Diseño y Estudio de cámaras de deriva para el detector CMS de LHC

Jorge Mocholí Moncholí

- El trabajo se enmarca en el Proyecto de construcción de una parte del Detector Central de muones de CMS (Compact Muon Solenoid).

- CMS es uno de los experimentos del futuro colisionador LHC (Large Hadron Collider) que substituirá al actual LEP en el CERN (Ginebra).

- Los experimentos asociados a LHC, entre los que se encuentra CMS, utilizarán las prestaciones de luminosidad, energía de colisión en el centro de masas y frecuencia de cruce de haces que ofrece este colisionador, para investigar aspectos fundamentales del Modelo Estándar.

- El trabajo realizado ha supuesto el diseño de prototipos de cámaras de deriva para el Detector Central de muones, su construcción, puesta a punto, toma de datos en haces de prueba en el CERN y estudio de los datos obtenidos.

- Los prototipos han cumplido con las prestaciones requeridas en CMS y sus resultados han sido publicados en diversas revistas.

❏J. Berdugo *et al* Construcción de un prototipo de cámara de deriva para el experimento CMS, Informe Técnicos Ciemat 828 Mayo, 1997.

❏J. Berdugo *et al* Results obtained with a Drift Chamber Prototype in the CERN H2 test beam area, Informe Técnicos Ciemat 833 Septiembre, 1997.

❏A. Benvenuti *et al.*, Simulations in the barrel Muon Chambers for the CMS detectors at LHC, Nucl. Instr. and Meth. A 405 (1998) 20.

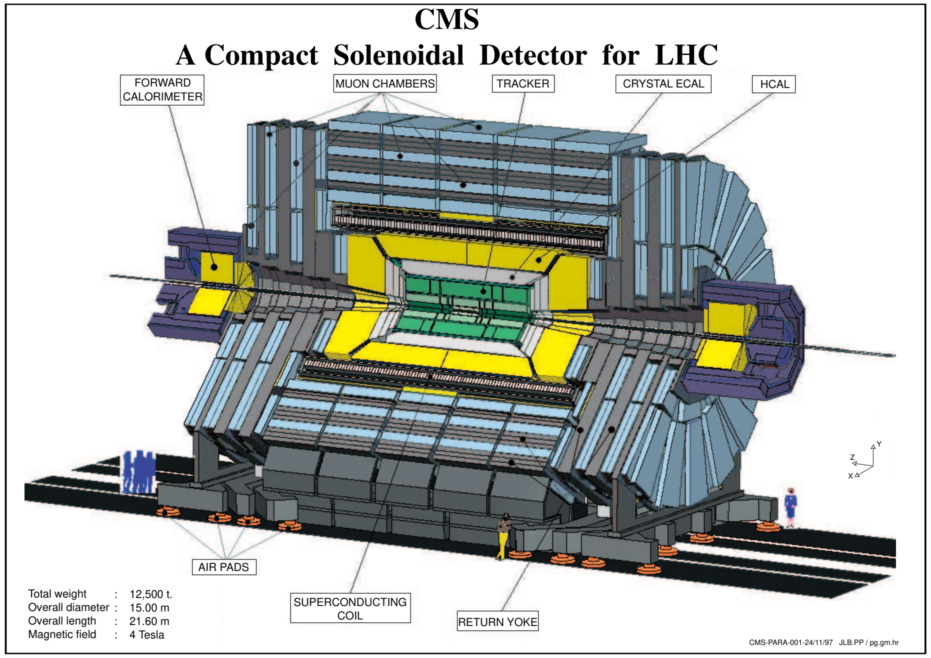
❏M. Benettoni *et al.*, Performance of the drift tubes for the barrel muon chambers of the CMS detectors at LHC. Nucl. Instr. and Meth. A 410 (1998) 133.

❏M. Aguilar-Benítez *et al.*, Study of Magnetic Field Effects in Drift Tubes for the Barrel Muon Chambers of the CMS Detector at the LHC, enviado a Nucl. Instr. and Meth. A.

❏M. Aguilar *et al.*, Performance and Mechanical Tolerances achieved with a full size prototype of a CMS Barrel Drift Tubes Muon Chamber, CMS Note 1998.

ÍNDICE

El Detector CMS en el colisionador LHC.



LHC

Número de paquetes	2835×2835
Protones/paquete	10^{11}
Energía del haz	7 TeV
Luminosidad	$10^{34} cm^{-2} s^{-1}$
Tasa se cruce	40 Mhz
Colisiones	10^{7}-10^{9} Hz

CMS

Peso total	12500 t
Diámetro	15 m
Longitud	21.6 m
Campo magnético	4 T

TRACKER

Detector de Píxeles de Silicio Microbandas de Silicio *Micro Strip Gas Chamber*	Medida del momento de partículas cargadas y de su parámetro de impacto en el plano R, Φ Reconstrucción de vértices secundarios Reconstrucción de jets

CALORÍMETRO ELECTROMAGNÉTICO

Cristales de $PbWO_4$	Medida precisa de electrones y fotones, y en cooperación con el calorímetro hadrónico de *jets*

CALORÍMETRO HADRÓNICO

Como material activo plásticos centelleadores, como absorbente planchas de Latón	Medida de la energía y de la dirección de *jets*, así como de la energía transversa faltante

CALORÍMETRO FORWARD-BACKWARD

Fibras de cuarzo insertas en bloques de acero	Contribuye a la medida de la energía transversa faltante en la región de pseudorapidez dada por $5 > \eta > 3$

DETECTOR DE MUONES

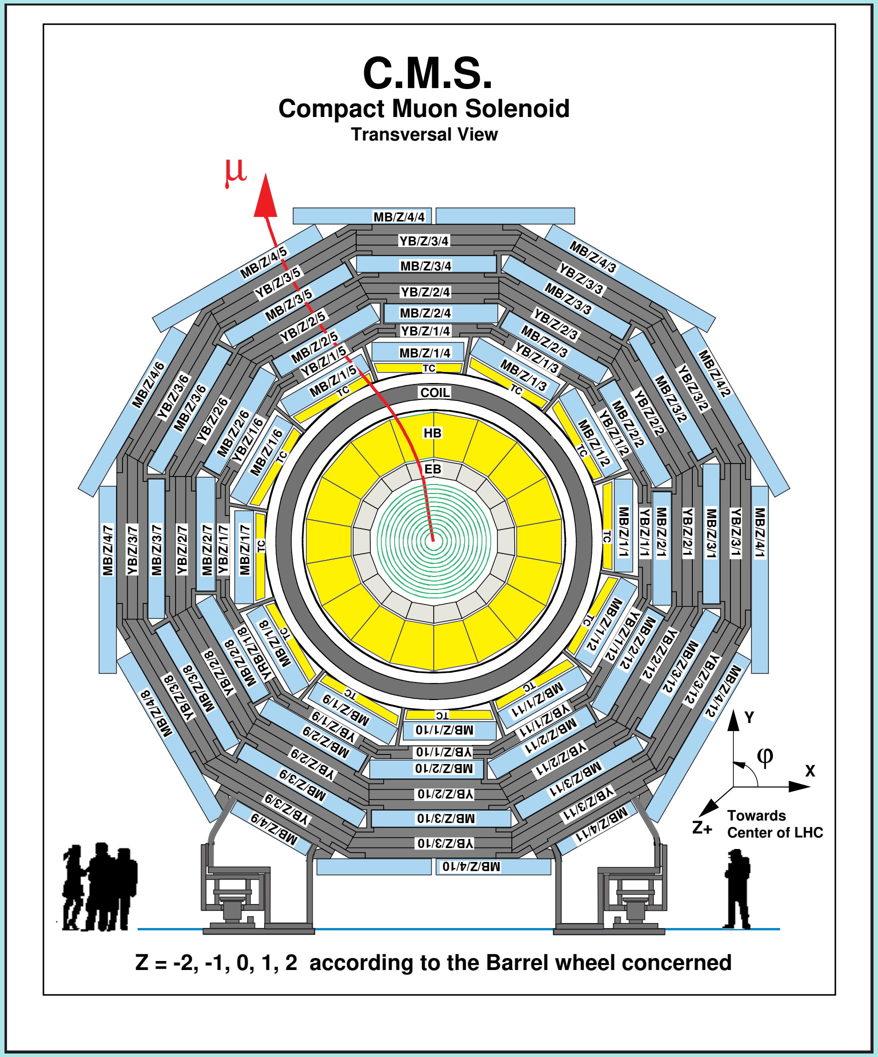
Se usarán dos tecnologías: Cámaras de deriva en el Detector central y *Cathode Strip Chambers* en los *Endcap*	Asegurar una detección eficiente de los muones para la región $\|\eta\| < 2.4$, medir su momento y proveer una condición de trigger
Resistive Parallel Plate Chambers acompañando a las cámaras del detector de muones	Contribuir a la resolución temporal del *trigger* local de las cámaras de muones

Radio de curvatura

$$\rho[m] = \frac{p[GeV/c]}{0.2998B[T]}$$

Resolución en el momento

$$\frac{\delta s}{s} = \frac{\delta p}{p} \propto \frac{\sigma[mm]\;p[TeV]}{d^2[m^2]B[T]}$$



