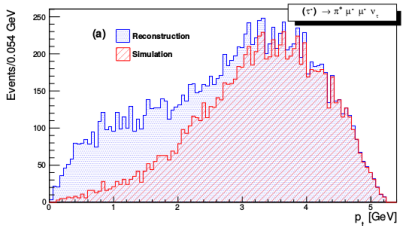
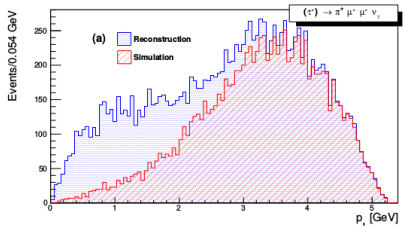
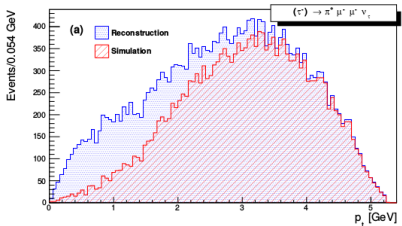
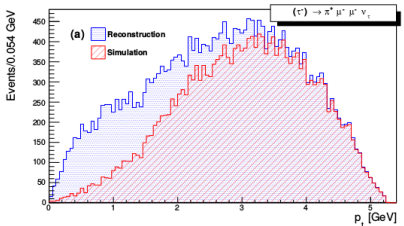
a $1.0 < M_\tau < 1.8$, $1.3 < M_\tau < 1.8$ y $1.5 < M_\tau < 1.8$





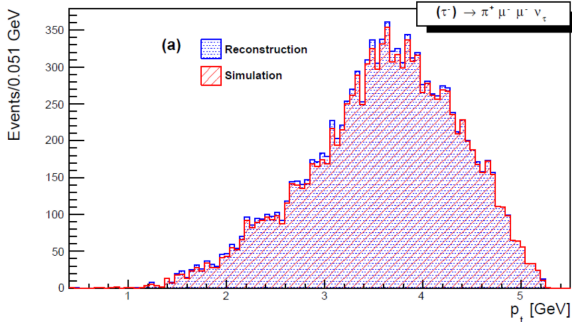
P_t con cortes en la identificación

a $1.0 < M_\tau < 1.8$, $1.3 < M_\tau < 1.8$ y 20% y 40% para μ 's y 80% para π 's



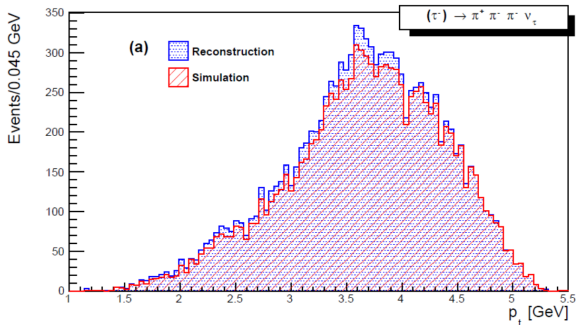
P_t con cortes en las masas restringidas

a $1.0 < M_\tau < 1.8$, 20% en μ 's y $M_{bc} \leq 4\text{GeV}$



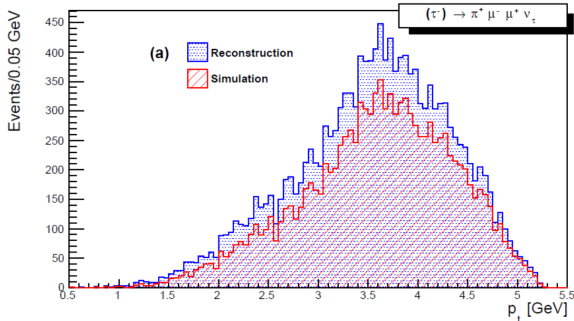
P_t con cortes en las masas restringidas

a $1.0 < M_\tau < 1.8$, 20% en μ 's y $M_{bc} \leq 4\text{GeV}$ (Ruido)



