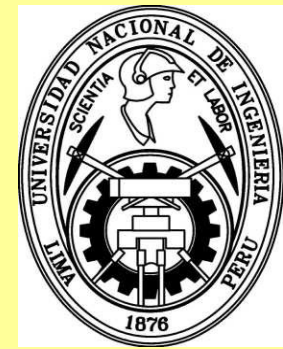


Universidad Nacional de Ingeniería
Facultad de Ciencias
Sección de Posgrado y Segunda Especialización



Calibración del Detector Minerva mediante la detección de Muones

Hurtado Anampa, Kenyi

Asesor: C. Javier Solano S.

10 de Diciembre, 2009

Estructura de la Presentación

Parte 1: Física de Neutrinos

Características de los Neutrinos
Oscilaciones de Neutrinos
Interacciones de Neutrinos con la materia

Parte 3: Detector Prototipo

Introducción
Electrónica de Adq. Datos
Análisis de Crosstalk, estabilidad de Mediciones , filtraciones de luz
Cálculo de Ganancias
Búsqueda de Muones
FilterEvent Software
VISTA

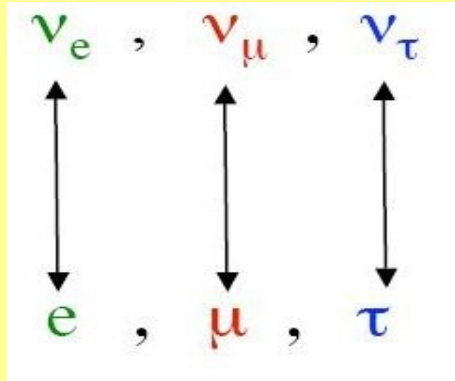
Parte 2: MINERvA

Introducción
Fuente de Neutrinos (NUMI)
Motivación
Mundo Real y MC

Parte 4

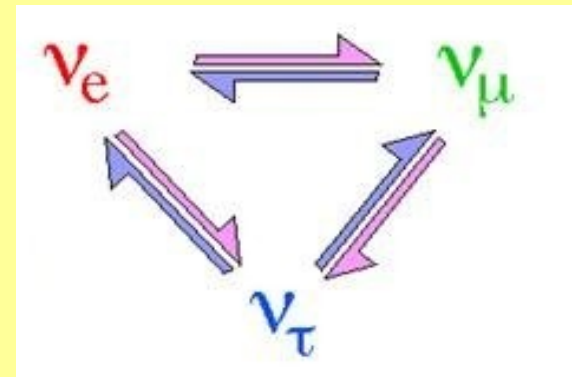
Conclusiones

Características de los Neutrinos



Existen 3 “sabores” de neutrinos, cada una asociada a su correspondiente sabor de leptón cargado

Son partículas neutras, de spin $\frac{1}{2}$ y masa muy pequeña
Tienen una sección eficaz muy pequeña (interactúan solo vía interacción débil)

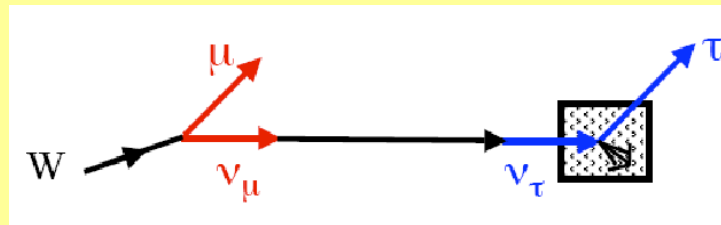


¡Se requieren detectores altamente sensibles y haces muy intensos para detectarlos!

Pueden cambiar de “sabor” (oscilación de neutrinos)

Oscilaciones de Neutrinos

Los neutrinos no tienen carga e interactúan mediante interacciones débiles, pero podemos conocer su “sabor”, a través de su leptón cargado asociado.



Mediante una Matriz Unitaria de mezcla U , es posible relacionar los autoestados de sabor $|\nu_\alpha\rangle$, con los de masa $|\nu_i\rangle$

$$\nu_{iL}(x) = U_{i\alpha}^L \nu_{\alpha L}(x)$$

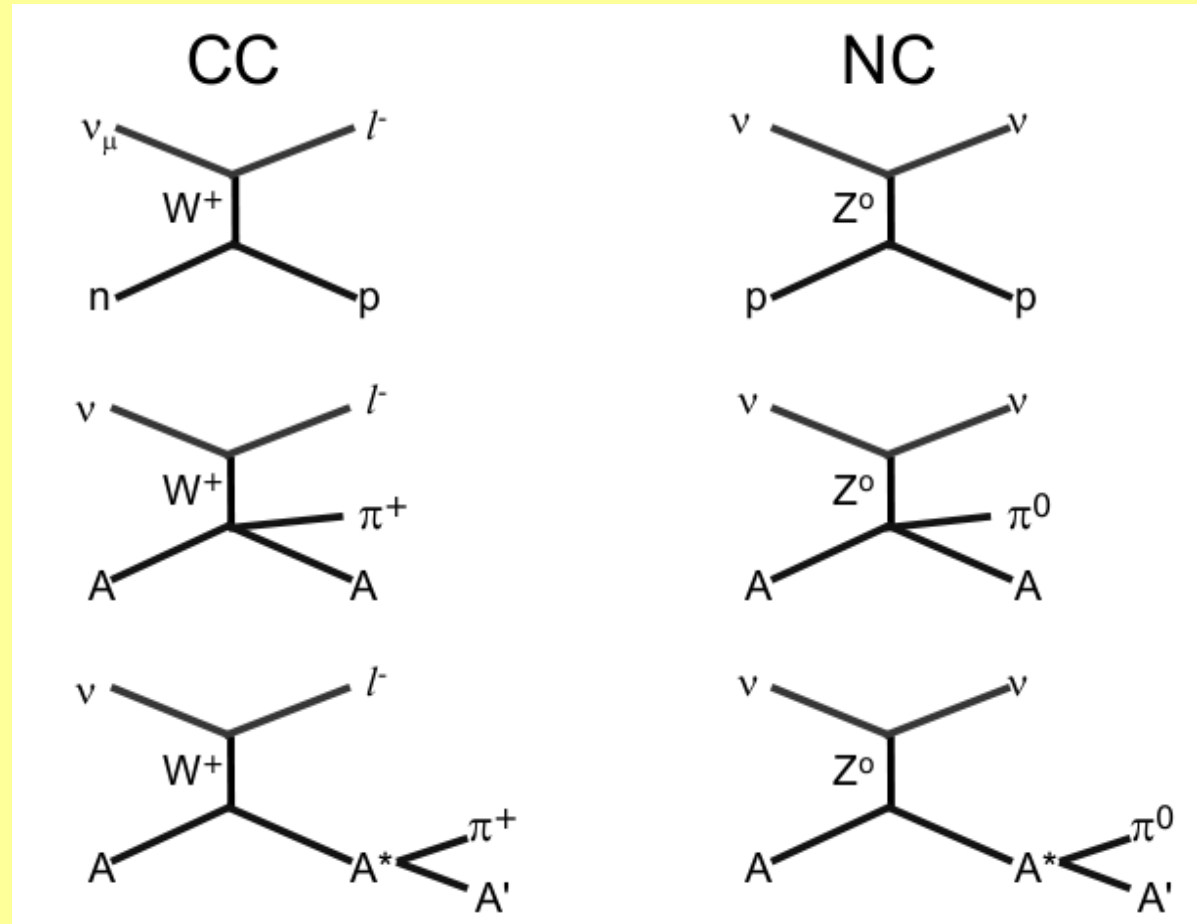
$$\nu_{iR}(x) = U_{i\alpha}^R \nu_{\alpha R}(x)$$

Interacciones de los neutrinos con la materia

Dispersión cuasi-elástica

Producción Coherente

Producción de Resonancias



Estructura de la Presentación

Parte 1: Fisica de Neutrinos

Características de los Neutrinos
Oscilaciones de Neutrinos
Interacciones de Neutrinos con la materia

Parte 3: Detector Prototipo

Introducción
Electrónica de Adq. Datos
Análisis de Crosstalk, estabilidad de Mediciones , filtraciones de luz
Cálculo de Ganancias
Búsqueda de Muones
FilterEvent Software
VISTA

Parte 2: MINERvA

Introducción
Fuente de Neutrinos (NUMI)
Motivación
Mundo Real y MC

Parte 4

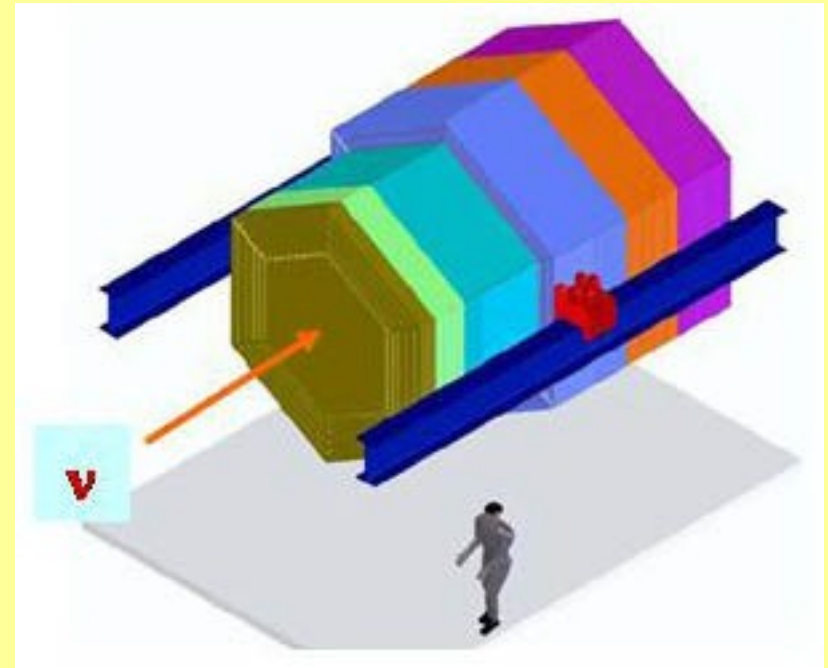
Conclusiones

MINERvA

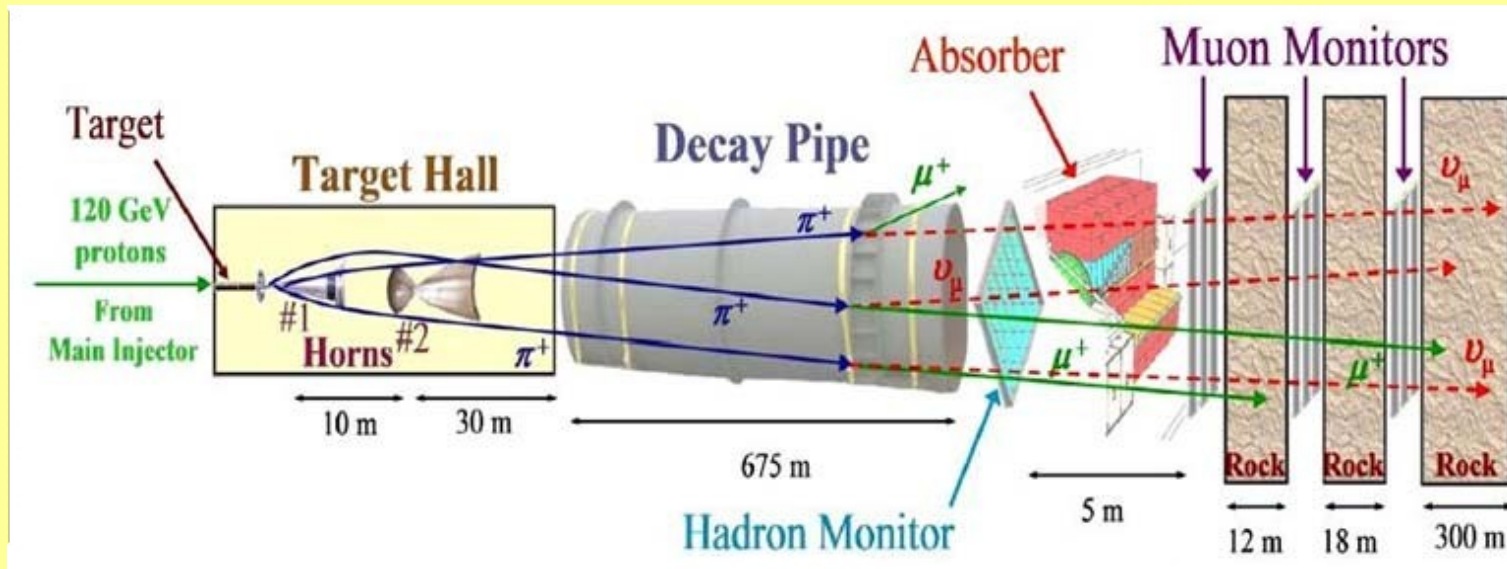
Introducción

MINERvA apunta a ser un detector de alta resolución, que utilizará un haz intenso de neutrinos (NuMI) en el FERMILAB (IL, EEUU), para estudiar reacciones de neutrinos con la materia a algunos GeV.

La colaboración cuenta con más de 20 instituciones de todas partes del mundo.



Fuente de neutrinos: NUMI (Neutrinos at the Main Injector)



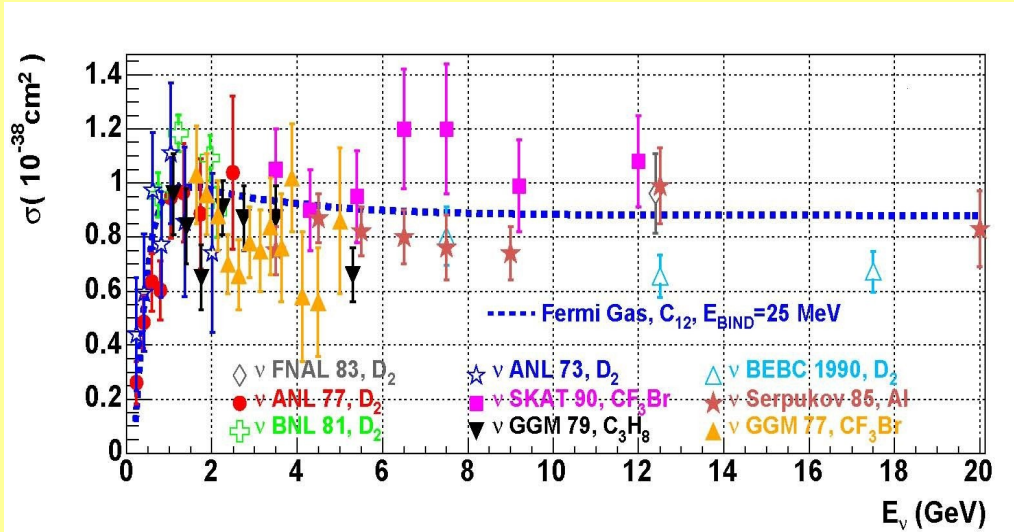
Los protones colisionan con el blanco de grafito, produciendo piones

Los piones decaen en muones y neutrinos muónicos

Los muones son absorvidos, quedando solo los neutrinos

Motivación

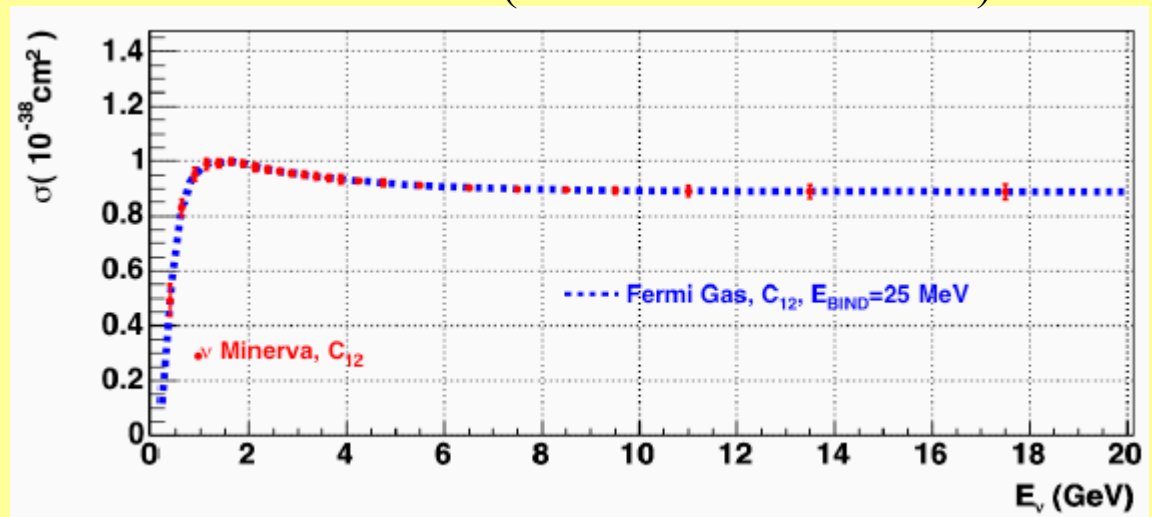
Antes de MINERvA



MINERvA reducirá las incertidumbres de medidas existentes obtenidas por varios experimentos.