Resolución en momento (DET MUONES+TRACKER)

$$p_t \simeq 10\ GeV \qquad \frac{\delta p_t}{p_t} \simeq 0.5 - 1\%$$

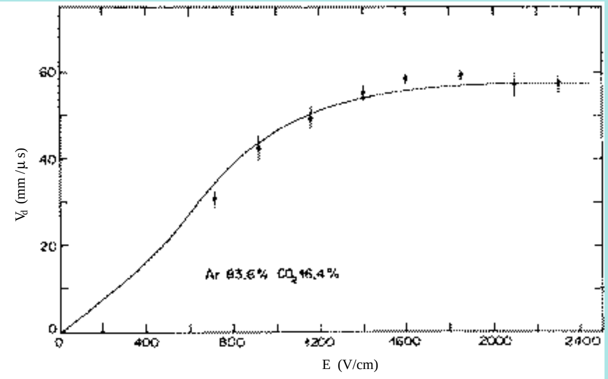
$$p_t \simeq 100\ GeV \qquad \frac{\delta p_t}{p_t} \simeq 1.5 - 5\%$$

$$p_t \simeq 1\ TeV \qquad \frac{\delta p_t}{p_t} \simeq 5 - 20\%$$

Propiedades necesarias de los gases en las cámaras de deriva

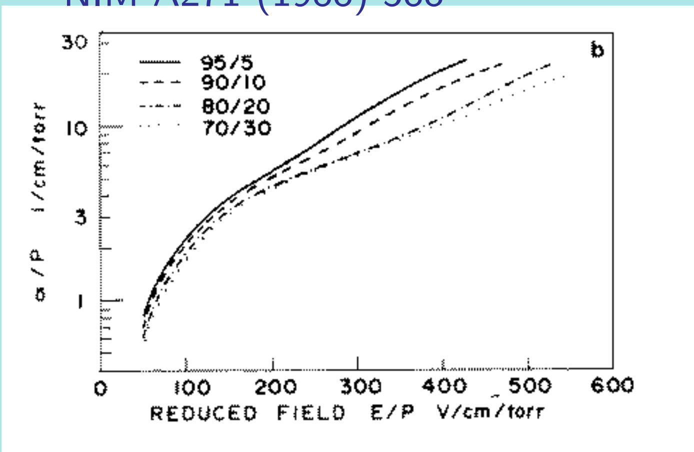
Velocidad de deriva constante y estable

G.Schultz U Louis Pasteur 1015 CRN/HF 76-15



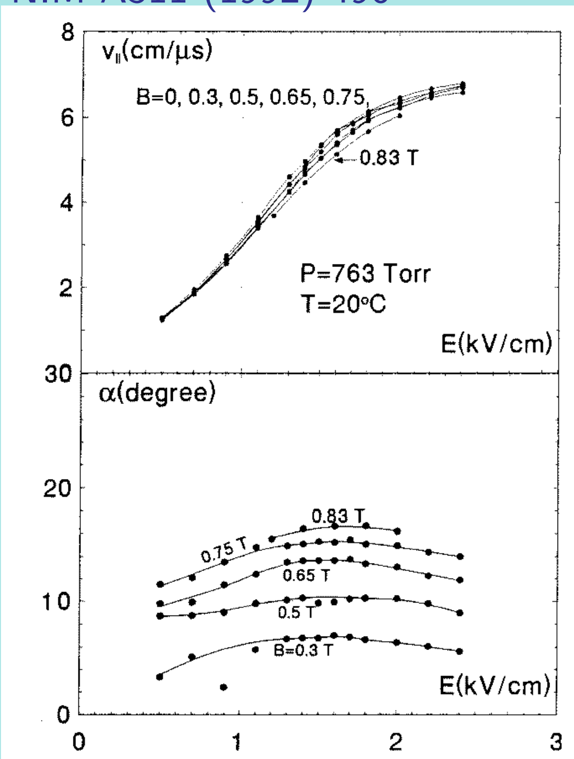
Buen comportamiento frente a la multiplicación

NIM A271 (1988) 588



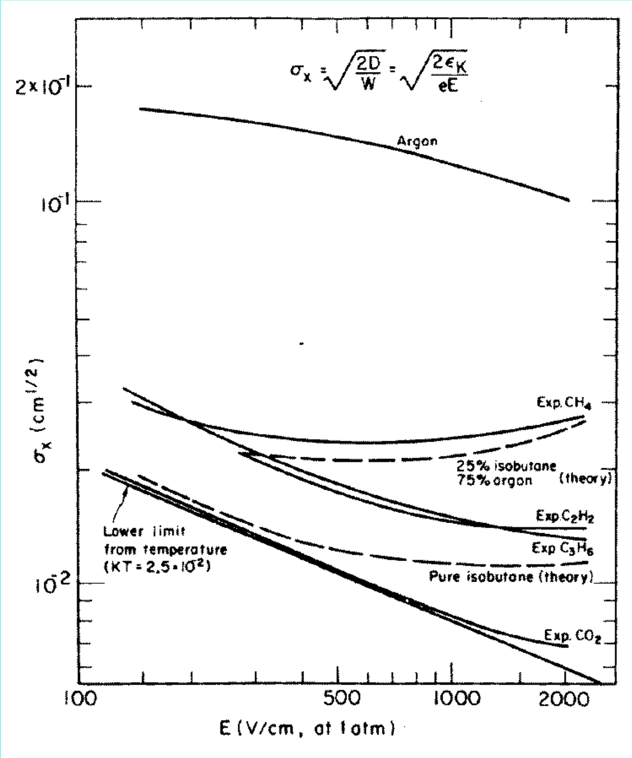
Buen comportamiento frente a un campo magnético

NIM A311 (1992) 490



Buen comportamiento de la resolución

NIM 128 (1975) 323



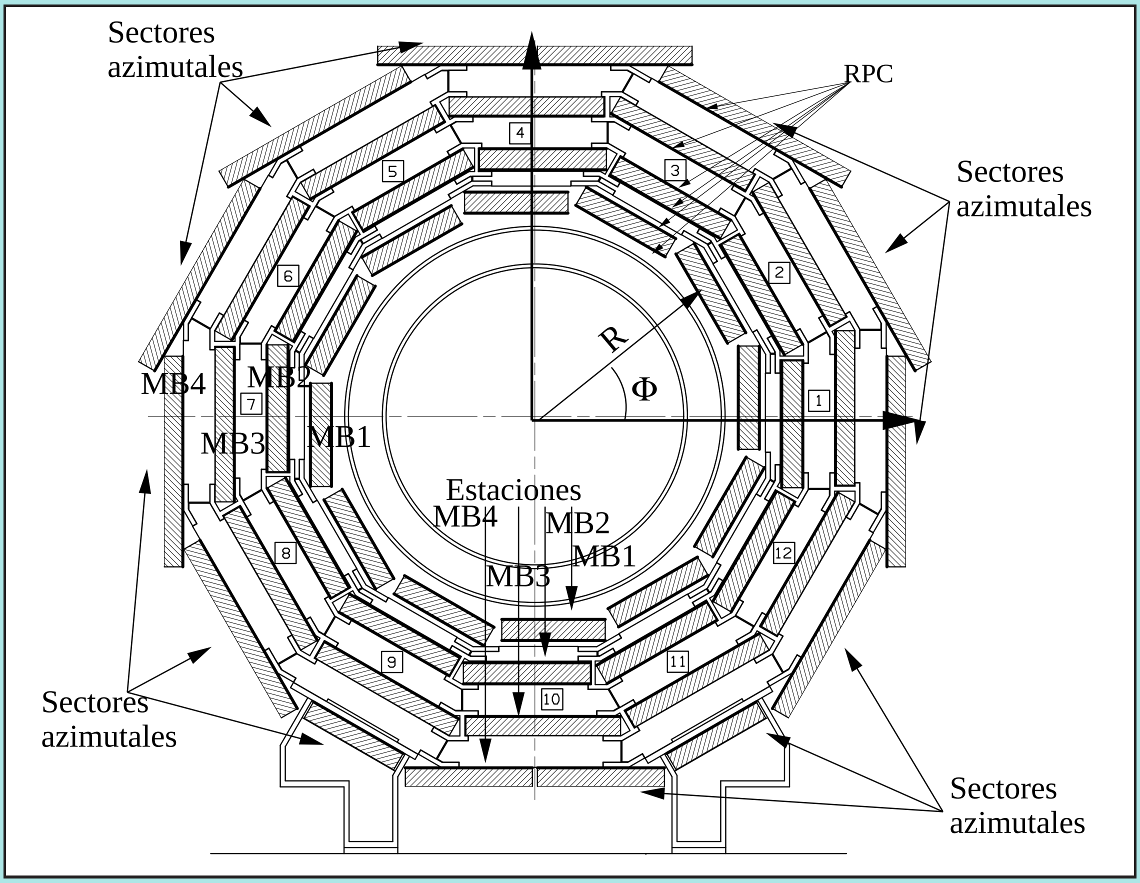
LAS CÁMARAS DE DERIVA EN EL DETECTOR CENTRAL DE CMS

El flujo de partículas esperado en el Detector central de CMS, así como el campo magnético residual, posibilitan el uso de cámaras de deriva.

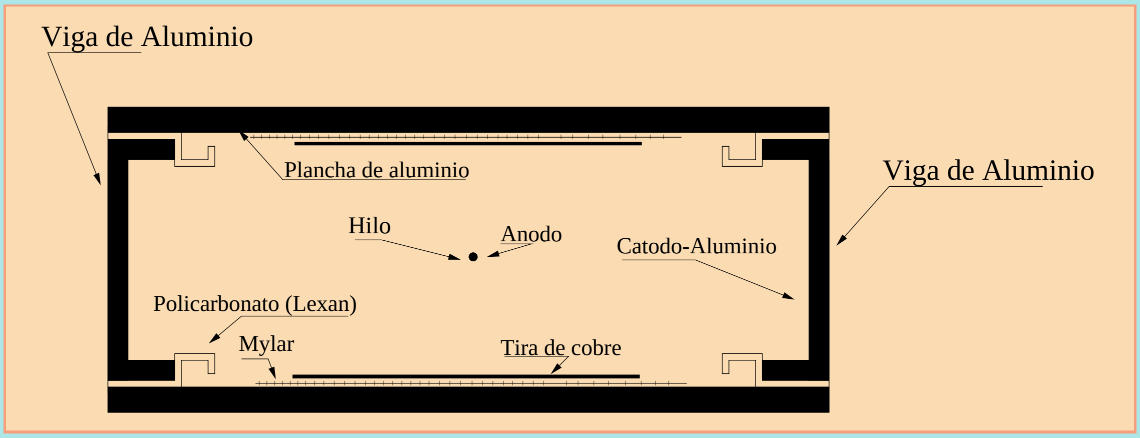
Asimismo el numero de canales en un diseño se ve limitado por factores económicos relacionados con la electrónica requerida. Y no puede disminuir comprometiendo el tiempo de deriva requerido para la detección.

