

Principios de los detectores de partículas

Pedro Ladrón de Guevara.

Departamento de Tecnología.

CIEMAT. Madrid.

Spanish Teachers Programme 10/2009

CERN

Talk I I

Principios de los detectores de partículas (II)

Reconstrucción de las trayectorias (“Tracking”)

- Detectores de vértice.
- “Tracking” lejos del vértice de colisión. (**Internal Tracking System, ITS**),etc.,
- Ionización y recolección.
- Principio de la cámara de hilos. (**Wire Chamber, WC**)
- La cámara proporcional multihilos. (**Multi Wire Proportional Chamber, MWPC**)
- La cámara de deriva (**Drift Chamber, DC**)
- Cámaras de proyección temporal. (**Time Projection Chamber, TPC**)

Identificación de las partículas

- Por la medida de pérdida de energía por unidad de longitud : dE/dx

- Por el efecto **Cerenkov**

Detectores Cerenkov de umbral.

Detectores Cerenkov diferenciales.

- Detectores de “tiempo de vuelo” (**Time Of Flight, TOF**)

- Detectores de Radiación de Transición (**TRD**)

- Calorímetros.

Las avalanchas (“showers”)

Calorímetros Electromagnéticos. (ElectroMagneticCALorimeters, EMCAL)

Calorímetros Hadrónicos. (Hadronic Calorimeters , HCAL)

- Detectores de luz.

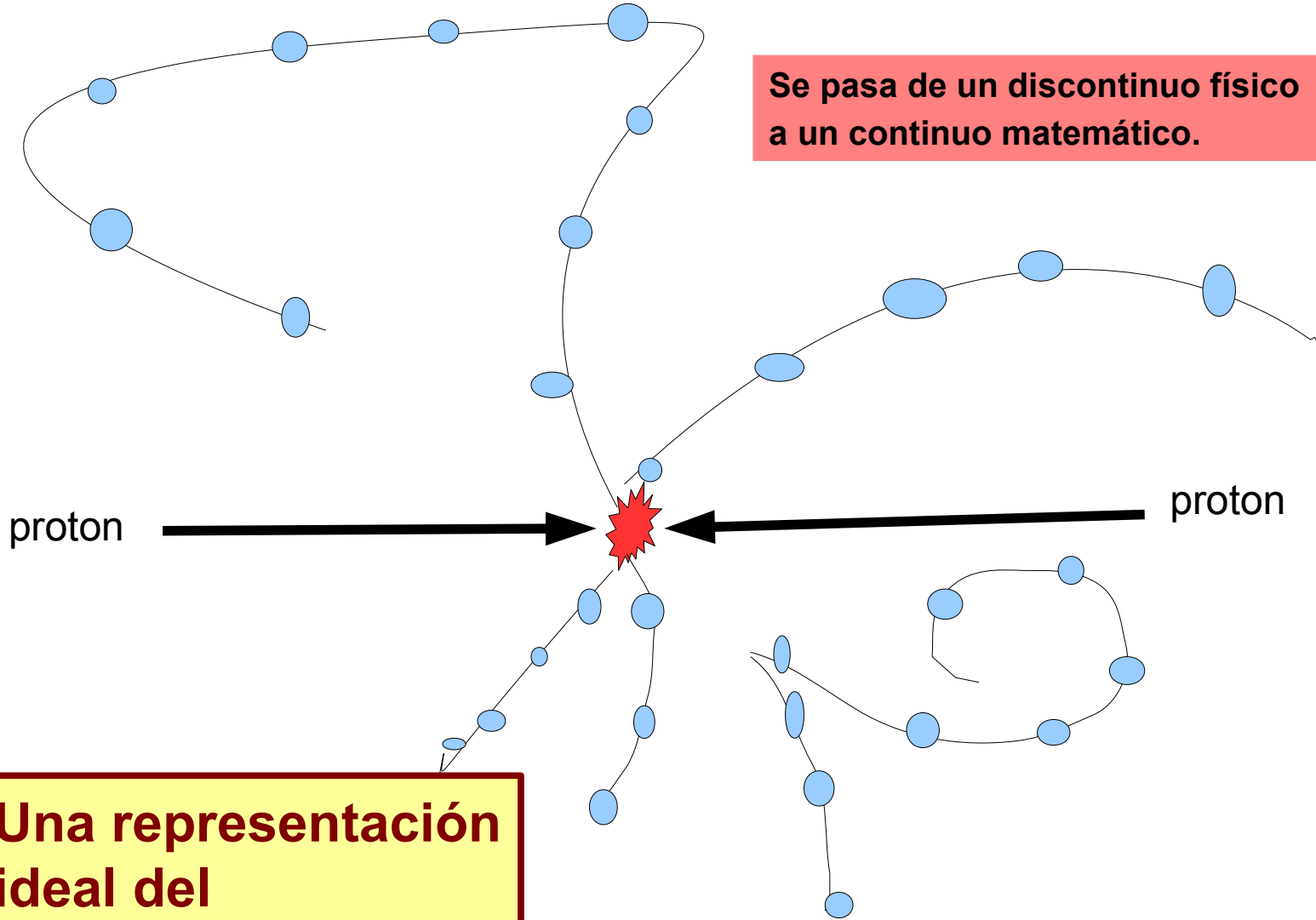
Plásticos de centelleo.

El fotomultiplicador. (Photo Multiplier Tube,)

Qué hacemos con los muones ?

Las elipses representan zonas de depósito de energía. Determinada su posición
En el espacio se ajustan a ellas curvas de formulación conocida. (Normalmente, hélices)

Se pasa de un discontinuo físico a un continuo matemático.

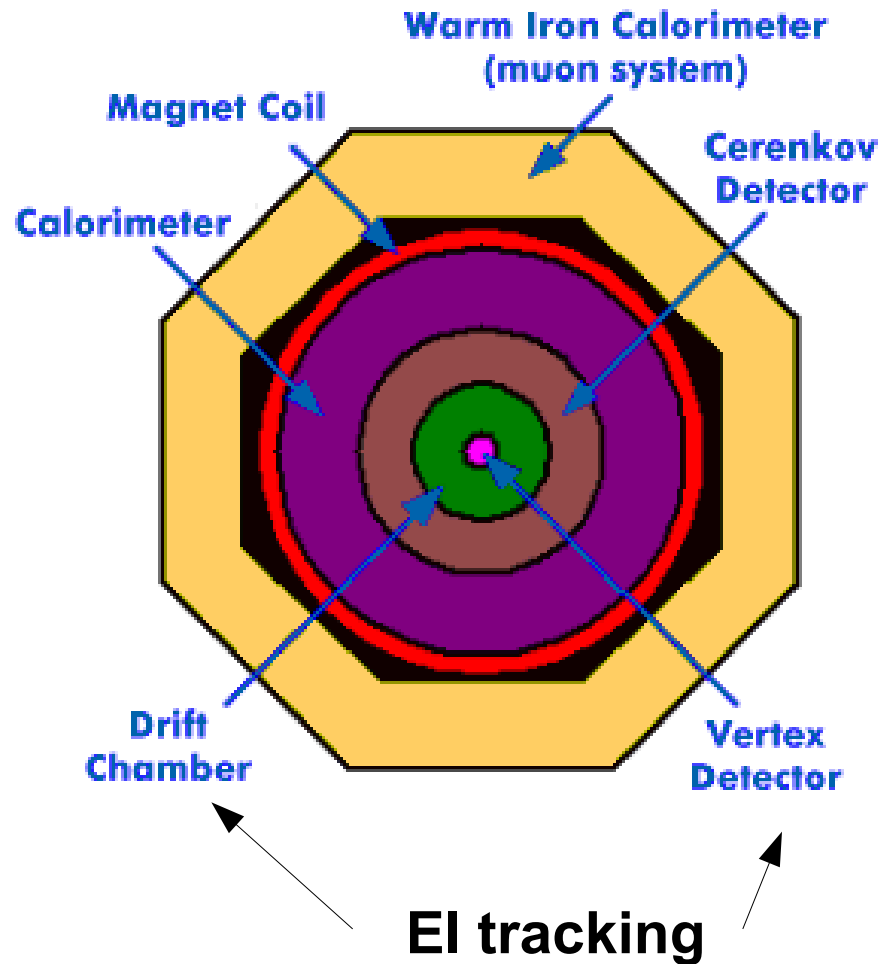


Una representación ideal del "tracking"

Reconstrucción de las trayectorias de partículas cargadas. (Tracking) Proceso

- 1- Reconstrucción de las trayectorias cerca del vértice de colisión.**
- 2- Reconstrucción del vertice de colisión (Main VX) y de los vértices de desintegración proximos (~ 100 μ m.)**
- 3- Reconstrucción de las trazas y vértices lejos del vértice de colisión. (cm., m.)**
- 4- Unificar los resultados de 1+2+3 para construir cada trayectoria mediante métodos de ajuste (Chi^2 , máxima verosimilitud...)**
- 5- Determinar el momento \mathbf{p} de cada trayectoria usando la curvatura reconstruida y el campo magnético en todo el volumen activo.**

Un ejemplo de detector ,con dos subdetectores de “tracking”



Los propios detectores de tracking son también detectores de identificación

μ

$\mu, \pi, K, p, n, D \dots$

$\gamma, e, \mu, \pi, K, p, n, D \dots$

Interaction point



Precision vertex detector

tracking detector

Magnetic spectrometer

Electromagnetic calorimeter

Hadronic calorimeter

Muon detectors

Tracking con gran Granularidad,
Respuesta rápida
Precisión espacial (μm)
Detectores de Si, etc
Millones de canales (trigger)
Internal Tracking System (ITS). Silicon microstrip detectors (SMD)...

Sistemas diversos.
Camaras de hilos WC ,de deriva, DC,
Time Projection Chambers (TPC)

Tracking de μ
(Espectrometro de muones con su campo Magnetico propio, WC, DC, etc.,)

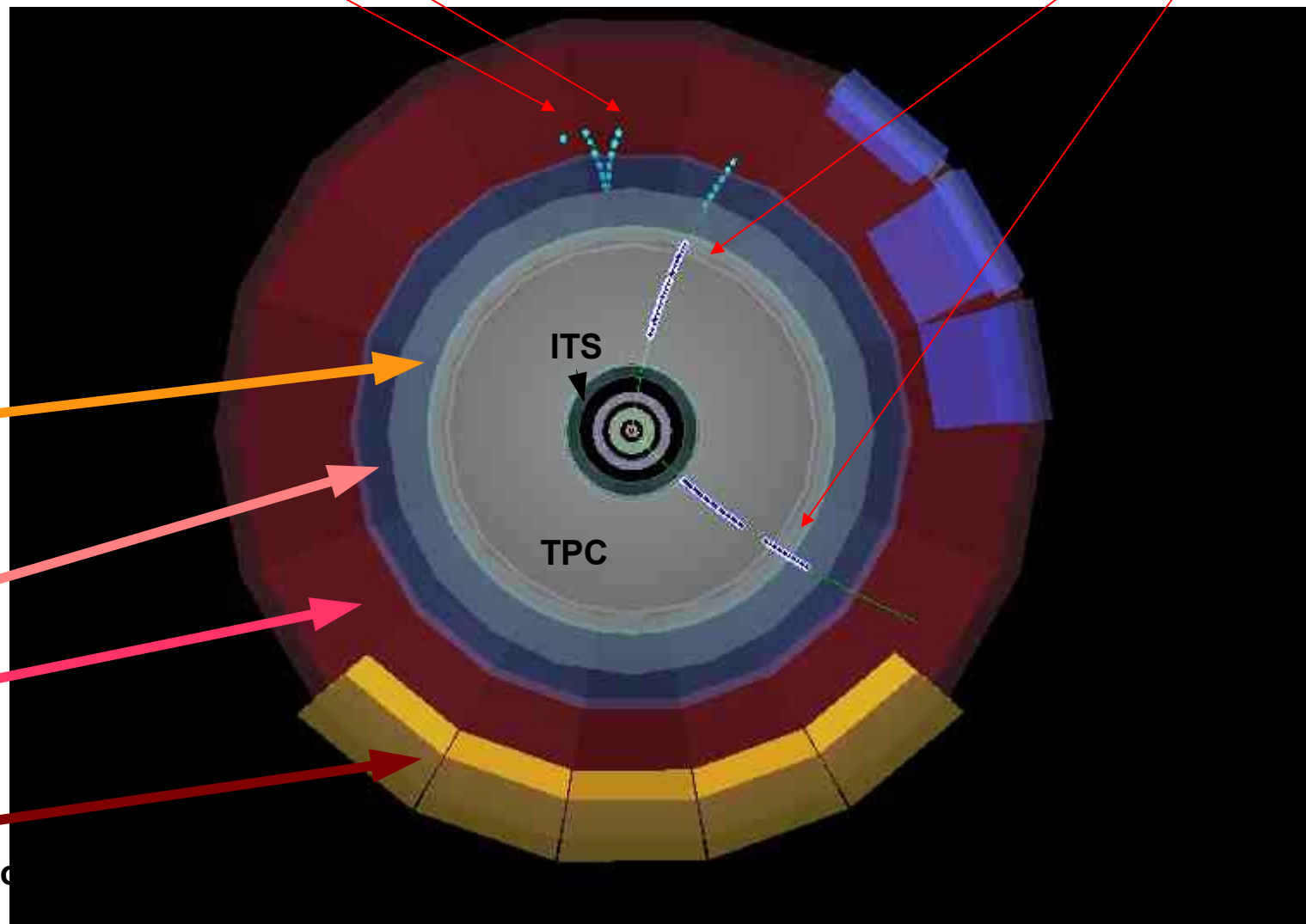
Producción simulada de una desintegración compleja:

$\chi_c^- \rightarrow J/\psi + \gamma$ (J/ψ es una partícula con charm oculto)

$\gamma \rightarrow e^+ e^-$ (conversión del fotón) (10 %)

$J/\psi \rightarrow e^+ e^-$

El fotón que se convierte no se ve, porque es neutro. Sólo al convertirse en $e^+ e^-$ puede detectarse.



TRD

Time of flight

Iman

Calorimetro
electromagnético

ITS

TPC

Detectores de vértice

La determinación del vértice principal y de los secundarios muy próximos a él (hablamos de 100 -> 200 μm) requieren detectores especiales (“de vértice”)

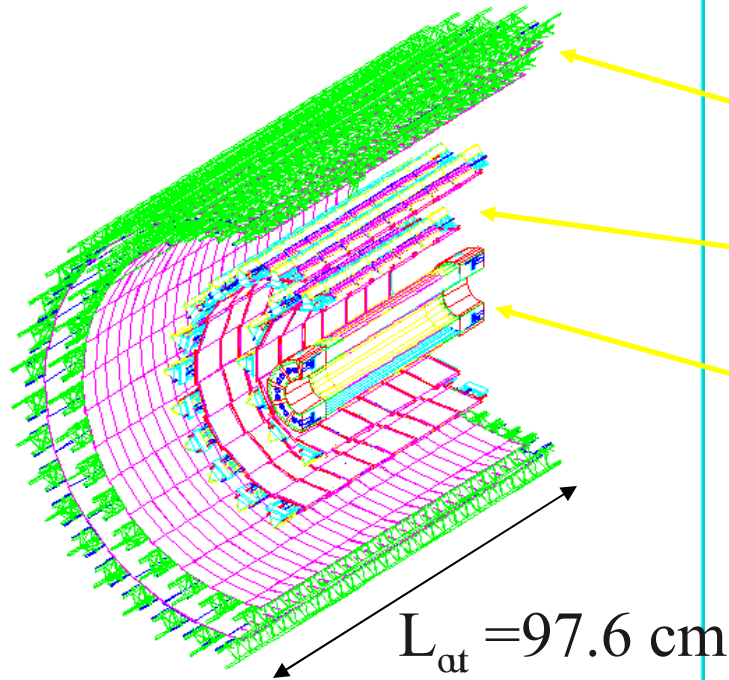
Su tarea consiste en dar:

- una **dirección precisa de las trazas** en la proximidad (mm o μm) del vértice de colisión
- una medida **aproximada o precisa del momento (dependiendo del rango de energías)**
- para bajas energías, una medida de **dE/dX**

Se basan en la tecnología del silicio.

- Elementos de detección muy pequeños ($\sim 0.05 \text{ mm}^2$)
- Muy numerosos (~ 10 millones)
- Muy próximos al punto de colisión ($\sim 4 \Rightarrow 40 \text{ cm}$)
- Muy resistentes a la radiación ($\sim 200 \text{ krad}$ en 10 años)

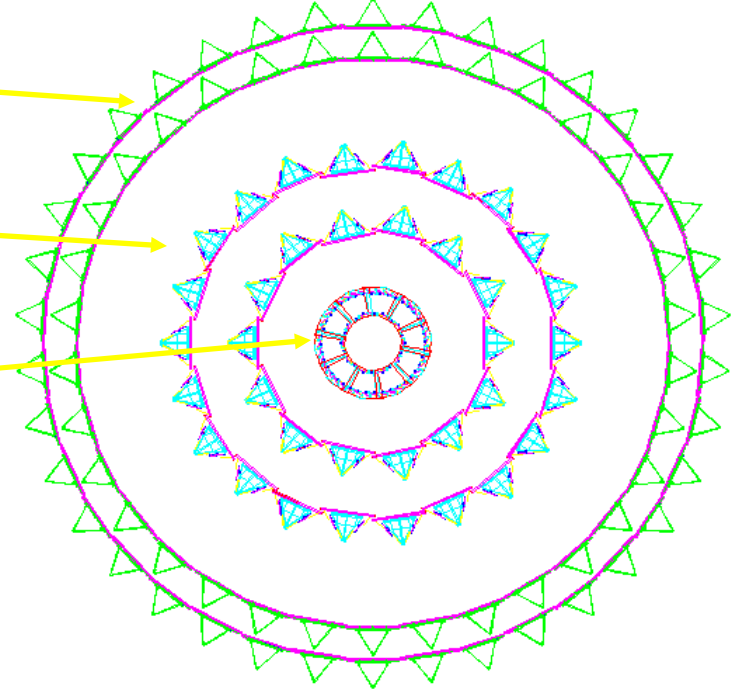
The ALICE Inner Tracking System



SSD

SDD

SPD



$R_{at} = 43.6 \text{ cm}$

6 Layers, three technologies (keep occupancy ~constant ~2%)

Silicon Pixels (0.2 m², 9.8 Mchannels)

Silicon Drift (1.3 m², 133 kchannels)

Double-sided Strip Strip (4.9 m², 2.6 Mchannels)

Algunos resultados

Reconstrucción **MonteCarlo** en una colisión **Pb-Pb**
de la desintegración de una partícula con “charm”
 $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ que tiene :

vida media : $0.4 \cdot 10^{-13}$ s
máximo recorrido: $1.2 \cdot 10^{-2}$ cm

Se ven los impactos en las dos capas del detector más interno, Silicon Pixel Detector, desde dos ángulos distintos. El campo magnético es zero.

Con objeto de apreciar la desintegración, se han suprimido de la representación todas las trazas en torno a la desintegración en estudio.
A la izquierda se aprecian la verdadera densidad de trazas que vienen del vértice.

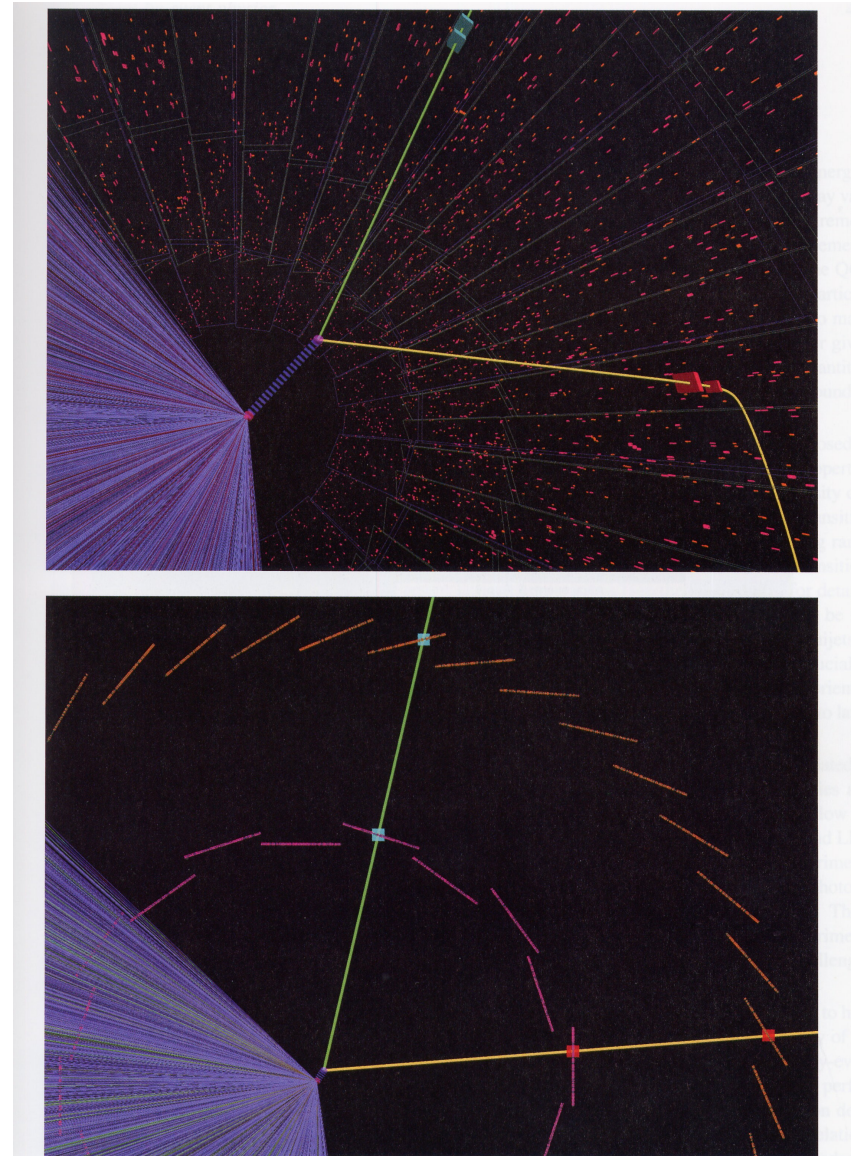


Figure V: Event display of a $D^0 \rightarrow K^- \pi^+$ decay in a central Pb–Pb collision (perspective projection (top) and transverse projection (bottom)). The digits in the two layers of Silicon Pixel Detectors of the ITS are visualized. The trajectories of the particles from the Pb–Pb collision are shown for a limited azimuthal angle only. The value of the magnetic field is set to zero.

ALICE, Pb Pb, (todo el ITS)

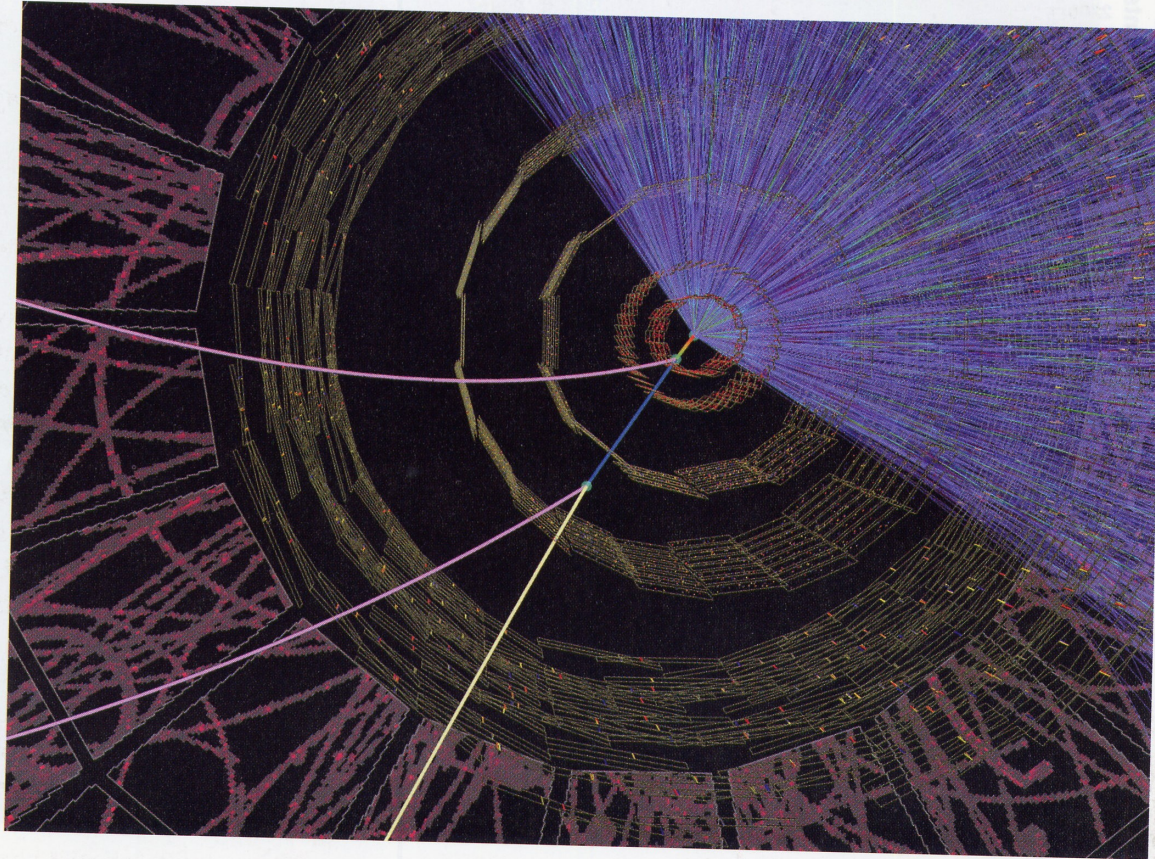


Figure IV: Top: A fraction of Pb–Pb event in the central barrel detectors. Bottom: Close-up of the ITS. Identification of a cascade weak decaying particle in the central region of the ALICE detector. The reconstruction is performed from its three charged daughters tracked with the ITS and TPC subsystems.