Después de MINERvA
(solo errores estadísticos)

Sección de eficaz QE-CC



MINERvA

Motivación

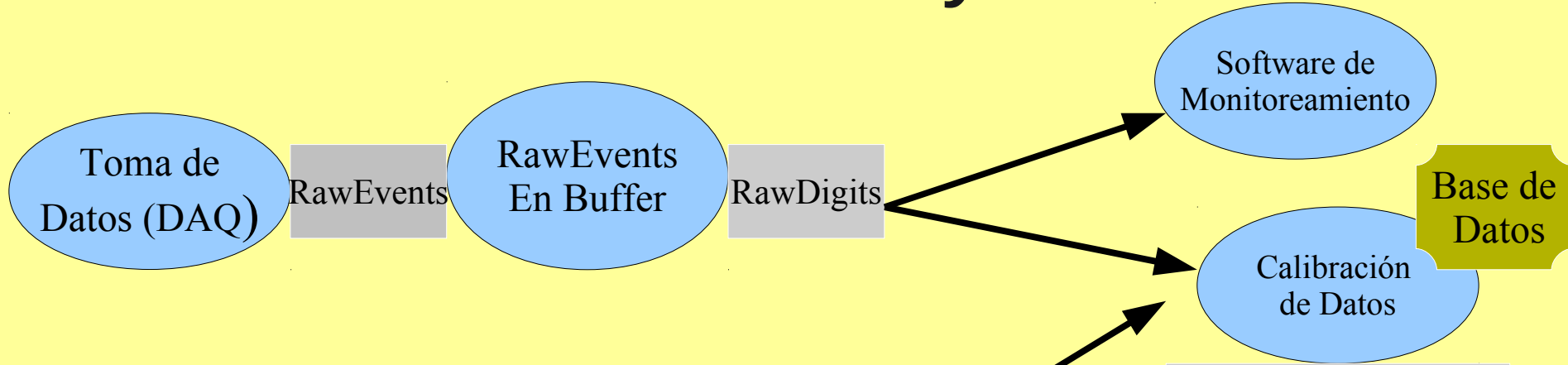
Proceso	Actual	Después de MINERvA
<i>QE</i>	20%	5%
<i>Res</i>	40%	5/10% (CC/NC)
<i>DIS</i>	20%	5%
<i>Coh</i>	100%	20%

Incertidumbres estimadas de las secciones eficaces

MINERvA

Mundo Real y MC

Mundo Real

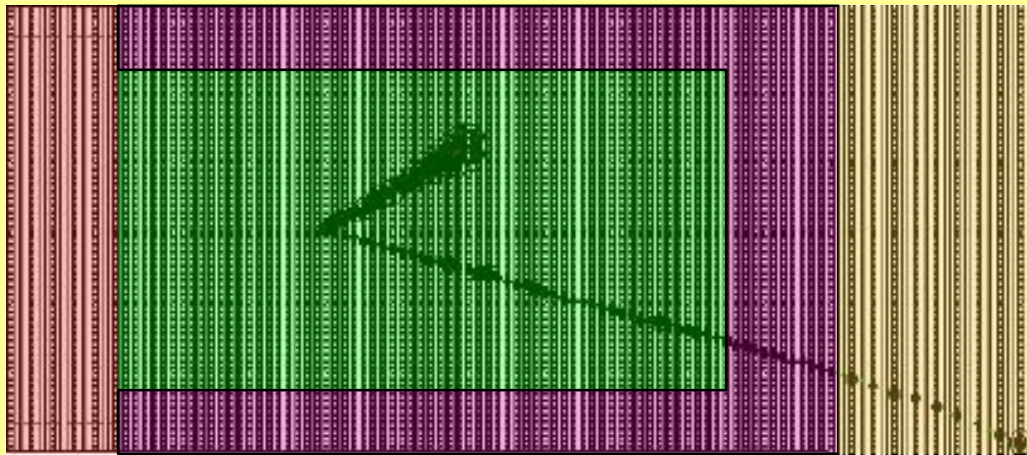


Mundo Montecarlo



MINERvA

Mundo MC

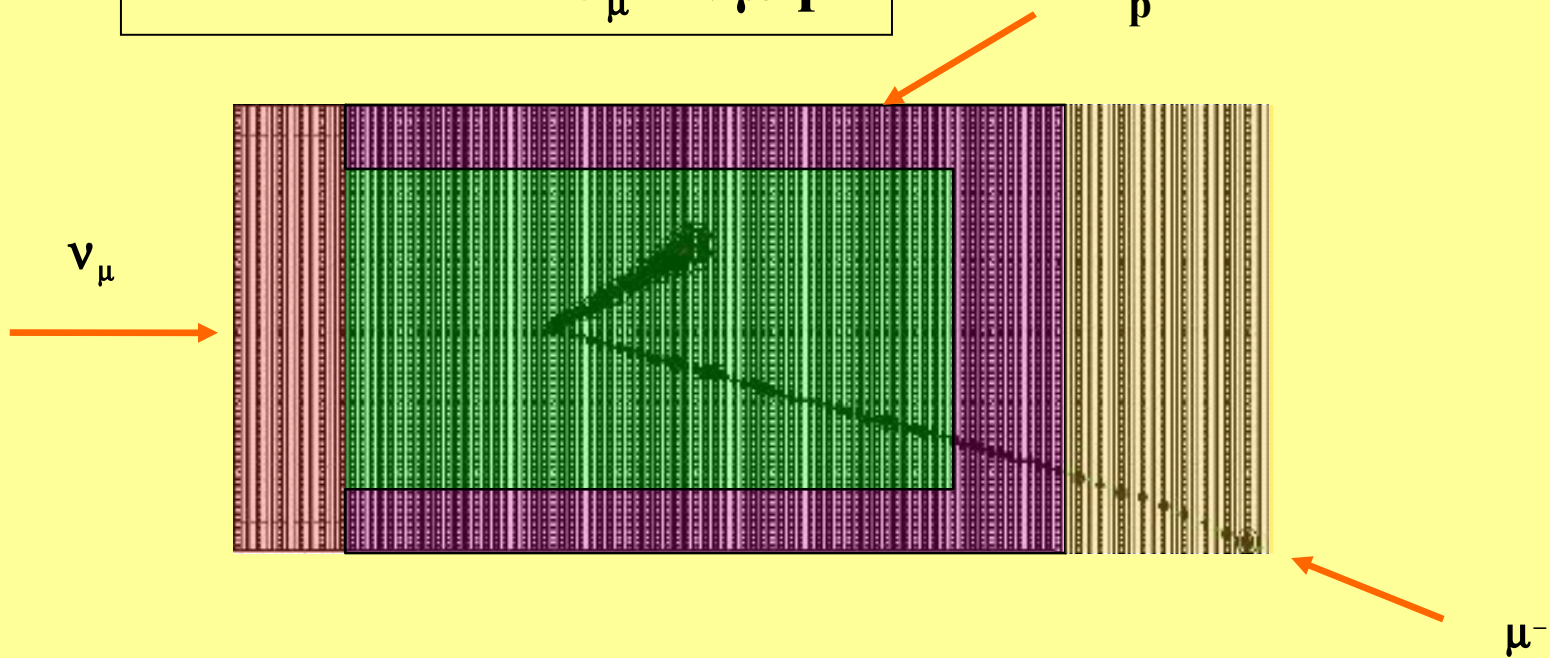


Ejemplo de una simulación de eventos en MINERvA

MINERvA

Mundo MC

• cuasi-elástico $\nu_{\mu} n \rightarrow \mu^{-} p$



Ejemplo de una simulación de eventos en MINERvA

Estructura de la Presentación

Parte 1: Fisica de Neutrinos

Características de los Neutrinos
Oscilaciones de Neutrinos
Interacciones de Neutrinos con la materia

Parte 3: Detector Prototipo

Introducción
Electrónica de Adq. Datos
Análisis de Crosstalk, estabilidad de Mediciones , filtraciones de luz
Cálculo de Ganancias
Búsqueda de Muones
FilterEvent Software
VISTA

Parte 2: MINERvA

Introducción
Fuente de Neutrinos (NUMI)
Motivación
Mundo Real y MC

Parte 4

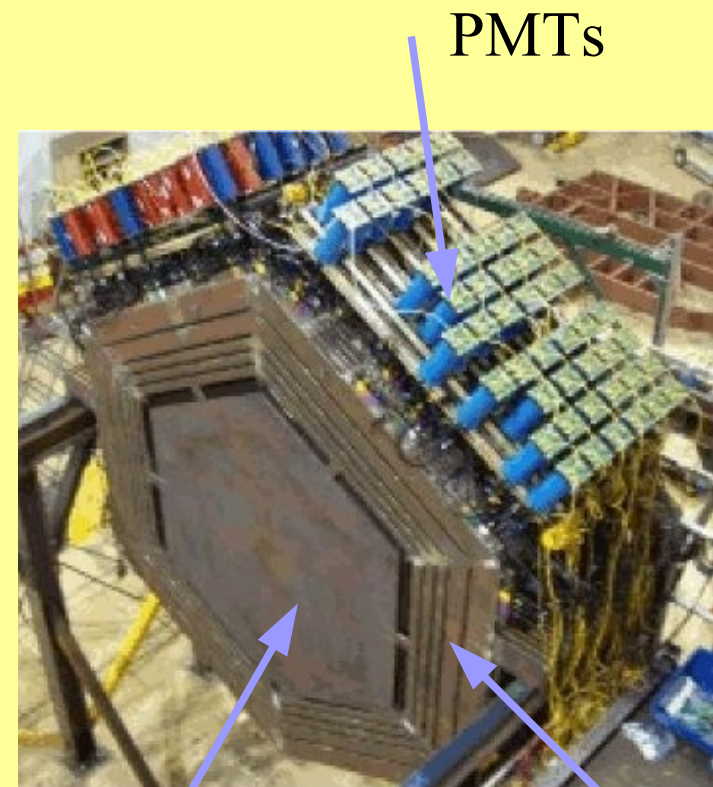
Conclusiones

Detector Prototipo en MINERvA

(Tracking Prototype Detector)

Introducción

El detector prototipo de rastreo (TP) es el 20 % del detector completo MINERvA , conteniendo calorimetría y parte del detector central.

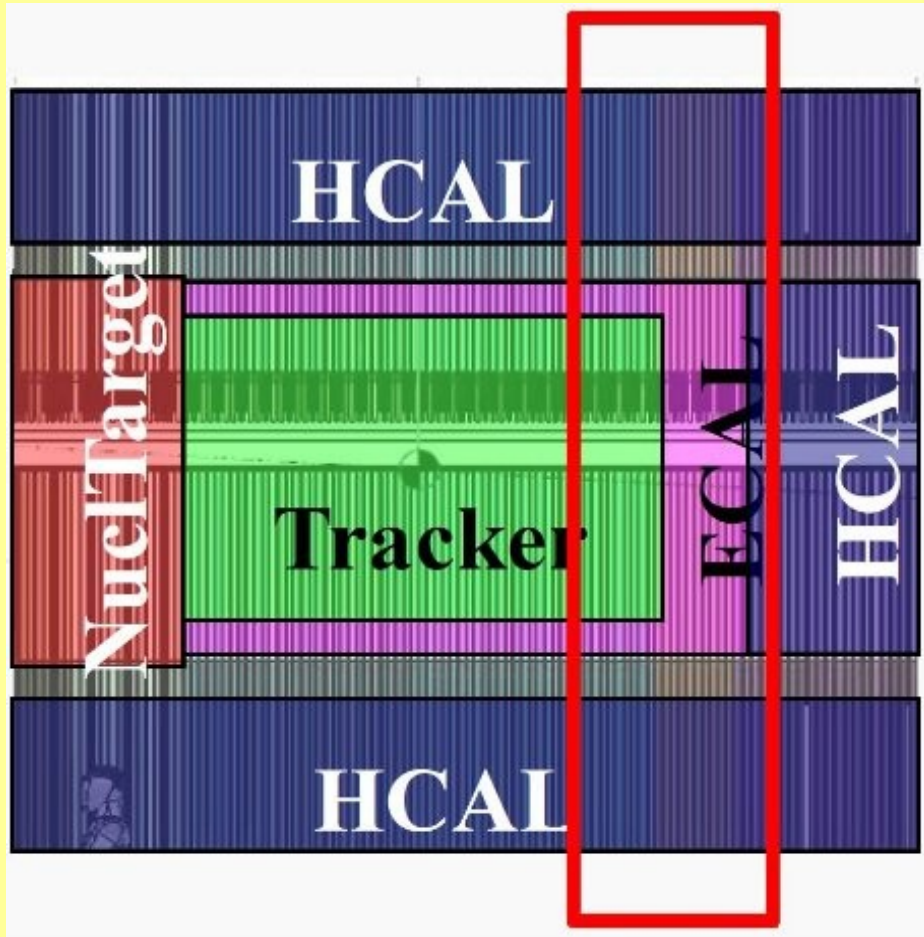


Centelleadores

Calorímetros

Detector Prototipo en MINERvA

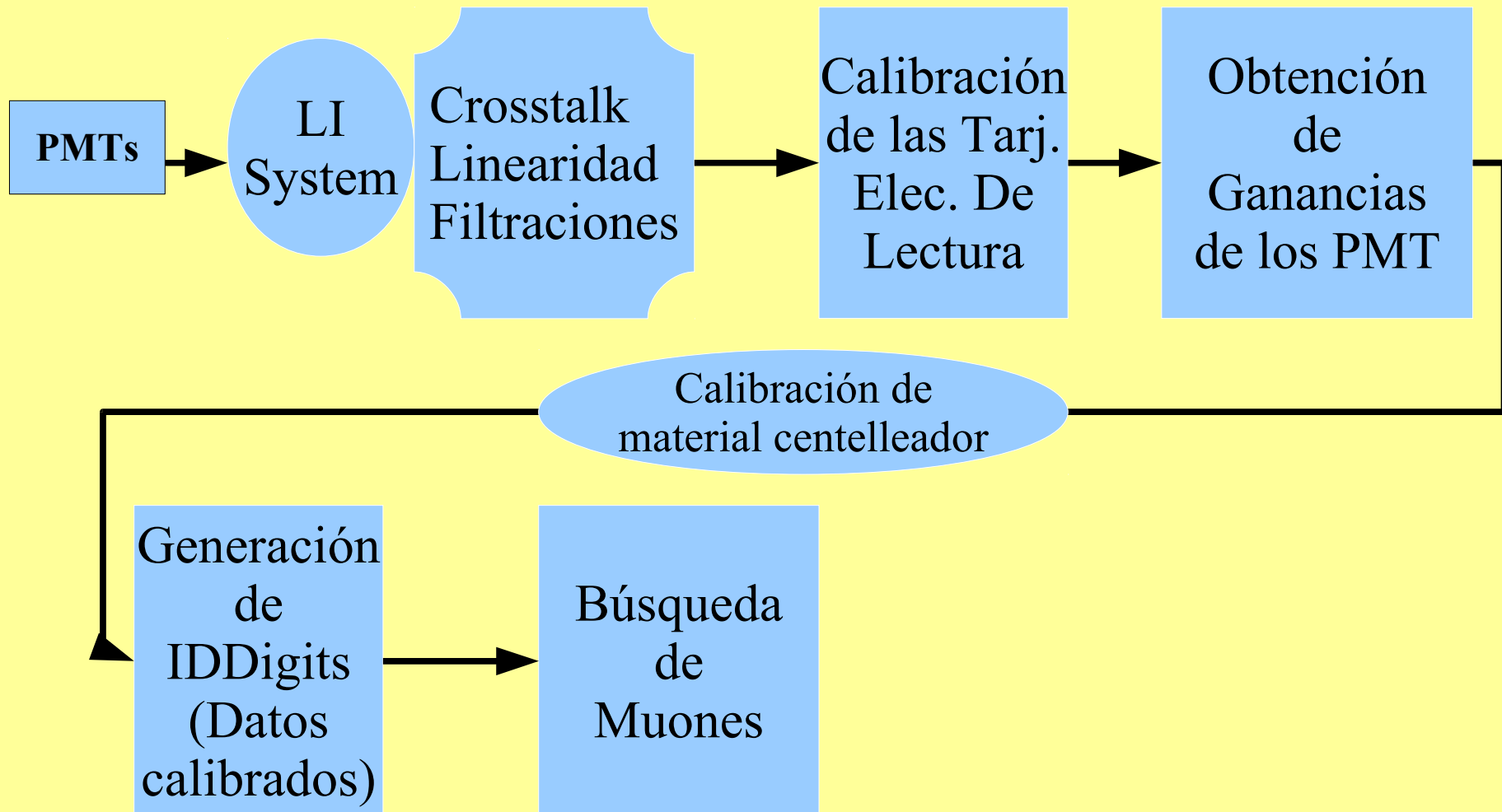
Introducción



El objetivo es mostrar el rendimiento para el rastreo de partículas de rayos cósmicos, además permite verificar la operación y funcionamiento del detector antes del montaje final para el detector completo

Esquema del Proyecto TP (Hardware)