Un tamaño de celda de $4\ cm$ constituye un buen compromiso de todos estos factores.

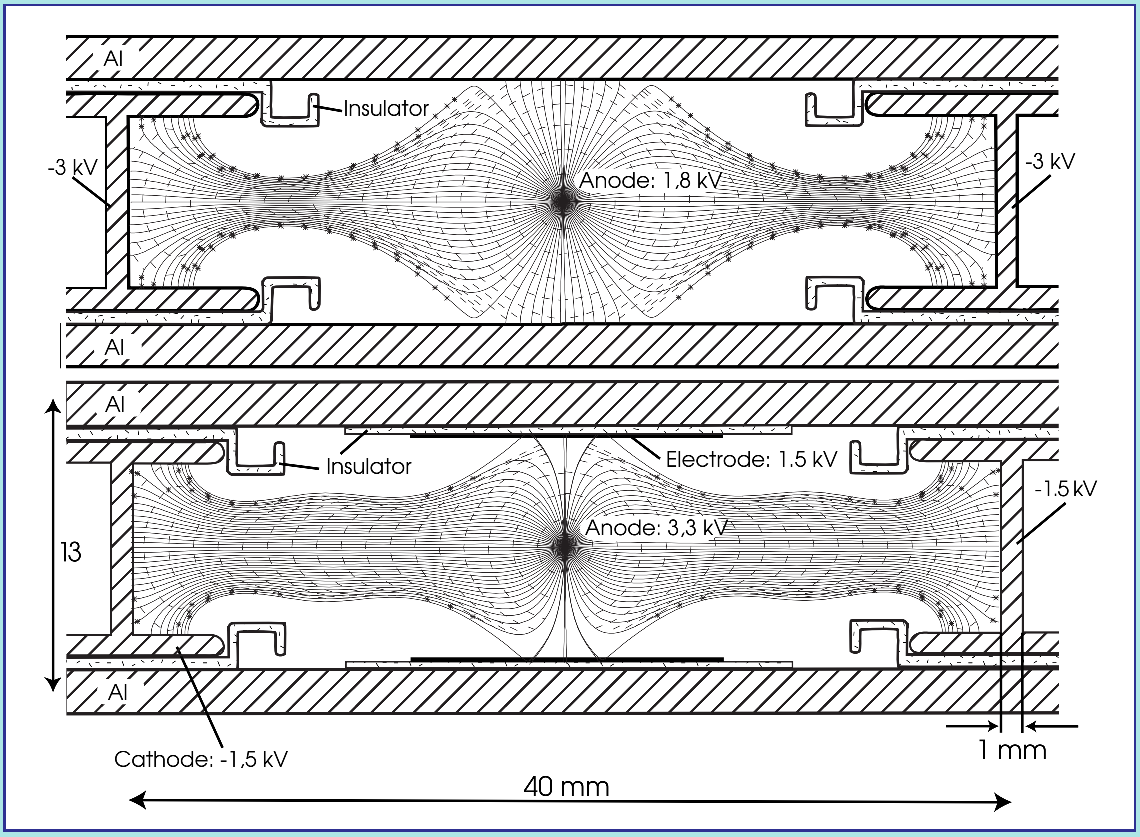
Las celdas se organizan en cámaras que cubren todo el ángulo sólido en Φ, éstas, a su vez en 4 anillos que formarán cada uno de los 5 sectores de CMS. La disposición es tal que todo muon cruza al menos 3 cámaras.



Celda de deriva propuesta



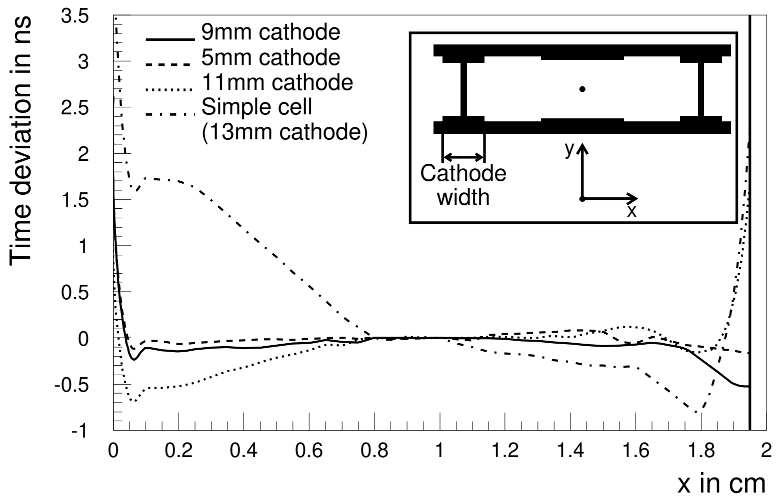
La linealidad espacio temporal en la operación de la celda es clave para la reconstrucción de la trayectoria del muon y para la identificación del cruce de haces.



Se introducen los electrodos de cobre porque mejoran la linealidad espacio temporal.

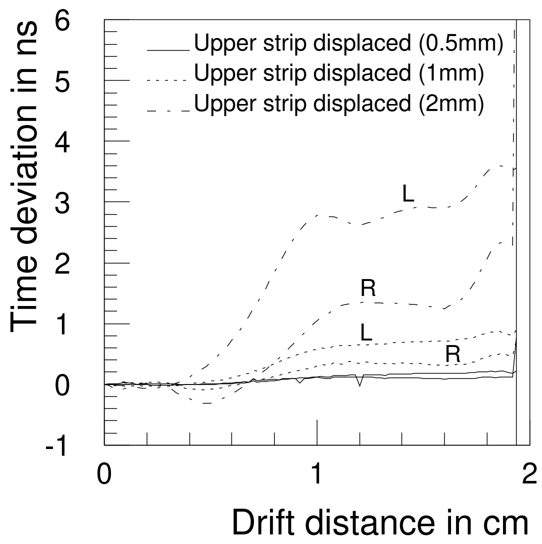
Influencia de los electrodos sobre la linealidad de la celda

✓ Desviación temporal respecto a la linealidad sin tira de cobre, y con ella para diferentes tamaños de cátodo.



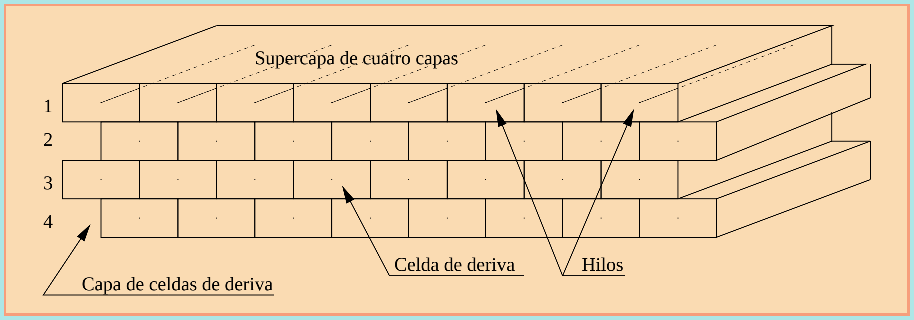
⇒Es conveniente la utilización de electrodos de *strip* para conformar el campo.
⇒Por debajo de $9\ mm$ de anchura del cátodo la linealidad no se ve comprometida

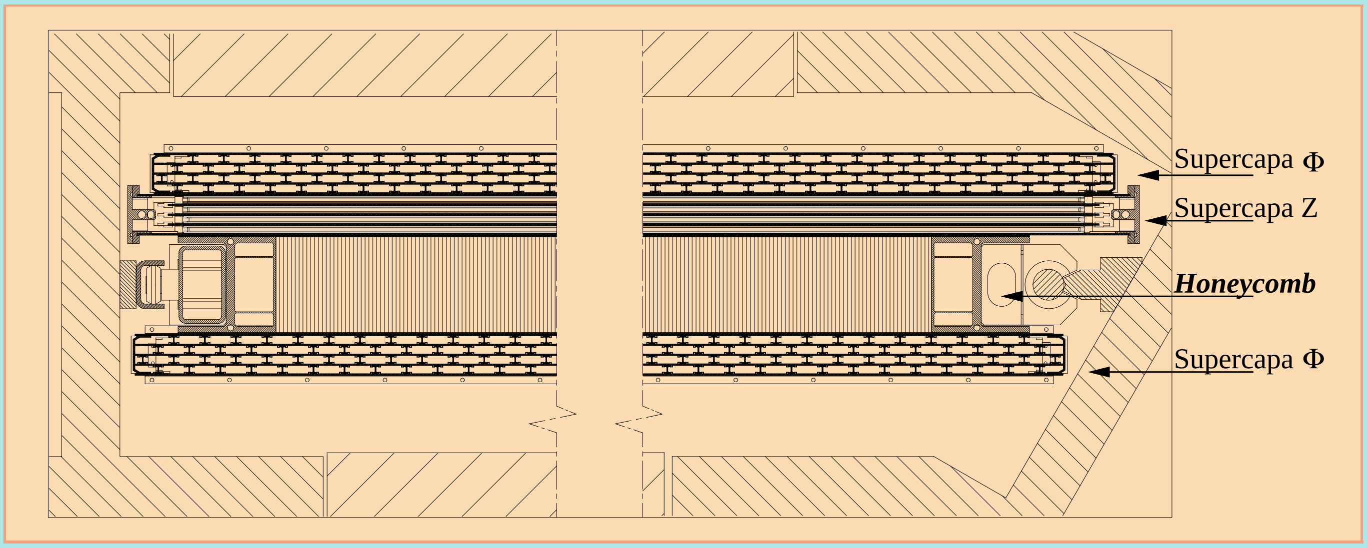
✓ Desviación temporal respecto a la linealidad al variar la posición del electrodo de tira de cobre.



⇒Un error de $0.5\ mm$ en el posicionado del *strip* no afecta a la linealidad.

✓Las celdas se organizan en supercapas. Las supercapas se organizan en cuatro capas de celdas para mejorar el comportamiento frente a secundarios al reconstruir la trayectoria de un muon. Cada cámara en tres supercapas: dos de ellas miden la coordenada Φ del detector y la otra la coordenada Z.