Detectores de “tracking” lejos del vértice de colisión

Hay que reconstruir las trayectorias en amplios volúmenes.
Estos pueden instrumentarse con:

Cámaras de hilo (Wire Chambers, **WC**)

Cámaras multihilos proporcionales (**MWPC**)

Cámaras de deriva. (**Drift Chambers, DC**)

Cámaras de proyección temporal. (**Time Projection Chambers, TPC**)

Ionización y recolección

Sea un recipiente lleno de gas entre dos electrodos planos entre los que se establece una diferencia de potencial.

Una partícula cargada atraviesa el gas y deposita energía produciendo ionización a lo largo de la trayectoria.

Los iones emigran hacia sus respectivos electrodos depositando su carga que puede ser medida.

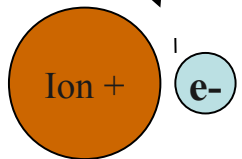
Un esquema sencillo

Un átomo de Hidrógeno es ionizado

Ambos iones siguen la diferencia de potencial

Emigran hacia el cátodo

El e^- se recombina con un ion $+$ del medio y se pierde



Emigran hacia el ánodo

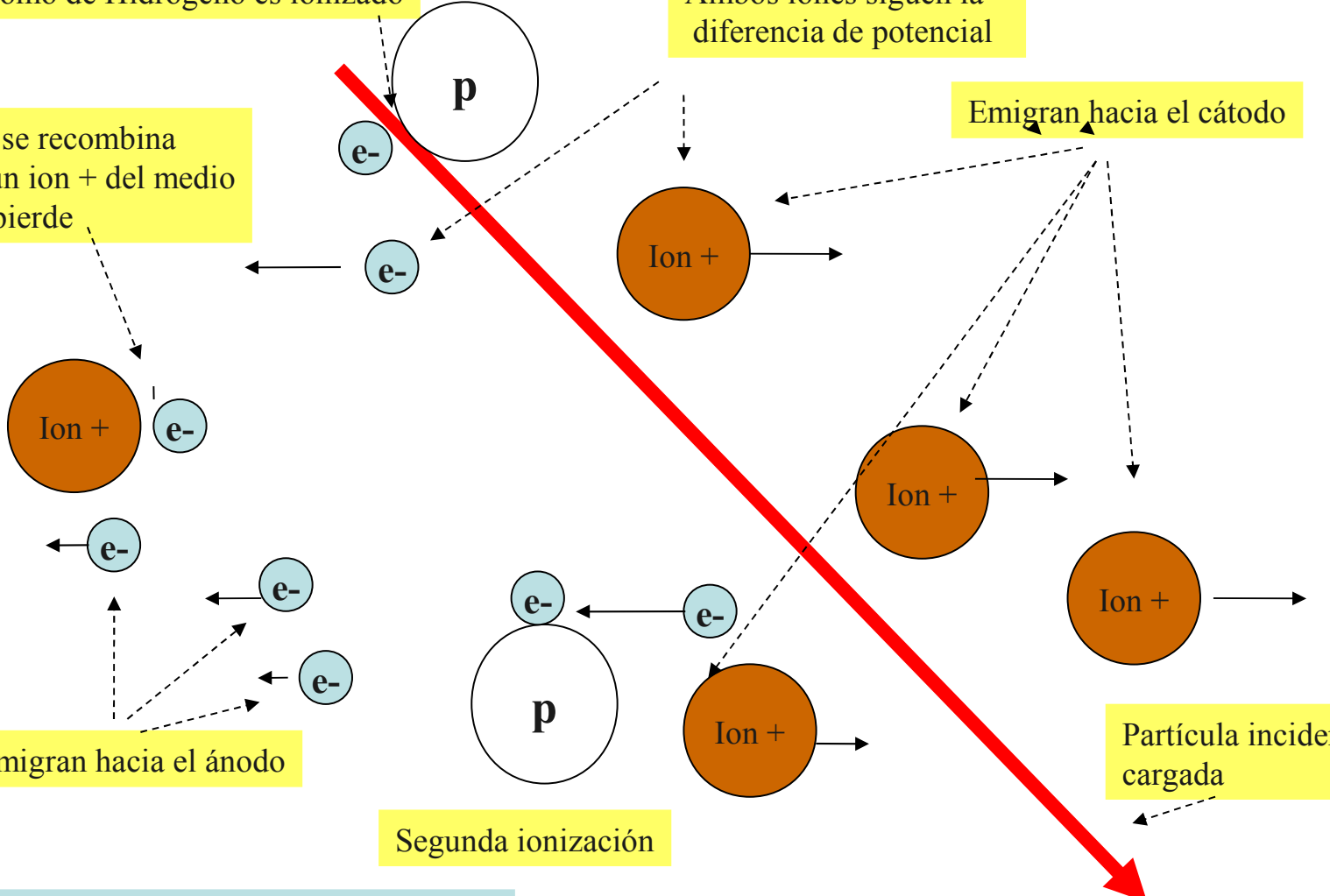
Segunda ionización

Partícula incidente cargada

Diferencia de potencial V

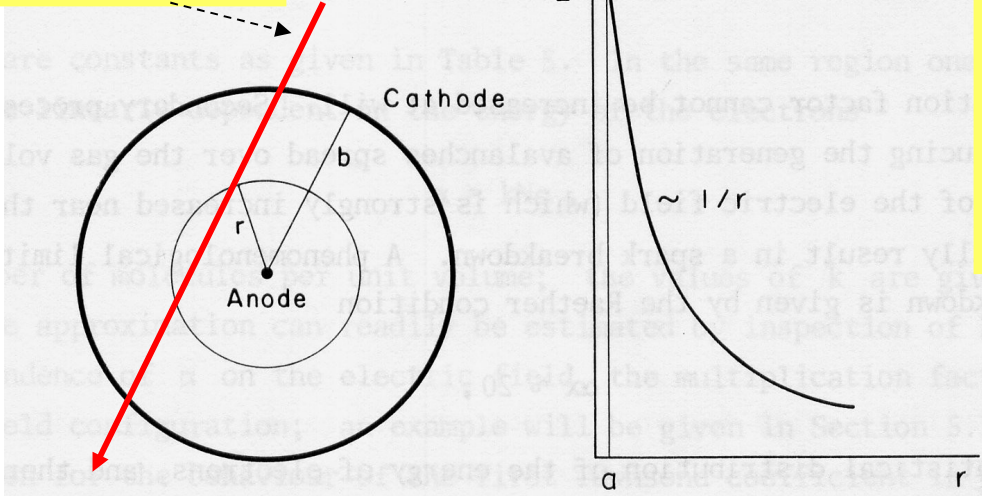
Anodo

Cátodo



El dispositivo anterior puede mejorarse :

Partícula incidente



El anodo es un hilo metálico de $\sim 10-30 \mu\text{m}$

Los electrones emigran hacia él pero sólo en su proximidad el campo es tan fuerte que se producen avalanchas (multiplicación de la carga inicial) haciéndola medible

Fig. 48 The coaxial cylindrical proportional counter, and the shape of the electric field around the thin anode. Only very close to the anode the field grows high enough to allow avalanche multiplication.

Sólo se conoce **el paso de la partícula** con distancia respecto al hilo con precisión $\sim 2b$, nada de su dirección o sentido. **Insuficiente !!!**

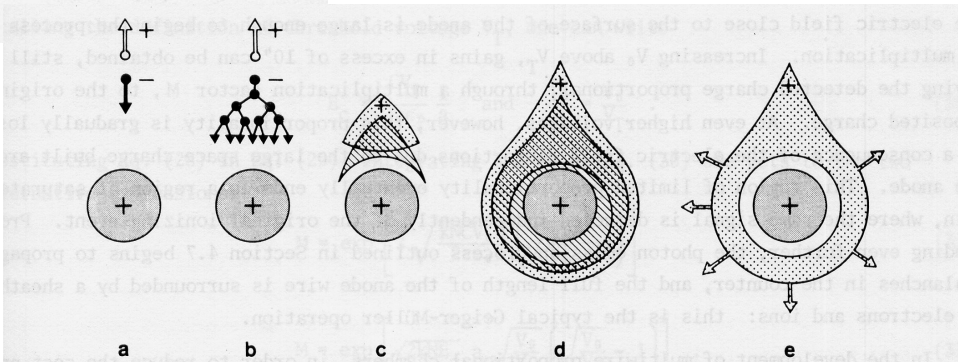


Fig. 49 Time development of an avalanche in a proportional counter³⁰). A single primary electron proceeds towards the anode, in regions of increasingly high fields, experiencing ionizing collisions; due to the lateral diffusion, a drop-like avalanche, surrounding the wire, develops. Electrons are collected in a very short time (1 nsec or so) and a cloud of positive ions is left, slowly migrating towards the cathode.

Wire Chamber

CERN.

1

- un conjunto de hilos, paralelos, con distancias iguales entre ellos.
- en “sandwich” entre dos planos catódicos.
- cátodos a un alto potencial $-HV$
- ánodos. a tierra.

partícula

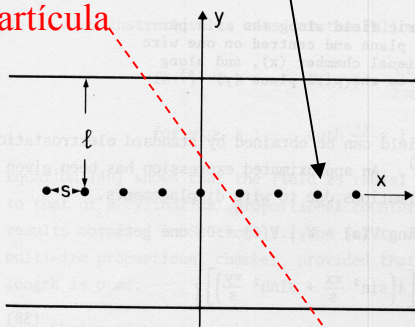


Fig. 55 Principle of construction and definition of parameters in a multi-wire proportional chamber. A set of parallel anode wires is mounted symmetrically between two cathode planes (wires or foils).

2

- se crea un campo eléctrico regular hasta la
- proximidad del ánodo, donde crece fuertemente.

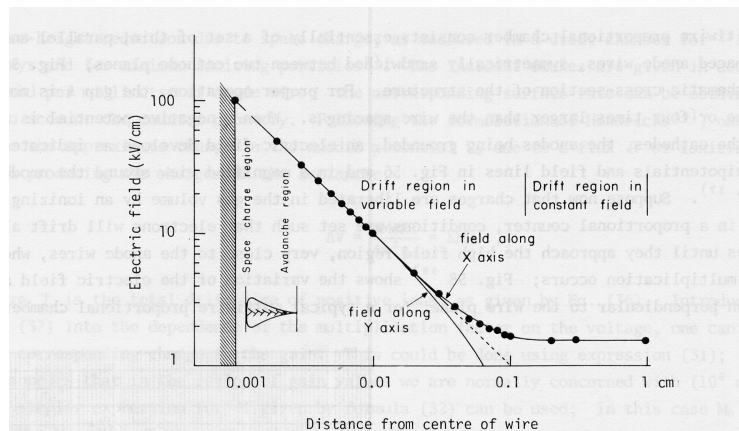


Fig. 58 Variation of the electric field along the axis perpendicular to the wire plane and centred on one wire in a multiwire proportional chamber (x), and along the direction parallel to the wire plane (y) ³⁸⁾

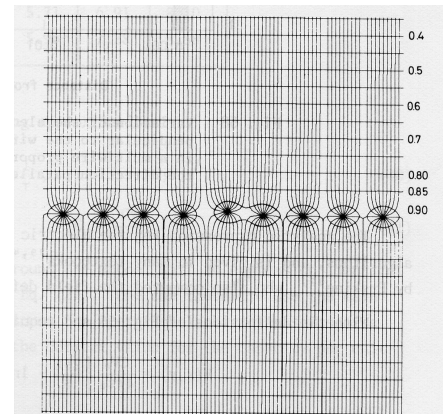


Fig. 56 Electric field equipotentials and field lines in a multiwire proportional chamber. The effect on the field of a small displacement of one wire is also shown ³⁷⁾.

3

- las cargas liberadas por el paso de la partícula se desplazan
- hacia el ánodo, pero sólo cerca de él se inicia la avalancha.

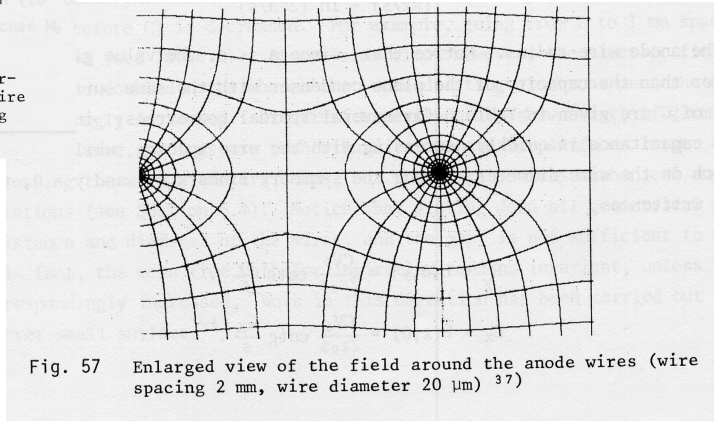
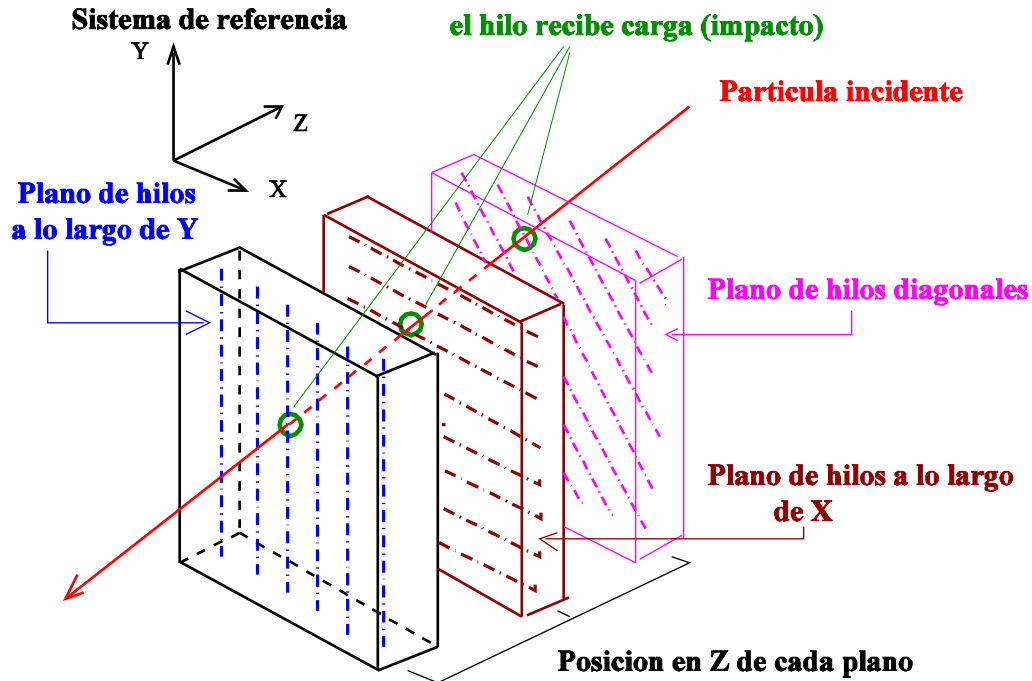


Fig. 57 Enlarged view of the field around the anode wires (wire spacing 2 mm, wire diameter 20 μm) ³⁷⁾

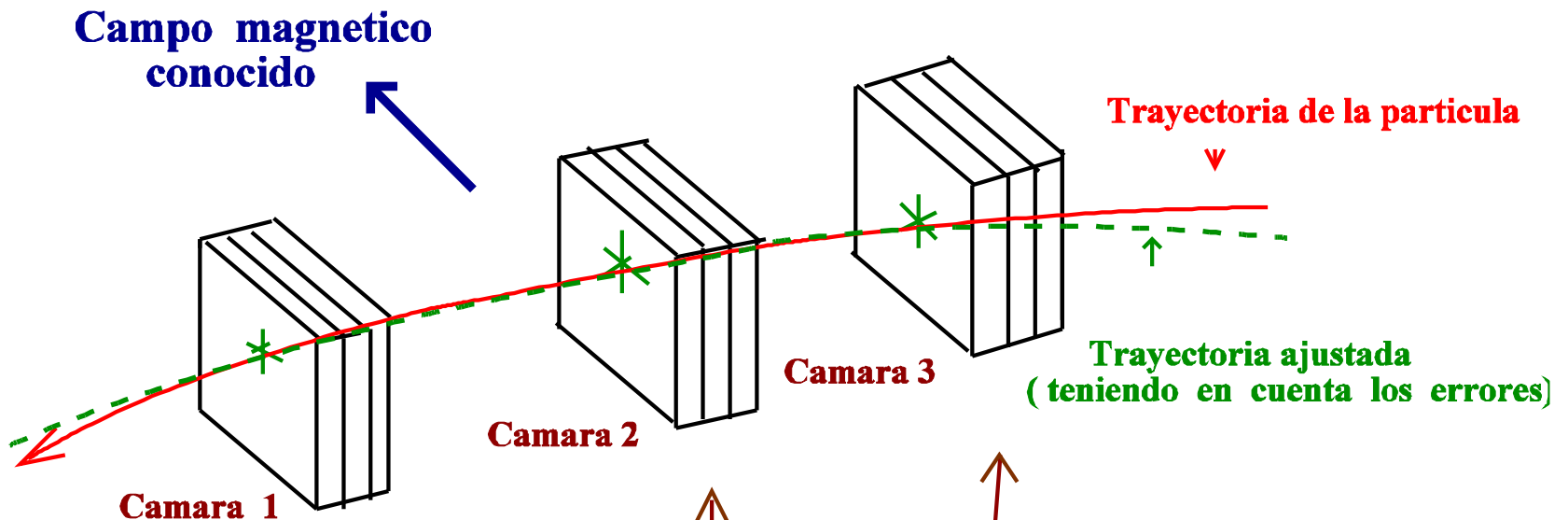
Cómo se determina un punto de una partícula cargada en X,Y,Z ?

Una **MWPC** con tres planos de hilos formando ángulos entre si permite reconstruir el punto de impacto en **X,Y,Z**



Cómo se determina la trayectoria de una partícula cargada ?

Con tres puntos al menos puede ajustarse una helice en el espacio y determinar la trayectoria y la curvatura (o lo que es equivalente : el momento)



Cada camara tiene tres planos de hilos y proporciona un punto en el espacio (y su error)

Las cámaras **MWPC** tienen una precisión limitada por el espaciado entre hilos.
Un avance significativo : La cámara de deriva (**Drift Chamber, DC**)

La cámara de deriva: principio

-Medir el tiempo de deriva t_d entre la generación del primer par de iones y la llegada de la señal al ánodo. (Dispositivos de detección rápida (centelleadores), o tiempo del acelerador para la llegada de las partículas, marcan un t_0 , "tiempo cero")

-Conseguir un campo uniforme donde la velocidad de los electrones sea (en media) constante, v_d típicamente $\sim 50 \mu\text{m}/\text{ns}$

-Conociendo v_d , la longitud recorrida $L = v_d \times t_d$ proporciona la posición de la trayectoria respecto al hilo.

-Con dispositivos de varios hilos por cámara y "stacks" de cámaras, en varios planos con hilos en distinto ángulo (ie. en "mariposa") pueden conseguirse $\sim 50 \mu\text{m}$ de precisión en el espacio !!!

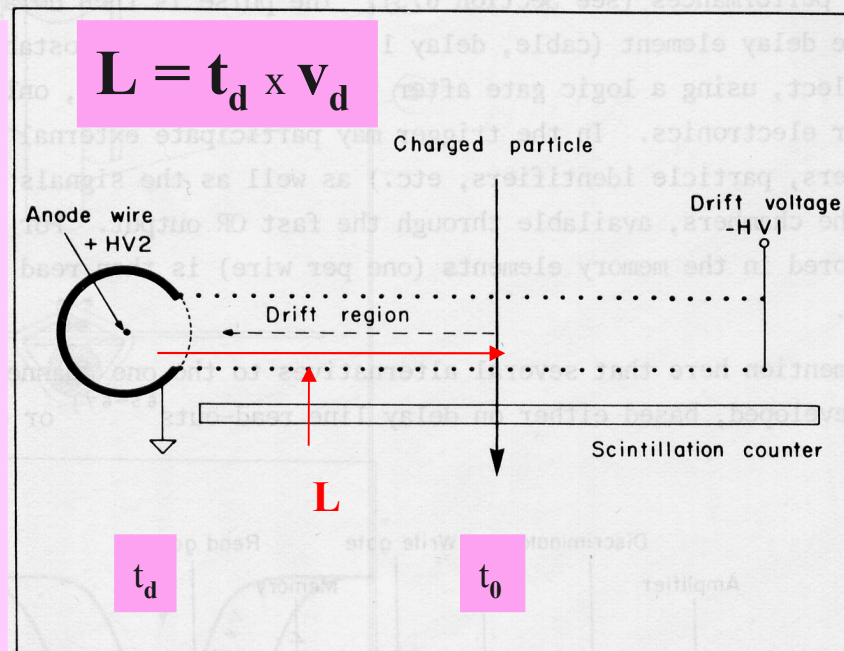


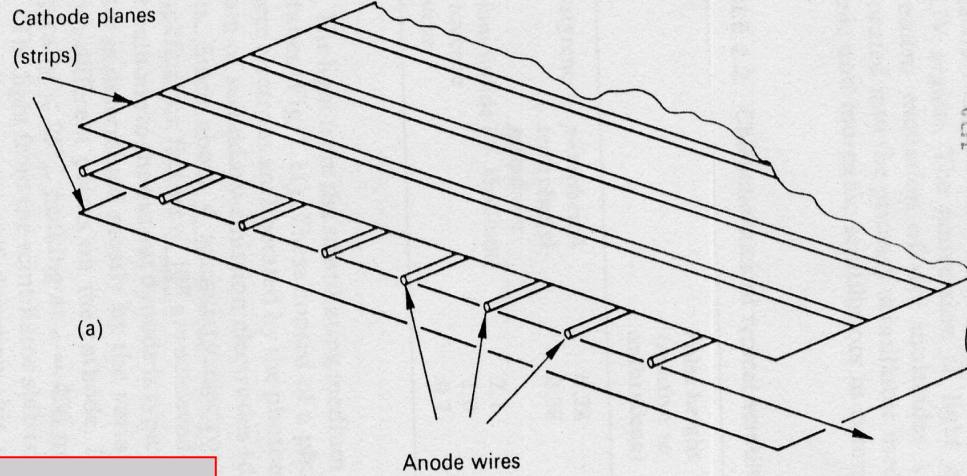
Fig. 85 Principle of operation of a single-cell drift chamber. A set of cathode wires, at suitable potentials, generate in the drift space a region of uniform field. The electrons produced by an ionizing event migrate to one end of the cell, where avalanche multiplication occurs in a single wire proportional counter. The coordinate is then proportional to the time of drift (the time reference being given by an external scintillation counter).