P_t con cortes en las masas restringidas

a $1.0 < M_\tau < 1.8$, 20% en μ 's y $M_{bc} \leq 4\text{GeV}$ (Ruido)



Total de eventos reconstruidos



Channel	$1.0 < M < 1.9$ and $M_{bc} \leq 4\text{GeV}$	
	rec	sim
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$	11,991	11,680
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^+ \nu_\tau$	13,208	10,834
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$	11,812	11,116



- ▶ Estamos utilizando una muestra generica de tau's generada por la colaboración para conocer la eficiencia de la reconstrucción.
- ▶ Provando herramientas de análisis multivariado.



Estudiamos la posibilidad de encontrar $\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$, canal que viola el número leptónico por dos unidades ($\Delta L = 2$).

Con el fin de tener una aproximación real al experimento usamos dos tipos de datos **Reconstruidos** y **Simulados** para conocer los eventos bien reconstruidos.

Se pudo observar la importancia de la ventana de masa invariante, la identificación de μ 's y la masa restringida por el haz.

Reconstruimos correctamente una cantidad considerable de eventos. Por lo que en el experimento Belle II tendríamos la capacidad de conocer la naturaleza del neutrino y lo que esto implica.



Mejorar el análisis al realizar cortes en otras variables.

Incluir el ruido de los demás decaimientos.

Gracias por su atención!





Propiedades [1]

- ▶ $m < 2$ eV, NC = 90% (decaimiento del tritium)
- ▶ $\tau/m > 300$ s/eV (reactor) (tiempo/masa media)
- ▶ $\tau/m > 7 \times 10^9$ s/eV (solares)
- ▶ Momento magnético $\mu < 0.29 \times 10^{-10} \mu_B$ (reactor) (μ_B , magnetón de Bohr)

Número de tipos de neutrinos

- ▶ $N = 2.984 \pm 0.008$ (datos de LEP)
- ▶ $N = 2.92 \pm 0.05$ (mediciones directas del ancho del Z)



El término de masa de Majorana se puede escribir de la siguiente manera

$$-\mathcal{L}_{masa}^M = \frac{1}{2} \bar{\nu}'_L M_L (\nu'_L)^c + h.c.$$

donde M_L es una matriz simétrica compleja ($M_L^T = M_L$), $(\nu_L)^c$ la contraparte conjugado de carga (de quiralidad derecha).

Esta matriz puede ser diagonalizada por la transformación $U^\dagger M_L U^* = m_\nu = \text{diag} m_1, m_2, m_3$. Para obtener

$$-\mathcal{L}_{masa}^M = \frac{1}{2} \bar{\nu}_L M_L (\nu_L)^c + h.c.$$

donde $\nu'_L = U \nu_L$ y $(\nu'_L)^c = U^* (\nu_L)^c$.



Al realizar una transformación de fase global se obtiene la característica más importante, la violación de número leptónico,

$$l_\alpha \rightarrow e^{i\theta\Lambda_L} l_\alpha \quad (\alpha = e, \mu, \tau), \quad \nu_L \rightarrow e^{i\theta\Lambda_L} \nu_L$$

entonces

$$\mathcal{L}_{masa}^M \rightarrow e^{-2i\theta\Lambda_L} \mathcal{L}_{masa}^M.$$

Como consecuencia $\Delta L = 2$ [2].

Masa invariante



Channel	$1.0 < M < 1.9 \text{ GeV}$		$1.3 < M < 1.9 \text{ GeV}$		$1.5 < M < 1.9 \text{ GeV}$	
	rec	sim	rec	sim	rec	sim
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$	53,192	28,429	31,275	14,419	16,036	4,845
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^+ \nu_\tau$	94,495	28,657	54,084	14,515	26,206	4,925
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$	83,515	33,454	49,679	17,513	26,611	6,339