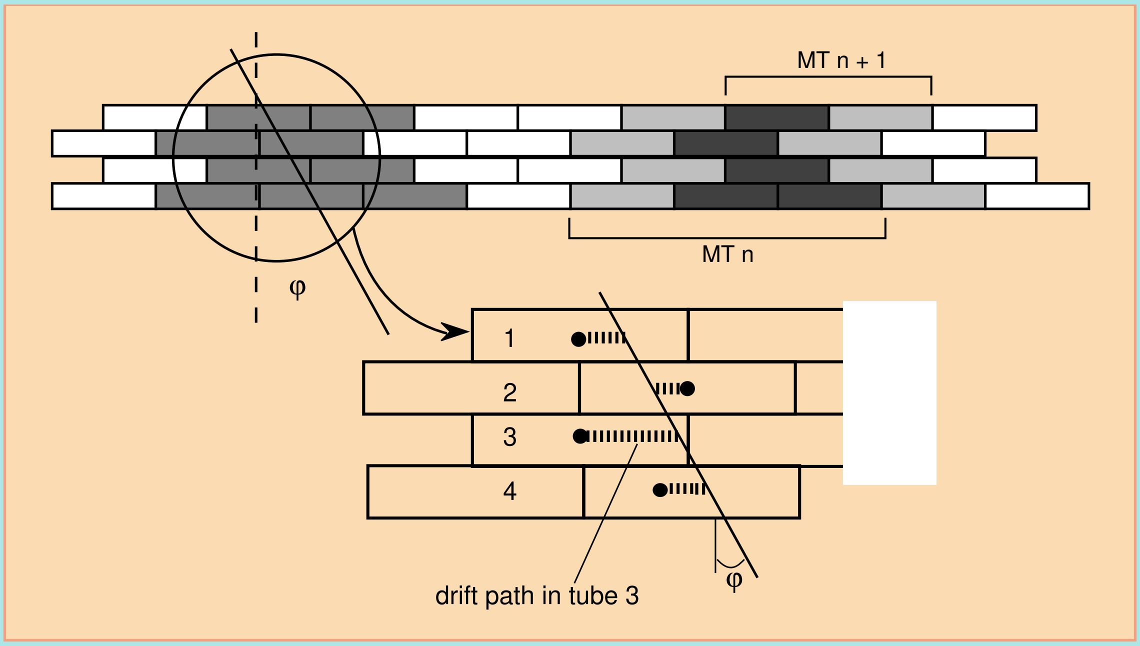
✓Se alcanza la precisión requerida de $100\ \mu m$ por cámara en el plano (R, Φ), con $100\ \mu m$ entre planos y $250\ \mu m$ en la medida de cada celda.

☞ Cada cámara dispone de un *trigger* cuyo objetivo es seleccionar candidatos a segmentos de la traza de un muon. Para ello debe:

✓ medir la posición y dirección de cada segmento.

✓ identificar el cruce de haces a que pertenece el segmento.

✓ Para ello dispone de un circuito, llamado BTI (*Bunch and Track Identifier*), que genera un *trigger* en cada supercapa, cuando es posible alinear las señales de al menos 3 de sus 4 capas.



Condiciones de operación y características de diseño

Electrodos	Material	Dimensiones	Tensiones
Cátodos	Aluminio	1.2 mm (espesor) 9.6 mm (altura)	-1500 -1800 V
Strips	Cobre	0.07 mm (espesor) 14 mm (anchura)	+1500 +1800 V
Ánodos	inox(AISI-304L)	50 μm (diámetro)	+3300 +3600 V

Aislantes	Función	Dimensiones
Lexan (Policarbonato plástico)	aislante de vigas (cátodos)	0.5 mm (espesor)
Mylar	aislante del *strip* (tira de cobre)	20 mm (anchura)

Mezcla de gas	Composisión
$ArCO_2$ (1 atm)	$85\% - 15\%$

Medida plano (R,Φ)	$100\mu m$
Medida individual	$250\mu m$
Posicionado del hilo	$100\mu m$
Posicionado del *strip*	$500\mu m$
Desalineamiento entre capas	$100\ \mu m$

Características de diseño del prototipo de tamaño reducido

Electrodos	Material	Dimensiones	Tensiones
Cátodos	Aluminio	1 mm (espesor) 10 mm (altura)	-1500 V
Strips	Cobre	0.018 mm (espesor) 14 mm (anchura)	+1500 V
Ánodos	inox(AISI-304L)	50 μm (diámetro)	+3300 V

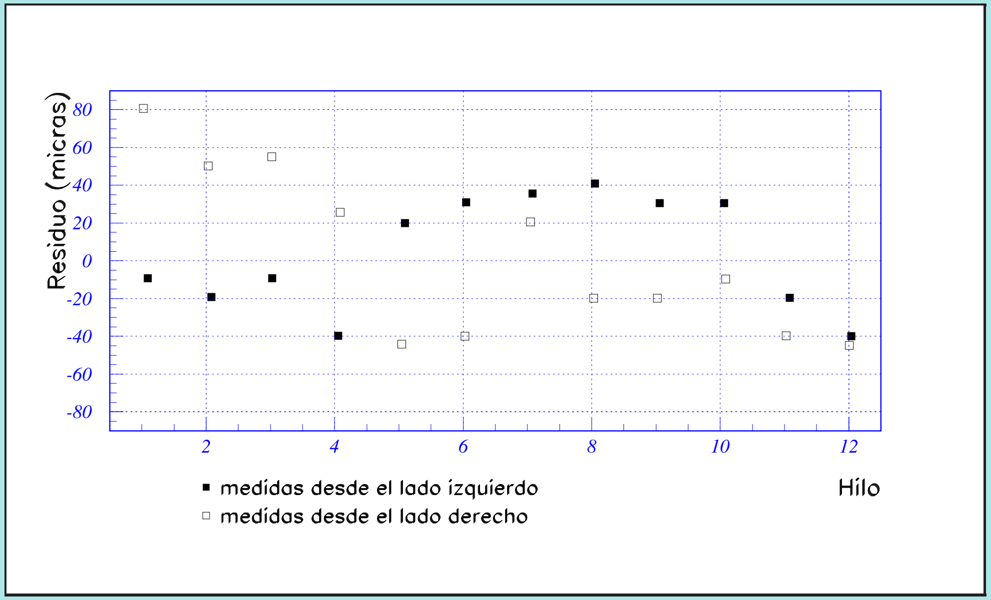
Aislantes	Función	Dimensiones
Lexan (Policarbonato plástico)	aislante de vigas (cátodos)	0.5 mm espesor
Mylar	aislante del *strip* (tira cobre)	20 mm ancho 0.1 mm espesor

Mezcla de gas	Composisión
$ArCO_2$ (1 atm)	$85\% - 15\%$

Componentes	Material
Bloques portavigas	Plástico Noryl inyectado en fibra de vidrio
Bloques portahilos	Plástico Noryl inyectado en fibra de vidrio
Bloques de atenazado	Latón
Planchas entre capas	Aluminio (2 mm de espesor)

POSICIONAMIENTO

✓ El posicionado de los hilos, medido mediante interferometría láser, muestra que se encuentran en una horquilla de $\pm 60 \mu m$, con una desviación típica de $30\ \mu m$, respecto a la posición nominal que cumple con los requerimientos.



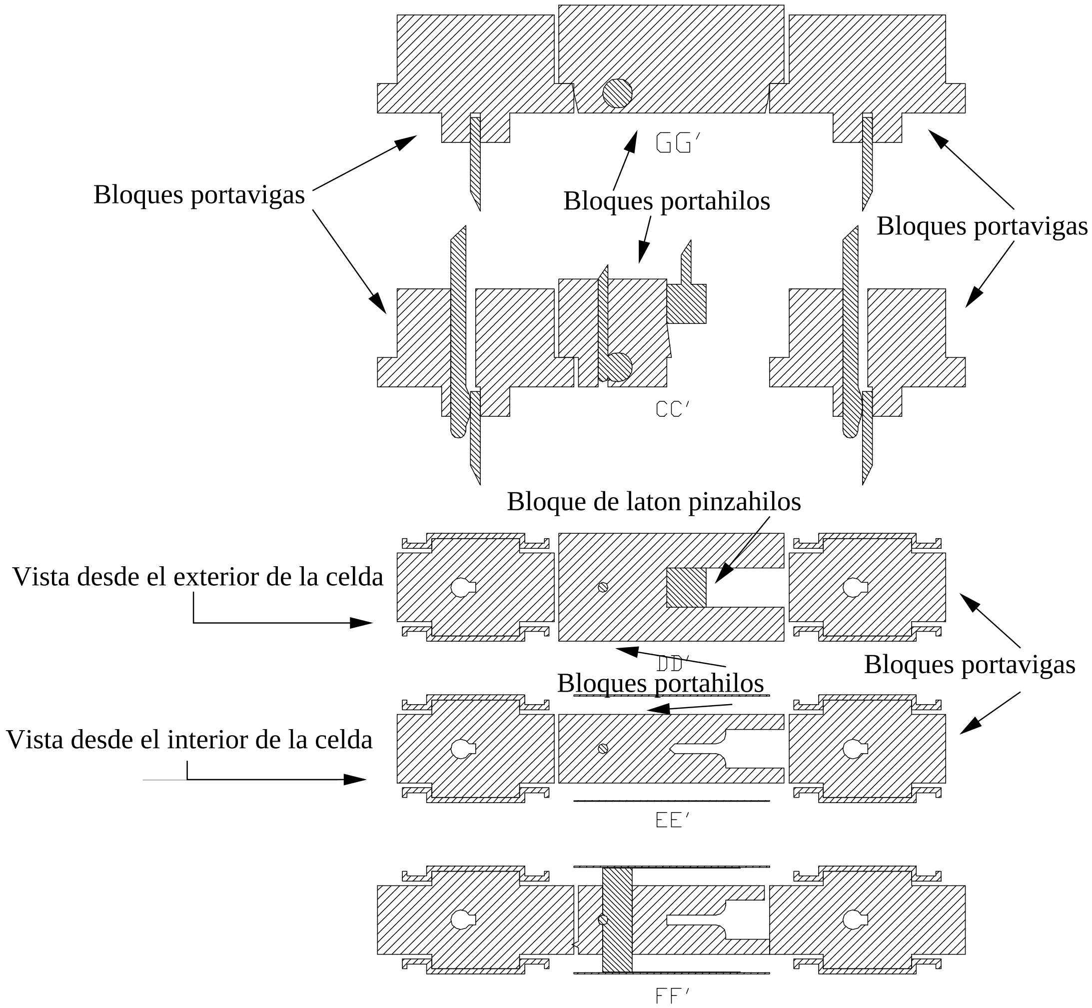
ESTANQUEIDAD

✓ La estanqueidad de la cámara se aseguró a través de la medida de fugas y corrección con pegamento Epoxi.