Algunas diferencias entre las cámaras de hilos (MWPC) y las de deriva (DC)

- En la DC el número de hilos es menor y la distancia entre ellos mayor para cubrir la misma superficie.
- El campo eléctrico que origina la deriva se mantiene intercalando hilos catódicos entre los hilos anódicos y usando además hilos “de campo” para configurar adecuadamente sus líneas de fuerza.
- La precisión de la DC ya no depende como en las MWPC de la distancia entre hilos sino de la precisión con que se mide la distancia entre el depósito de la energía de ionización en el gas y el hilo, lo que depende de conseguir una velocidad media constante de los iones en el gas (v_d) y una buena medida del tiempo (t_d) entre el paso de la partícula y la llegada de la señal al ánodo.
- Las cámaras de deriva suelen incorporar la posibilidad de medir la amplitud de la carga depositada en cada hilo. Si se tiene un “stack” de cámaras puede medirse pues la evolución de dicha amplitud, o sea el valor de dE/dx . Recordemos que esta magnitud depende sólo de la velocidad β de la partícula y su medida junto con la del momento P permite en ciertas regiones del momento la identificación de la partícula. Veremos algo más cuando tratemos las TPCs (un tipo particular de DC)

Una configuración típica de un módulo con un solo plano para (a) una MWPC, (b) una DC :

modulo de cámara de hilos



módulo de cámara de deriva

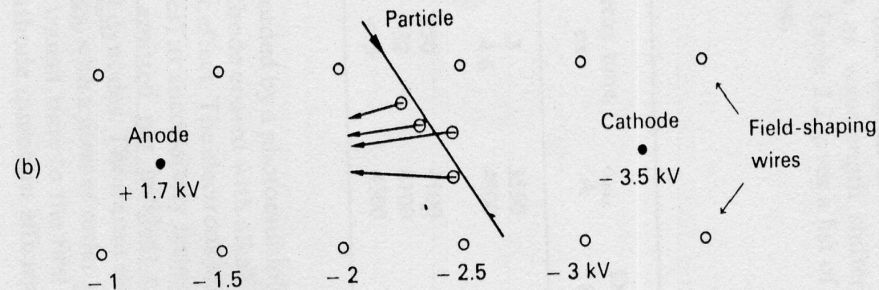
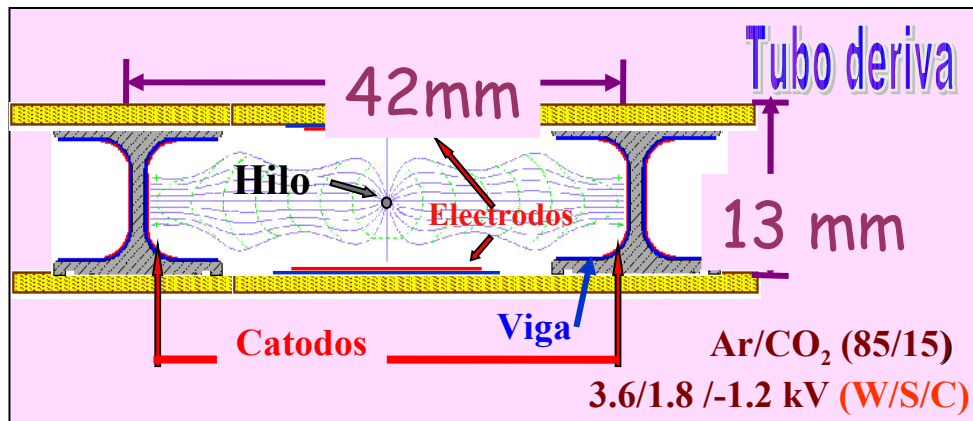


Fig. 2.10 (a) Schematic layout of multiwire proportional chamber. (b) Typical arrangement of electrodes for a drift-chamber cell.

Se muestra aquí un “tubo de deriva” para **CMS** y donde el campo eléctrico entre el hilo sensible y los cátodos se configura ayudado por los electrodos.

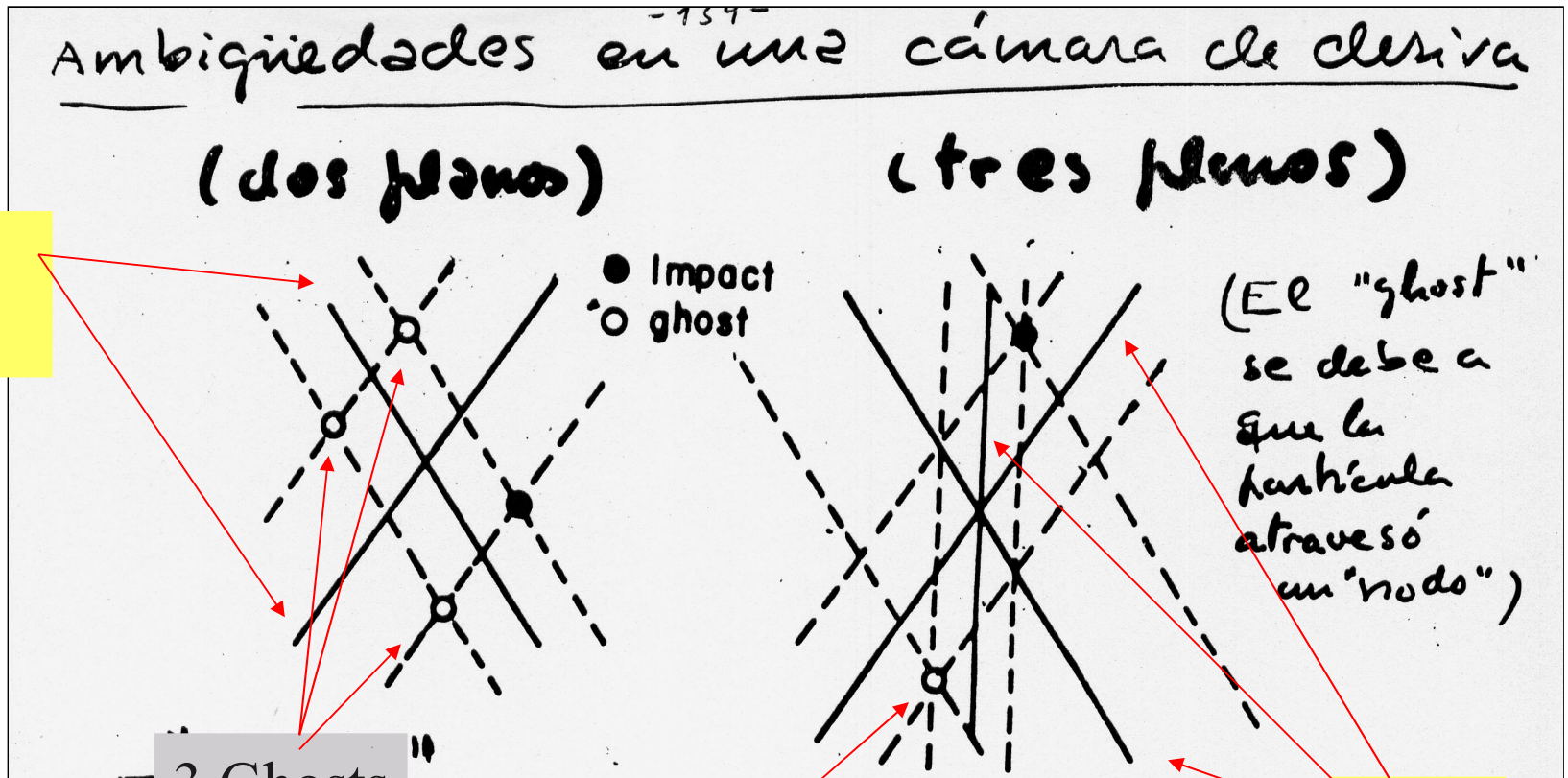


Medida de coordenadas usando varios planos de hilos

La disposición de los planos de hilo de las DC es bastante análoga a la de las MWPC

Normalmente se usan tres planos de hilos para evitar las ambigüedades.

La ambigüedad proviene de que la distancia al hilo no tiene signo y para cada impacto "real" reconstruido se produce uno o mas "fantasmas" ("ghosts")



2 hilos

3 Ghosts

1 Ghost

3 hilos

La manera de evitar los “ghosts” es impedir que haya nodos con más de dos hilos en proyección.

Una posible configuración con cuatro planos de hilos es la conocida como “butterfly”.

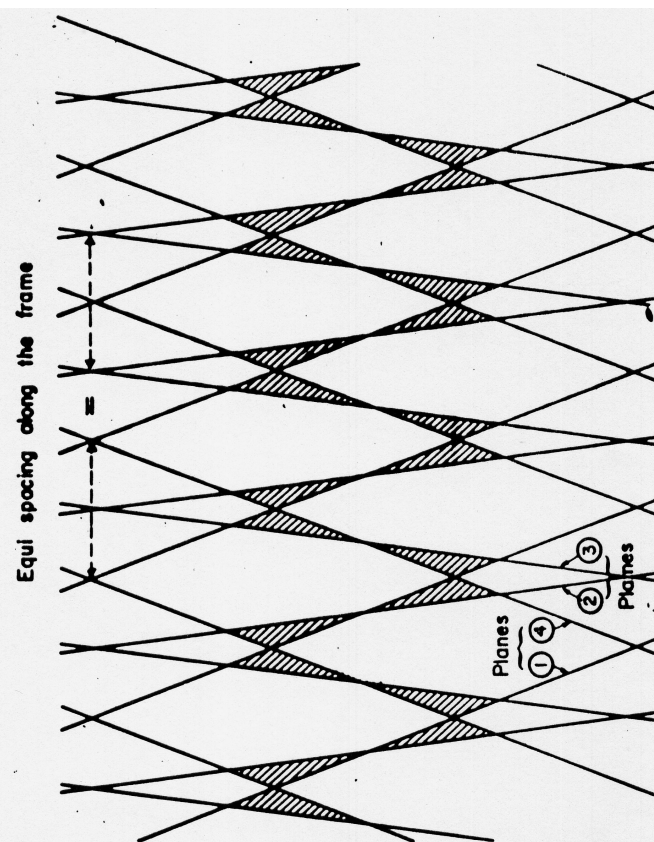


Pueden determinarse así los impactos de varias partículas minimizando las ambigüedades en X,Y,Z en un módulo.

Varios módulos separados y situados en posiciones conocidas permiten determinar la trayectoria de las diversas partículas provenientes de una interacción tras un complejo reconocimiento informático de formas.

Este suele ayudarse del hecho de que la mayor parte de las trayectorias provienen del vértice de interacción aunque éste no es el caso en las interacciones secundarias.

Hay sin embargo muchos ejemplos donde sólo dos planos cruzados bastan.



Configuración “butterfly” de una cámara de deriva de cuatro planos del EHS (European Hybrid Spectrometer)

Algunos ejemplos

Las cámaras de muones de L3 tenían dos sistemas de cámaras DC:

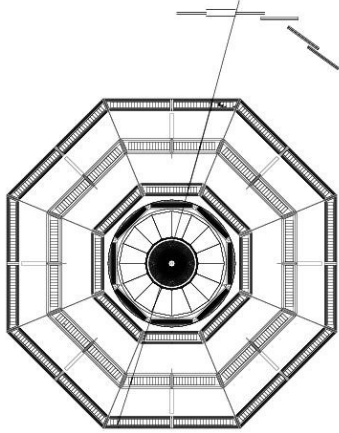
- las cámaras P con hilos normales al plano de la figura (dirección Z)
- las cámaras Z con hilos en la dirección X.
- la coordenada Y se determina por la posición de la cámara.

-Mostraremos las cámaras P: Hay numerosos planos de hilos por módulo y tres módulos por cada uno de los octantes dispuestos en torno al vértice de colisión de los haces.

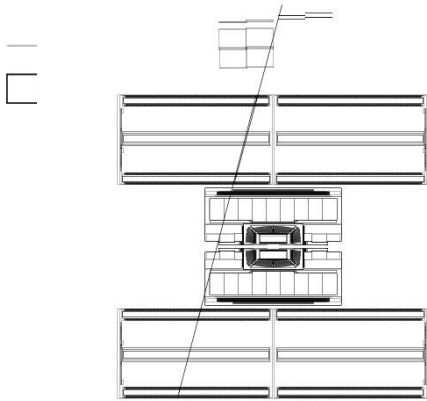
-La disposición poligonal en torno al vertice de colisión es una constante en los “trackers” del LHC con algunas excepciones.

Las cámaras P de muones de L3

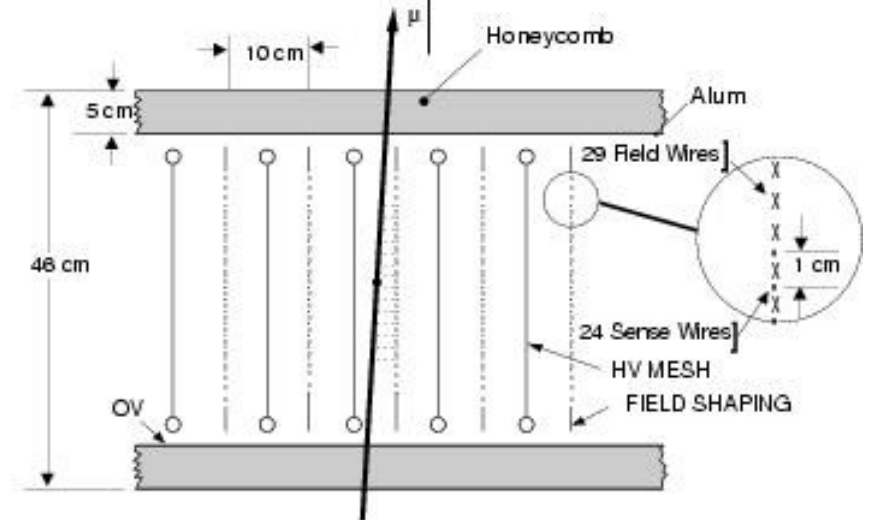
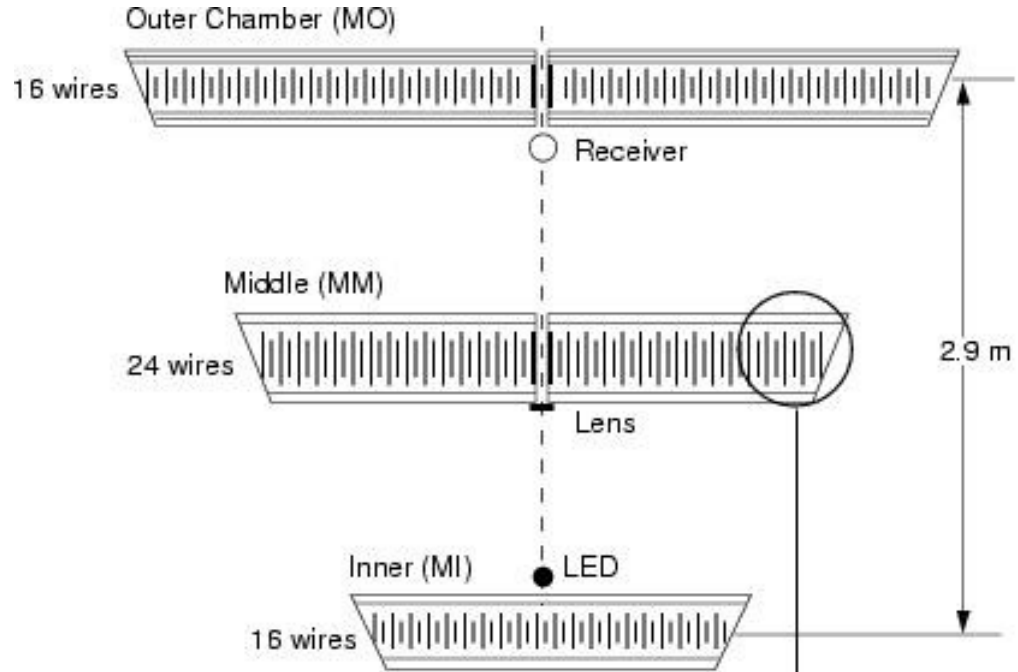
Run # 59931 Event #399906Data



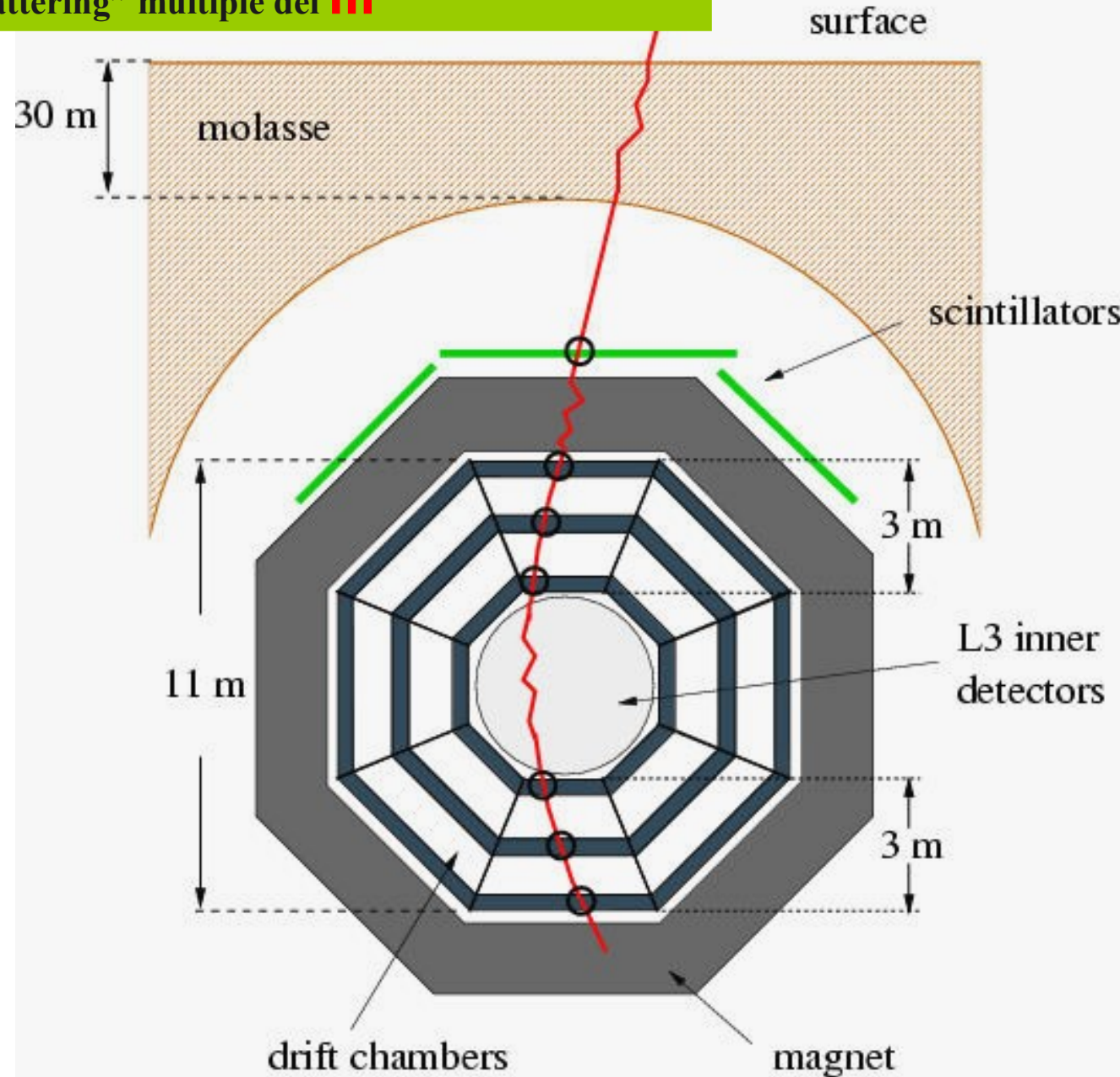
Run # 59931 Event #399906Data



Event DAQ Time : 991108 145821



Detección de un muón cósmico por impactos en 6 cámaras de muones de L3 . Obsérvese el “scattering” múltiple del m



Las cámaras de proyección temporal (Time Projection Chamber, TPC)

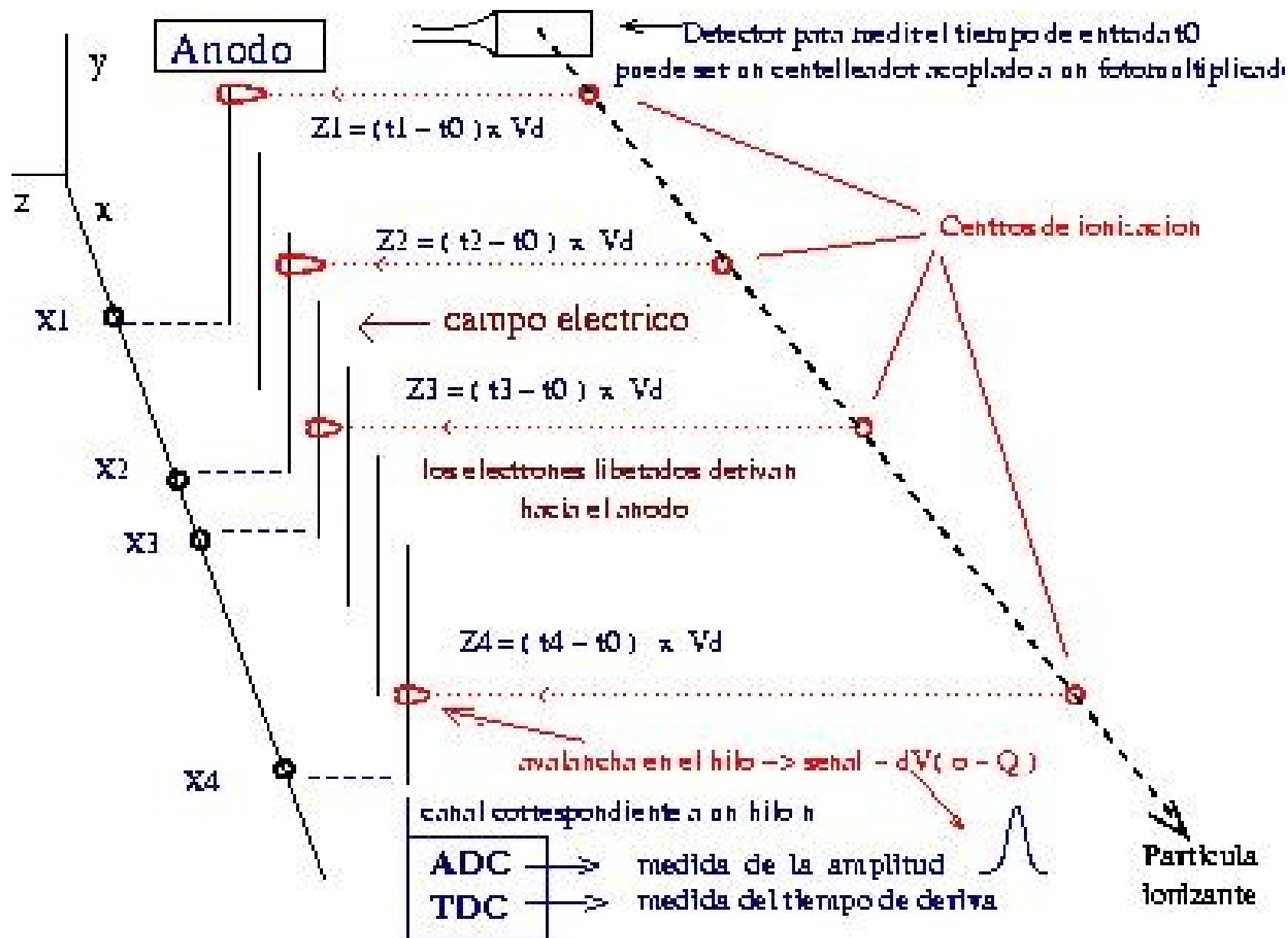
- Son cámaras de deriva cuyos parámetros de construcción permiten incorporar
 - longitudes de deriva que pueden alcanzar más de un metro
 - (ej., TPC de ALICE, T600 de ICARUS,etc..)
- Las trayectorias no necesitan atravesar los planos de hilos para ser medidas.
- la medida de la amplitud de la señal en cada punto -> medida de dE/dx

Mostramos a continuación el principio de la medida de X,Z con un solo plano de hilos.

X,Y,Z requeriría un plano extra para Y.