Capacidad de identificación de μ 's



Channel PID $\mu \geq$ $\tau^- \rightarrow$	1.0 < M < 1.9 GeV				1.3 < M < 1.9 GeV			
	20%		40%		20%		40%	
	rec	sim	rec	sim	rec	sim	rec	sim
$\pi^+ \mu^- \mu^- \nu_\tau$	27,258	20,789	24,119	18,864	14,879	10,584	13,196	9,681
$\pi^+ \mu^- \mu^+ \nu_\tau$	38,330	20,883	32,848	19,064	21,184	10,663	18,226	9,787
$\pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$	45,109	22,959			26,363	11,713		

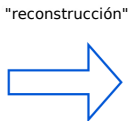
Reconstrucción



27

Respuesta total del detector: hits, clusters, sincronización.

DST
ARICH
CDC
ECL
Tracks
PXD
SVD
TOP



Trazas, PID, Fotones

mDST	
Track	Fit result
PID	Top
	ARICH
	Shower
ECL	Gamma
	π^0
	eID
dE/dx	CDC
	VXD
	MuID
KLM	KLID
Vertex	Ks
	Lambda



Candidatos y topología del evento

μ DST
Particle(Lists)
MCParticle
Vertex
Topology*
Tag*

Señales falsas



False signal	$1.0 < M < 1.9$ and $M_{bc} \leq 4\text{GeV}$
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \mu^- \mu^+ \nu_\tau$	2,825
$\tau^- \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^- \nu_\tau$	537

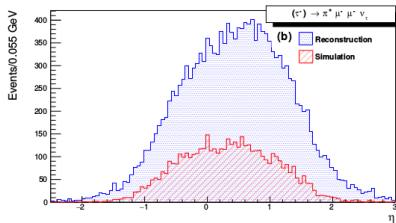
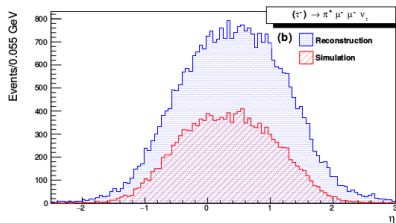
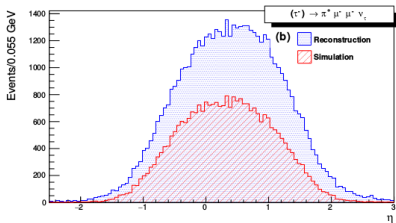


[1] K.A. Olive et al. (Particle Data Group), Chin. Phys. **C38**, 090001 (2014) (URL:<http://pdg.lbl.gov>)

[2] Néstor Quintero, Estudios de violación del número leptónico en procesos resonantes inducidos por un neutrino de Majorana. (2015)

η con cortes en la masa invariante

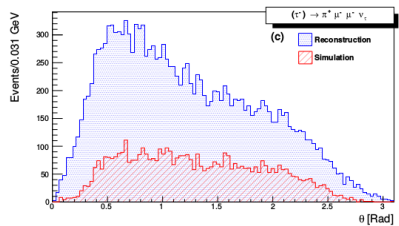
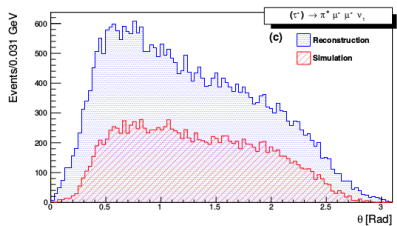
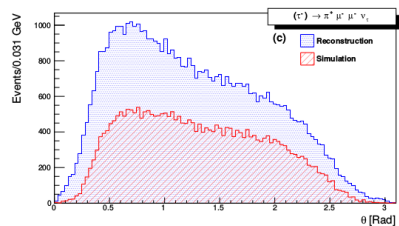
a $1.0 < M_\tau < 1.8$, $1.3 < M_\tau < 1.8$ y $1.5 < M_\tau < 1.8$





θ con cortes en la masa invariante

a $1.0 < M_{\tau} < 1.8$, $1.3 < M_{\tau} < 1.8$ y $1.5 < M_{\tau} < 1.8$



Señales falsas