ALTA TENSIÓN

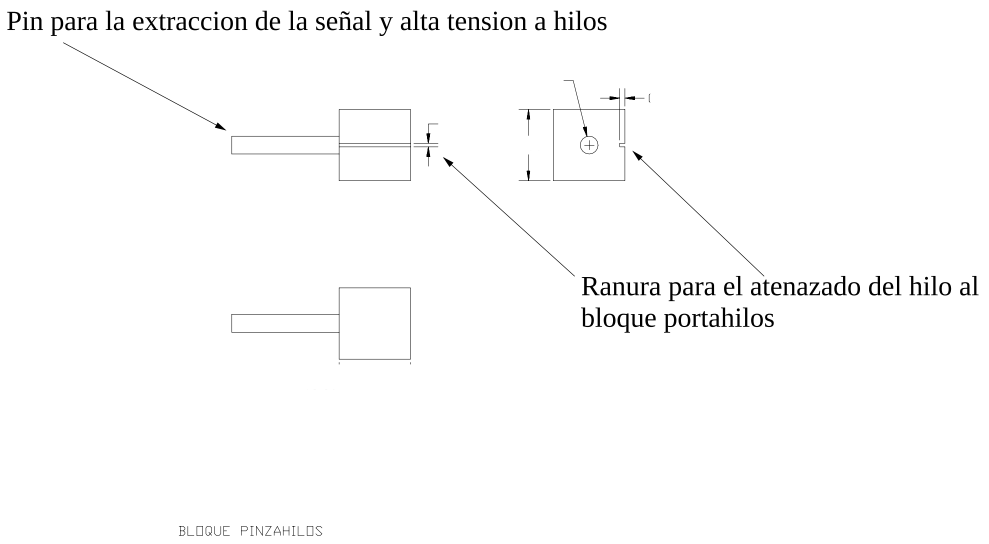
✓ Se efectuó asimismo una prueba de fugas de alta tensión, manteniendo los electrodos de toda la cámara a tensiones altas durante varios días, a fin de detectar posibles puntos de descarga que se corrigieron con pintura aislante.

Portahilos y portavigas



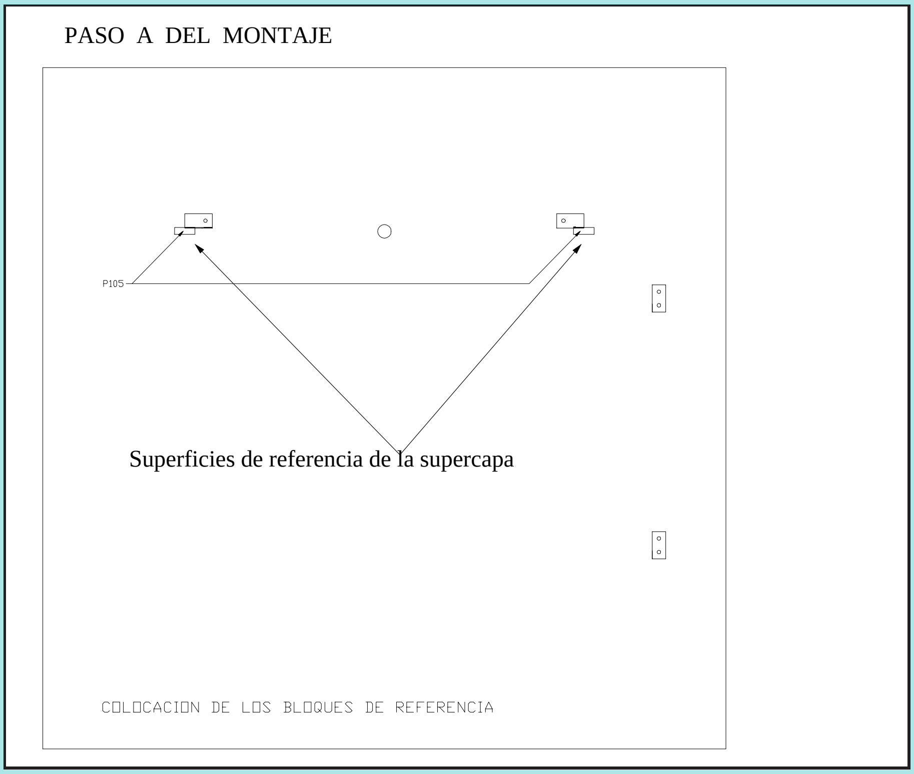
Pinzahilos

BLOQUE PINZAHILOS EN VISTAS

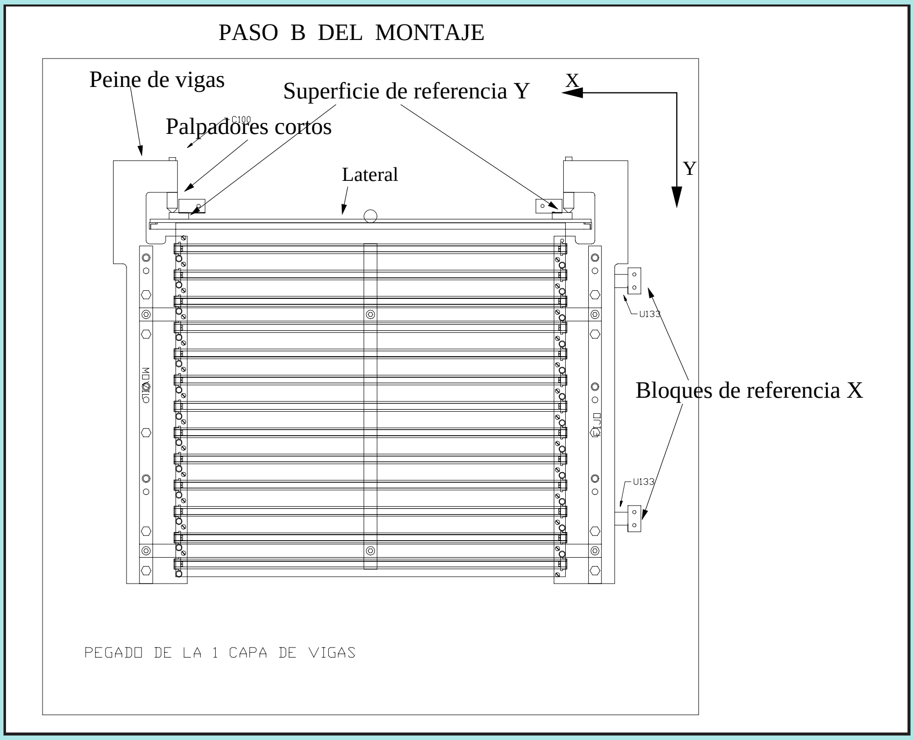


Montaje del prototipo de tamaño reducido (I)

☞ Las superficies de referencia de la supercapa se atornillan a los bloques de referencia sobre el mármol de la mesa.

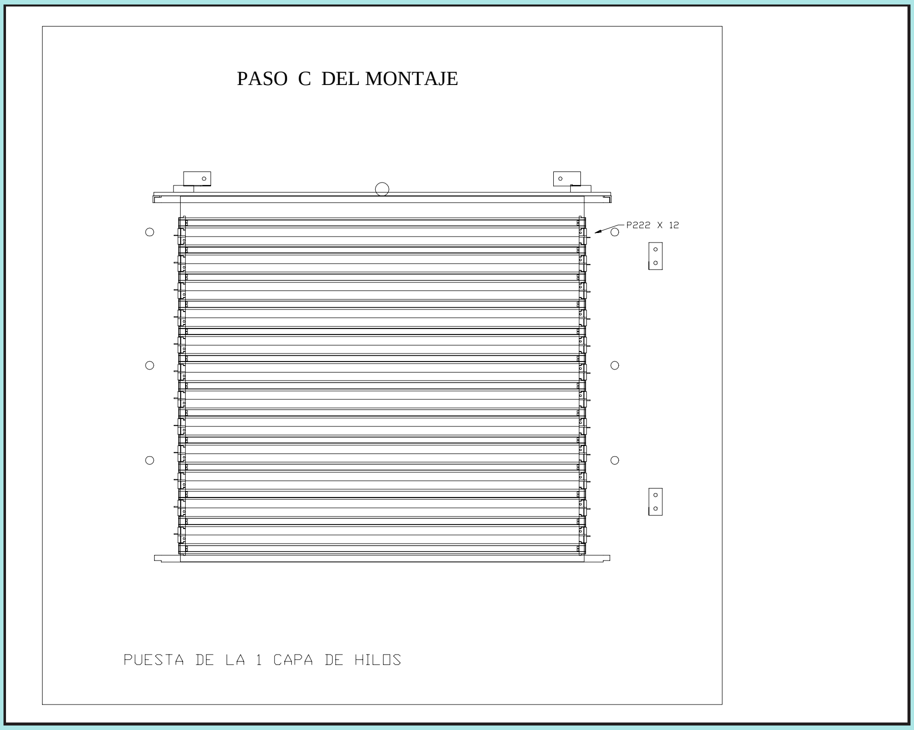


☞ El peine portavigas se atornilla al mármol con objeto de ejercer presión sobre las vigas para que el pegamento fragüe. Los palpadores se apoyan sobre las superficies de referencia Y.



Montaje del prototipo de tamaño reducido (II)

☞ Se pega manualmente la varilla de refuerzo del lateral, montándose a continuación los hilos previamente atenazados a los bloques de latón.