En vez de planos de hilos pueden usarse “pads” que miden el impacto en r, f (TPC de ALICE)

Principio de medida de (X,Z) con un plano de hilos de una TPC



La TPC de ALICE

Gas : Ne/Co₂ (90%,10%)
Electrodo central: 100kV
Gradiente: 400 V/cm
Tiempo máximo de deriva: 90 ns
Longitud a lo largo del eje: 5 m.
Espacio útil radial : ~1.6 m
Velocidad de deriva : 10m/ns

Segmentación en **j** : 18 sectores

La detección es en pads
~6 x 10 mm (j x r)
~10³ pads

Resolución en posición:
en **r j** ~900 μm
en **z** ~1000 μm

Segmentación en r : 2 cámaras por sector

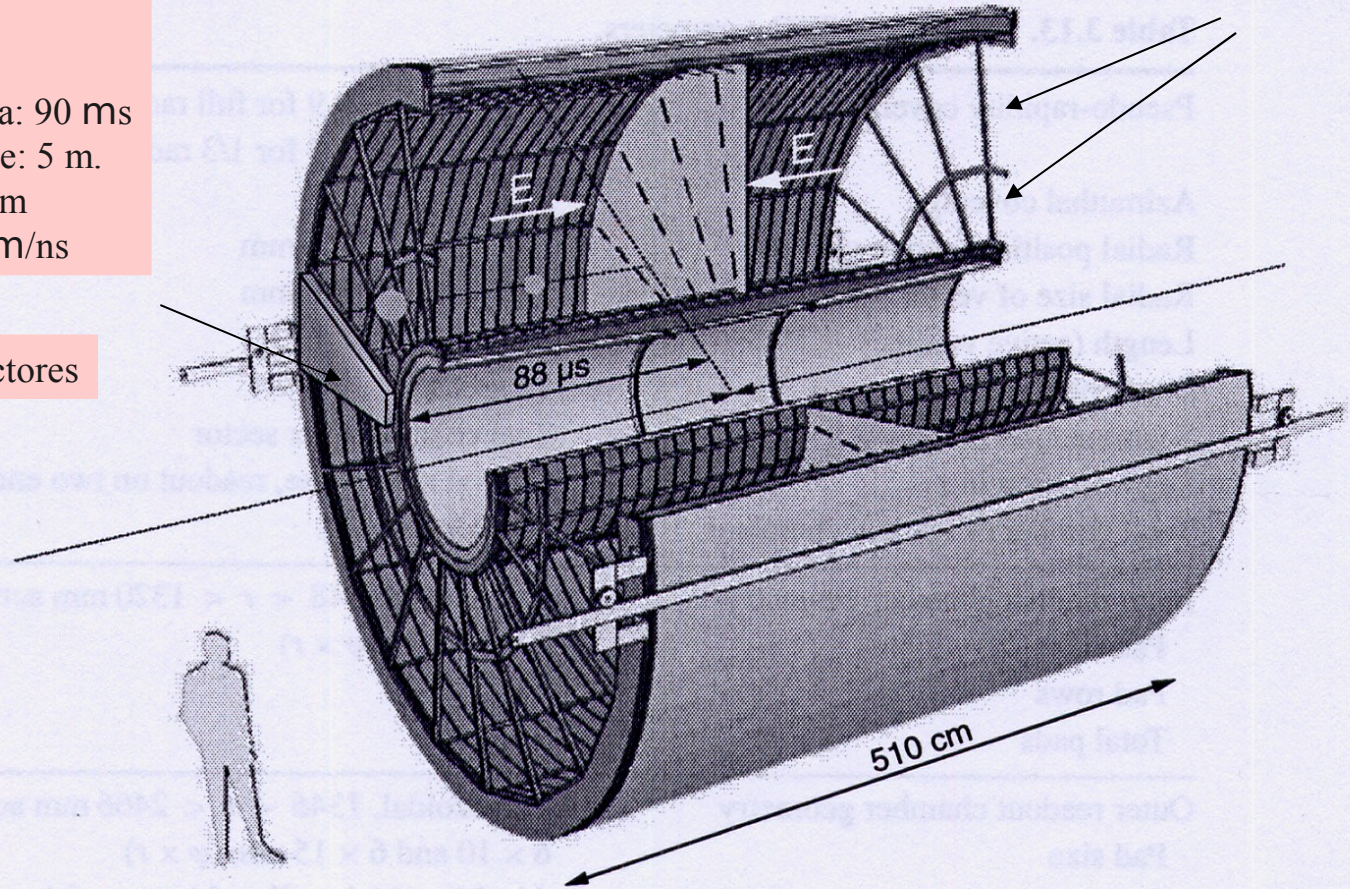


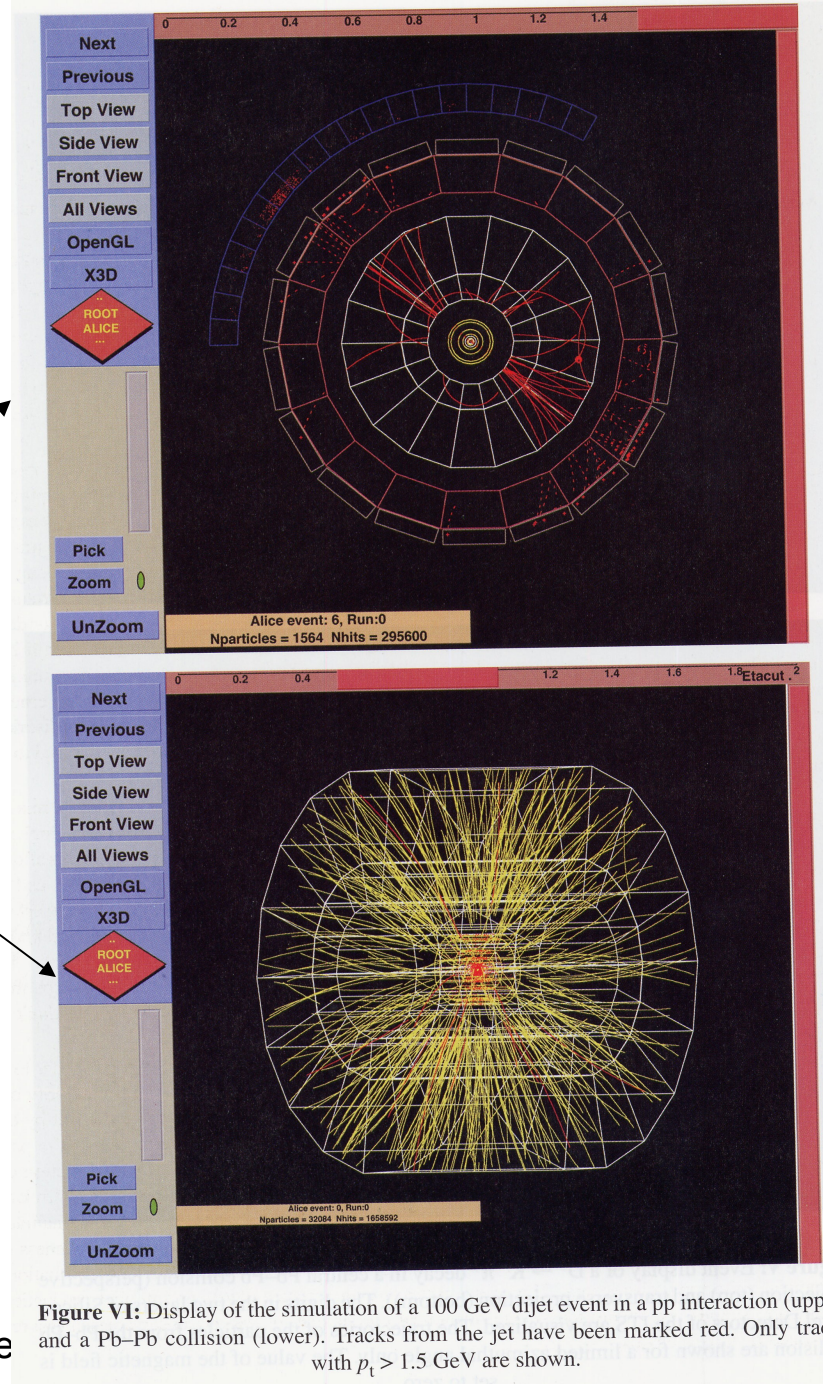
Figure 3.15. TPC schematic layout.

Límite de frecuencia de toma de sucesos:
200 Hz, (Pb-Pb, central) , talla media: ~60 MB
1000 Hz, (p-p) , talla media : ~1- 2 MB

Reconstrucción de trayectorias En la TPC de ALICE (MonteCarlo)

Simulación de un di-jet en interacción p-p

Lo mismo para interacción Pb Pb



CERN. Ppios Detectore

Figure VI: Display of the simulation of a 100 GeV dijet event in a pp interaction (upper) and a Pb-Pb collision (lower). Tracks from the jet have been marked red. Only tracks with $p_t > 1.5$ GeV are shown.

Separación por dE/dx en la TPC de ALICE:

P = 0.5 GeV

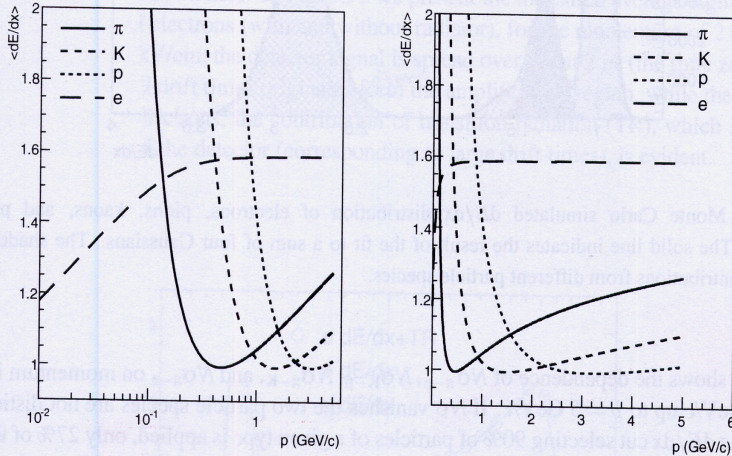


Figure 5.89: Momentum dependence of the mean energy loss $\langle dE/dx \rangle$ for pions, kaons, protons, and electrons according to the parametrization of the Bethe–Bloch formula adapted to the ALICE TPC. The mean energy loss is normalized to unity for minimum ionizing particles.

Al disponer de una medida de la amplitud de la señal, que es proporcional a la energía depositada, estas cámaras permiten medir la pérdida de energía por unidad de longitud : dE/dx que la fórmula de Bethe- Bloch relaciona con la velocidad $\beta = v/c$

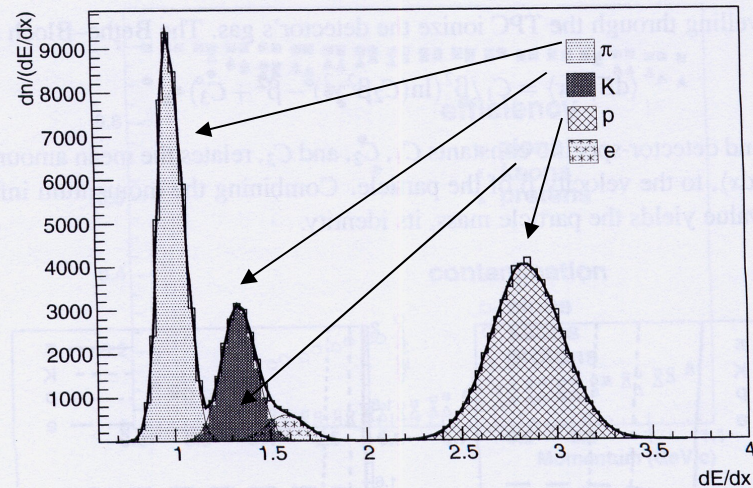
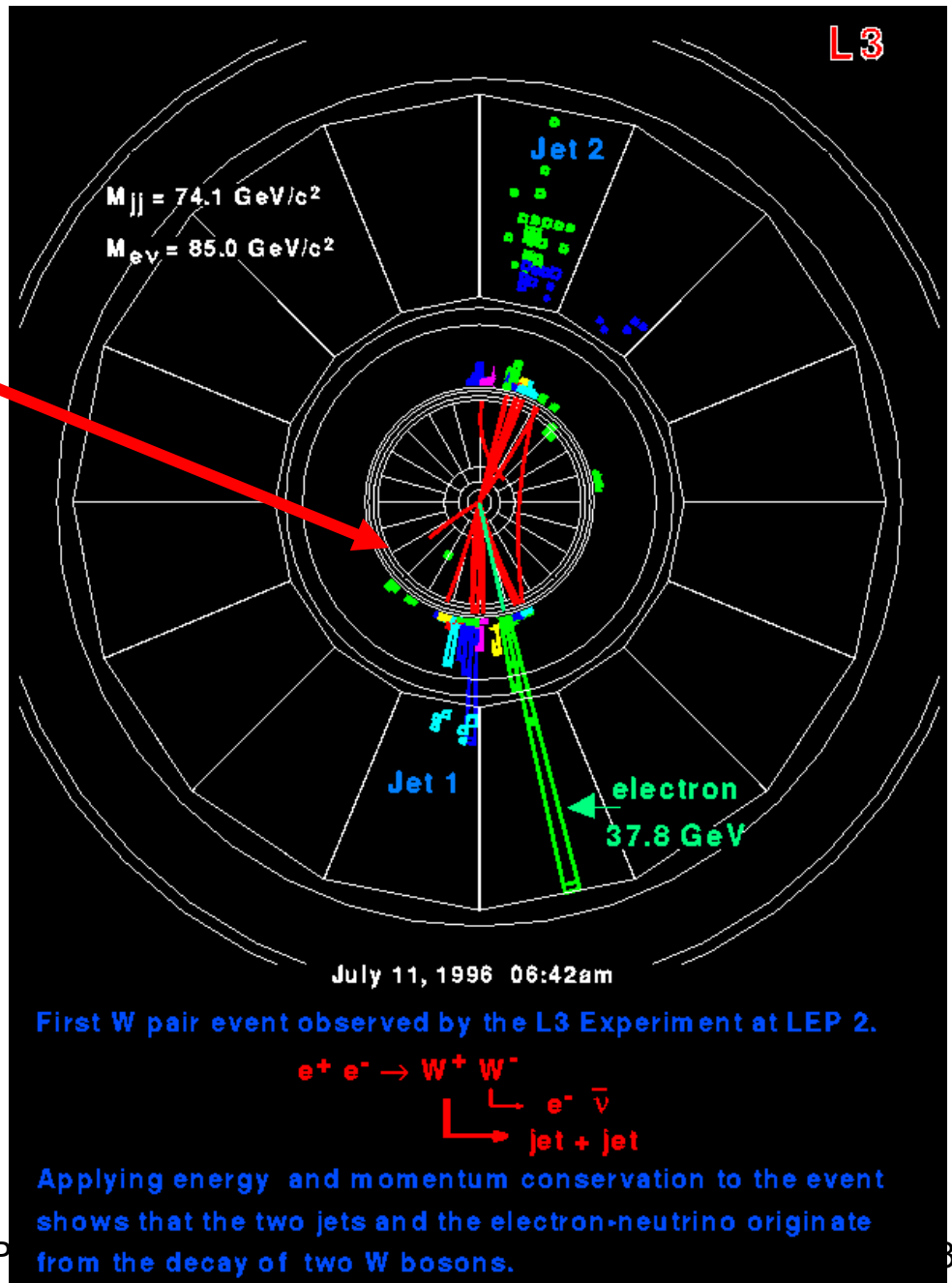


Figure 5.90: Monte Carlo simulated dE/dx distribution of electrons, pions, kaons, and protons with $p = 0.5$ GeV/c. The solid line indicates the result of the fit to a sum of four Gaussians. The shaded areas correspond to the contributions from different particle species.

Un ejemplo de tracking en la TEC
(Time Expansion Chamber) de L3
del colisionador LEP

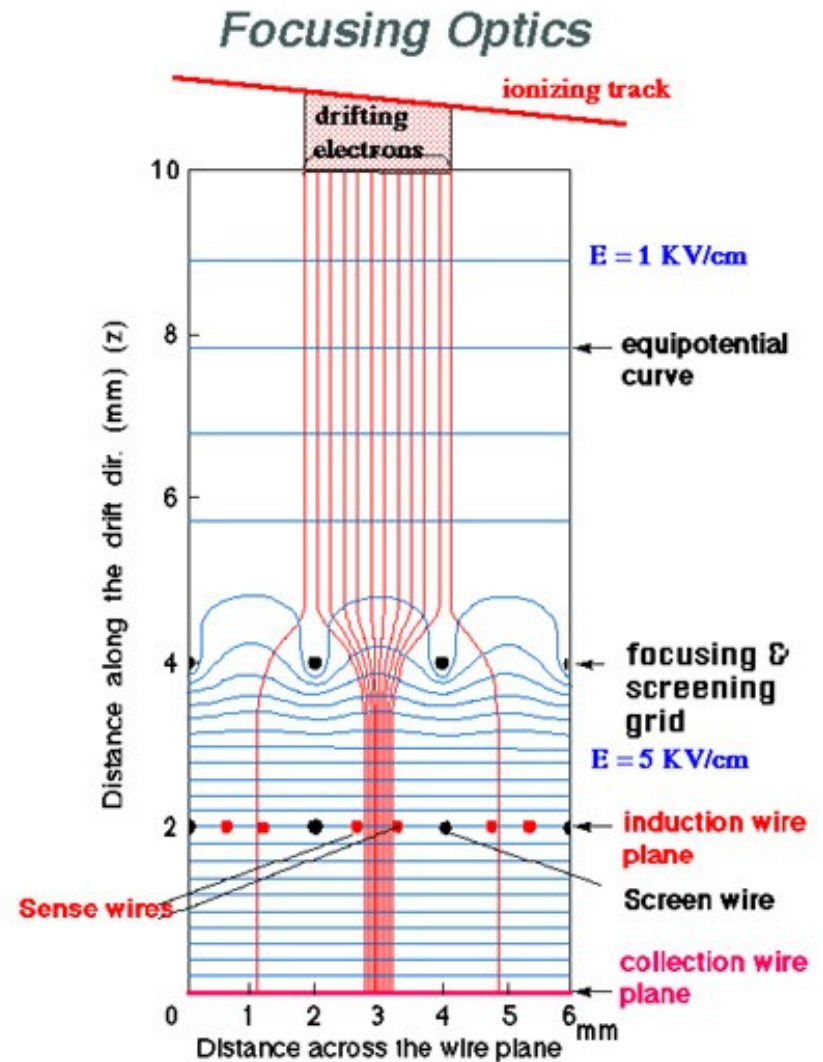
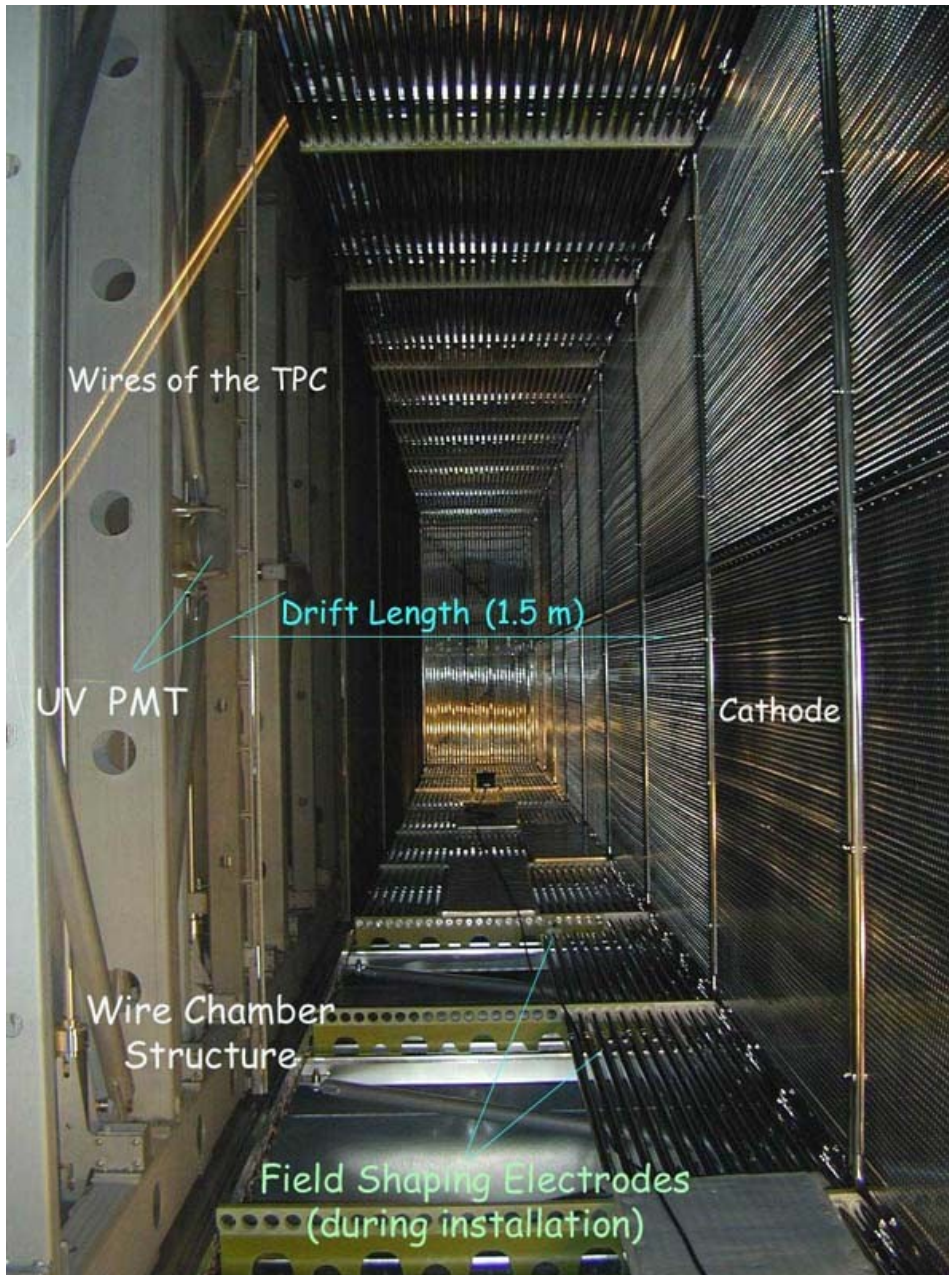


Un ejemplo para usar en la física de neutrino:

La cámara TPC de 600 Toneladas (T600) llena de Argón líquido.

(Proyecto ICARUS, Gran Sasso)

Módulo T600 de ICARUS



Identificación de las partículas. (PARTID)

PARTicle IDentification

Conocemos ya el momento **p**. Según vimos antes:

De **p, β** \Rightarrow **m_0** |  la masa identifica la partícula
De **p, E** \Rightarrow **m_0**

- * **β** \Rightarrow medida de **dE/dX**
detectores basados en el efecto **Cerenkov**
el efecto de “radiación de transición”, **TRD**
el “tiempo de vuelo”, **TOF**
- * **E** \Rightarrow calorímetros electromagnéticos (**EMCAL**)
hadrónicos (**HCAL**)

Medida de dE/dX

(Ya hemos visto un ejemplo)

El detector debe poder medir la amplitud de la señal depositada.

Ese es el caso de los detectores DC, TPC y los trackers de Si (ITS)

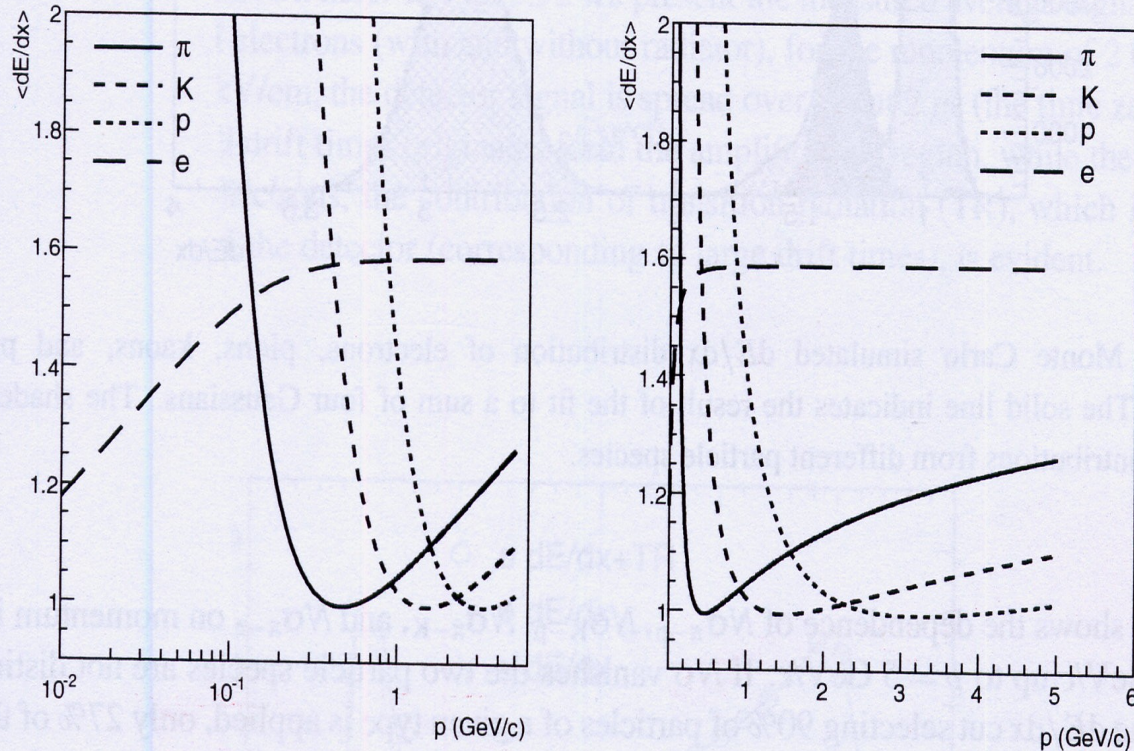
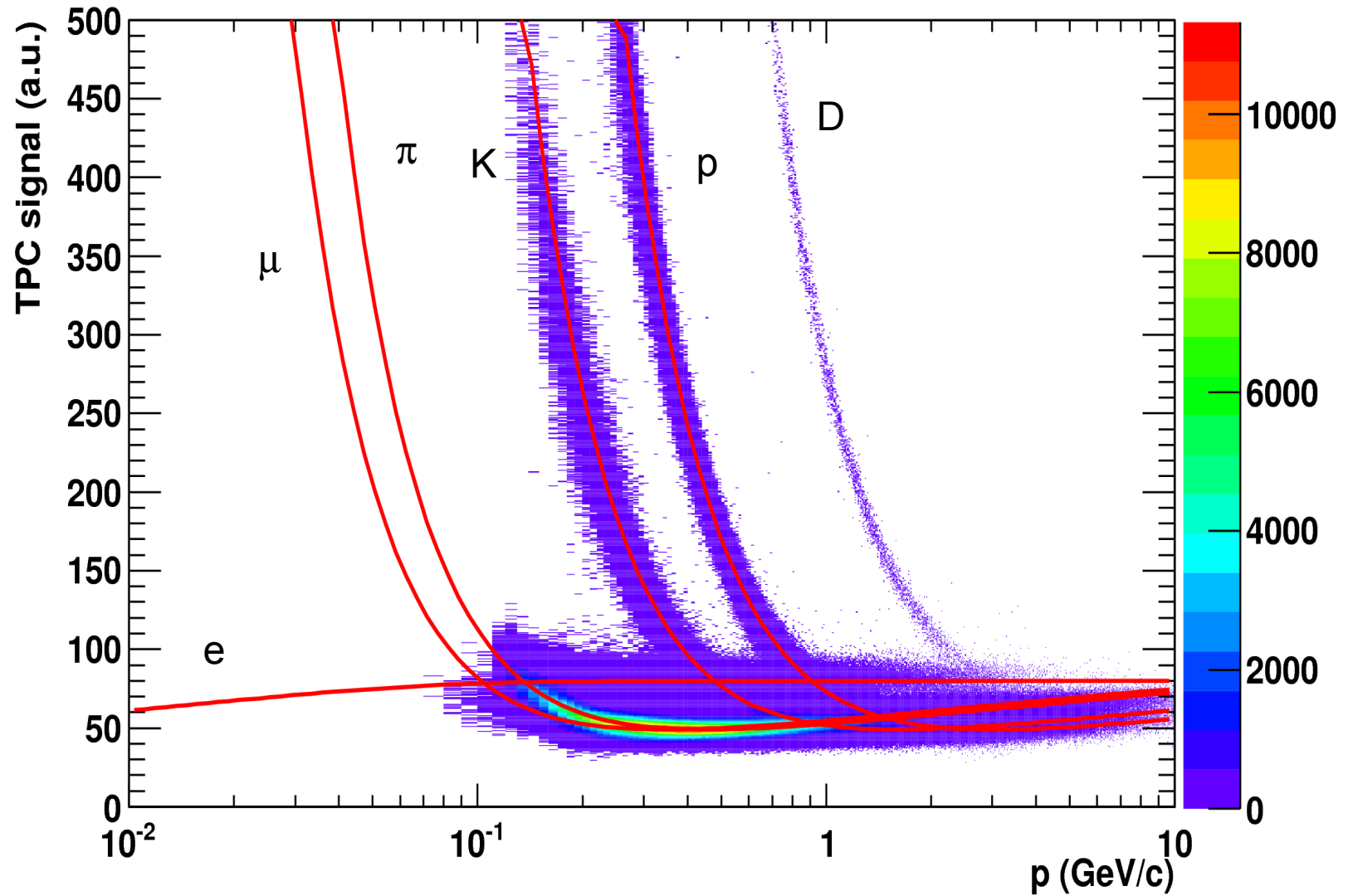


Figure 5.89: Momentum dependence of the mean energy loss $\langle dE/dx \rangle$ for pions, kaons, protons, and electrons according to the parametrization of the Bethe–Bloch formula adapted to the ALICE TPC. The mean energy loss is normalized to unity for minimum ionizing particles.