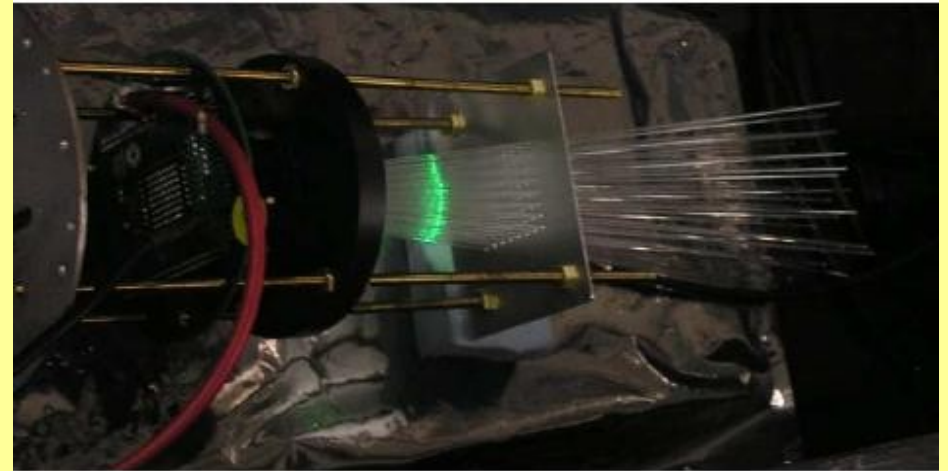
Introducción



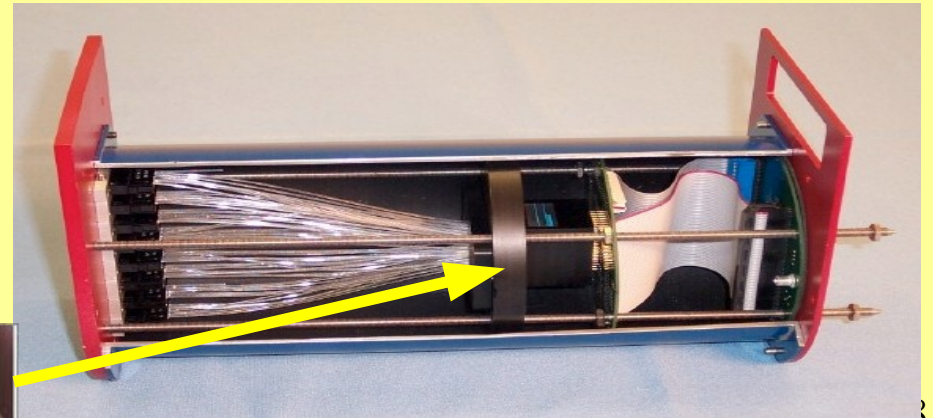
Electrónica de Adquisición

Tubos fotomultiplicadores

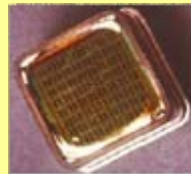
Se utilizan tubos fotomultiplicadores Hamamatsu M64, los cuales son un arreglo de 64 pixels en grupos de 8x8



Tubos Fotomultiplicadores
Hamamatsu R7600U-00-M64

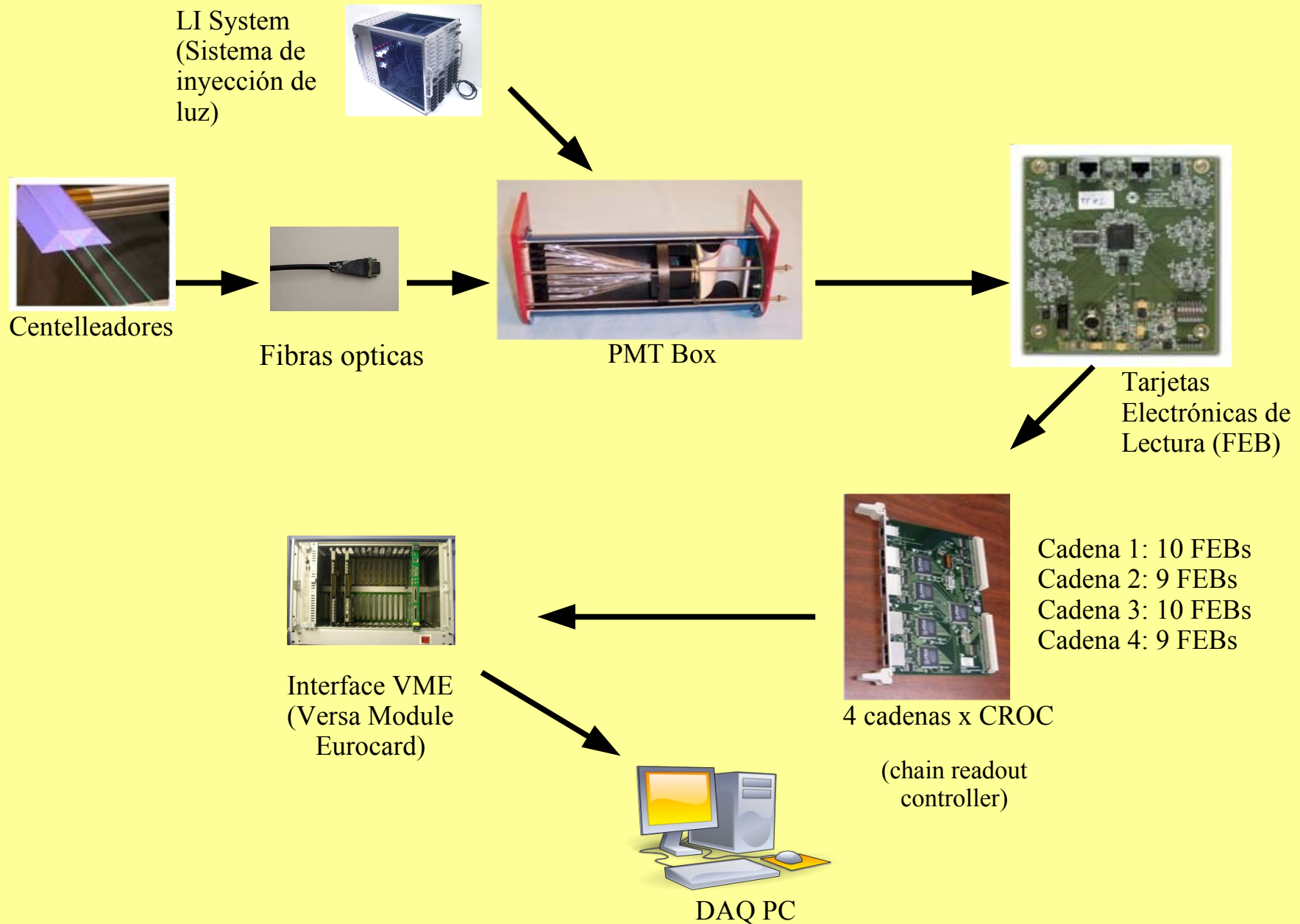


Sensor multi-ánodo de
64 pixels

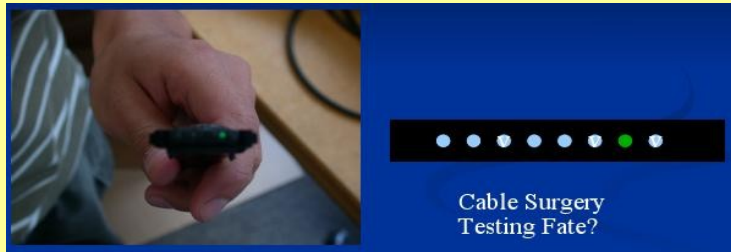


Electrónica Adquisición de Datos

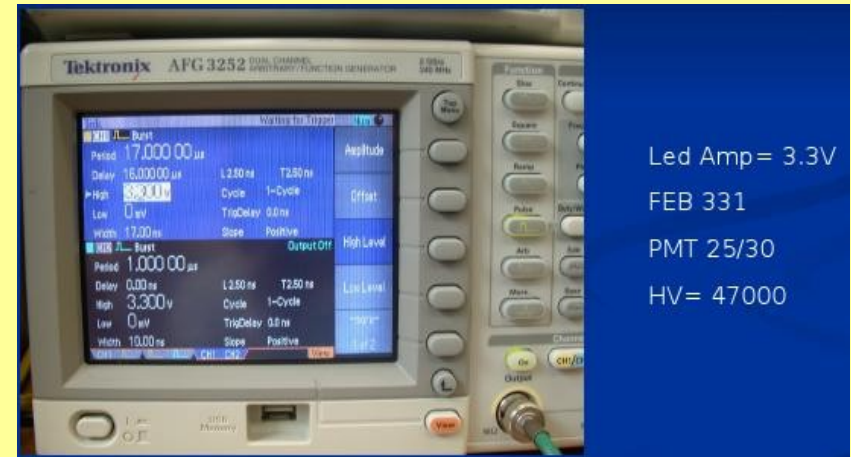
Esquema



Análisis de Crosstalk en los PMT/FEBs



Iluminación de una sola fibra



Parámetros del sistema de inyección de luz

Definiremos crosstalk como el proceso en el cual un píxel del PMT produce una salida medible cuando otro(s) píxel es/son iluminado(s).



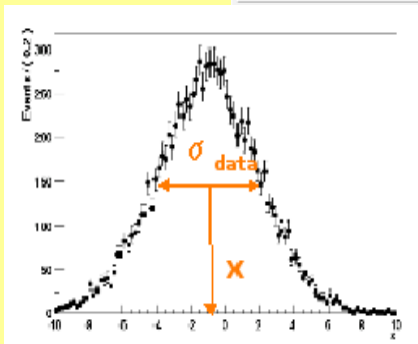
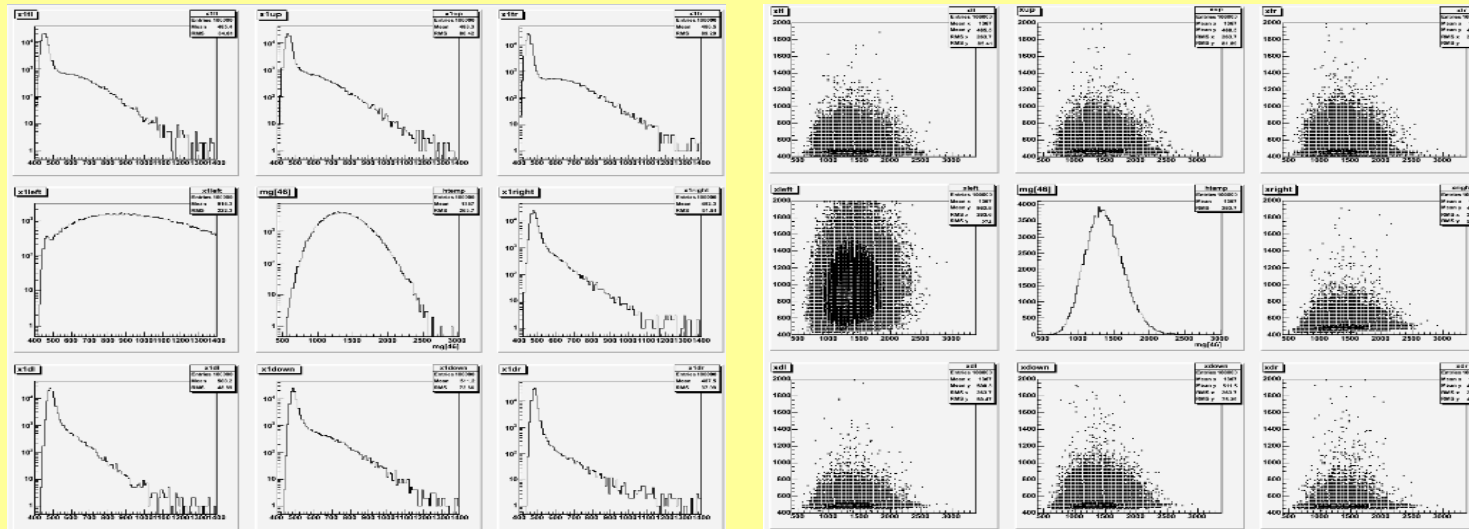
Oscilloscope and Power Supply



Light Injector and PMT30/FEB331

Sistemas de inyección de luz y PMT Box

Análisis de Crosstalk en los PMT



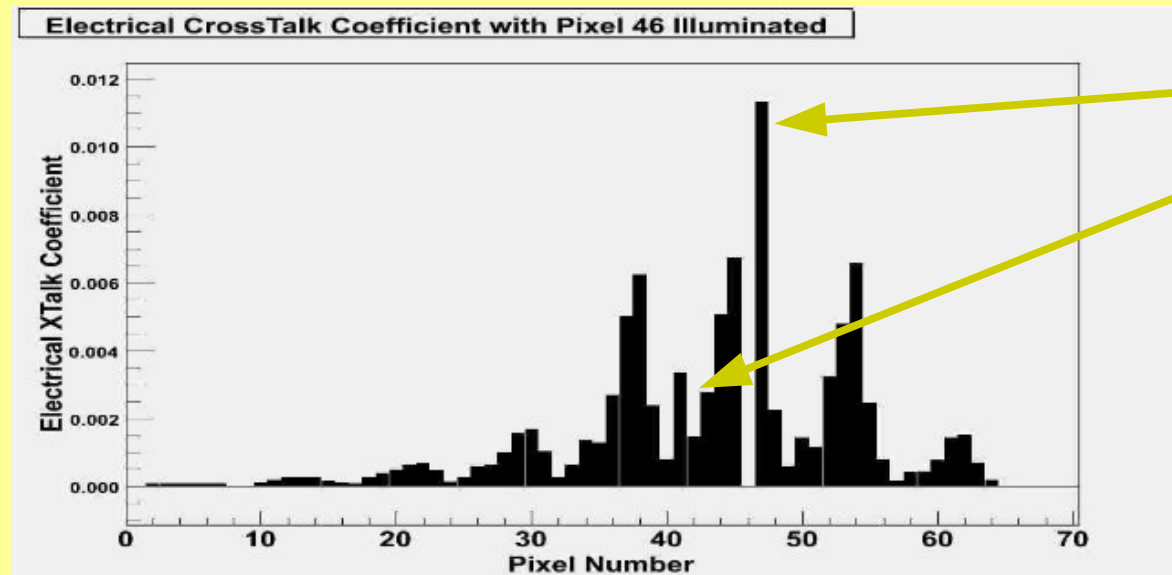
$$\rho = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} \in [-1, +1]$$

Los coeficientes de correlación ayudan a detectar la intensidad de crosstalk electrónico en pixels vecinos para cada PMT/FEB

Coeficientes ($\times 10^{-2}$)

2.59	6.37	3.2
1.71	Pixel 46	15.6
3.29	5.85	1.96

Análisis de Crosstalk en los PMT



Pixel 47

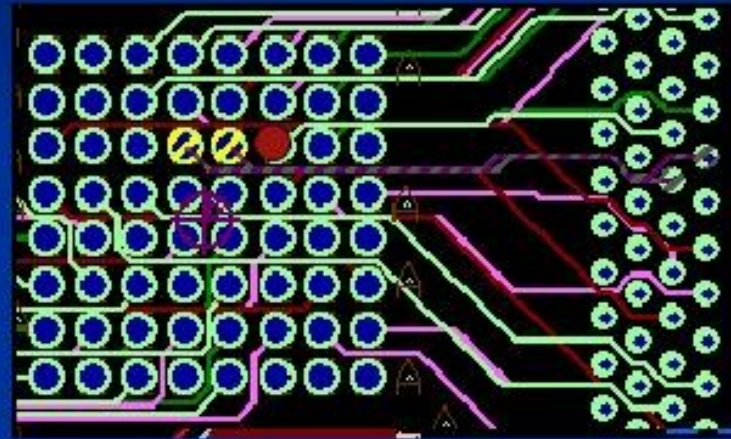
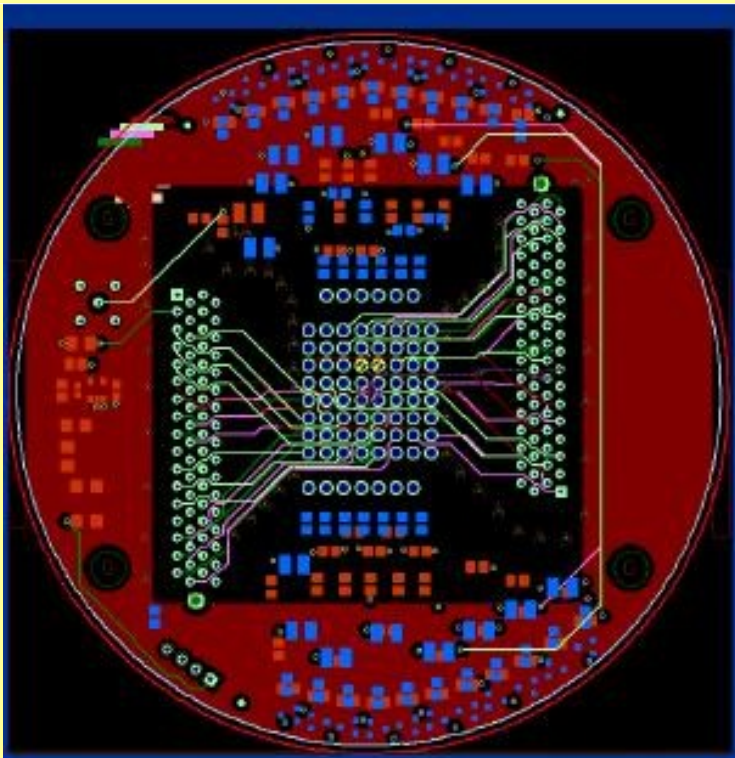
Pixel 41

Coeficientes de Crosstalk Eléctrico con pixel 46 iluminado

$$C_{ij} = \frac{Q_{j,i} - Q_i}{M_j - Q_j}$$

- $Q_{j,i}$ es la media del Pedestal del píxel i cuando el píxel j es iluminado.
- Q_i es la media del Pedestal del píxel i durante una corrida de pedestal
- Q_j es la media del Pedestal del píxel j durante una corrida de pedestal
- M_j es la media de la distribución del píxel j cuando es iluminado

Análisis de Crosstalk en los PMT



Esquema CW
(Cockcroft-Walton)

Estabilidad de lectura de los PMTs/FEBs

Análisis de Linealidad

Éste estudio sirve para:

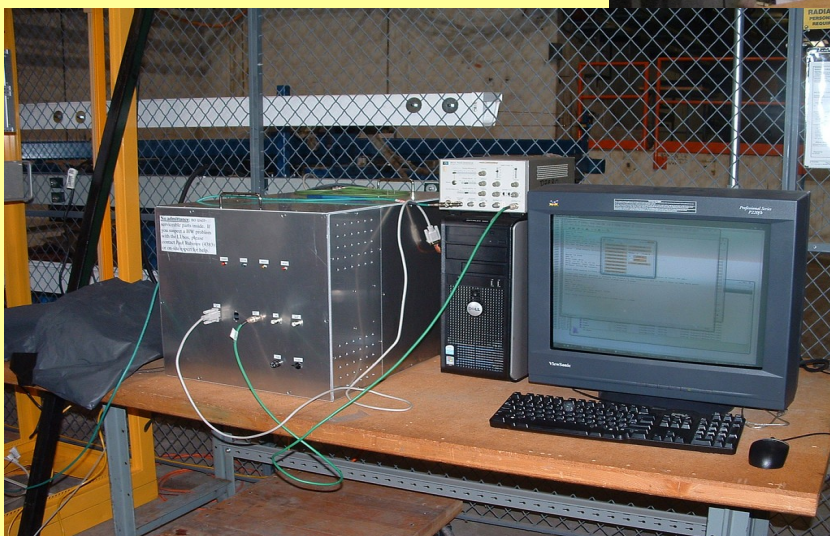
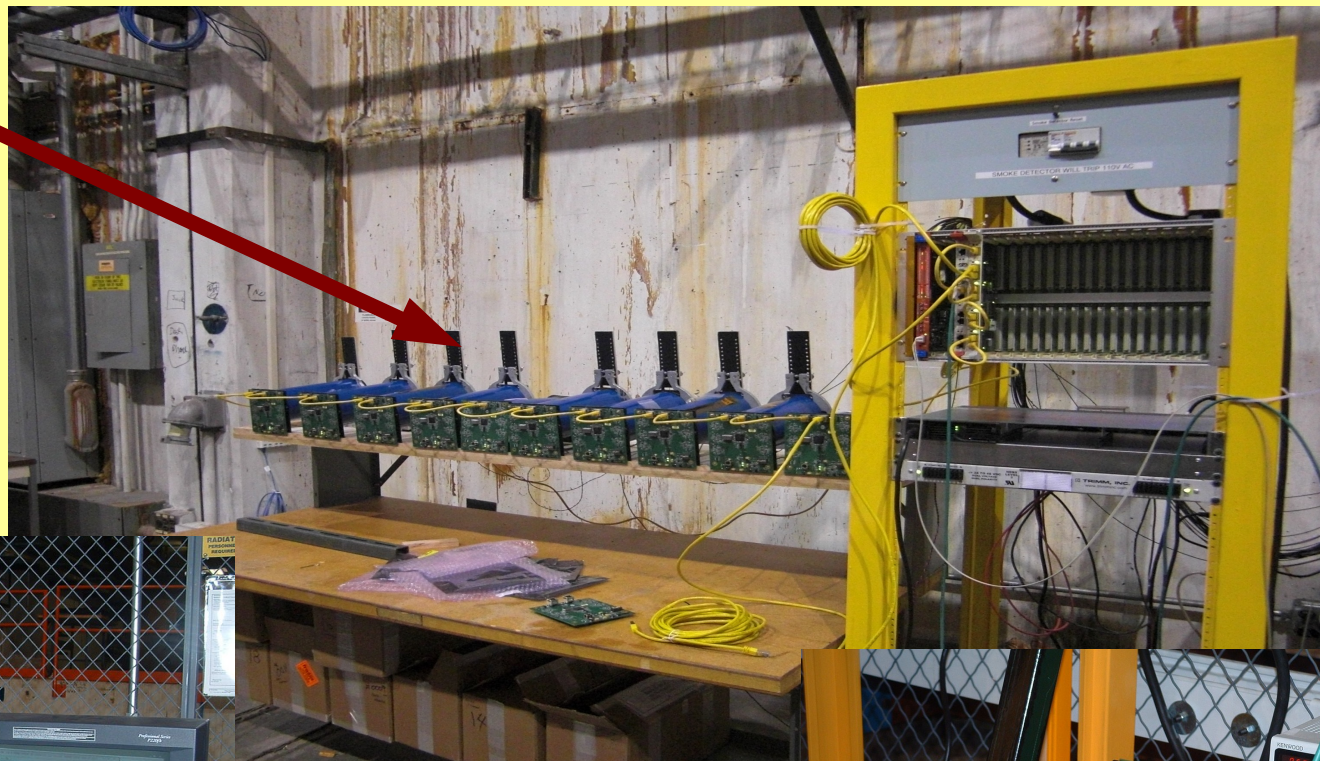
Verificar si hay cambios drásticos en las medidas debido a factores externos en el laboratorio.

Ver la estabilidad de las mediciones cuando se inyecta una cantidad fija de luz a los PMTs

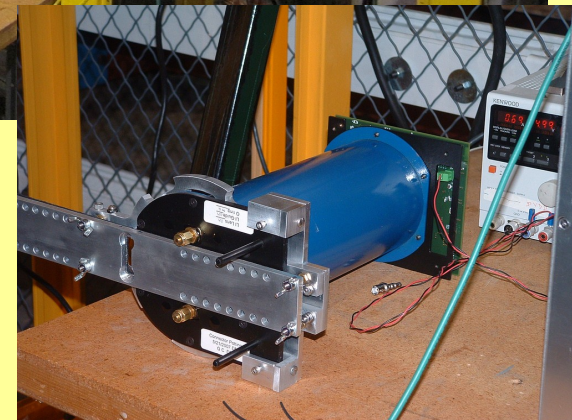
Comprobar la estabilidad del software de adquisición de datos (DAQ software) bajo períodos largos de toma de datos.

Estabilidad de lectura de los PMTs/FEBs

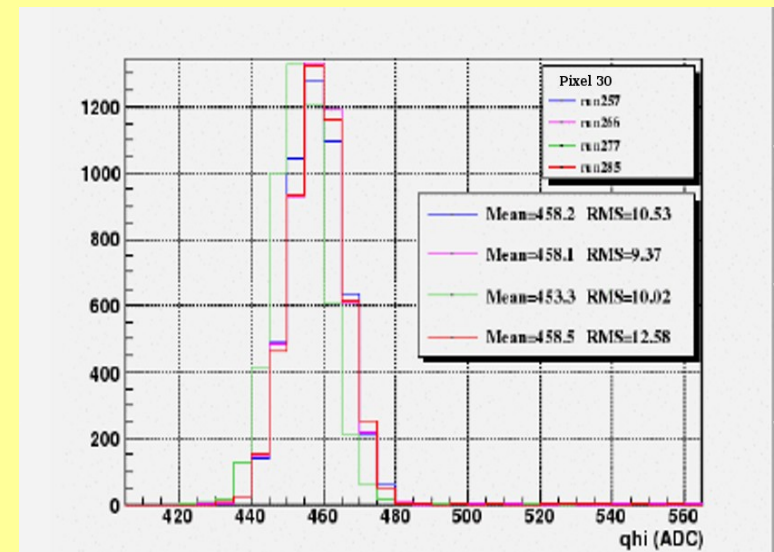
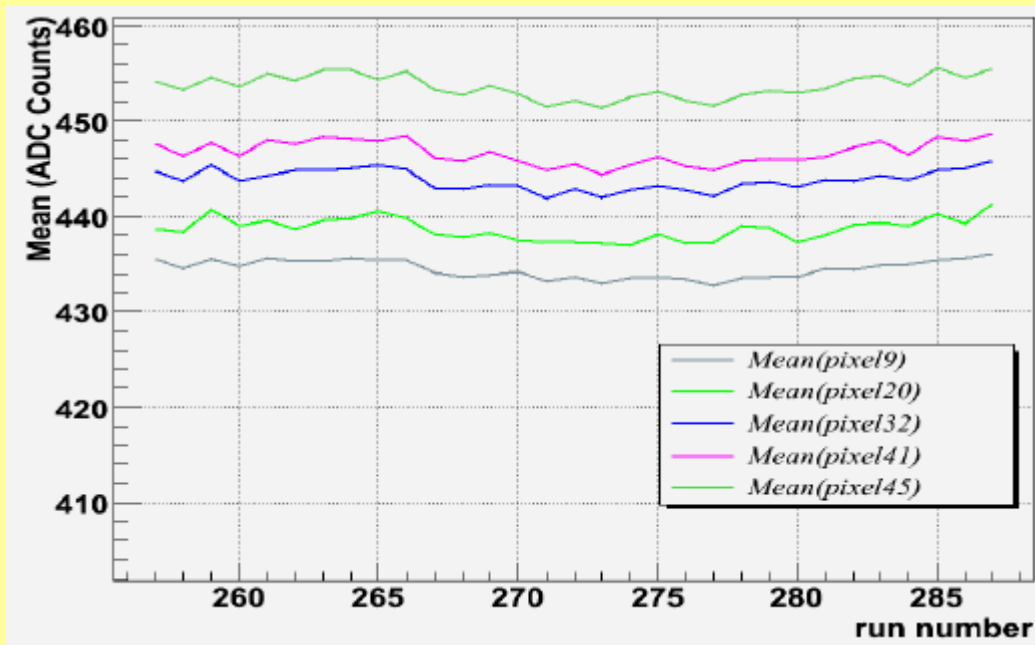
10 PMTs



LI System

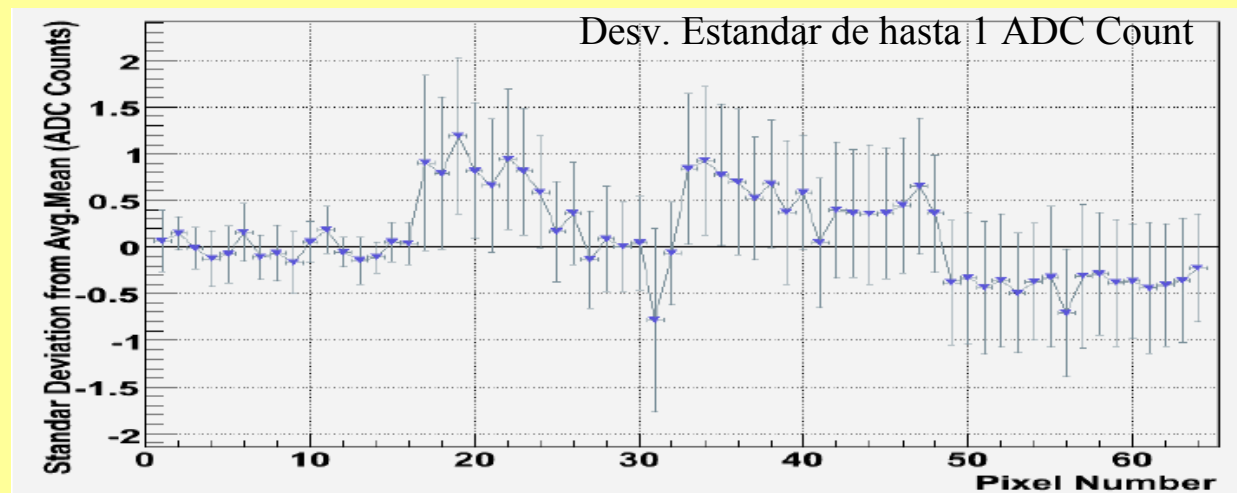


Estabilidad de lectura de los PMTs/FEBs

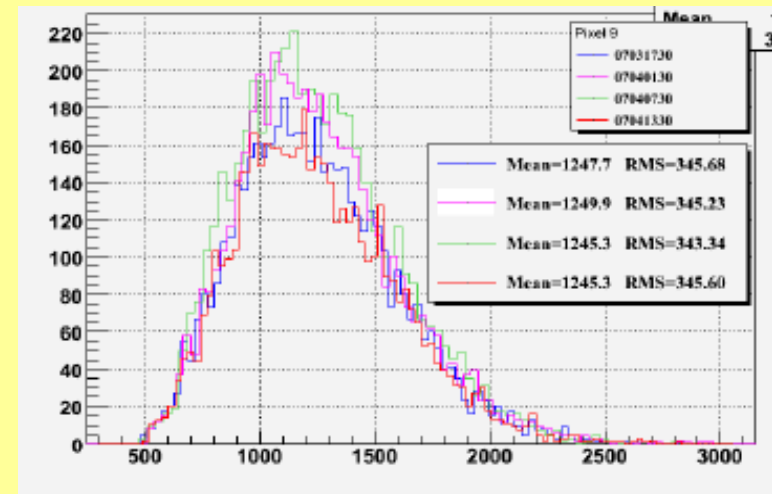
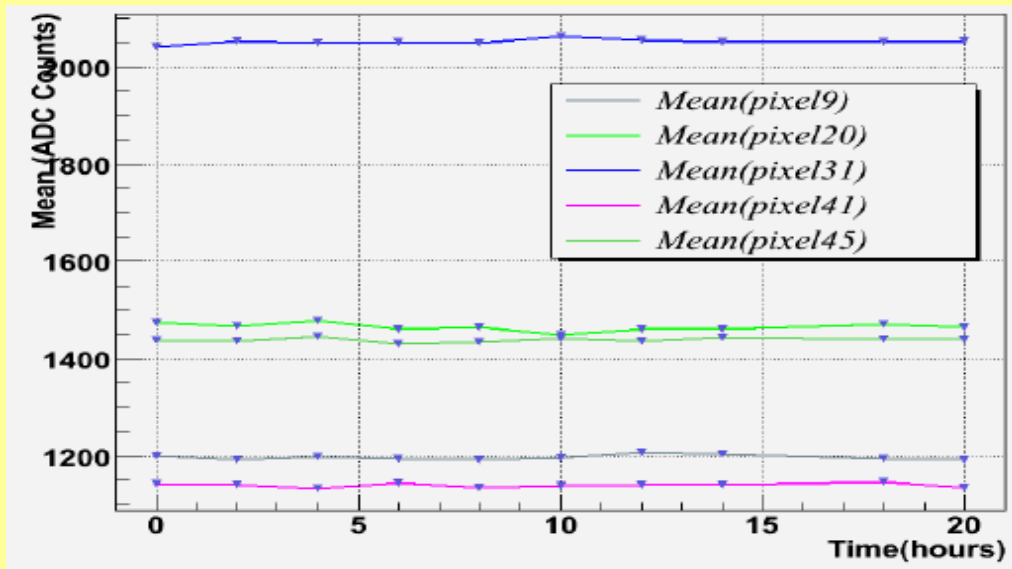


Lecturas de Medidas
Pedestales (una corrida por
hora)

Menos 0.7% de
variación respecto a
la media promedio

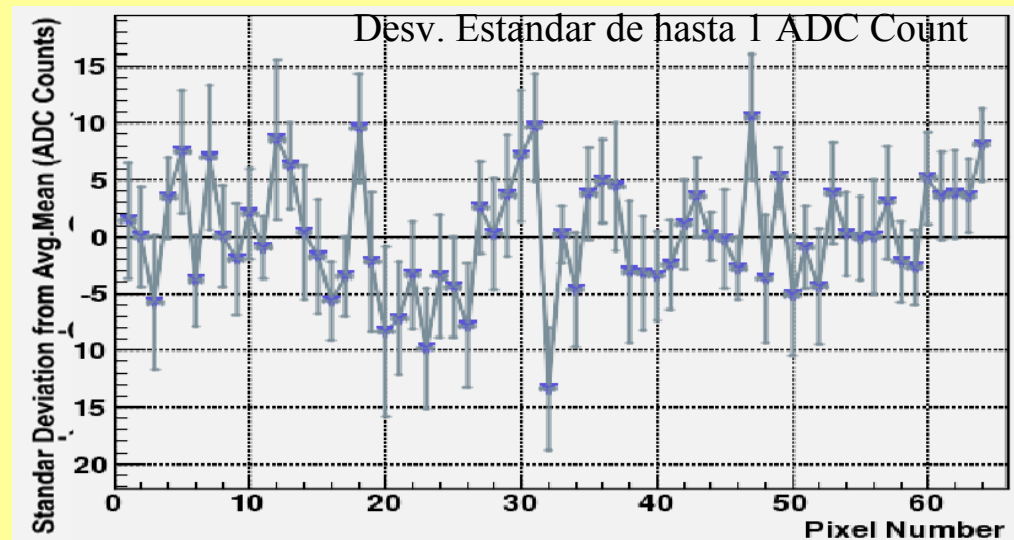


Estabilidad de lectura de los PMTs/FEBs

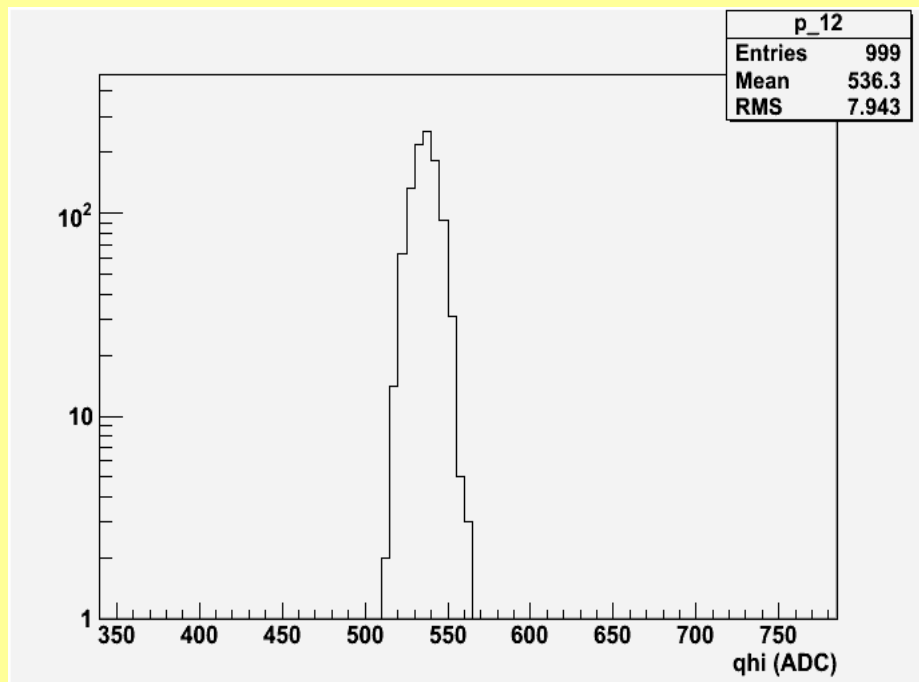


Lecturas de Medidas
MaxPE (una corrida por
hora)