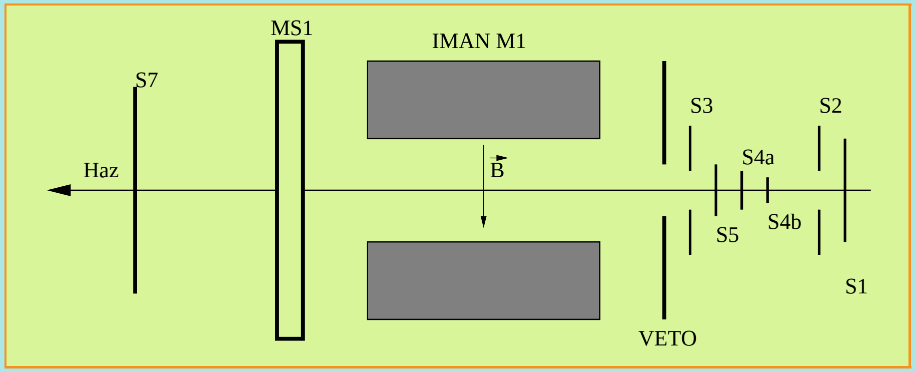
☞ Se pega la segunda chapa con los electrodos de tira dispuestos por ambas caras, tras instalar separadores apoyados sobre las referencias X. Se disponen pesos distribuidos convenientemente para asegurar un fragüado uniforme en espesor.

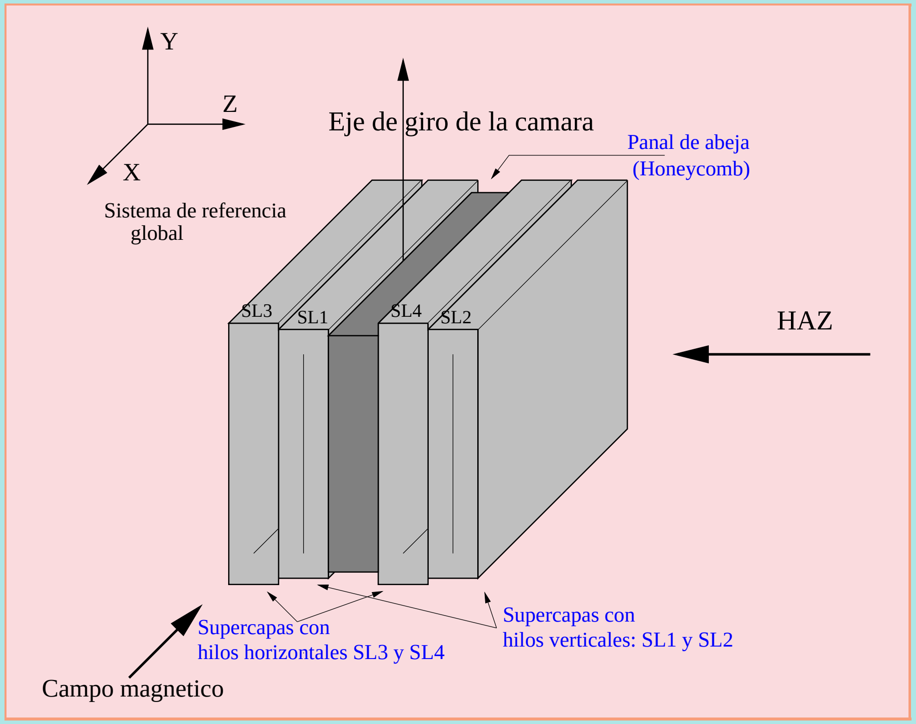
☞El proceso se itera hasta obtener una supercapa de 4 capas.

☞ La precisión en el posicionado de los hilos depende del mecanizado de los flejes y de las fijas del peine portavigas sobre las que apoyan los bloques portavigas.

Giro y campo magnético

- Disposición del haz de muones y del campo magnético





- Disposición del prototipo en el seno del haz y del campo magnético.

Condiciones de operación estándar.

Umb (fC)	ángulo $(\circ)$	B (T)	An (V)	Strip (V)	Cat (V)
4.4	0	0	3300	1500	-1500

Campo magnético y ángulo

ángulo $(\circ)$	campo B (T)
0	0.
14	0.2
24	0.4
34	0.8
44	1.0

Umbrales

umbral (fC)
2.6, 3.2, 3.7, 4.4, 4.8, 5.5, 5.9, 6.6 7.7, 8.8, 11.0, 11.8, 12.9, 13.8, 14.9,15.9

Tensiones en los electrodos

$V_{ampl}(V)$	1650	1700	1750	1800	1850	1900	1950
$V_{drift}(V)$	3200	3400 3000	3200 3000	3800 3600 3400 3200 3000 2800	3400 3200 3000	3400 3000	3200

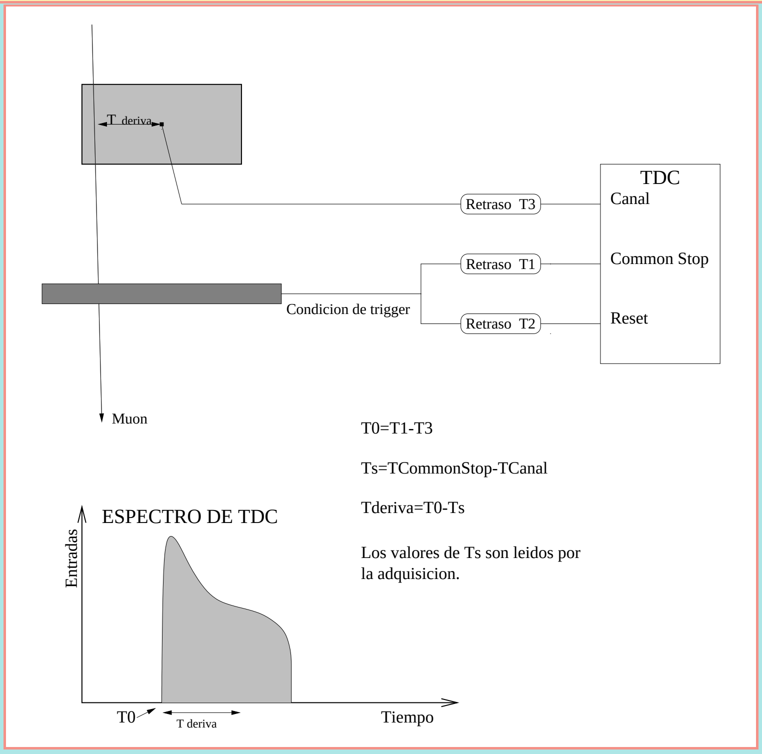
$$V_{ampl} = V_{wire} - V_{electrodoCobre}$$

$$V_{drift} = V_{wire} - V_{catodo}$$

$$V_{eff} = (V_{wire} - V_{electrodoCobre}) + 0.16V_{electrododeCobre} - 0.037V_{catodo}$$

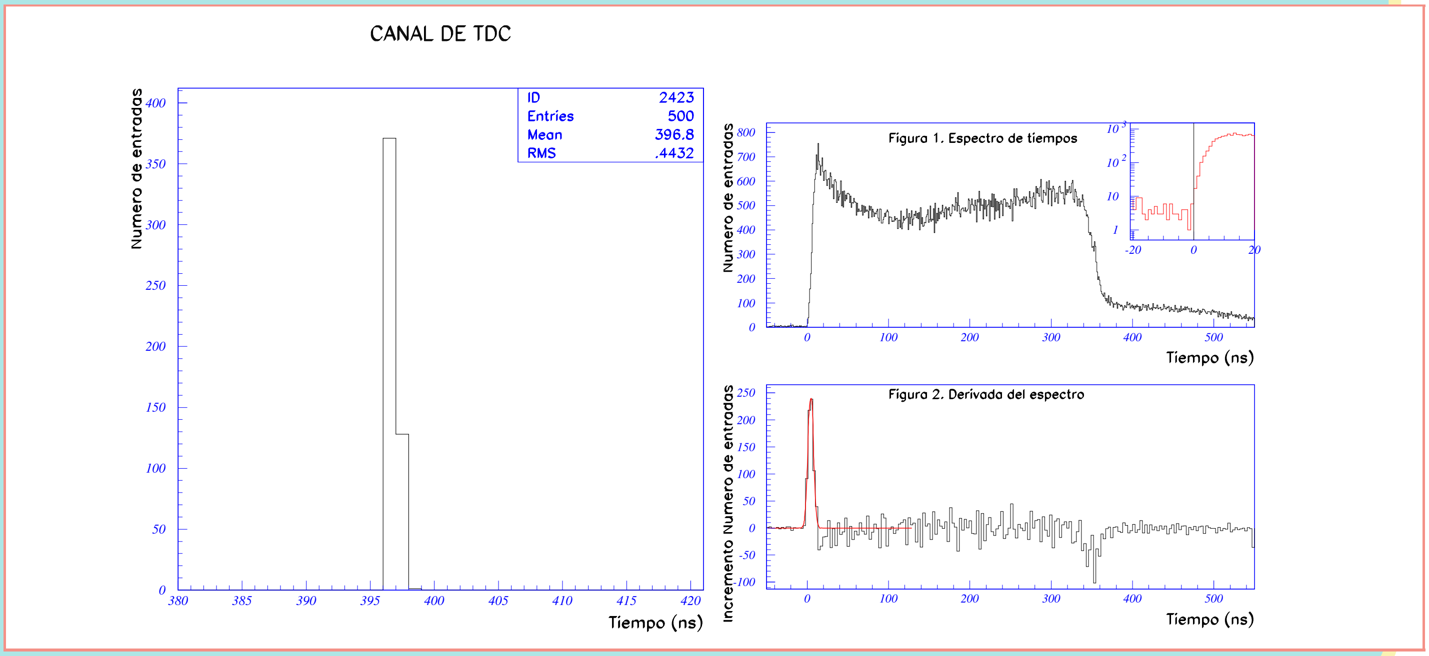
Calibración y origen de tiempos

Ventana de tiempos para la lectura de un canal de TDC



✓ La elección de los retrasos $T1$ y $T2$ permite definir la ventana temporal adecuada para la recepción de todas las señales.