Separación entre distintas especies por dE/dX en función de p



Detectores basados en el efecto Cerenkov

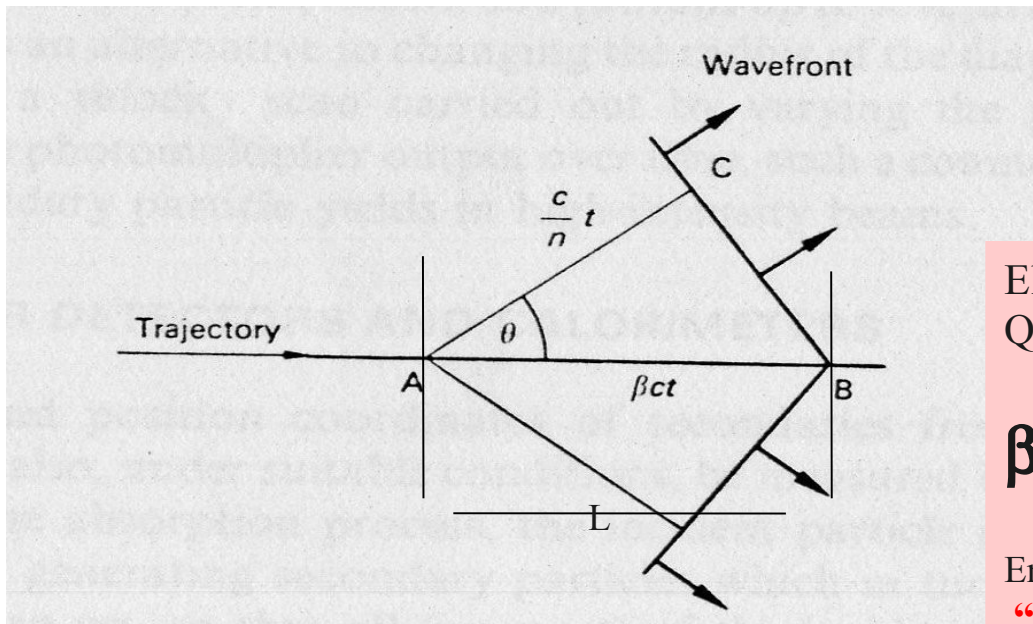
Una partícula cargada de velocidad \mathbf{V} que se mueve a través de un medio a mayor velocidad que la de la luz en ese medio, \mathbf{V}_m , emite una radiación llamada “Radiación Cerenkov”

Si una onda plana emitida en A llega a la vez que otra emitida en B constituyen un frente de onda coherente. Para que esto ocurra: (recordar la definición: $\beta = v/c$)

$$\beta ct \times \cos \Theta = ct/n \rightarrow \cos \theta = 1/n \beta \quad (\mathbf{n = \acute{I}ndice de refracci3n del medio})$$

Recordar que $n = c/v_m$

donde v_m es la velocidad de la luz en el medio



El umbral, o condición para que se emita luz Cerenkov es:

$$\beta_p > 1/n$$

En esto se basan los detectores de “umbral”

Detectores de umbral

Para partículas de un mismo p , la β depende de la masa y si estamos cerca del umbral $1/n$ se podrá buscar un n tal que las partículas más lentas (de mayor masa) no produzcan luz Cerenkov así que si se ha medido antes su momento y no producen luz, es porque no cumplen la condición.

Por ejemplo:

P medido
por
curvatura
Qué
masa ?

$m1$	$\rightarrow \beta_1 < 1/n$	(no se ve luz \rightarrow protón)	umbral
$m2$	$\rightarrow \beta_2 > 1/n$	(se ve luz puede ser un K)	
$m3$	$\rightarrow \beta_3 > 1/n$	(se ve luz, puede ser un π)	
$m4$	$\rightarrow \beta_4 > 1/n$	(se ve luz, puede ser un e)	

Si estamos a momentos (y betas) muy altos , **n debe ser muy pequeño** para poder jugar este juego, que no es más que una identificación parcial.

La verdadera identificación exige Cerenkovs “diferenciales” (el de AMS, por ejemplo)

Cómo se consigue un n pequeño ?

- 1) Usando Helio que es el índice de refracción mas bajo conocido.**
- 2) Si aún se necesita más bajo y funcionamos a presión P_0 , hay que calentarlo.**

$$n = n_0 \times P \times T_0 / (P_0 \times T) \text{ (ecuación de gases perfectos) (T en Kelvin)}$$

donde

n_0, n son los índices inicial y final

T_0, P_0 son las presiones del estado inicial.

Si P cambia poco (por ejemplo, la atmosférica), n baja aumentando T

La estructura de un detector Cerenkov se muestra a continuación

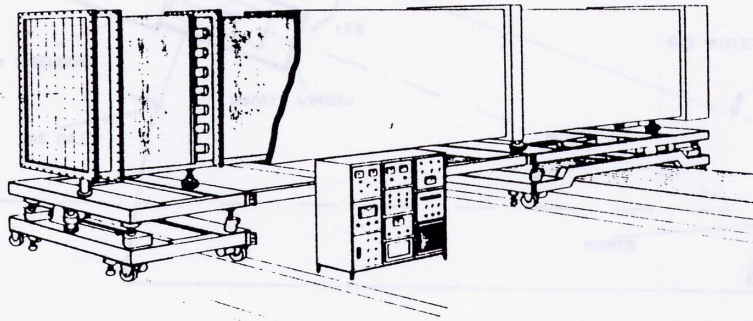


Figure 1

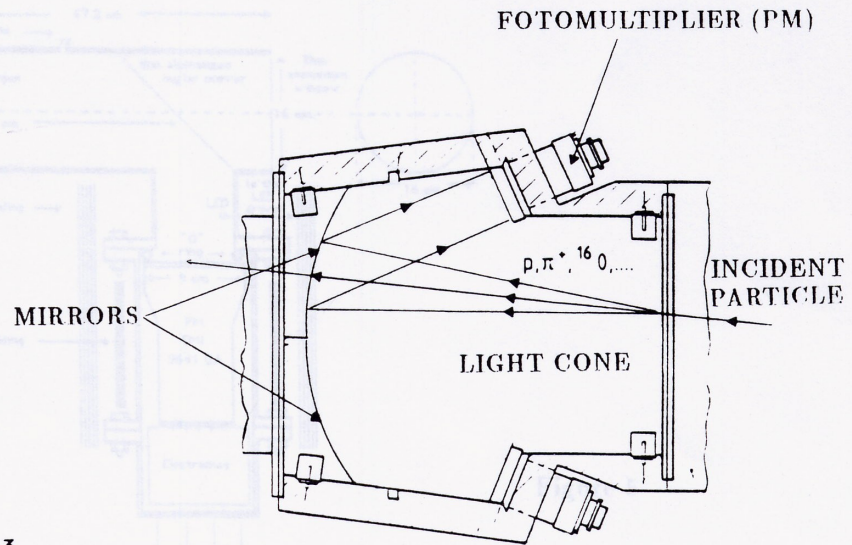


Figure 2

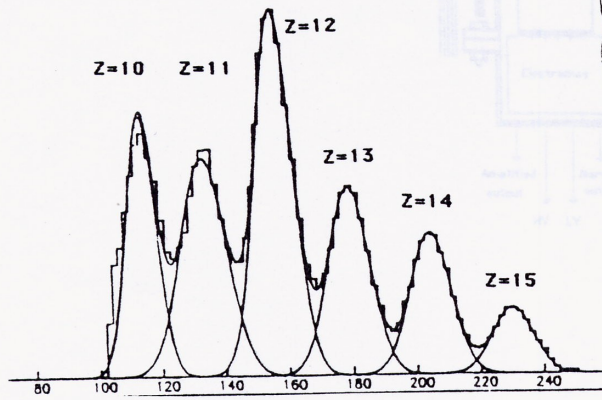
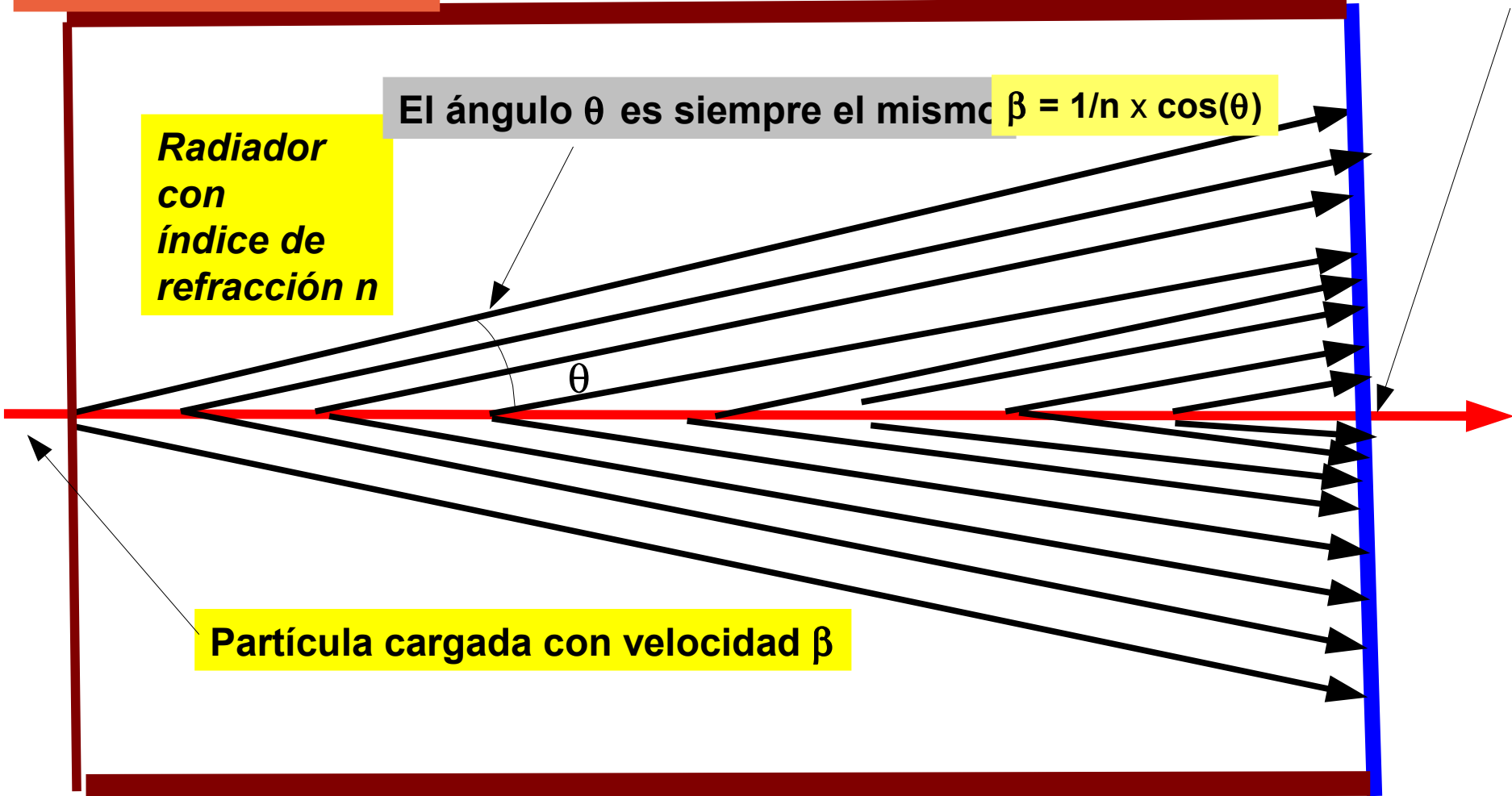


Figure 3

Detectores Cerenkov diferenciales.

Se trata de medir el ángulo θ a partir de los impactos de los fotones

Detector Cerenkov densidad de fotones crece hacia el centro de la "pantalla"



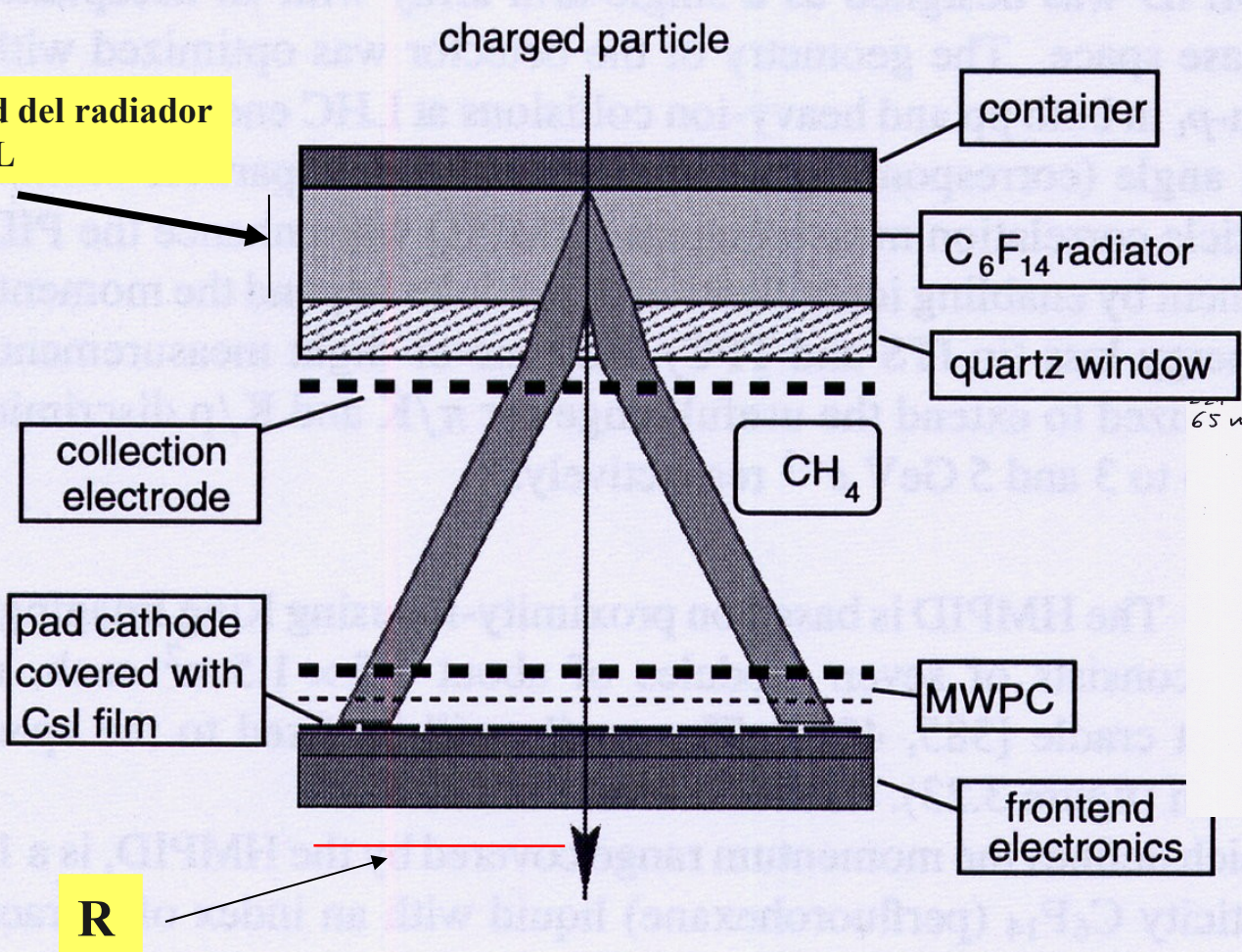
La pantalla es un detector de fotones, normalmente una cámara de deriva con un material que absorba fotones y emita electrones que son detectados en la cámara.

$\beta = 1/(n \times \cos(\arctan(R/L)))$ donde L = longitud del radiador, R = radio maximo Cerenkov)

La intersección del cono con la pantalla es un círculo de radio : $R \sim L \times \text{tg}(\theta)$

**HMPID
de
ALICE**

Longitud del radiador
L



$65 \text{ mm}/\mu\text{s} = 65 \mu\text{m}/\text{ns}$

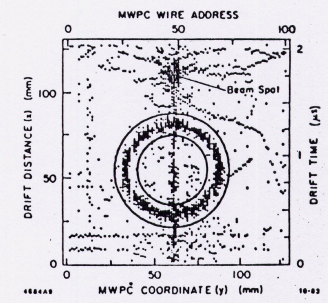


Fig. 14. Online display of first 300 events.
MWPC WIRE ADDRESS

Figure 3.24. Working principle of a RICH detector employing CsI thin films deposited onto the cathode plane of a MWPC. The Cherenkov cone refracts out of the liquid radiator of C_6F_{14} and expands in the proximity volume of CH_4 before reaching the MWPC photon detector. Electrons released by ionizing particles in the proximity gap are prevented to enter the MWPC volume by a positive polarization of the collection electrode close to the radiator.

El círculo Cerenkov. (datos reales)

$$R \sim L \times \text{tg}(\theta)$$

+

$$\beta = 1/n \times \cos(\theta)$$

+

P



Masa y Energía de la partícula

$$65 \text{ mm}/\mu\text{s} = 65 \mu\text{m}/\text{ns}$$

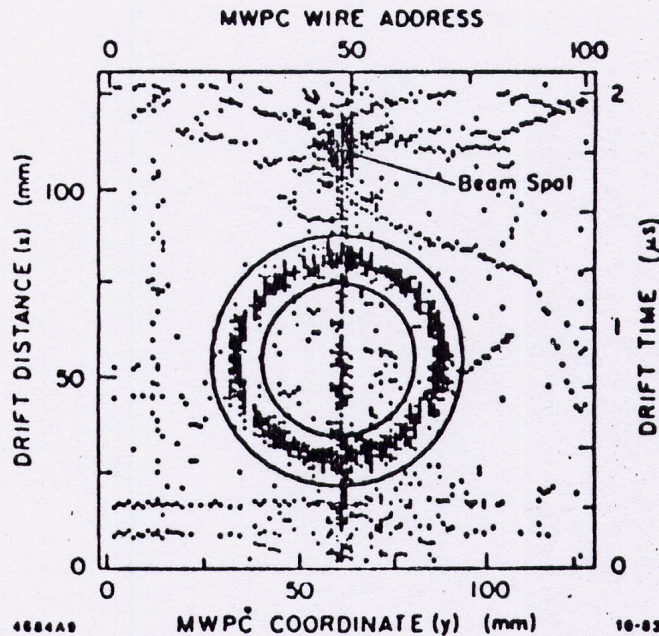
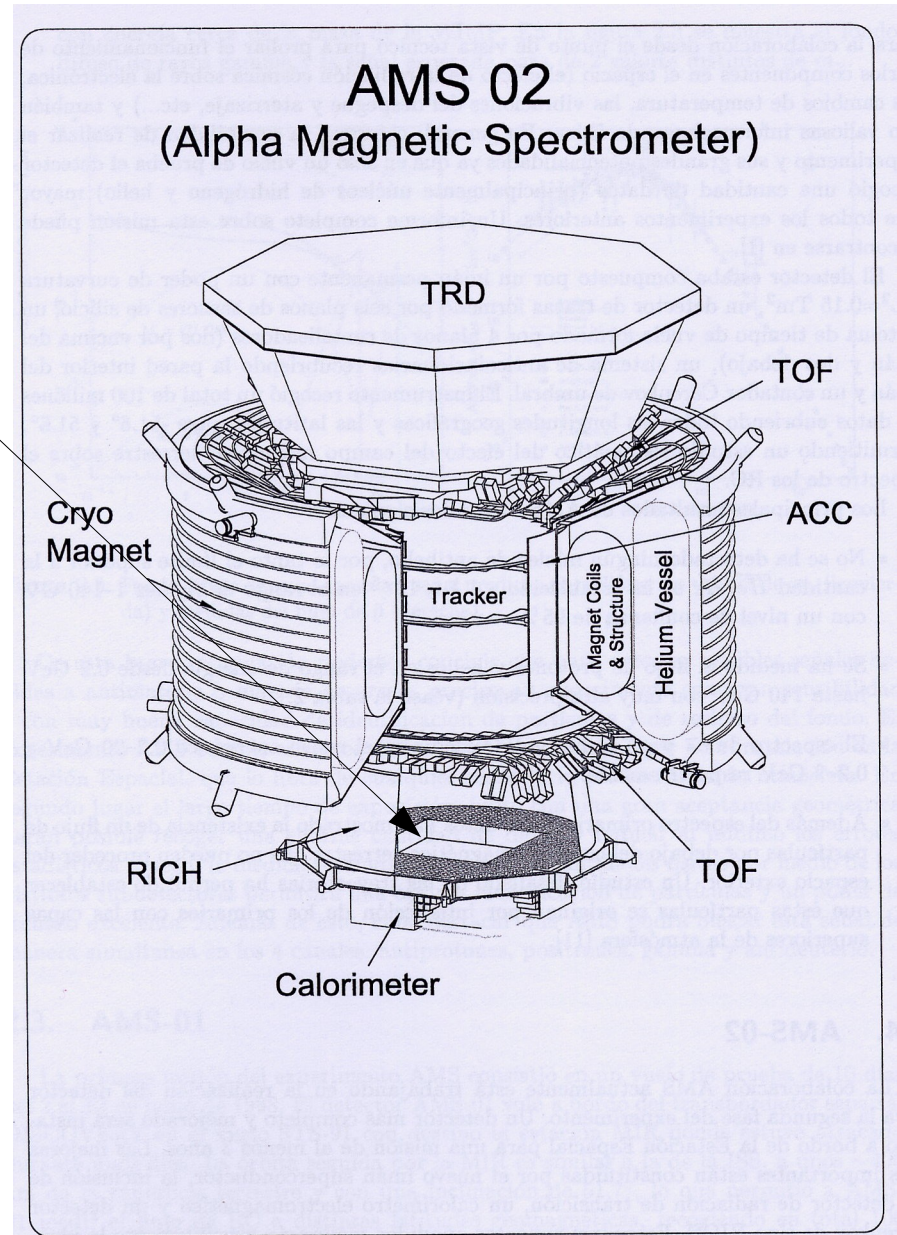


Fig. 14. Online display of first 300 events.

Un ejemplo de detector Cerenkov
Diferencial de tipo RICH
(**R**ing **I**maging **C**herenkov)

Forma parte del espectrómetro
AMS02 que se instalará en el
2010 en la Estacion Espacial
Internacional.