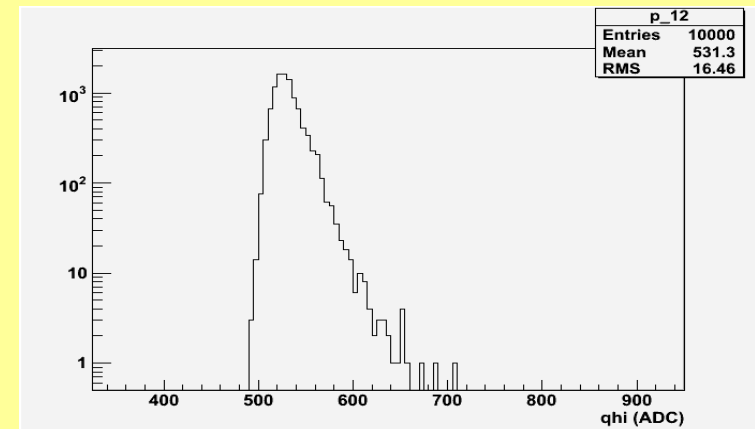
Menos 1.5% de
variación respecto a
la media promedio



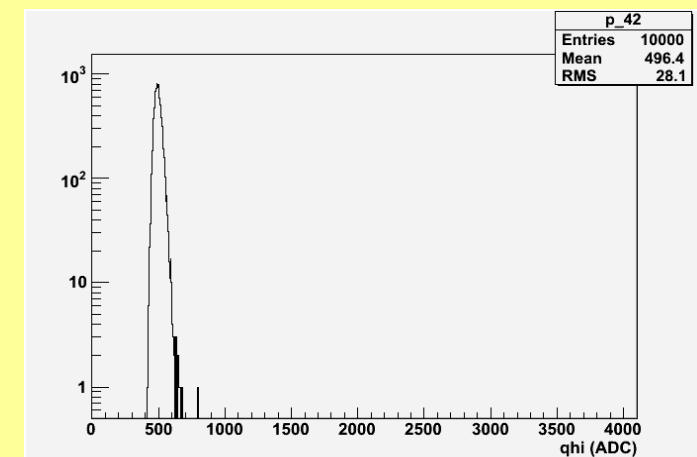
Estudio de filtraciones de luz en los tubos fotomultiplicadores



Lectura Pedestal Normal

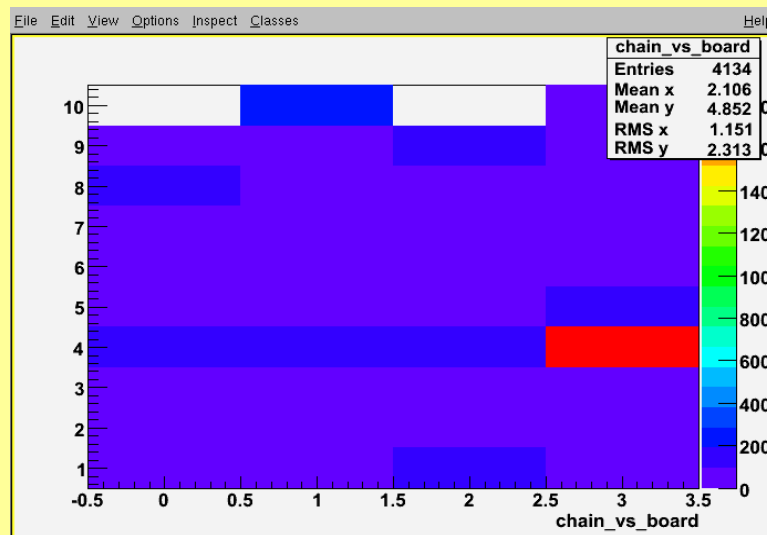


Lecturas con Filtración de Luz

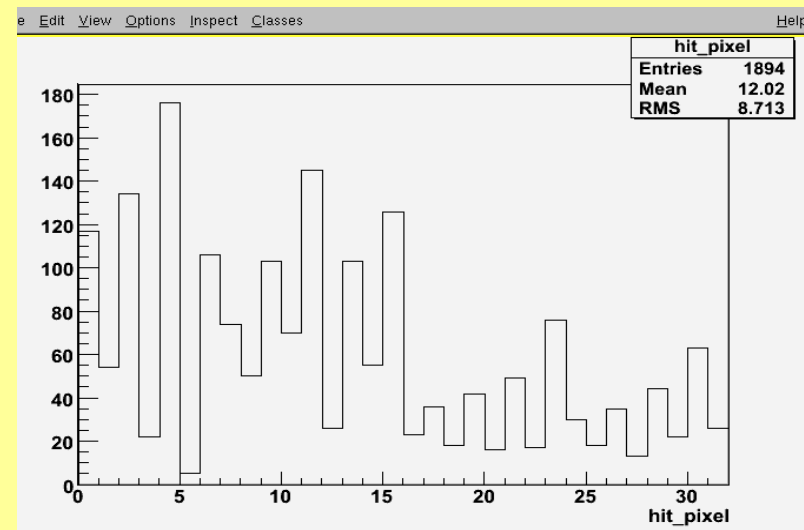


Estudio de filtraciones de luz en los tubos fotomultiplicadores

Utilizando los discriminadores de los FEB



Chain vs Board: Número de Hits por PMT Box

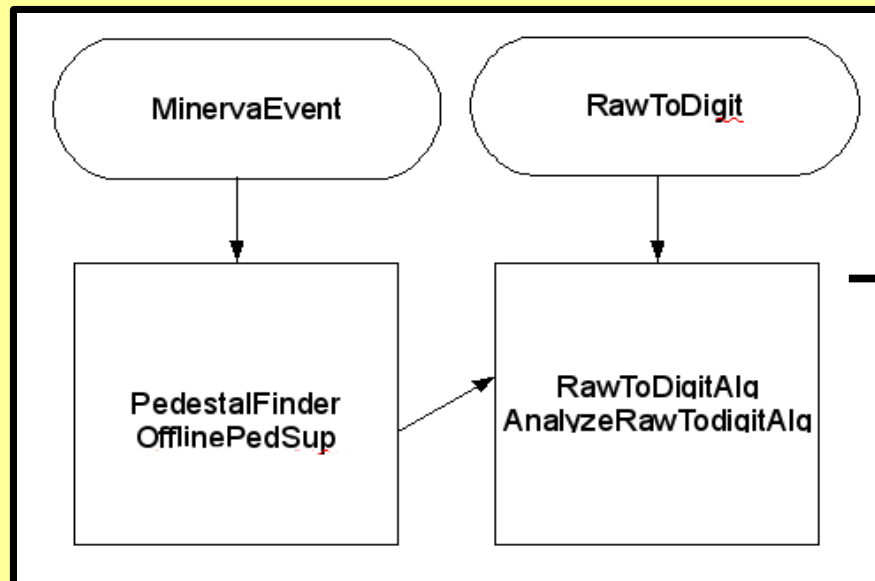
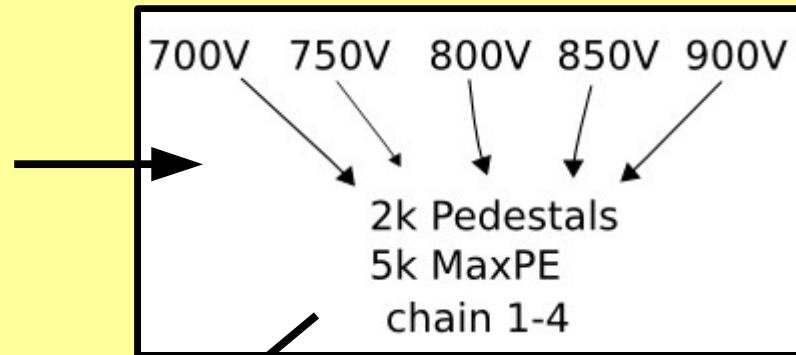


Número de hits por pixel en un discriminador

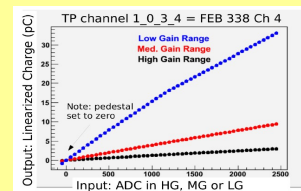
Cálculo de Ganancia de los Tubos Fotomultiplicadores



+



Supresión de pedestales

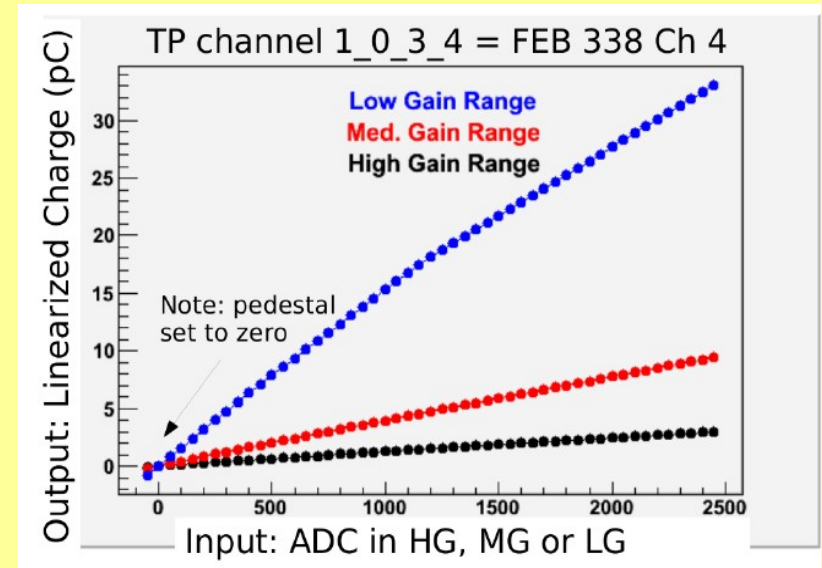
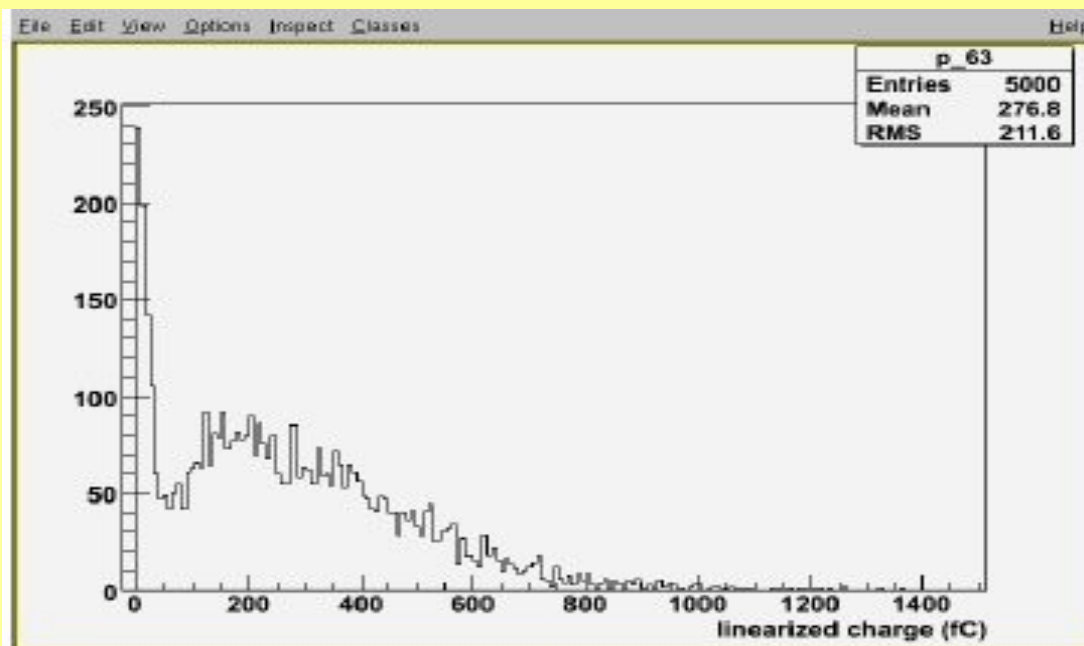


Conversión de
ADC Counts a pC

Almacenamiento de la señal
y cálculo de
de ganancias

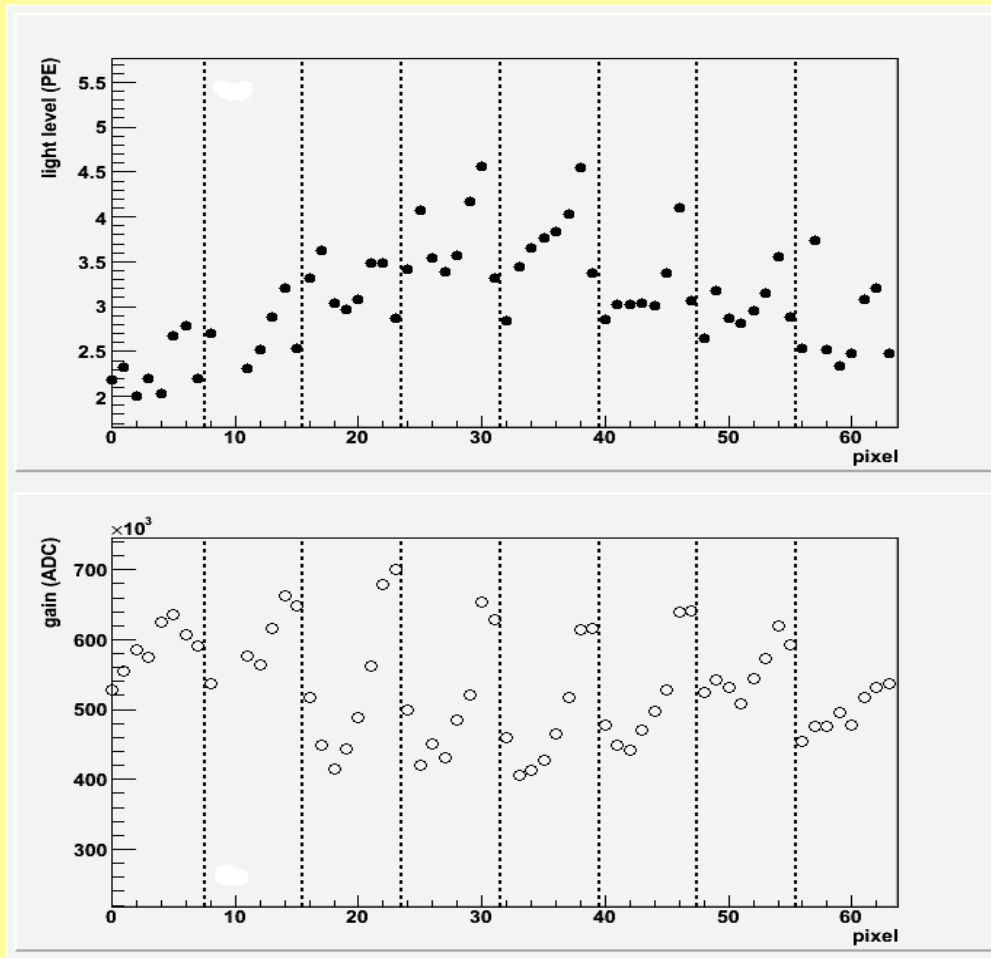
Cálculo de Ganancia de los Tubos Fotomultiplicadores

Distribución de carga calibrada (de ADC Counts a fC)