✓ El tiempo de deriva puede expresarse como $T_{deriva} = (T_1 - T_3) - T_s$, donde T_3 depende del canal, y puede expresarse tras corregir diferencias relativas entre canales como $T_{3i} = T_{0i} + T_{0g}$. Obteniéndose T_{0i} por medida con tren de pulsos, y T_{0g} a partir del espectro de todas las señales.



✓Reconocimiento de patrones

✓ Inspección del conjunto de canales que presentan señal en busca de patrones de 4 ó 3 señales que correspondan al camino real.

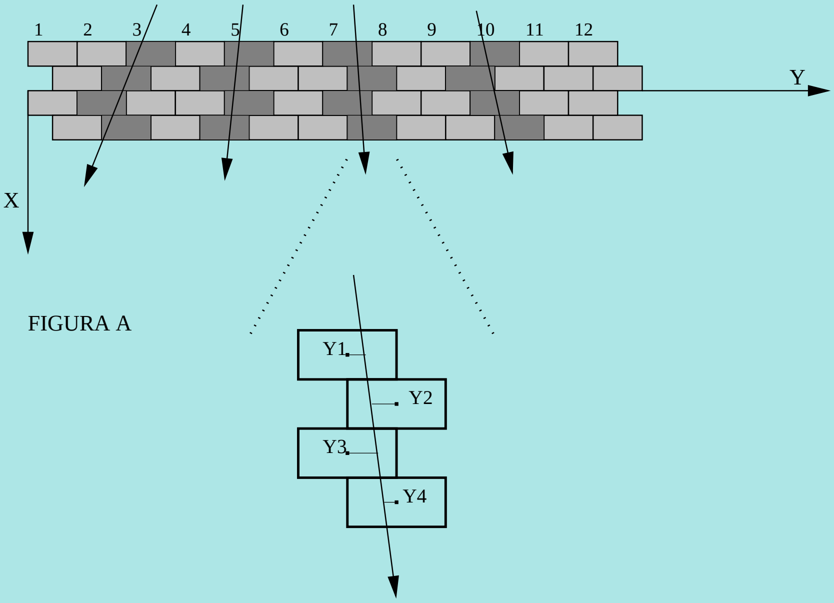
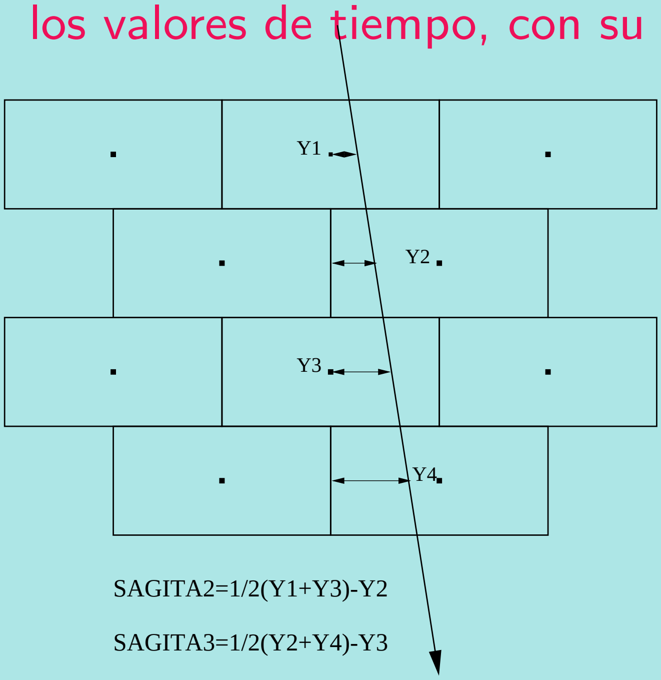


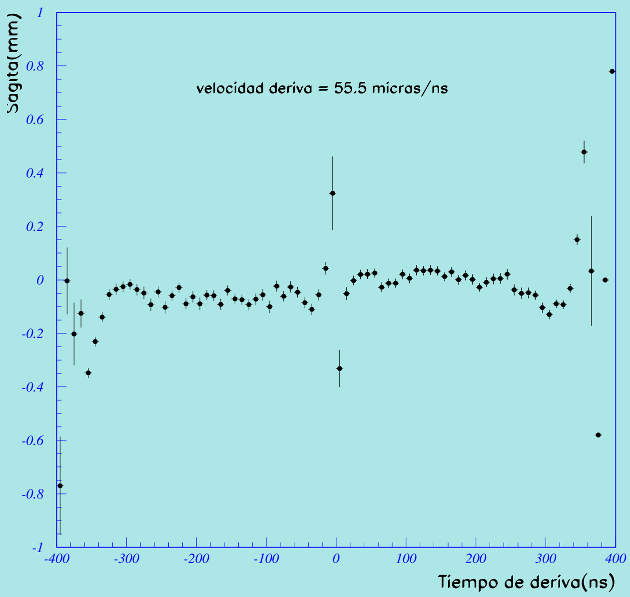
FIGURA A

FIGURA B

✓Ajuste de trazas

✓ A partir de una velocidad de deriva aproximada, se obtienen los valores de tiempo, con su signo, correspondientes a la trayectoria

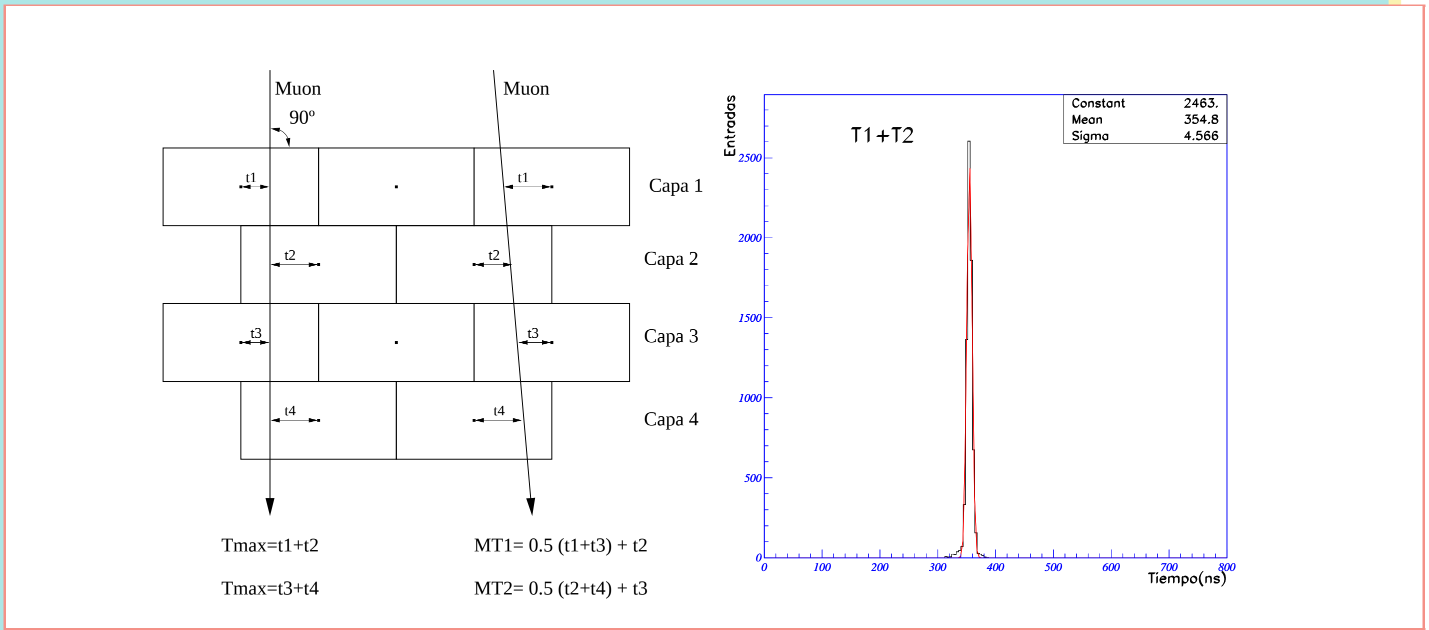




✓ La velocidad de deriva puede obtenerse a partir del tiempo máximo de deriva $Tmax = T_1 + T_2$ si la incidencia del haz es perpendicular, o bien, a partir de los *Mean Time* que no dependen del ángulo de incidencia:

$$MT2 = \frac{1}{2}(T_1 + T_3) + T_2$$
y
$$MT3 = \frac{1}{2}(T_2 + T_4) + T_3$$

, que representan igualmente al tiempo máximo de deriva.