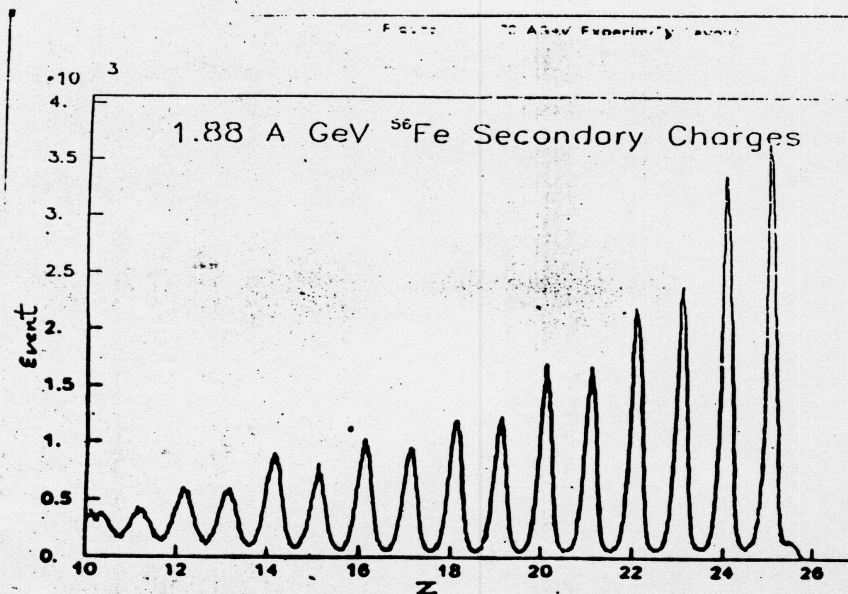
Amplitud de la señal Cerenkov

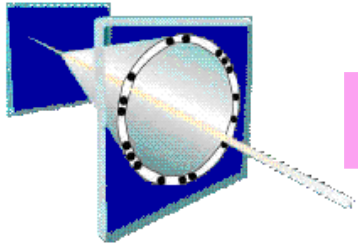
n es el índice de refracción del radiador
 θ es el ángulo Cerenkov
 Z es la carga de la partícula.

$$A \sim Z^2 \times (n-1) \times \sin(\theta)$$

La dependencia en Z^2 permite medir la carga de los iones a partir de la amplitud de la señal :

Medida de Z usando un detector Cerenkov con muestreo





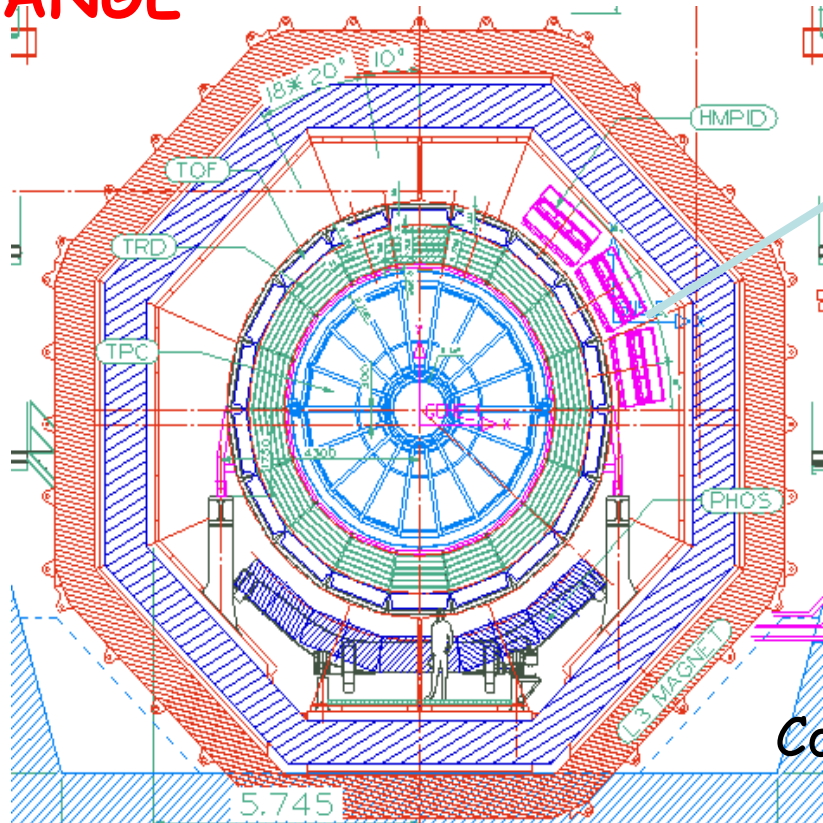
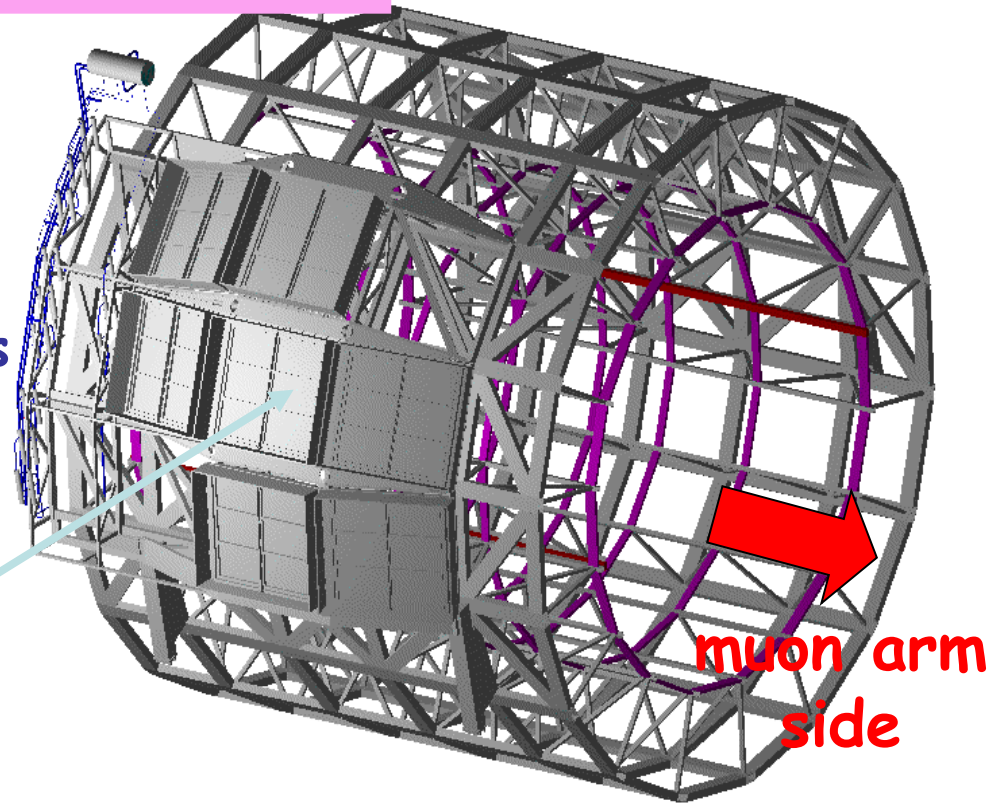
HMPID

ALICE

Detector Cerenkov de ALICE

array of seven RICH detectors
(each $\sim 1.5 \times 1.7 \text{ m}^2$)

PID RANGE { $1 < p < 3 \text{ GeV}/c$ π -K
 $2 < p < 5 \text{ GeV}/c$ protons



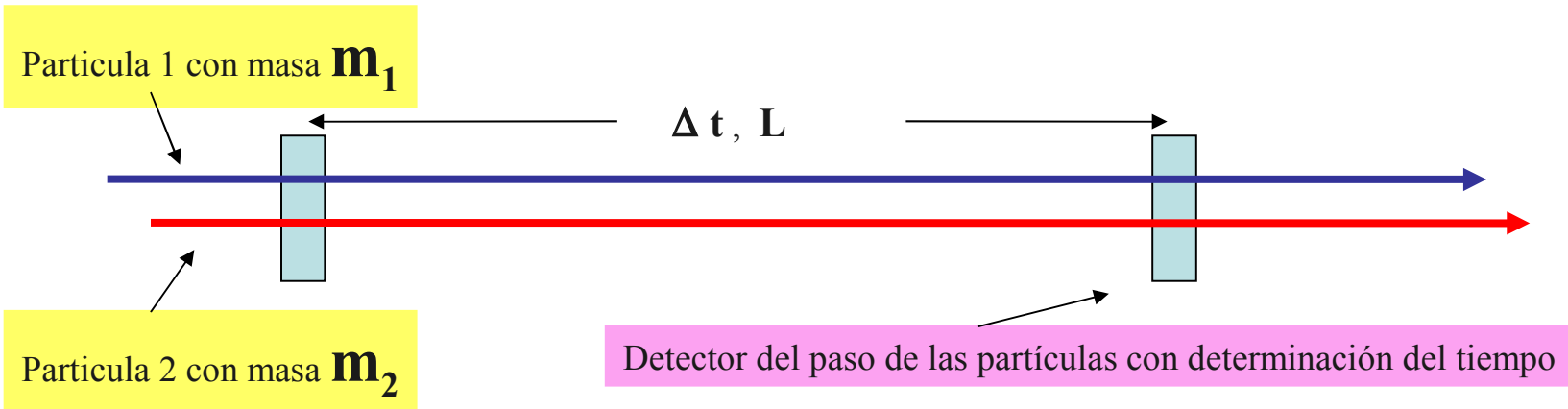
teams involved in the project:
Bari, CERN, INR-Moscow, RBI-Zagreb

Cost 21 MCHF (CORE) + 0.13 MCHF (CtC)

Detectores de “Tiempo de vuelo” (Time Of Flight), TOF

Método

- medir el tiempo Δt de recorrido de una partícula entre dos puntos
- medir la distancia L entre los puntos.



$$\sim \Delta t = (Lc/2p^2) \times (m_2^2 - m_1^2)$$

La separación entre las masas m_1 y m_2 depende de la precisión de medida de Δt (~ 100 ps), L y P

Separación de masas en el TOF de ALICE

$$M = p \sqrt{t^2 c^2 / l^2 - 1}$$

t=tiempo de vuelo
l=longitud de la trayectoria

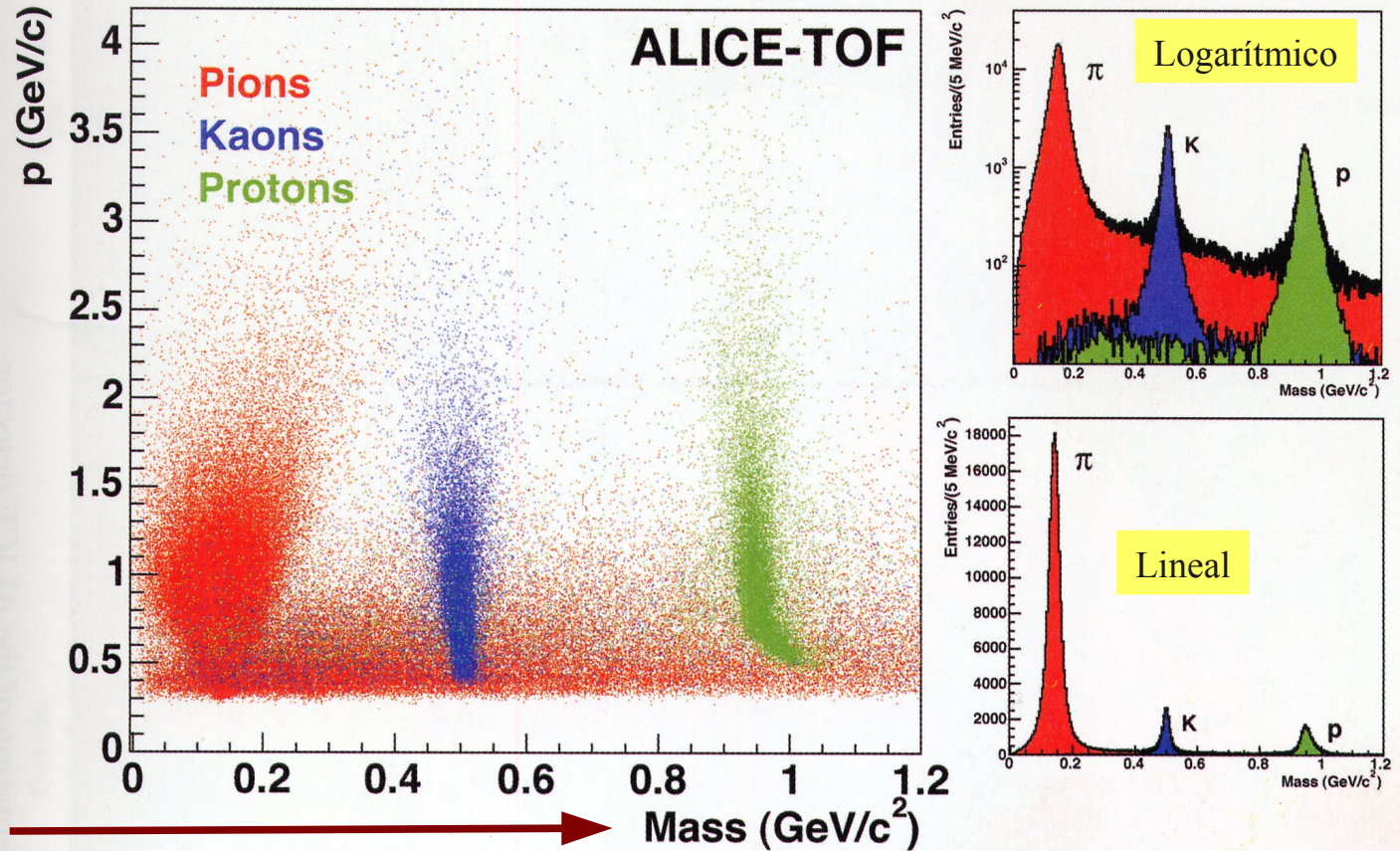
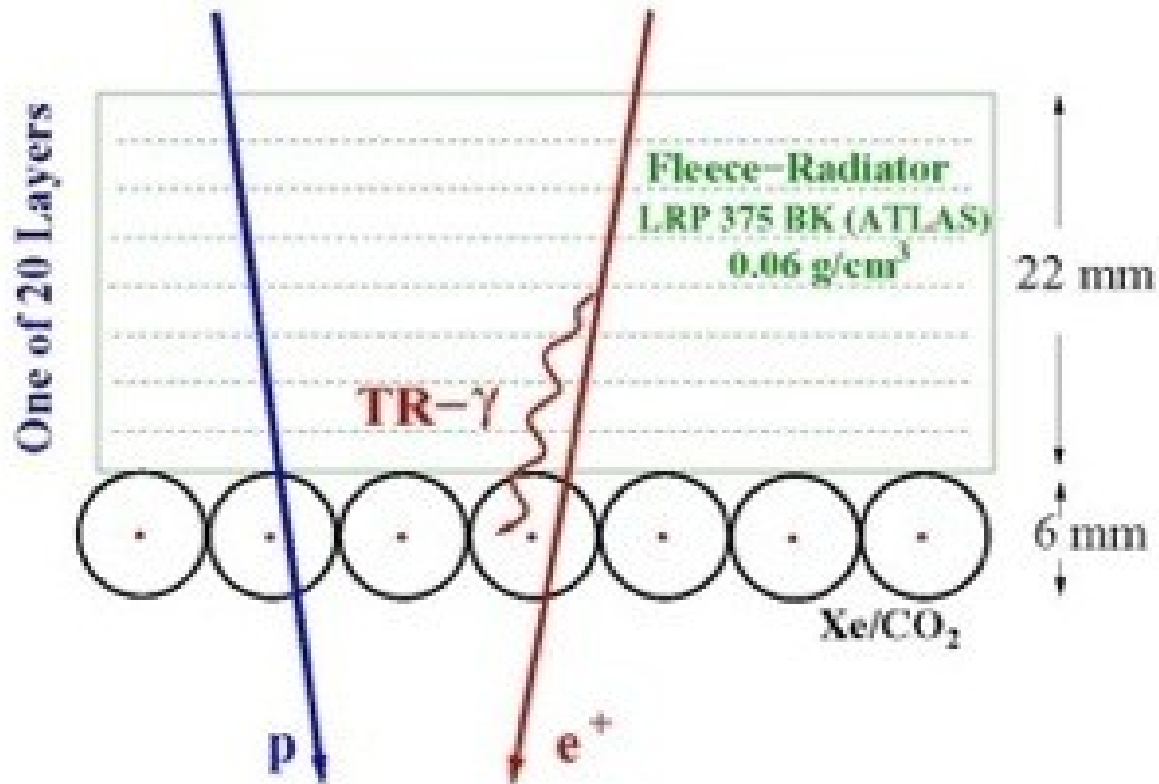


Figure I: Mass separation as a function of momentum with the TOF detector, for 200 HIJING central Pb–Pb events and with a simulated overall TOF time resolution of 80 ps. The corresponding mass distribution for $0.5 < p < 4.2$ GeV/c is shown on the right, on a logarithmic (upper plot) and linear (lower plot) scale. The distributions from pions, kaons and protons are respectively indicated by the red, blue and green histograms, while the black histogram represents the inclusive distribution from all particle species.

Efecto de Radiación de transición



Transition Radiation Detector (TRD) de ALICE

La radiación de transición es emitida por una partícula cargada relativista que atraviesa una interfase con constantes dieléctricas distintas.

Destinado a la identificación de electrones de alta energía

- muy débil : ~ 0.01 fotón por superficie atravesada.

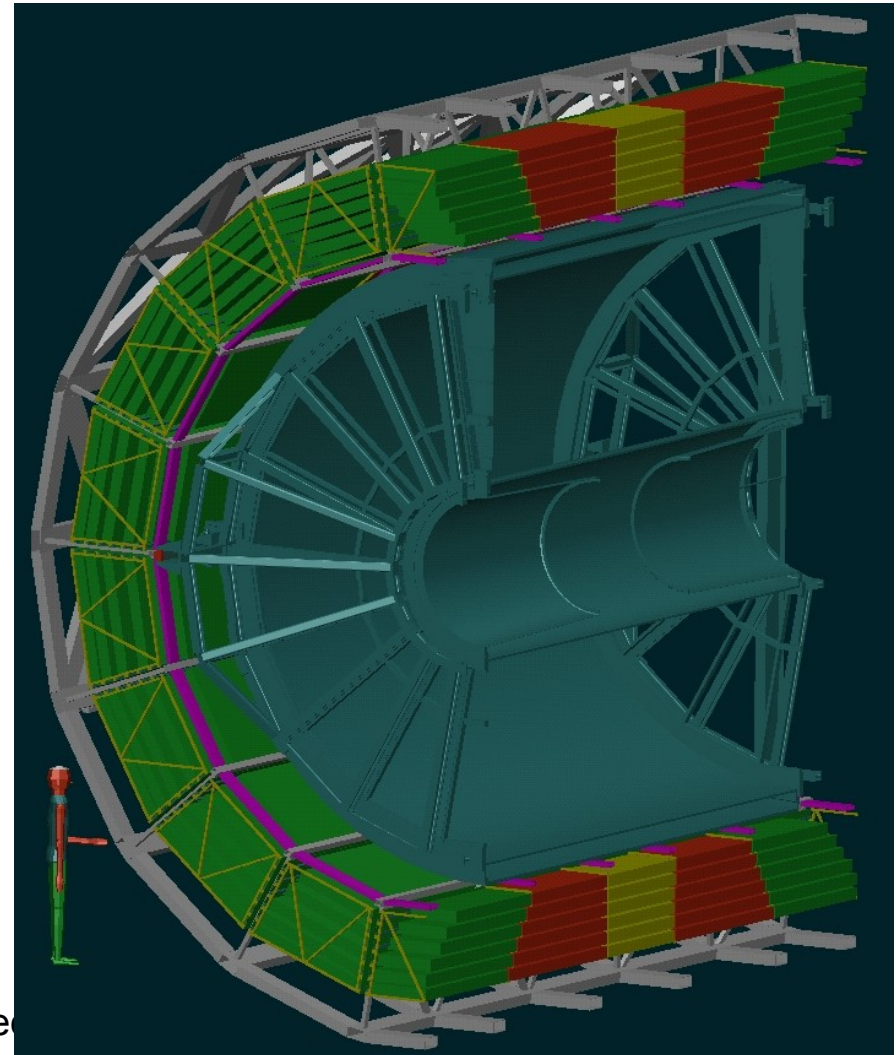
- La intensidad de fotones (región de rayos X) es $\sim \gamma$

- El ángulo máximo de emisión $\theta_{\max} \sim 1/\gamma$

-El detector puede estar hecho de $\sim 10^5$ hojas de 10->100 mm con separaciones de 100 ->1000 mm. (aunque en ALICE la técnica es distinta y se usan materiales porosos)

El material debe tener bajo Z para evitar la absorción de los rayos X (Litio, $Z=3$, por ejemplo) y alta densidad.

Los rayos X son detectados ,por ej : por una MWPC Dete



Detectores que miden directamente la energía: Calorímetros

Son “destructivos” ya que están contruidos de modo que las partículas en rangos de momento para los que han sido diseñados dejen toda su energía en ellos.

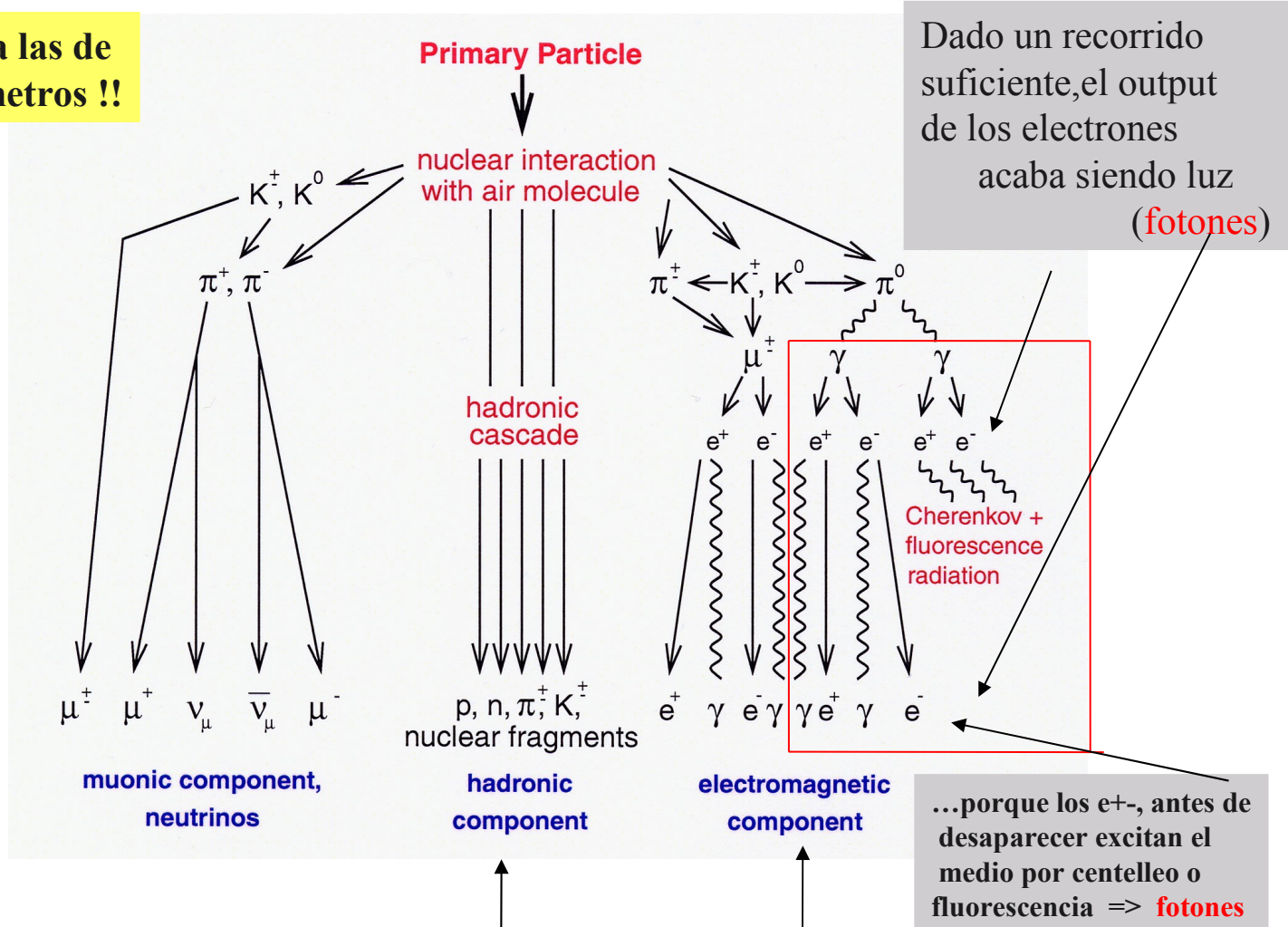
Electromagnéticos : para electrones y fotones

Hadrónicos : para hadrones cargados y neutros:
 π , k , protones ,neutrones, “antis” y fragmentos nucleares.

La pérdida de energía se traduce al final en excitación de los núcleos del detector por interacción EM o fuerte y emisión de luz que se recoge en plásticos de centelleo, se transmite por fibra óptica o guías de luz a fotomultiplicadores cuya rápida respuesta les hace apropiados para formar parte de un “trigger”

Estructura de un "shower"(cascada) producido por un radio cósmico en la atmósfera.