Ajuste Tri-Lineal

Cálculo de Ganancia de los Tubos Fotomultiplicadores

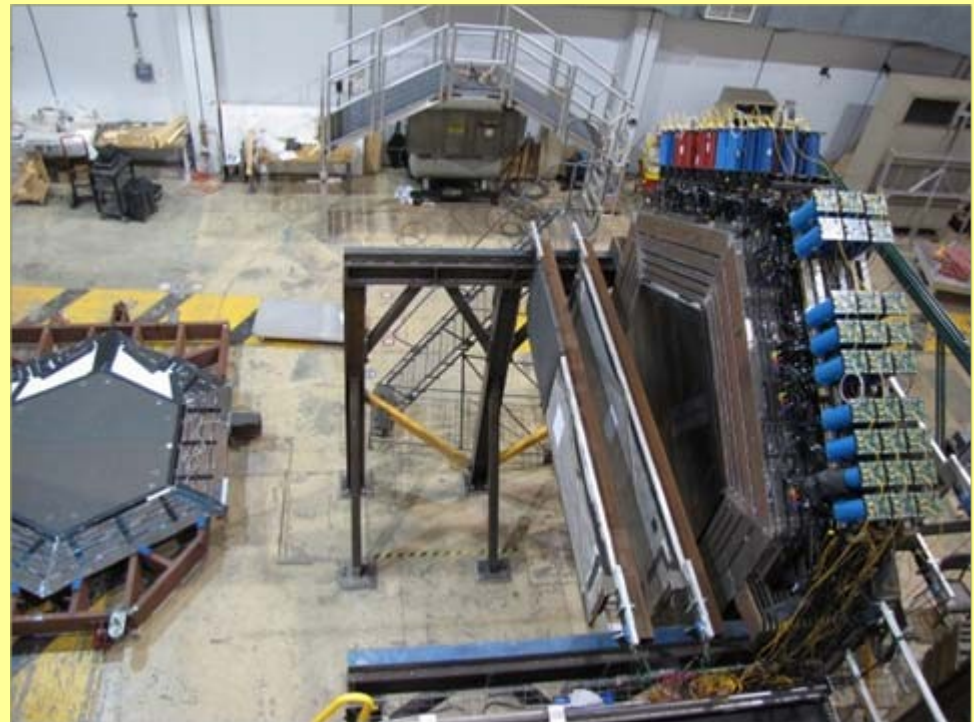
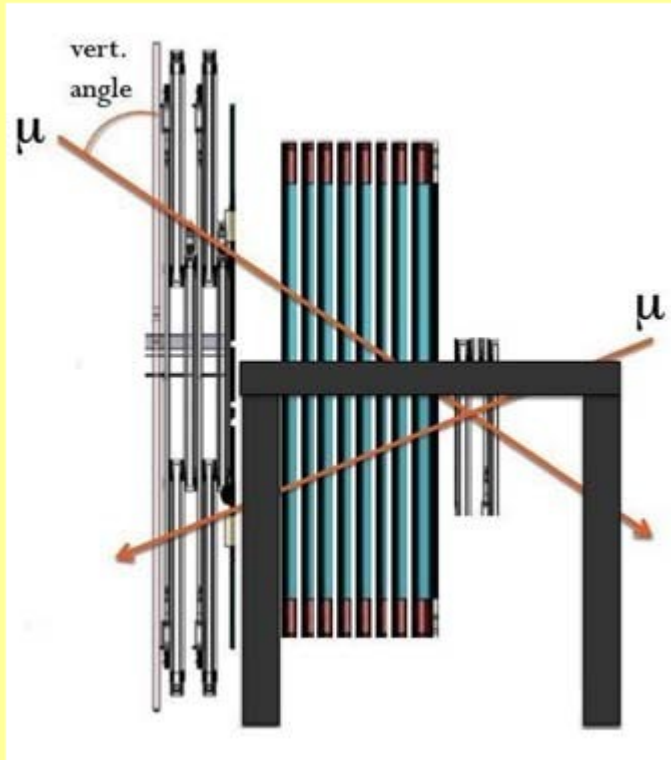


$$pe = 1.2 \frac{(Mean_{MaxPE} - Mean_{ped})^2}{RMS_{maxPE}^2 - RMS_{ped}^2}$$
$$gain = \frac{Mean_{maxPE} - Mean_{ped}}{pe}$$

Método de cálculo de intensidad de luz (PE) y ganancia de los PMT

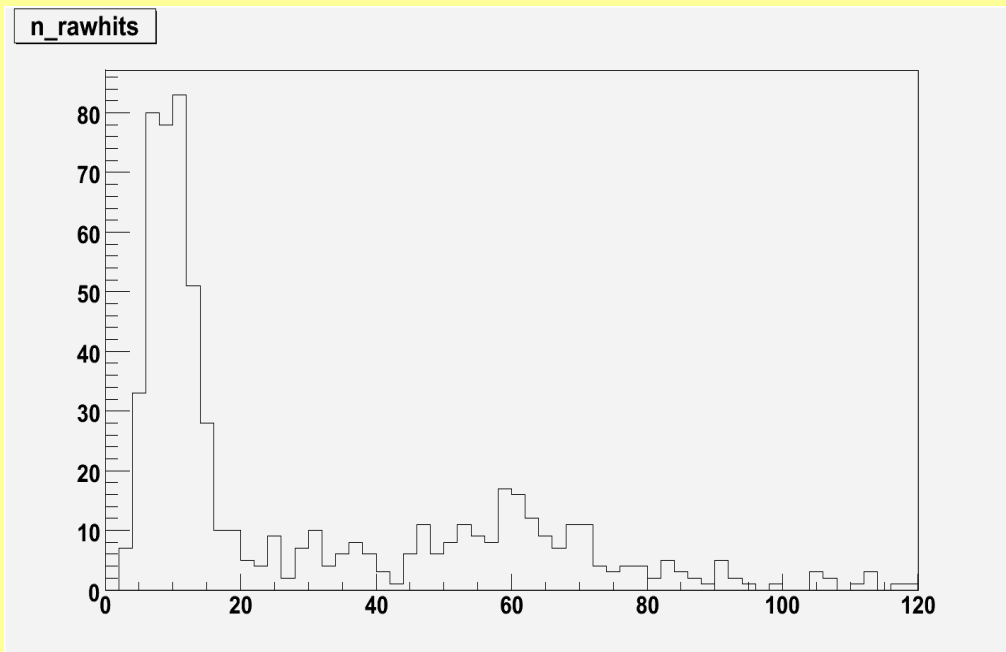
Los datos de ganancia se almacenan en una base de datos y se utiliza en la calibración

Búsqueda de Muones usando los IDDigits

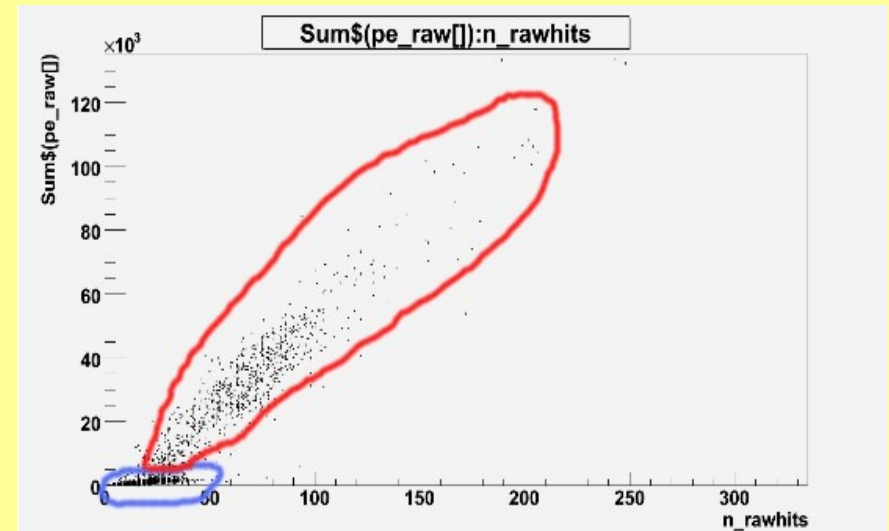


El detector Prototipo

Búsqueda de Muones usando los IDDigits

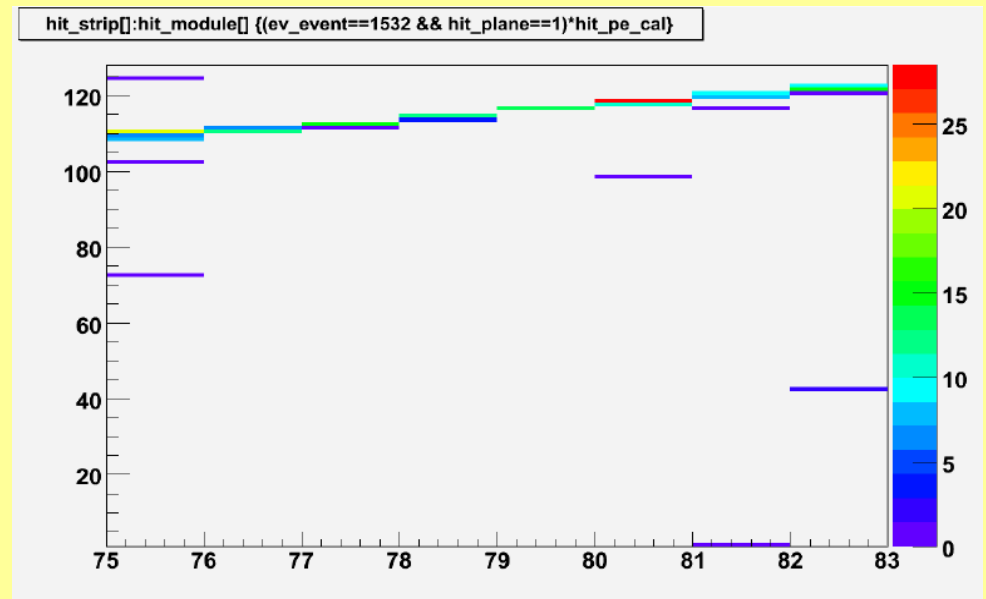
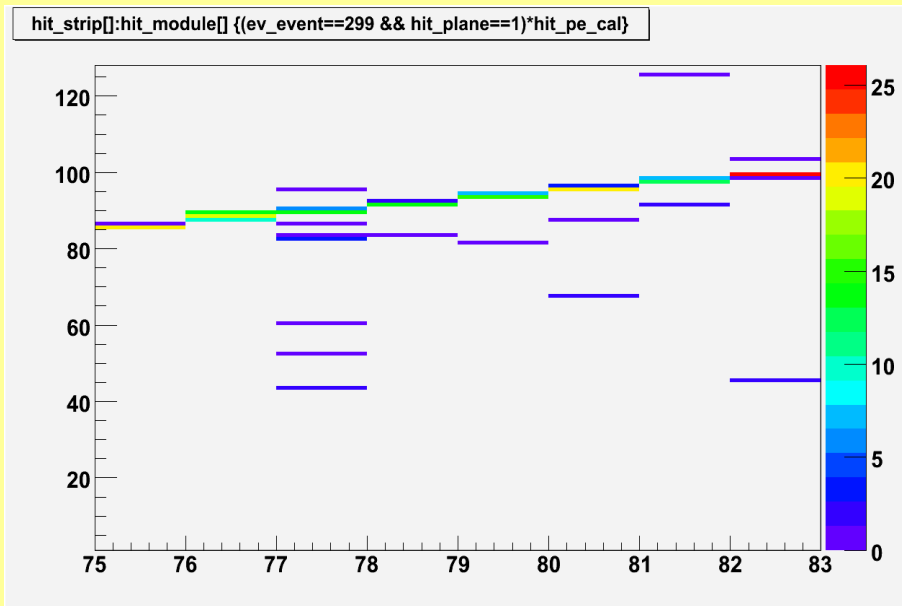


Básicamente se buscan eventos con un rango de aproximado 30 a 100 más hits en ellos



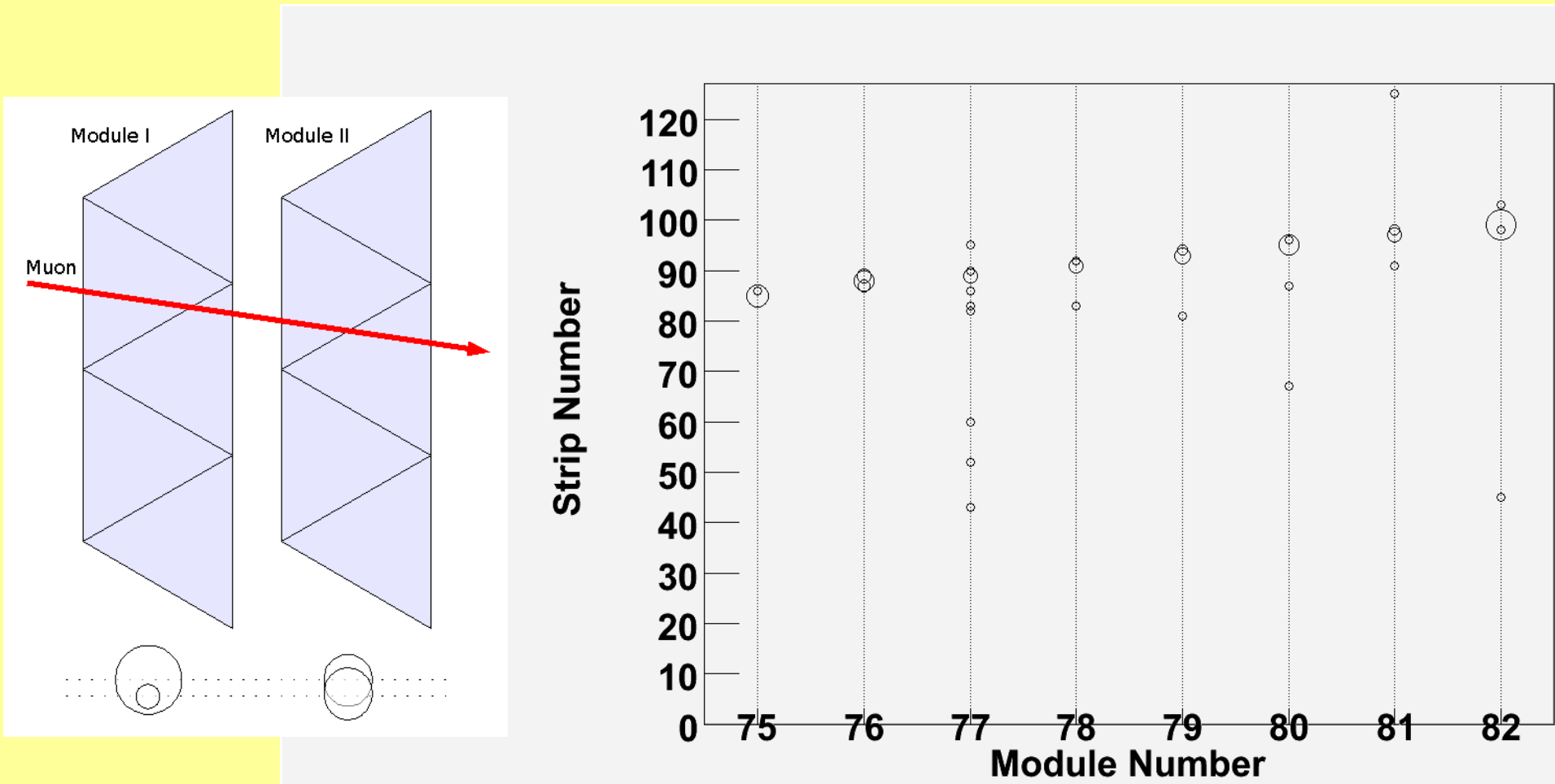
Ésto es debido a que se desean excluir eventos de pocos hits y cuya suma total de energía sea muy baja