Similares a las de los calorímetros !!



Avalancha hadrónica

Avalancha electromagnética

Calorimetría electromagnética

Los fotones interactúan con la materia por :

Absorción fotoeléctrica (la probabilidad va como $1/E^3$)

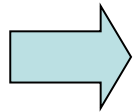
Compton “scattering” (la probabilidad va como $1/E$)

Producción de pares $e^+ e^-$ (para $E > 10 \text{ MeV}$, es independiente de E , y es dominante.)

Los EMCAL se construyen con materiales de alto Z y reducida X_0 , de modo que la avalancha quede contenida en un volumen reducido (contrario a las avalanchas EM de los cósmicos, que se propagan a toda la atmósfera !!)

Un material usual es el “vidrio de plomo”, (PbO , 45%, SiO_2)

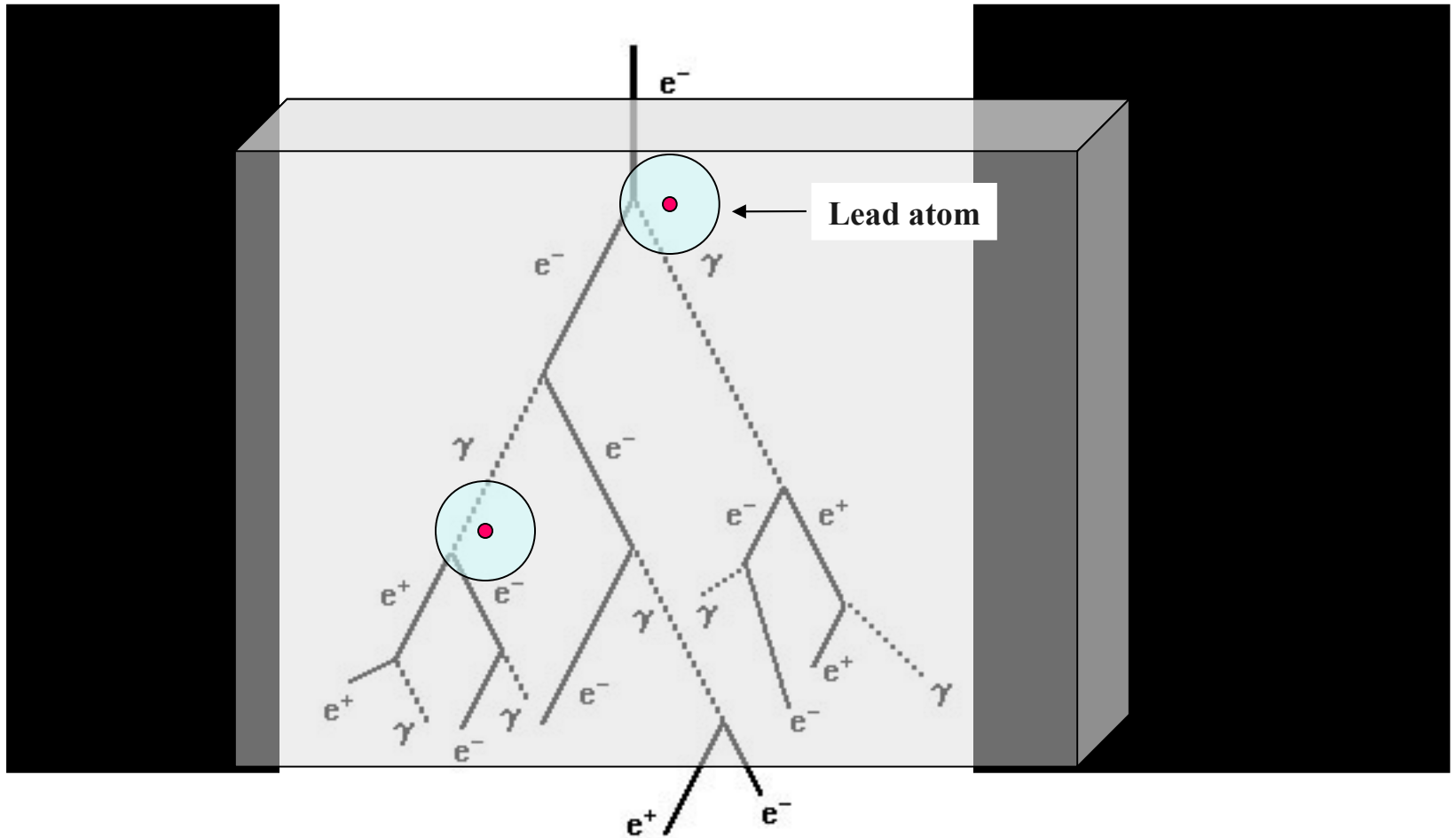
La resolución es típicamente :



$$\Delta E / E = 0.05 / \sqrt{E(\text{GeV})}$$

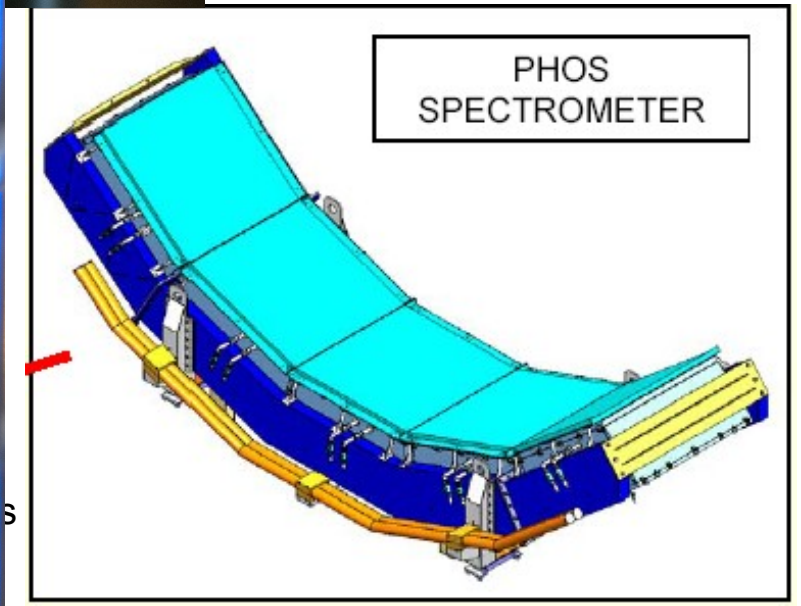
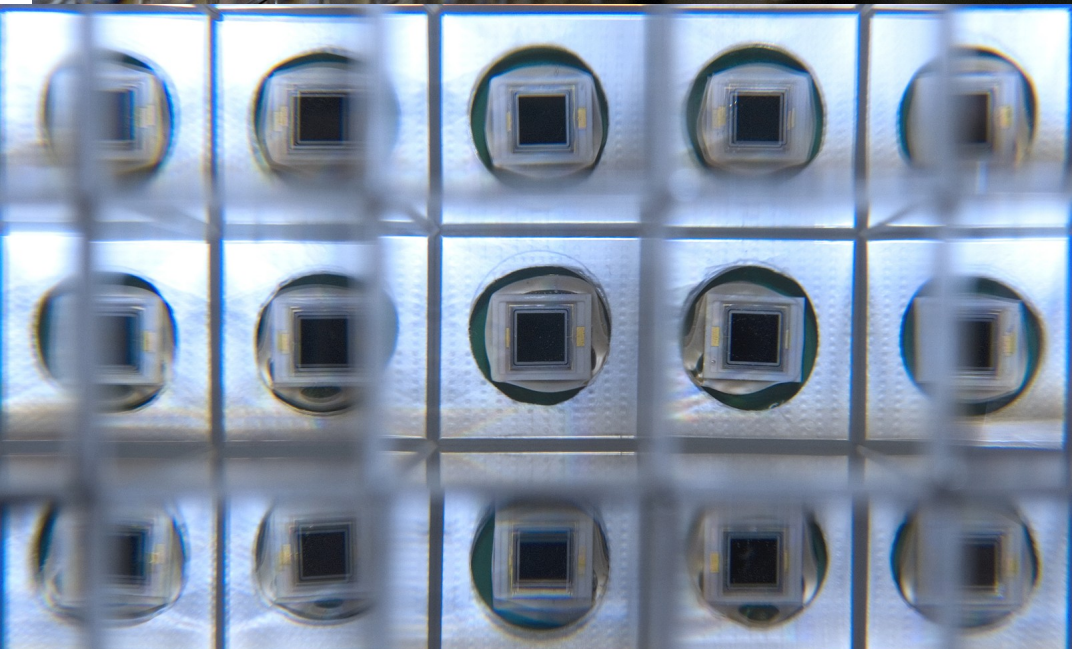
La luz producida se transmite a lo largo del detector cuyo material es transparente.

Calorímetros electromagnéticos



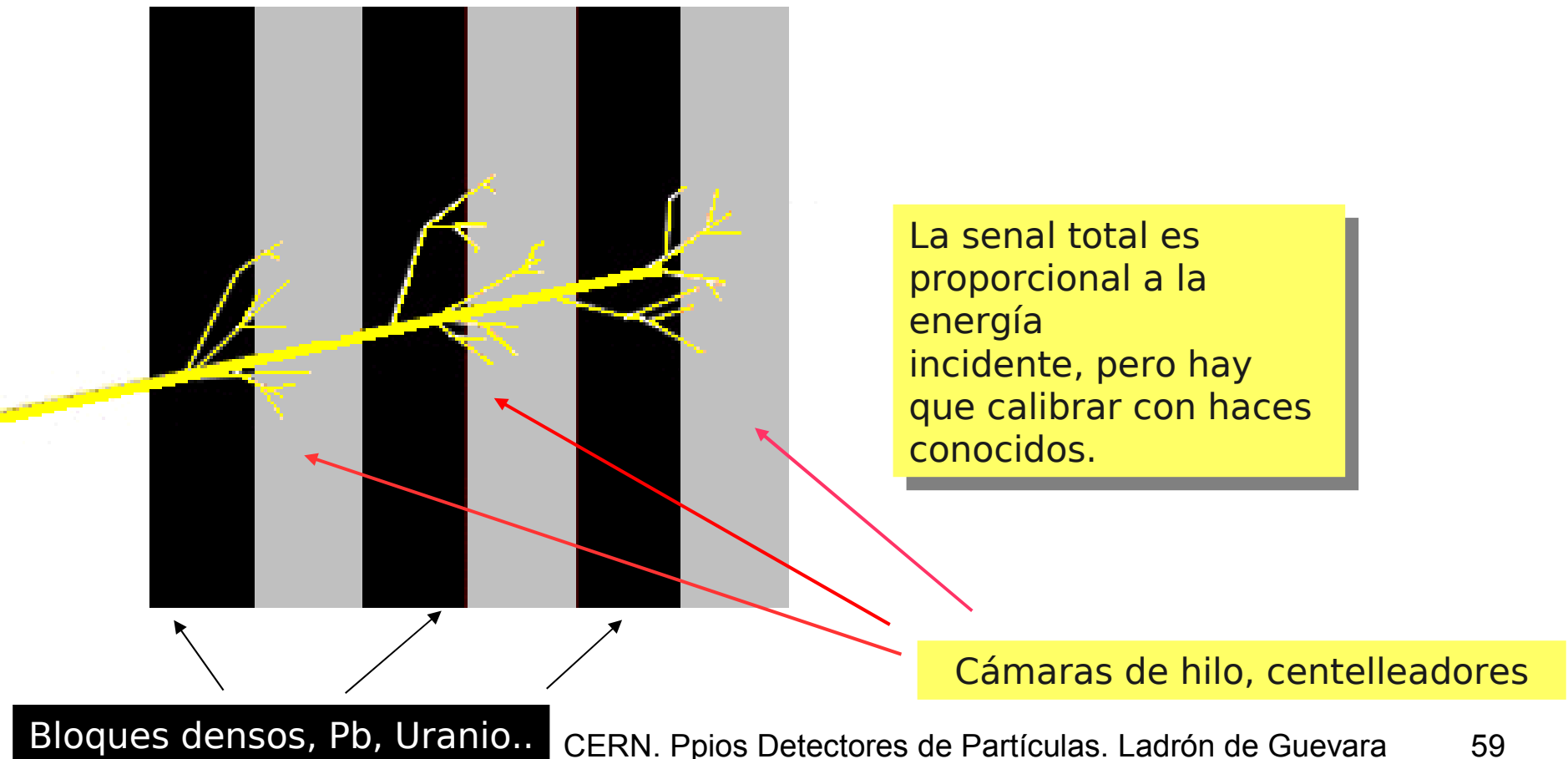


El calorímetro
Electromagnético
de ALICE :PHOS
“Photon
Spectrometer”



- Calorímetros hadrónicos de muestreo

Las partículas neutras y cargadas sufren interacciones fuertes (colisiones nucleares) en los bloques densos (negros) donde pierden energía y producen cascadas hadrónicas, que a su vez depositan energía hasta perderla parcial o totalmente. Los productos cargados excitan los centelleadores intermedios y producen luz cuya intensidad es proporcional a la energía de la partícula. La luz se conduce por “guías de luz” a fotomultiplicadores, diodos... detectores que miden la luz y en proporción, la energía incidente.



Estructura del “Zero Degree Calorimeter” de ALICE
Observese que las senales de luz se dirigen mediante
“Guías de Luz” a un conjunto de fotomultiplicadores

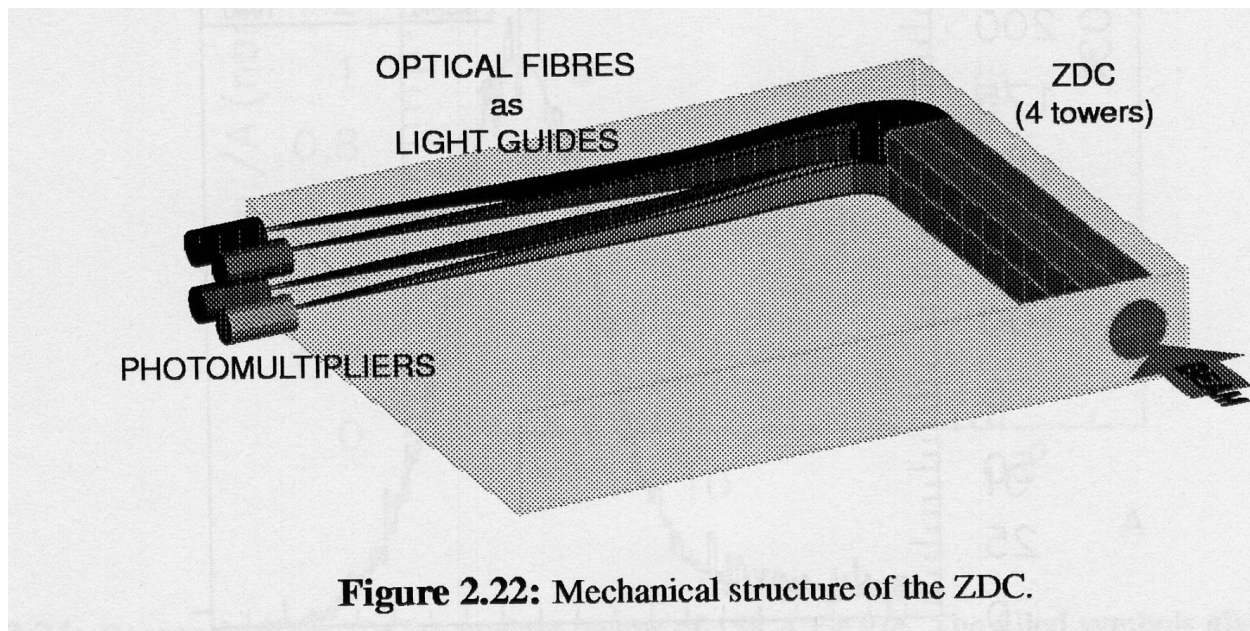


Figure 2.22: Mechanical structure of the ZDC.

Estudiamos los detectores de luz :

- detectores de centelleo
- fotomultiplicadores.

Son esenciales para la

- Calorimetría
- Triggers basados en la detección de luz (Double Chooz, ICARUS)
- En los experimentos de radiación cósmica.

Los detectores de centelleo

Transparentes, de dos tipos :

- Orgánicos (~ 1 ns de deexcitación) => los más usados en HEP
- Inorgánicos (Ioduro de Sodio...) (~ 250 ns de deexcitación)

Proceso

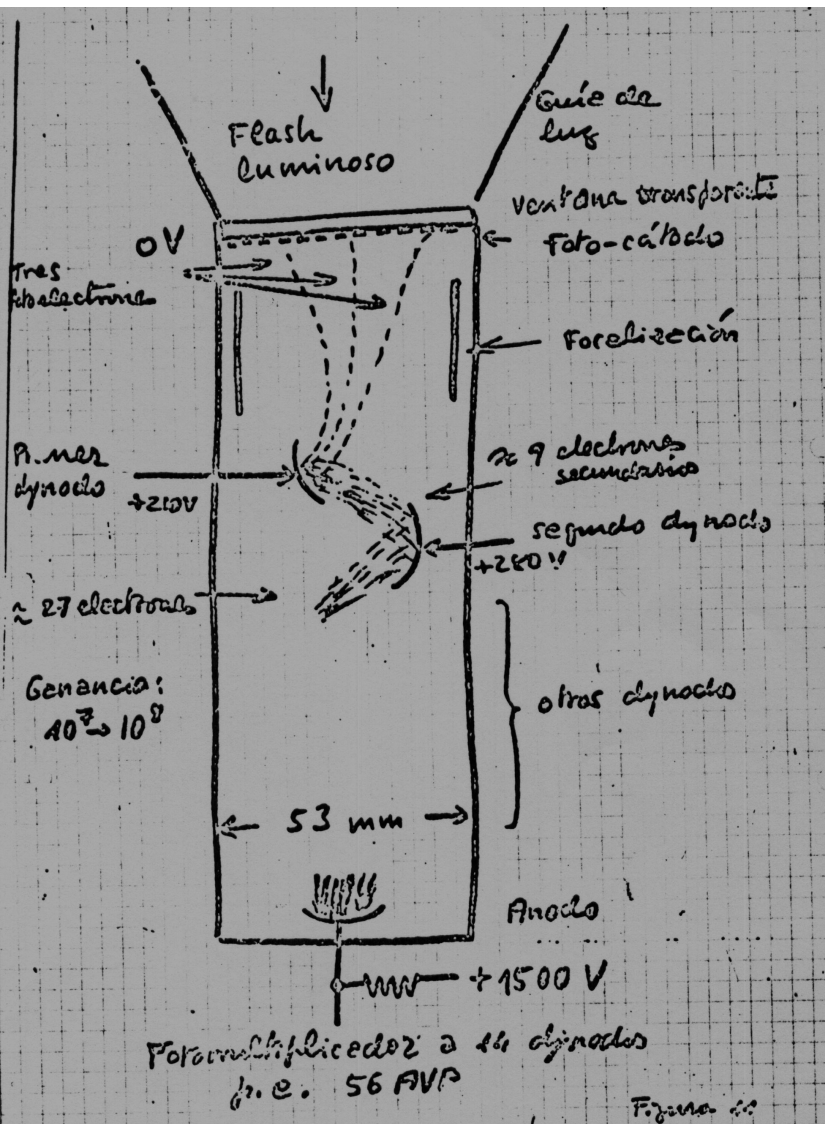
Excitación de los átomos por el paso de partículas ionizantes => **centelleo**

La luz se transporta por “guías de luz” o por fibra centelleadora a un receptor-amplificador.,

Suele ser un fotomultiplicador

Un **fotomultiplicador** es un recipiente al alto vacío, con un fotocátodo que recibe los fotones y los convierte en electrones. Estos son dirigidos a los diversos dinodos por diferencia de potencial. En cada dinodo se multiplica el número de electrones hasta alcanzar ganancias de varios órdenes de magnitud, según el HV y el número y la calidad de los dinodos.

El fotomultiplicador



Un fotomultiplicador típico

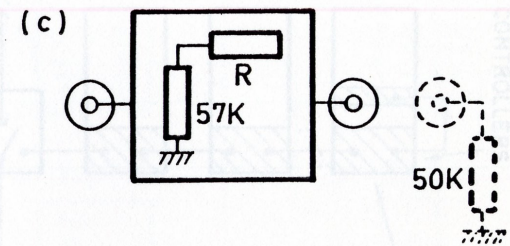
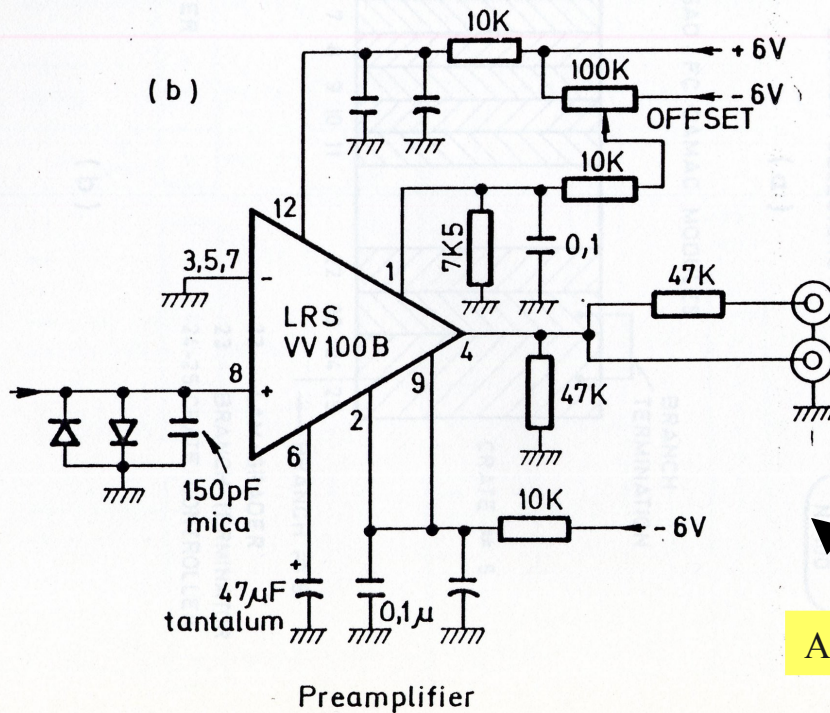
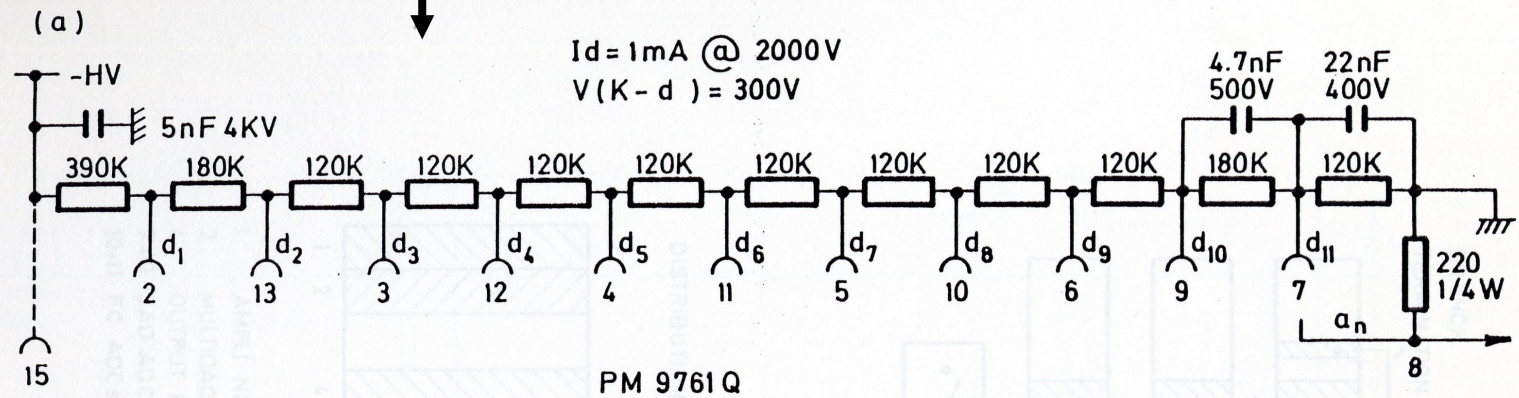
Electrónica

-1500 V
 210V 210 k Ω
 70V 70 k Ω
 70V 70 k Ω
 cátodo
 14 dinodos
 vacío
 1mA
 380V 380 k Ω
 ánodo
 50 Ω
 cable coaxial
 50 Ω

Salida de la señal:
 El cable coaxial con 50 Ω / m de impedancia característica
 $\frac{1}{c} = 50 \Omega / m \Rightarrow \omega = 2\pi f \Rightarrow f \ll 10^9 \text{ Herz}$
 con una velocidad de transmisión $c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \mu}}$
 $\frac{1}{c} \approx 3.3 \text{ ns/m}$