Búsqueda de Muones usando los IDDigits



Algunas trayectorias de muones a partir de los IDDigits usando ROOT

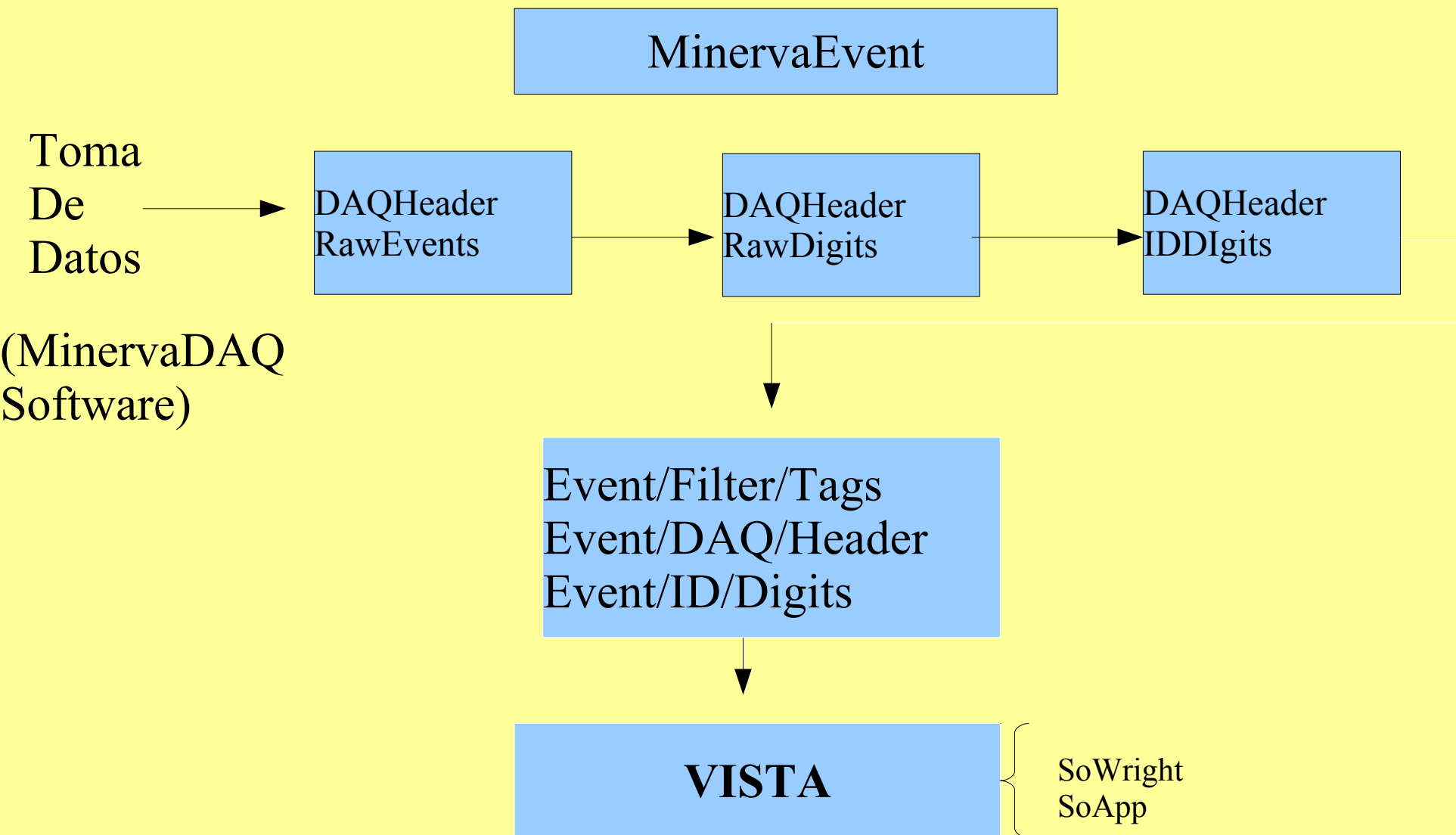
Trayectorias de muones en ROOT



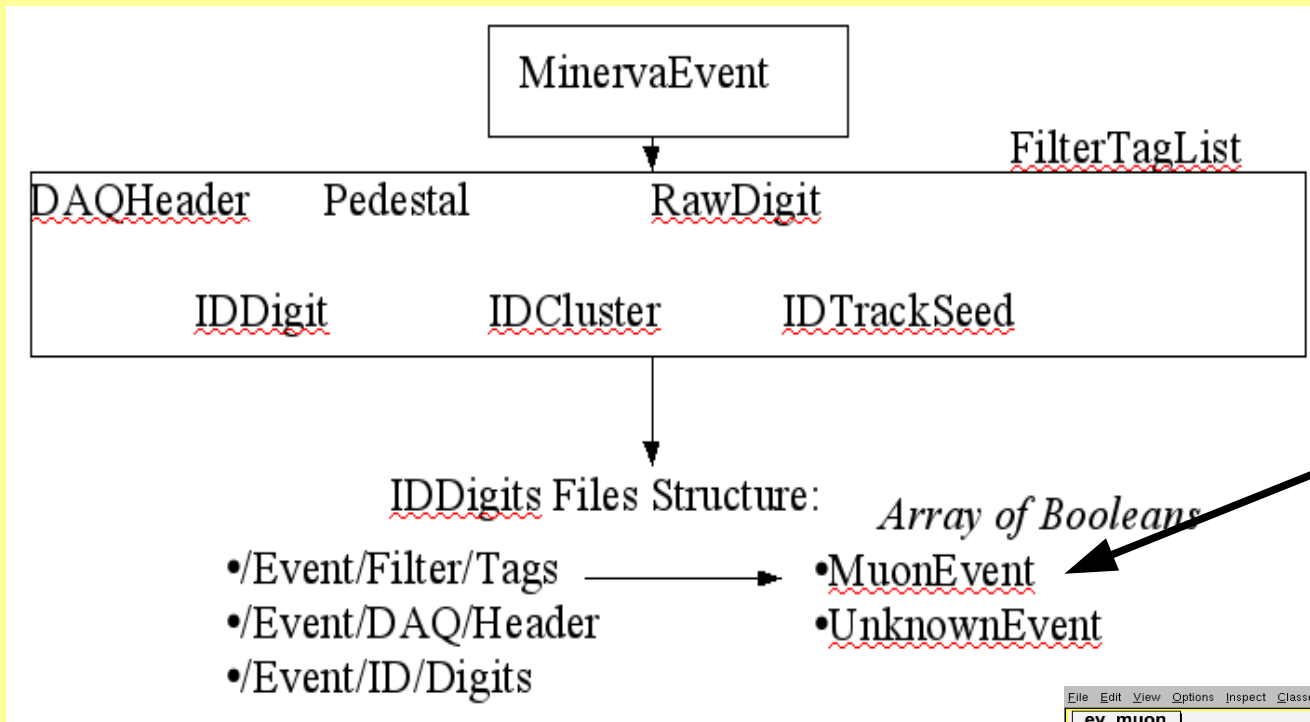
Trayectorias de muones a partir de los IDDigits usando ROOT

Esquema del Proyecto TP (Software)

Software para la Búsqueda de Muones

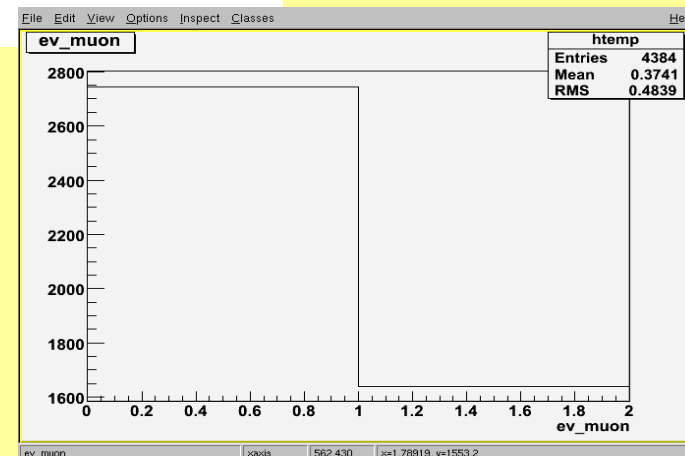


FilterEvent Software



Por ahora solo hay un algoritmo básico de reconocimiento de muones (basado en los criterios expuestos en la diap. 31)

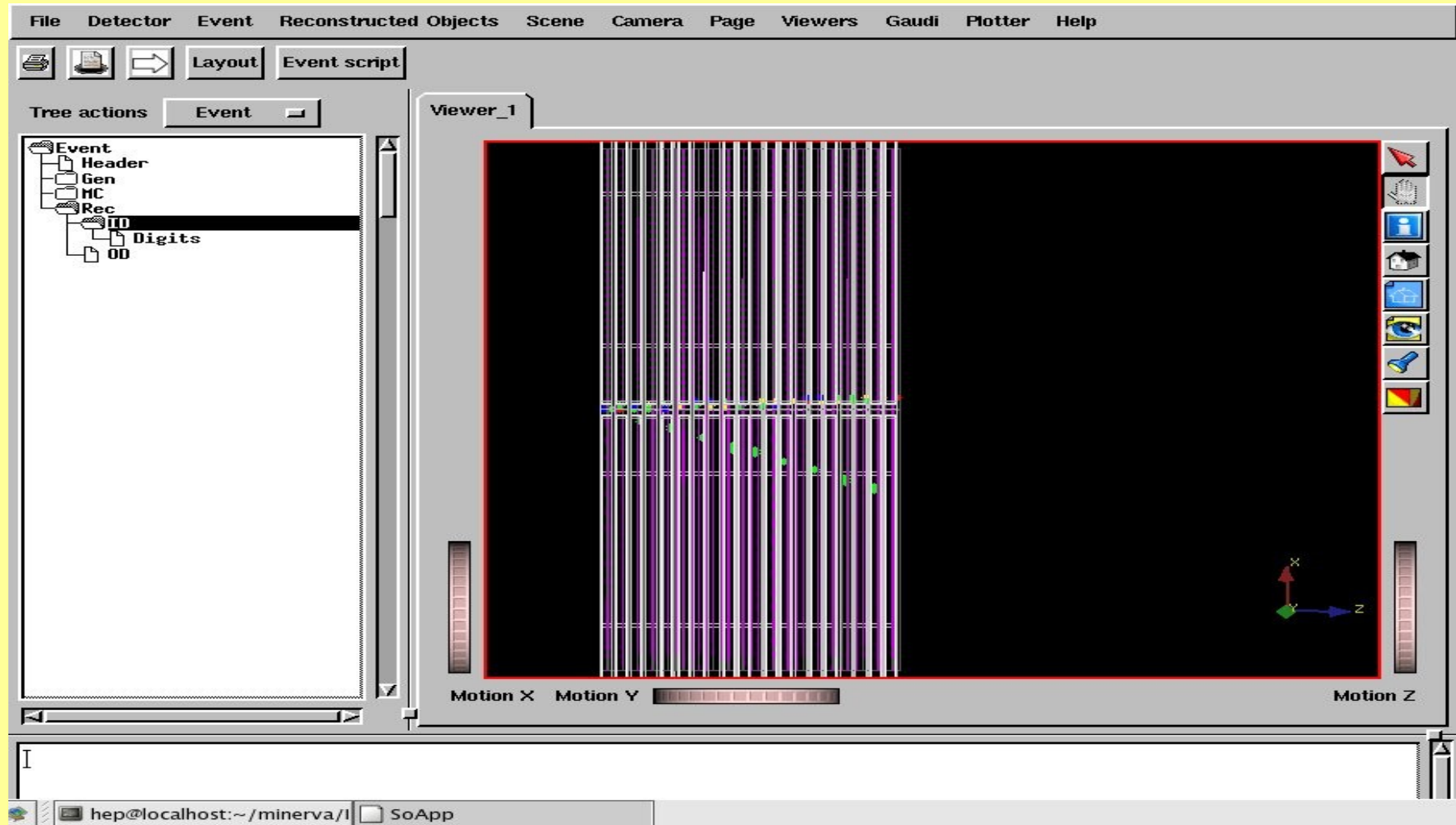
Paquete creado para contener los algoritmos de reconocimiento de eventos físicos al momento de tomar los datos.



Histograma mostrando el número de eventos con muones encontrados en una corrida ³⁸

VISTA

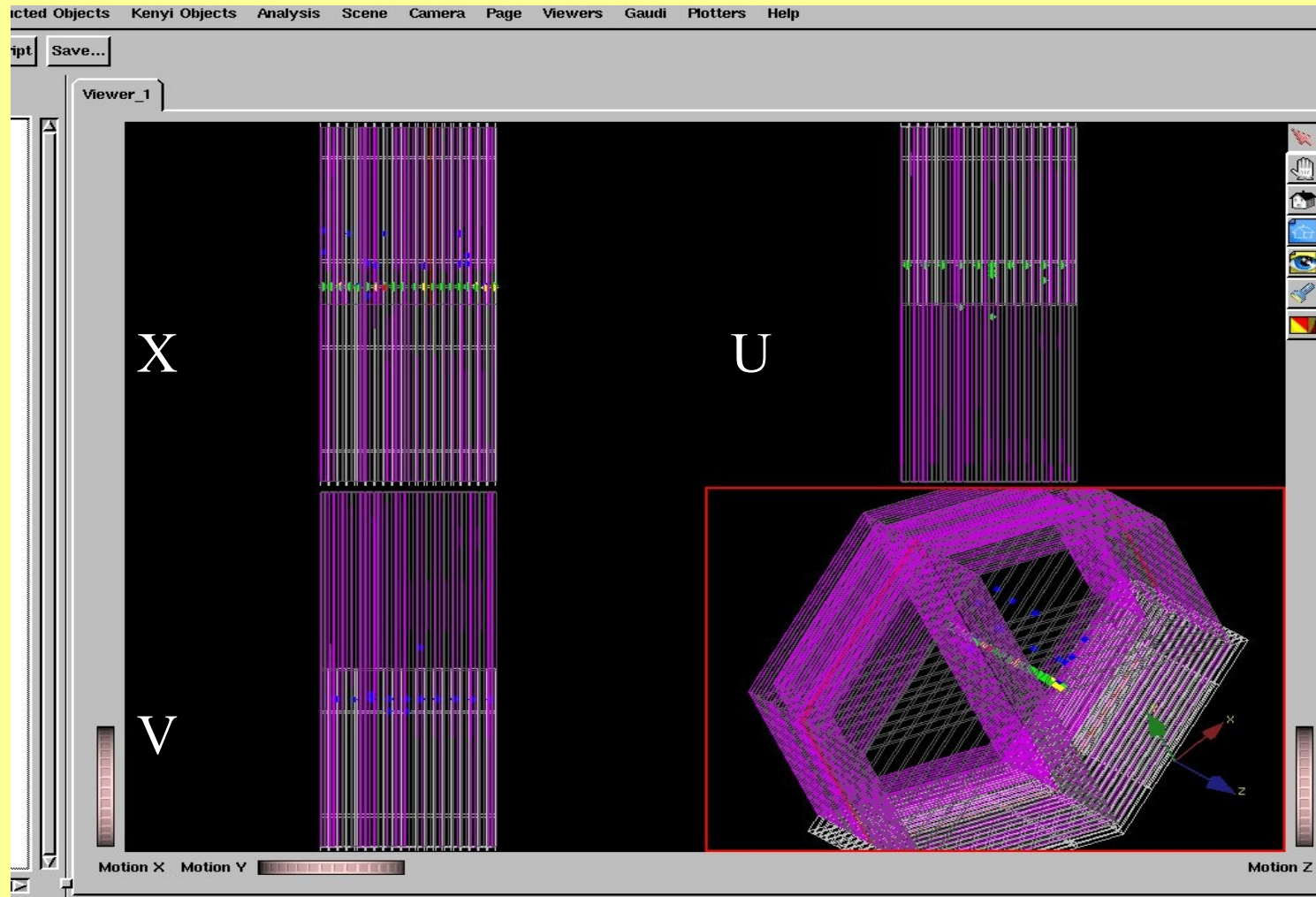
Visualización de IDDigits



2 trayectorias de muones en el Tracking Prototipo

VISTA

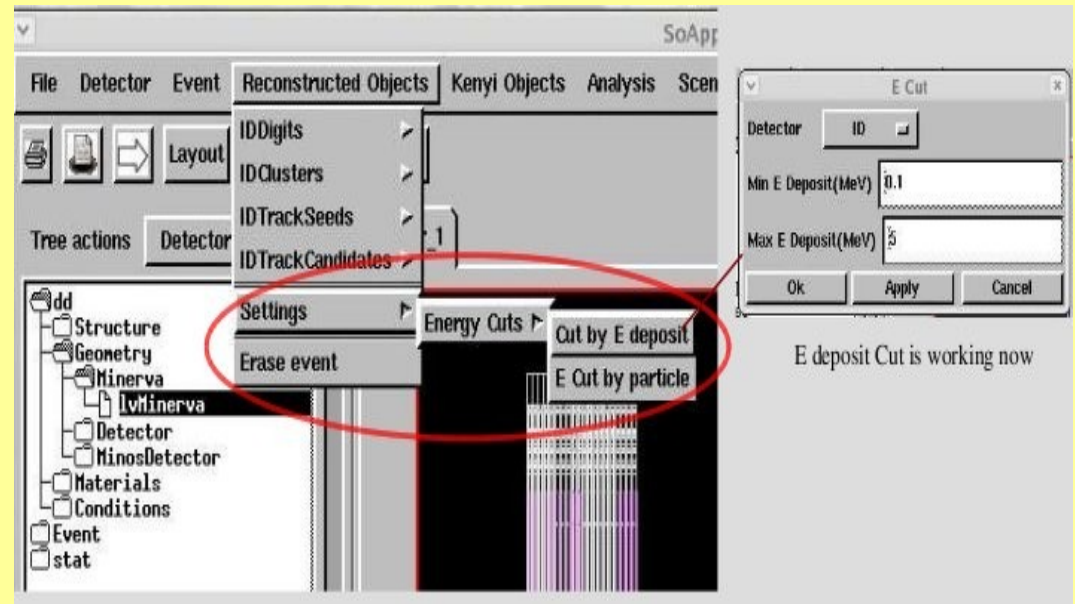
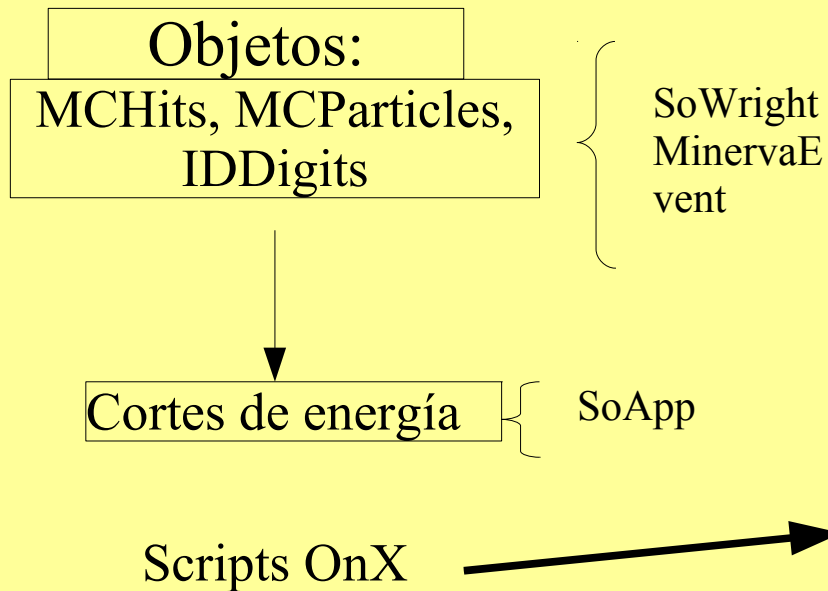
Múltiples Vistas X,U,V



Mediante OnX, se creó código para implementar diferentes vistas por proyección en los planos para la visualización de los IDDigits en VISTA 40