Funcionamiento

Cadena de multiplicación de un fotomultiplicador típico

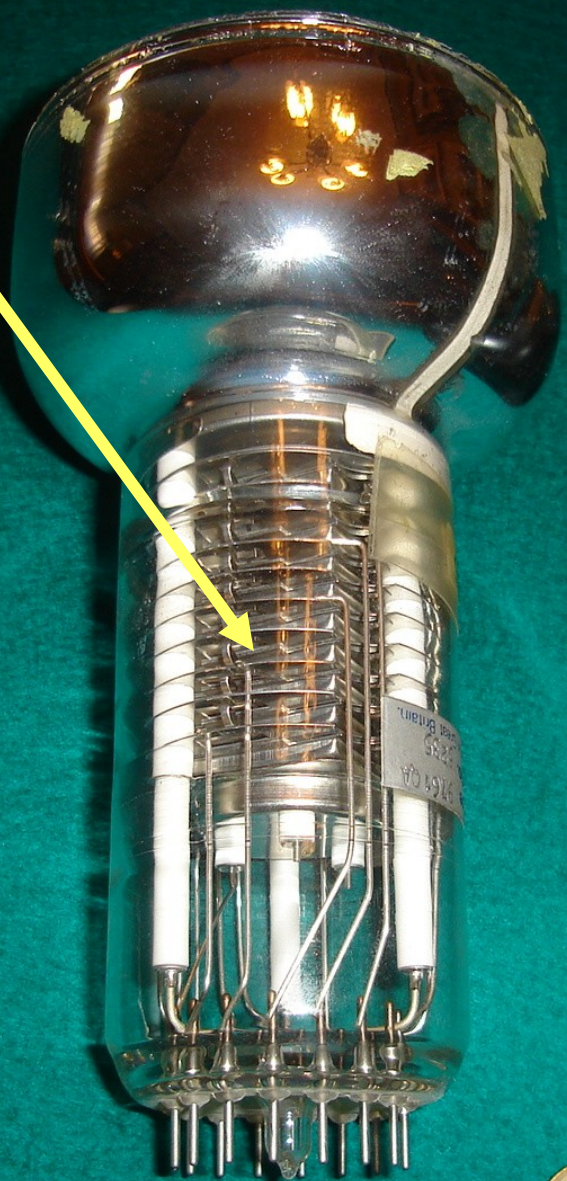


Amplificador

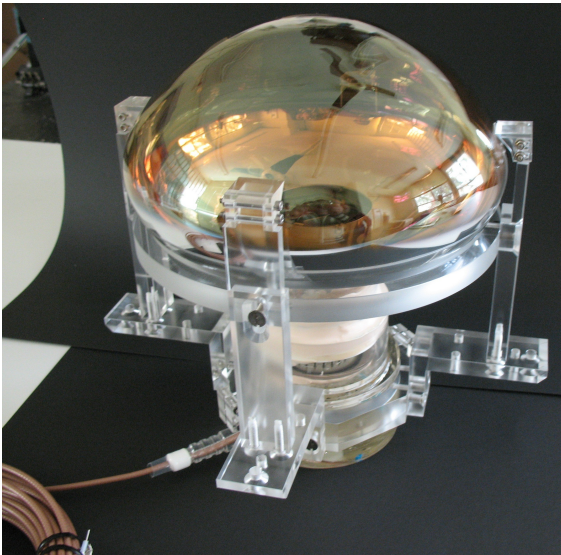
Atenuador

Fig. 7. 7

Apréciese la cadena de dinodos

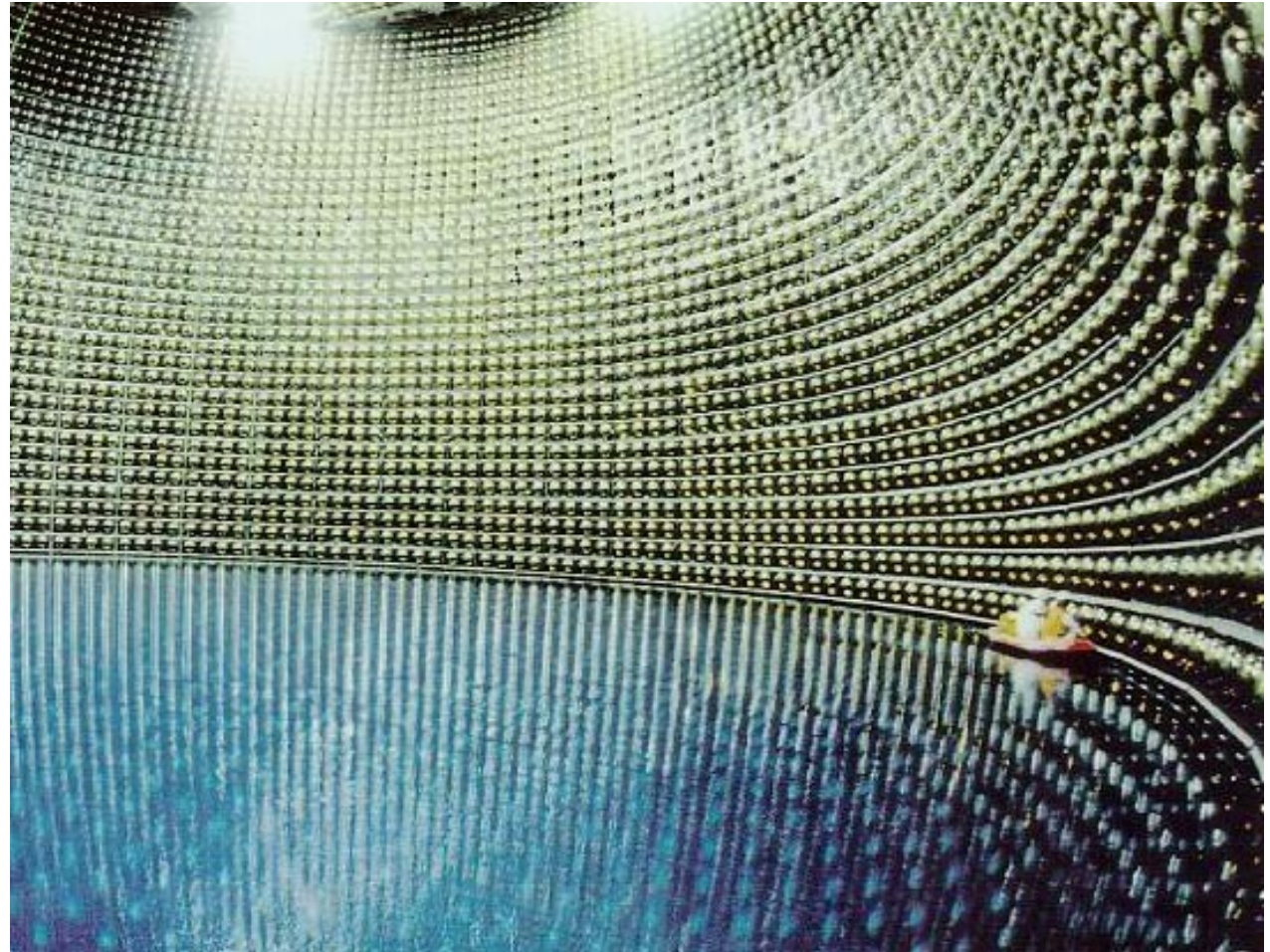


Hamamatsu R7081 – 10”



El detector de agua Super Kamiokande para la detección de muones solares , atmosféricos y provenientes de haces.

Las paredes están cubiertas de fotomultiplicadores que detectan la luz Cerenkov de los secundarios



Qué hacemos con los muones ?

Los muones son partículas de interacción débil y electromagnética. Pueden atravesar grandes cantidades de materia y por eso su selección se hace “filtrando” las otras partículas.

Cámaras de muones de CMS : Entre el vértice de colisión y las cámaras hay un calorímetro EMCAL y un HCAL, bastante materia para que nada llegue a las cámaras de deriva (llamadas “de muones”) salvo los **muones**. Su interacción EM con la materia permite seguir la trayectoria y su única desviación es el scattering múltiple.

Su detección formará parte esencial en la física del Higgs.

En ALICE hay un complejo espectrómetro de muones para detectar la desintegración del $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$, que es esencial en la búsqueda del “Quark Gluon Plasma”

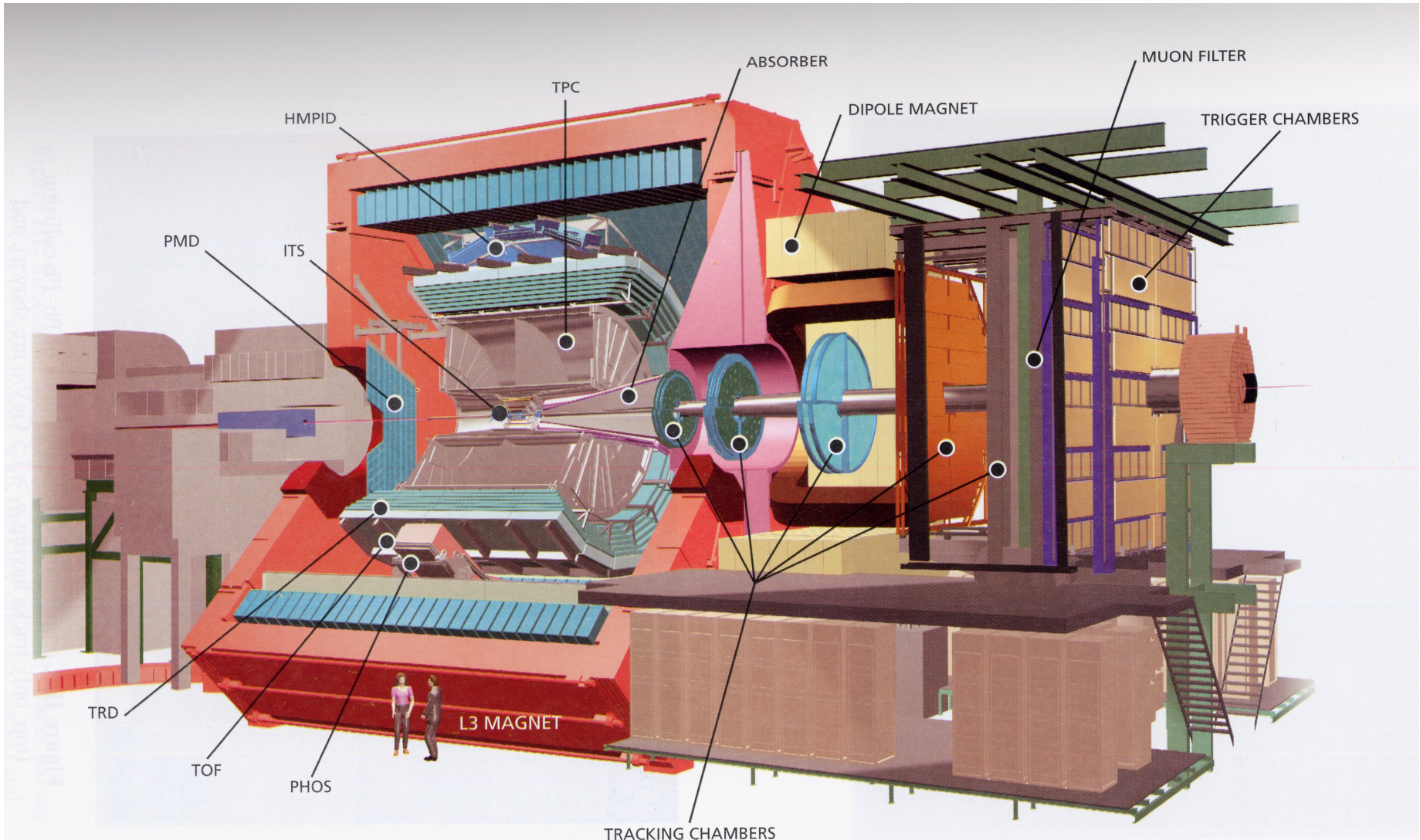


Figure I: Layout of the ALICE detector.

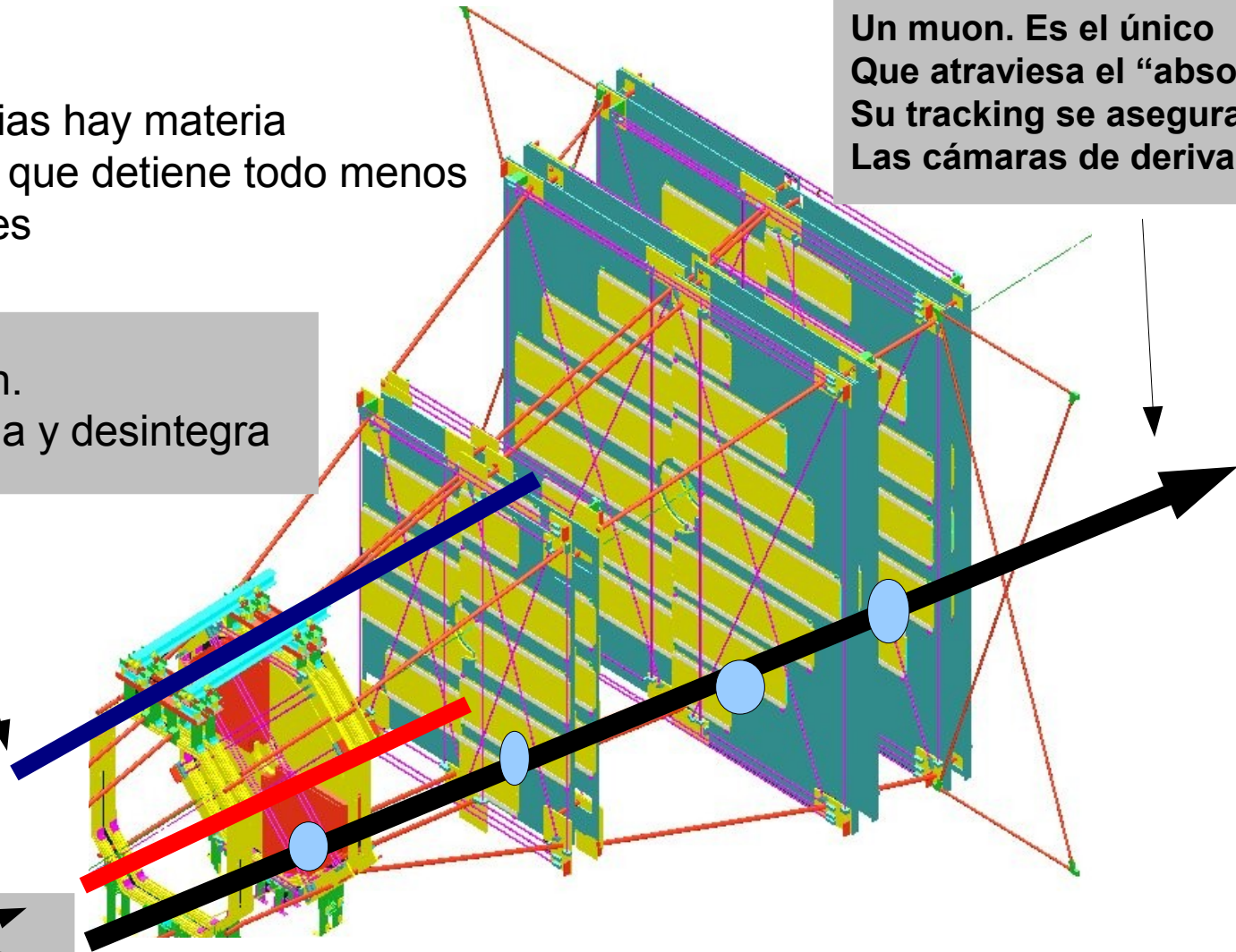
Muon Tracking

Entre medias hay materia
“absorber” que detiene todo menos
Los muones

Un muon. Es el único
Que atraviesa el “absorber”
Su tracking se asegura por
Las cámaras de deriva intermedias

Un pion.
Se frena y desintegra

Un protón.
Se detiene



Queda mucho por decir, sobre los sistemas de selección de interacciones (“triggers”), sobre los sistemas de control de calidad de los datos (“monitoring”), sobre los sistemas de recogida de las señales y su digitalización, sobre el almacenamiento y proceso de la información obtenida, etc.,etc,...

pero eso es otra historia...

Gracias por su atención !!

Backup

Pasado inmediato 1995-97

BESS

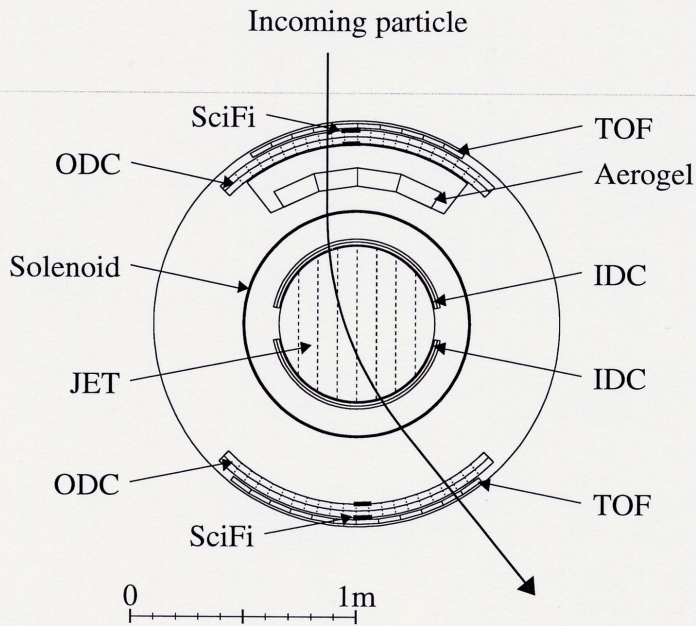
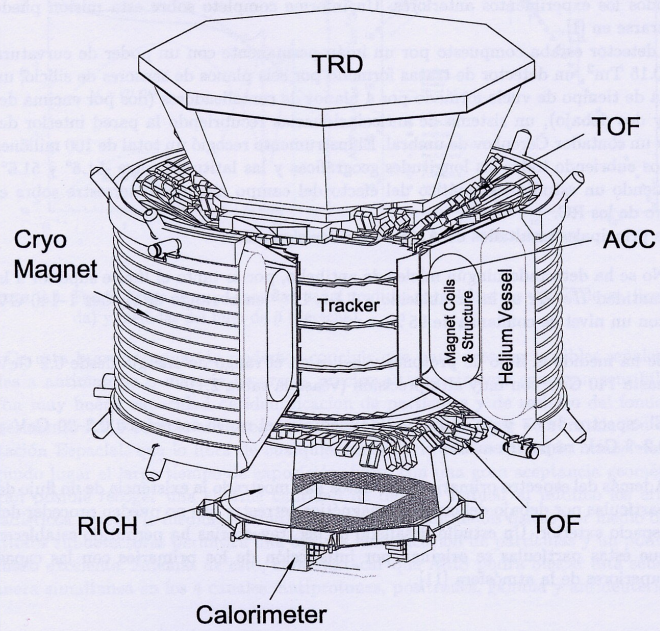


Fig. 1. Cross-sectional view of the BESS-TeV spectrometer.

Futuro próximo: 2007 ?

AMS 02
(Alpha Magnetic Spectrometer)



A look over the systems of units (I)

Chose your fundamental magnitudes:

In classical mechanics the usual system of units has as fundamental units:

Length

Mass

Time

In this system the velocity dimensional formula is: $[V] = [L] [T]^{-1}$

The **a**cceleration: $[a] = [V] [L]^{-1} = [L] [T]^{-2}$

The **S**trengh or **F**orce : $[F] = [M] [A] = [M] [L] [T]^{-2}$

The **E**nergy (work) : $[E] = [F] [L] = [M] [L]^2 [T]^{-2}$

This way we can express every magnitude in terms of the fundamental units...

But there are other possible and more convenient systems in particle physics for example the system where the fundamental units are the:

A look over the systems of units (II)

The **L**ength must be expressed by means of **E,A,V** but we must learn how.

$$\text{We set } [\mathbf{L}] = [\mathbf{E}]^a [\mathbf{A}]^b [\mathbf{V}]^c$$

[1]

We take as intermediate units the “usual ones”: **L**enght, **M**ass, **T**ime

$$[\mathbf{L}] = [\mathbf{M} \mathbf{L}^2 \mathbf{T}^{-2}]^a [\mathbf{M} \mathbf{L}^2 \mathbf{T}^{-1}]^b [\mathbf{L} \mathbf{T}^{-1}]^c = [\mathbf{L}]^{2a+2b+c} [\mathbf{M}]^{a+b} [\mathbf{T}]^{-2a-b-c}$$

[2]

Solving: $2a+2b+c = 1$; $a+b = 0$; $2a+b+c = 0 \rightarrow a = -1, b = 1, c = 1$

$$[\mathbf{L}] = [\mathbf{E}]^{-1} [\mathbf{A}] [\mathbf{V}]$$

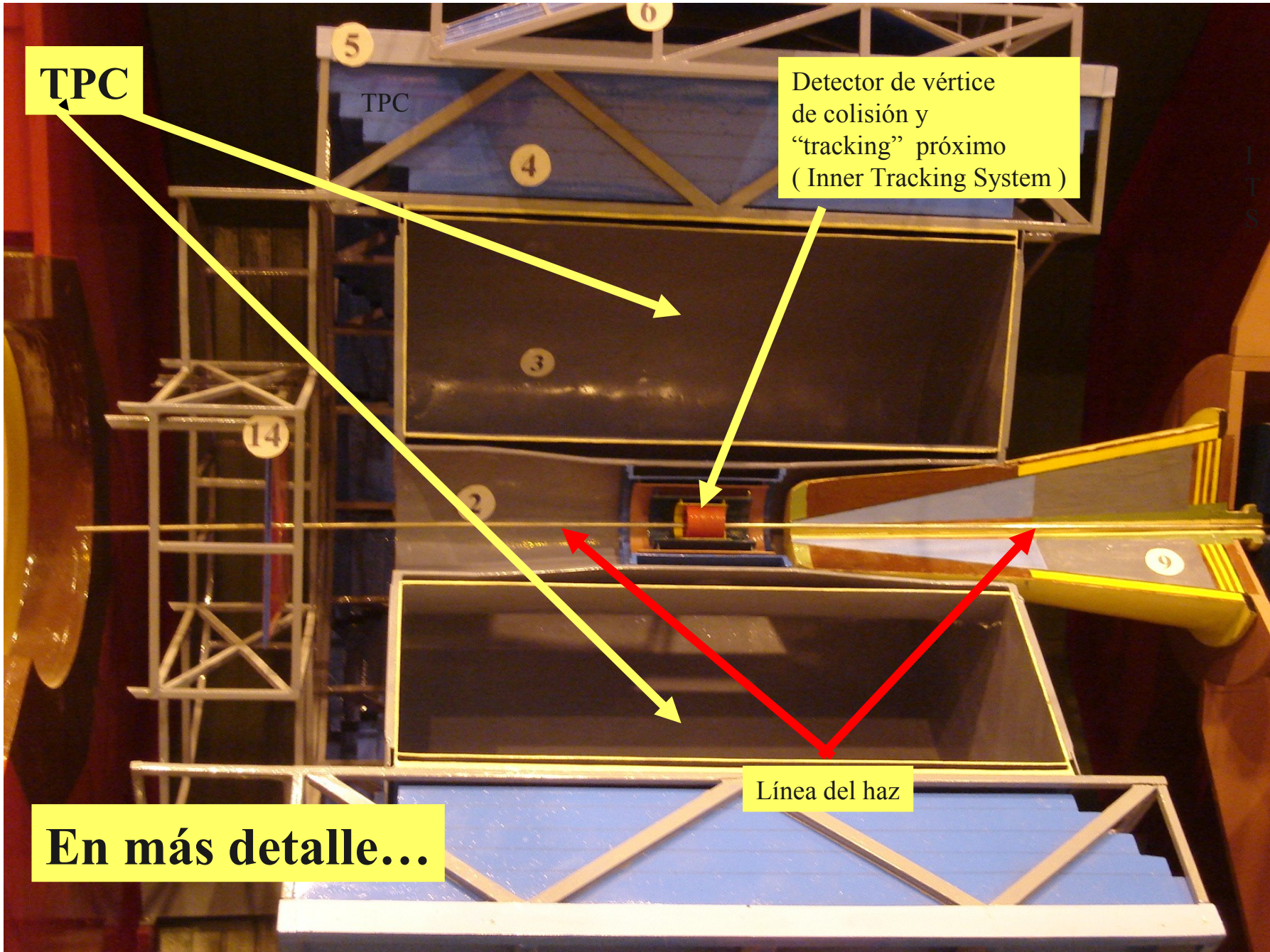
TPC

TPC

Detector de vértice de colisión y
“tracking” próximo
(Inner Tracking System)

Línea del haz

En más detalle...



Detector de vertice



S
i
t
u
a
c
i
ó
n
d
e
l
d
e
t
e
c
t

- 1. Beam Tracking System (BTS)
- 2. Forward Multiplicity Detector (FMD)
- 3. Time Projection Chamber (TPC)
- 4. Forward Radiation Detector (FRD)
- 5. Time Of Flight (TOF)
- 6. High Momentum Particle Identification (HMPI)
- 7. PHOS Spectrometer / Charged Particle Veto (PHOS/CPV)
- 8.3 Magnet
- 9. Magnet
- 10. Tracking Chambers
- 11. Mass Filter
- 12. Trigger Chambers
- 13. Dipole Magnet
- 14. Photon Multiplicity Detector (PMD)

Maqueta de ALICE