VISTA

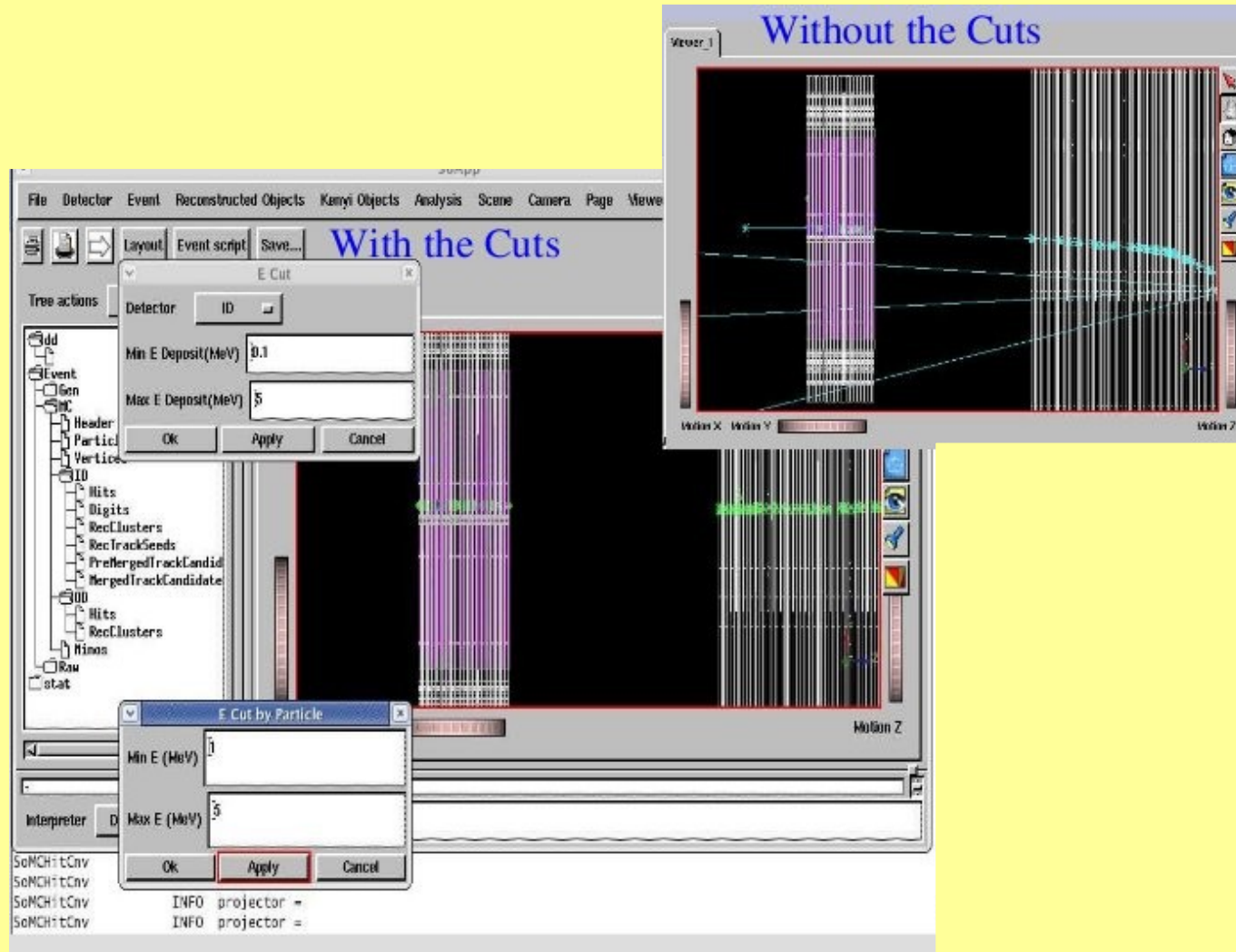
Cortes de Energía



Opción de cortes por energía depositada en las partes sensitivas del Detector

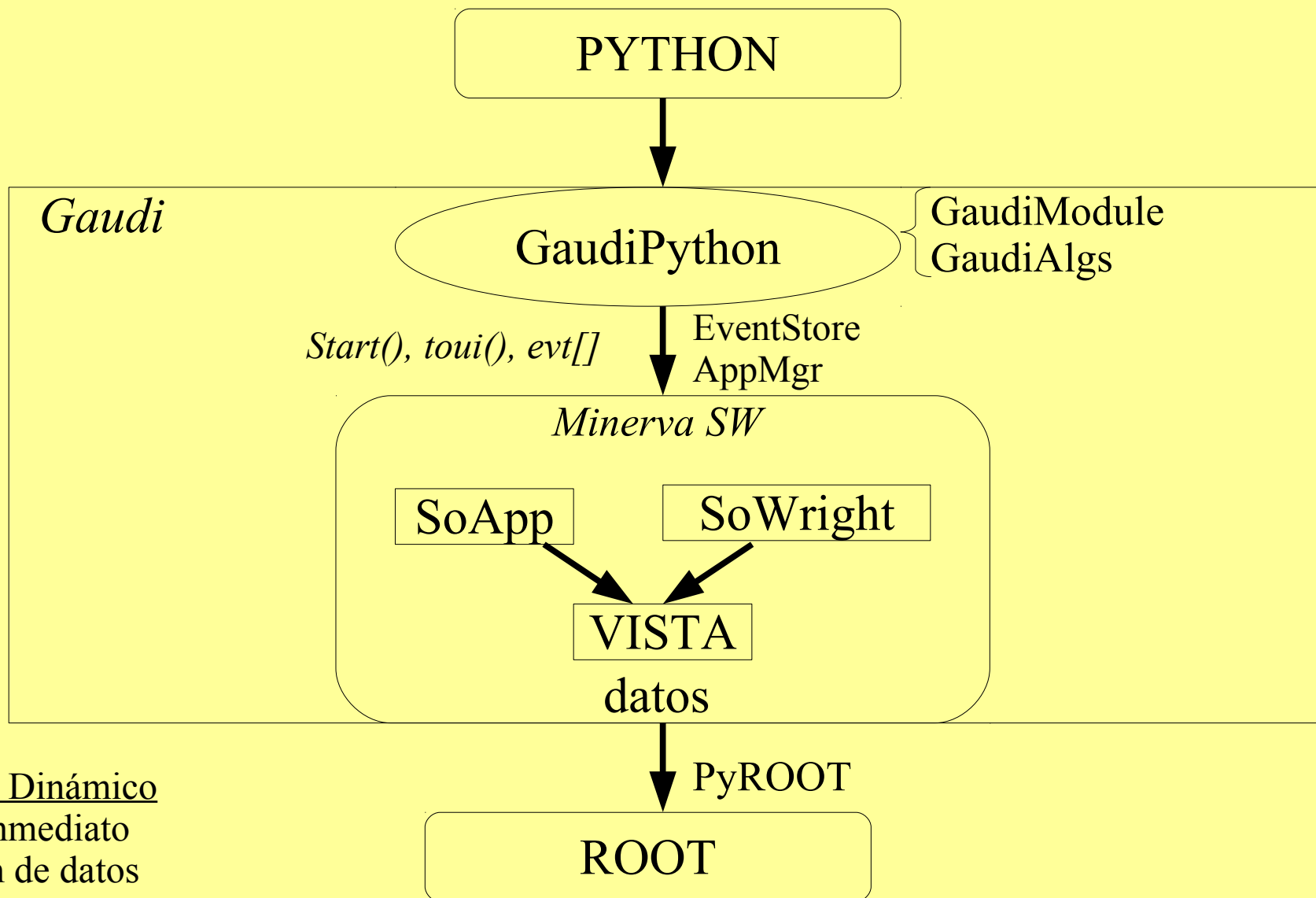
VISTA

Cortes de Energia



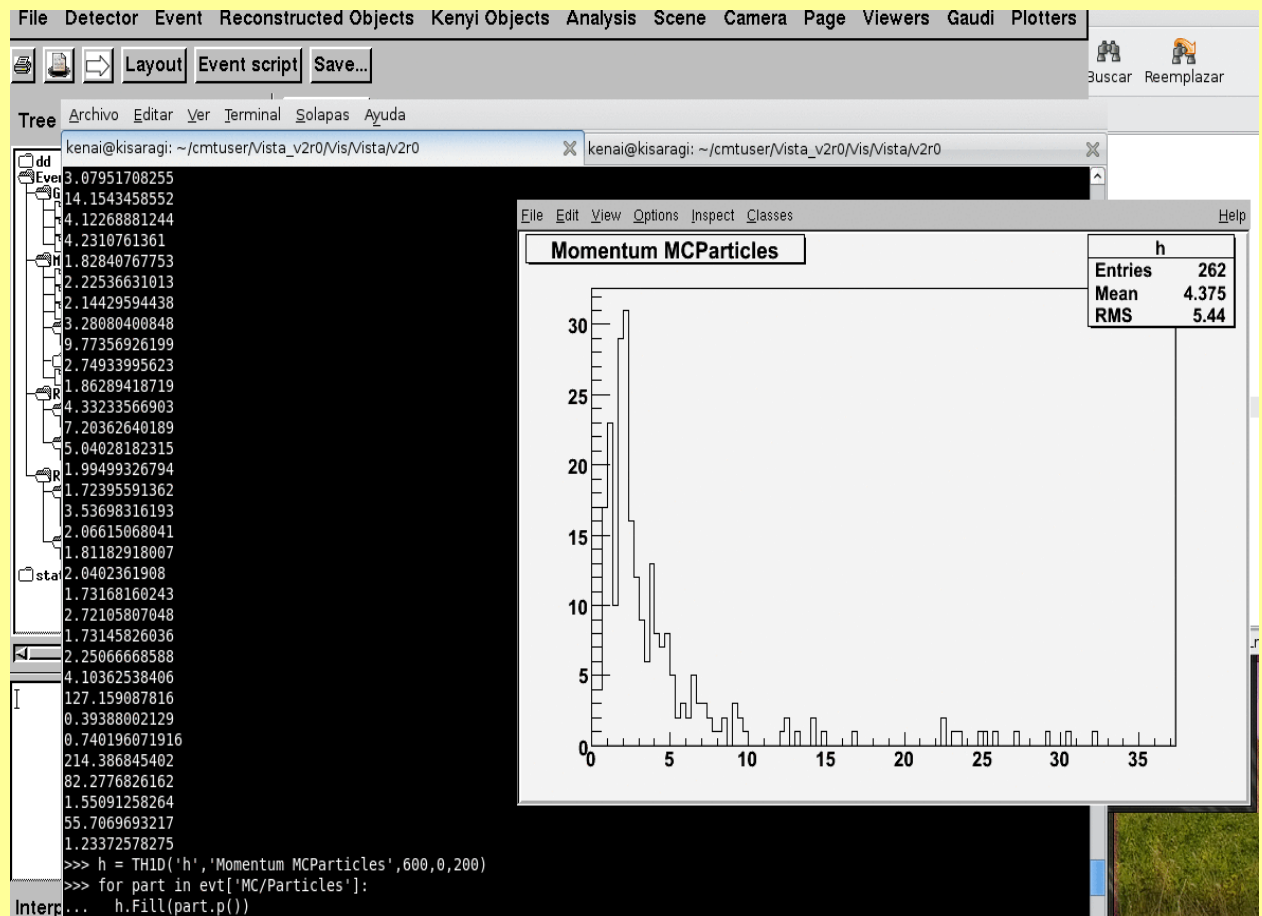
Visualización de IDDigits en VISTA con y sin cortes

Python en VISTA



Python en VISTA

```
appMgr = gaudimodule.AppMgr(outputlevel=3,joboptions="$VISTAROOT/options/MyVista.opts")  
evt=appMgr.evtSvc()  
appMgr.run(4)  
for part in evt['Raw/ID/Digits']:  
    print part.pe()  
from ROOT import TH1F  
h = TH1D('h','Momentum of MCParticles',600,0,300)  
for n in range(10):  
    appMgr.run(4)  
    for part in evt['MC/Particles']:  
        h.Fill(part.pe())  
h.Draw()
```



Capturas de presentación en vivo de VISTA

The screenshot displays the VISTA software interface. The main window is titled "SoApp" and contains a menu bar with options: File, Detector, Event, Reconstructed Objects, Scene, Camera, Page, Viewers, Gaudi, Plotters, Help. Below the menu bar is a toolbar with buttons for Layout, Event script, and Save... The interface is divided into several panels:

- Tree actions:** A tree view showing the event structure. The selected node is "Particles" under "MC". Other nodes include "dd", "Event", "Gen", "MC", "Header", "Vertices", "ID", "OD", "CRTrigger", and "stat".
- Viewer_1:** A 3D visualization of the detector and particle tracks. The detector is shown as a purple wireframe structure. Particle tracks are shown as blue lines. A zoomed-in view of a vertex is shown in a red box. The viewer includes motion controls for X, Y, and Z axes.
- Command Interpreter:** A text area at the bottom showing the output of a dump action. The output is as follows:

```
Lib::DumpAction::execute : MCParticle informations (1 objects) :  
key      particle      pid  energy(MeV)  pt(MeV)  charge  mass(MeV)  decayLength(mm)  decayVertices  parent  parentID  
parent2  timeOfFlight(ns)  bcflag  address  
0        mu-              13     348.891     298.528  -1       105.658     3580.28         7            nil     -2  
nil      12.5325         0      0xd9abfe0
```

Visualización de un Evento MC en VISTA

Capturas de presentación en vivo de VISTA

The screenshot displays the VISTA software interface. The main window shows a 3D visualization of a detector geometry with a central vertical track of muons. A dialog box titled "E Cut by Particle" is open, allowing the user to filter tracks by energy. The dialog box contains the following fields and controls:

- Min E (MeV): 345
- Max E (MeV): 350
- Buttons: Ok, Apply, Cancel

The background interface includes a menu bar (File, Detector, Event, Reconstructed Objects, Scene, Camera, Page, Viewers, Gaudi, Plotters, Help), a toolbar, and a tree view on the left showing the detector structure. The bottom of the window shows a terminal window with the following output:

```
Lib::DumpAction::execute : LVOLUME informations (1 objects) :  
id material name solid  
0xccc2330 /dd/Geometry/Detector/Plane/lvScintillatorPlane  
dd/Materials/Minerva/Lexan SolidType='SolidUnion' name='module_union'  
BPs: (x,y,z,r,rho)[Min/Ma
```

Filtrado de energía para la visualización de una trayectoria de muones

Estructura de la Presentación

Parte 1: Fisica de Neutrinos

Características de los Neutrinos
Oscilaciones de Neutrinos
Interacciones de Neutrinos con la materia

Parte 3: Detector Prototipo

Introducción
Electrónica de Adq. Datos
Análisis de Crosstalk, estabilidad de Mediciones , filtraciones de luz
Cálculo de Ganancias
Búsqueda de Muones
FilterEvent Software
VISTA

Parte 2: MINERvA

Introducción
Fuente de Neutrinos (NUMI)
Motivación
Mundo Real y MC

Parte 4

Conclusiones

Conclusiones

Todo este trabajo ha servido para:

Construir un número significativo de los módulos del detector MINERvA.

Calibrar y mostrar su rendimiento para el rastreo de partículas de rayos cósmicos

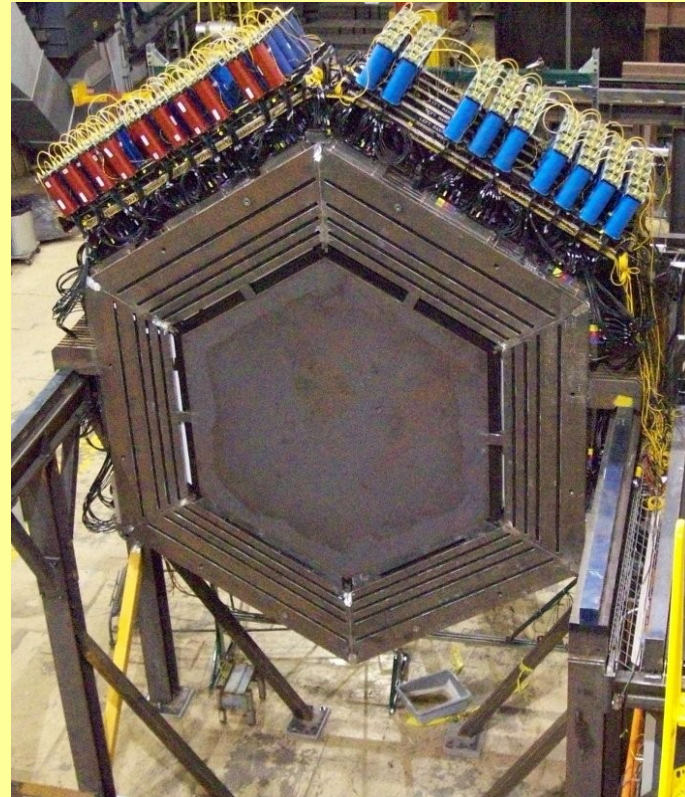
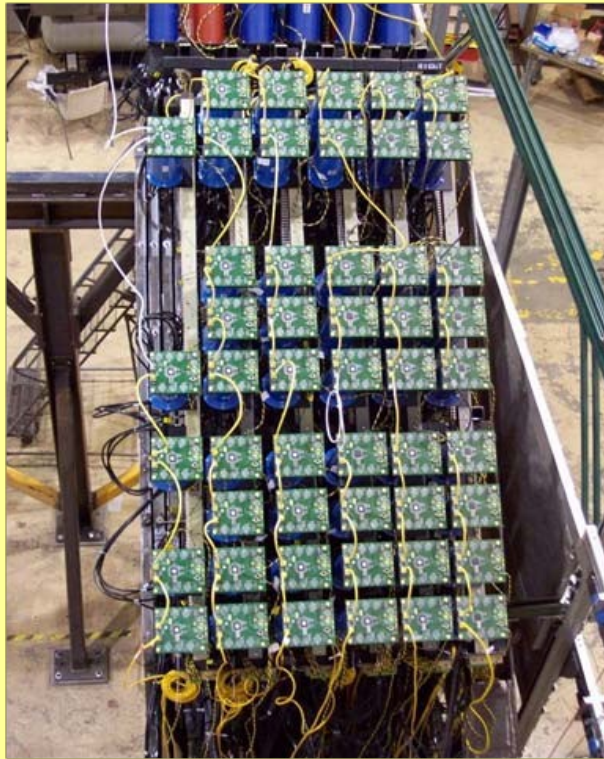
Verificar la operación y funcionamiento del detector antes del montaje final para el detector completo, entre ellos, pruebas de hardware, PMTs, y estabilidad del software de adquisición de datos.

Conclusiones

Se trabajó con el framework GAUDI en MINERvA, el cual provee un punto común de referencia para el desarrollo de aplicaciones, además de permitir la reutilización e intercambio de componentes de software individuales.

El desarrollo del paquete FilterEvent, con un algoritmo básico de detección de eventos con muones, permitiendo depurar la parte de mapeado del software

El Detector Prototipo fue terminado el 10/03/09



El *Tracking Prototype* finalizó cumpliendo sus objetivos, testeando rigurosa y exitosamente el software y hardware del detector MINERvA y detectando rayos cósmicos satisfactoriamente

Gracias