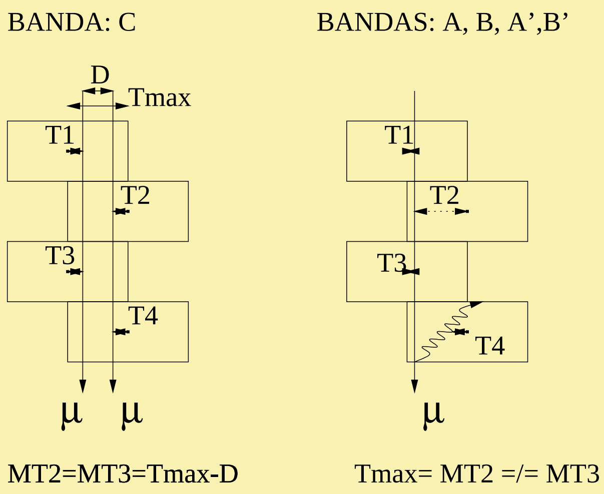
✓ A continuación calculamos la velocidad de deriva promedio a partir de:

$$v_d = \frac{20000}{T_{max}}(\mu m/ns)$$

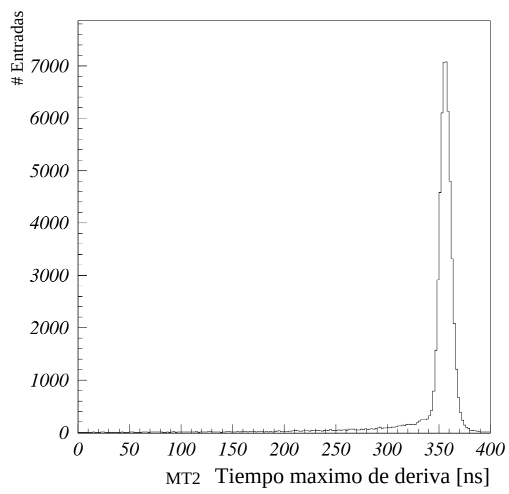
Efectos parásitos I

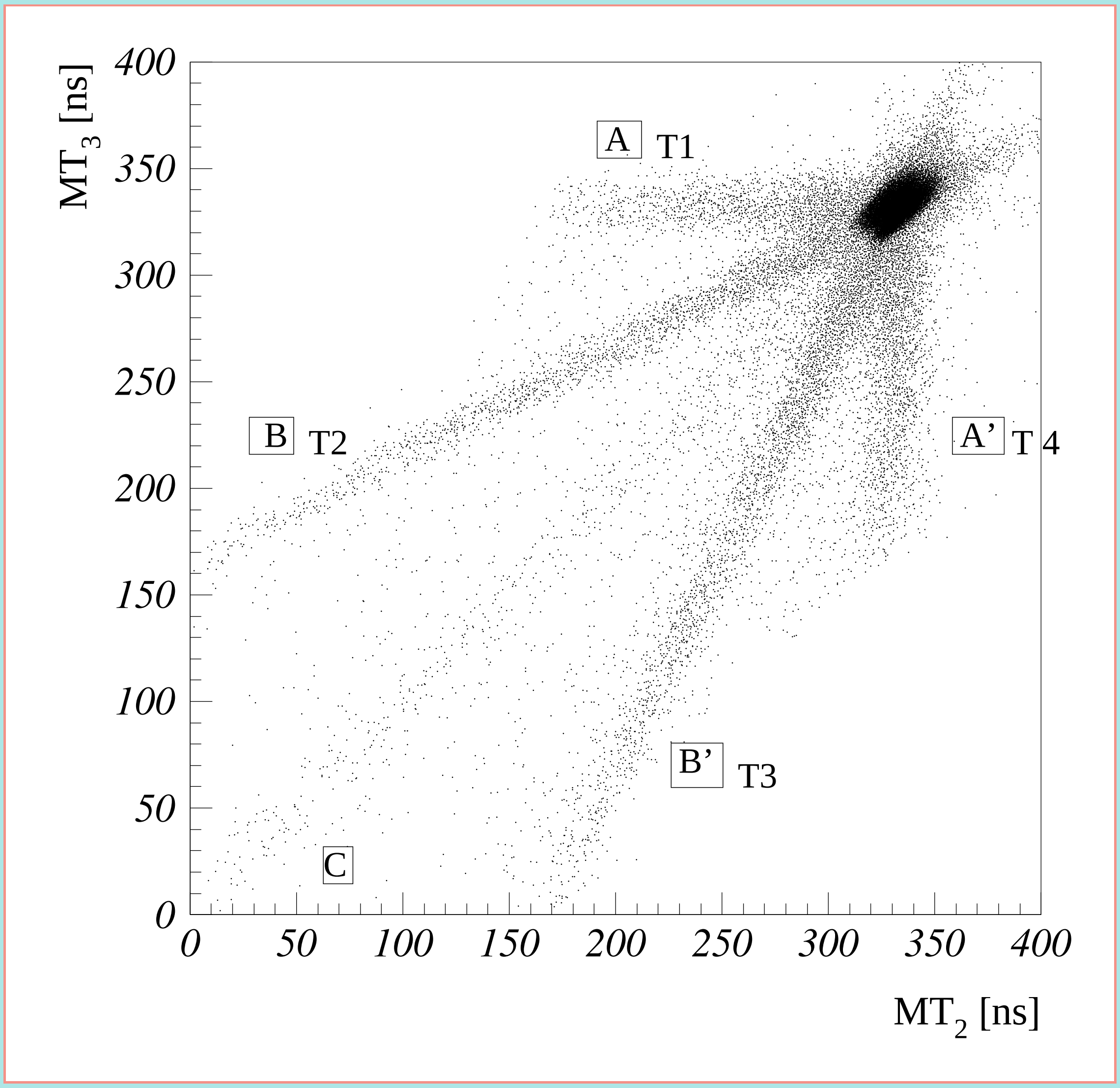
✓ El trigger local de las cámaras pasa por el alineamiento de al menos 3 de las 4 señales de cada supercapa. Es necesario evaluar el efecto de señales espúreas, ocasionadas por ionizaciones secundarias, sobre la detección. Es posible hacerlo a partir de las cantidades que hemos llamado *Mean Time*.

✓ Pueden verse afectadas una capa o más, o puede ocurrir que dos muones crucen a la vez las mismas celdas.



✓ Consideramos que una medida está afectada por una traza parásita si una de las dos variables MT1 o MT2, se encuentra a 2.5σ de la media del ajuste gaussiano de la distribución de MT1 o MT2.





✓ En la figura los puntos que se acumulan alrededor de los tiempos máximos: corresponden a las trazas no afectadas por espúreos. Las otras 4 bandas corresponden a medidas en las que hay alguna capa afectada. Los puntos sobre la diagonal $MT2 = MT3$ corresponden al paso simultáneo de dos muones por las mismas celdas.

✓Se obtienen los siguientes resultados:

Ninguna capa afectada	80.8%
1 capa afectada	15.4%
par de muones	0.8%
2 o más capas afectadas	3%

✓Ineficiencia del trigger es ~ 3 %

☞ SE PRESENTAN LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN:

- EFICIENCIA
- VELOCIDAD DE DERIVA
- LINEALIDAD DE LA CELDA
- RESOLUCIÓN

Y EN PRESENCIA DE CAMPO MAGNÉTICO:

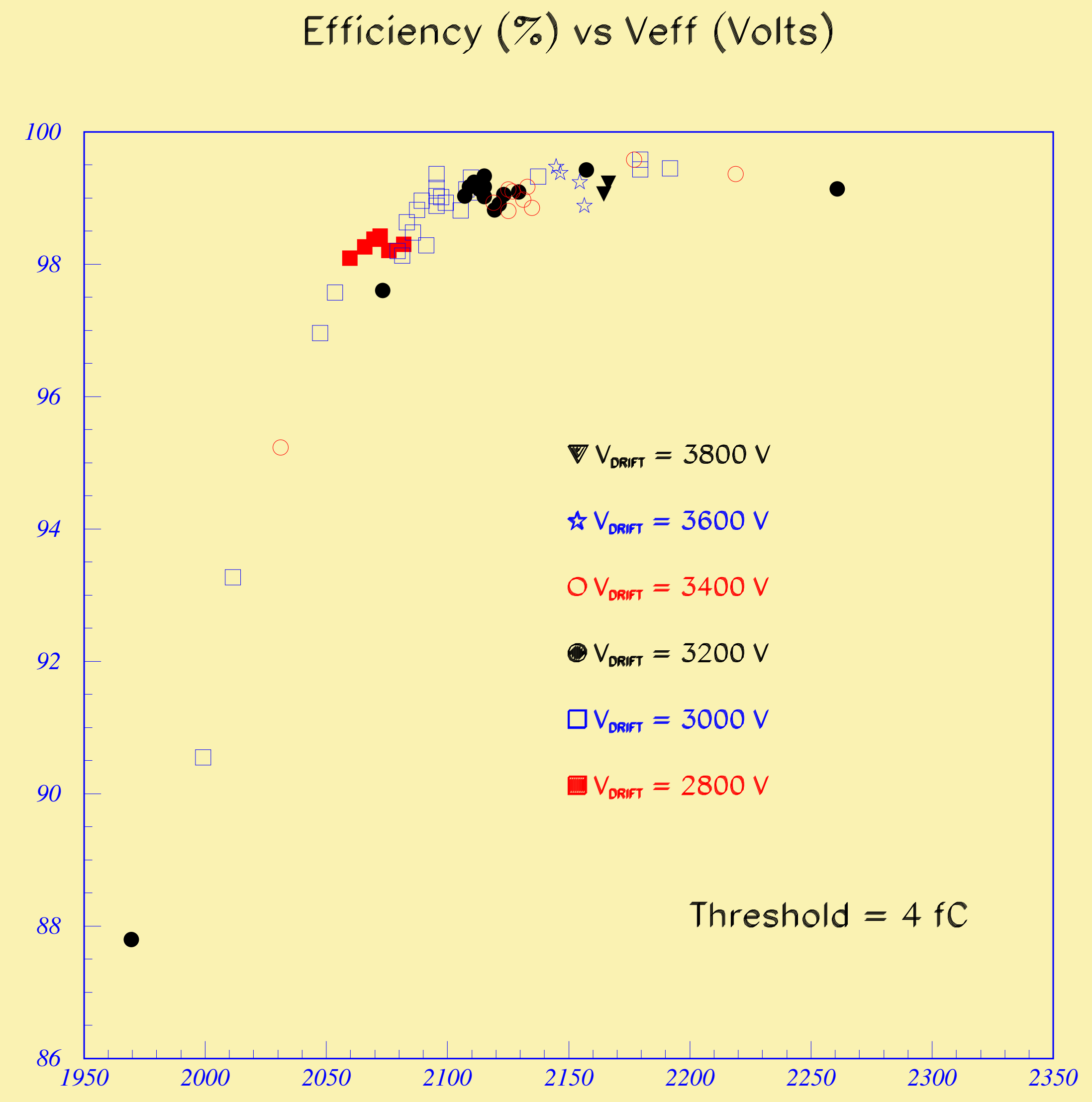
- EFICIENCIA
- VELOCIDAD DE DERIVA
- EFECTOS ASIMÉTRICOS DEPENDIENTES DEL ÁNGULO
- RESOLUCIÓN

Comportamiento de la eficiencia según los potenciales en los electrodos

✓La eficiencia sólo depende del campo eléctrico en el hilo

$$G = A \exp \alpha V_{eff}$$

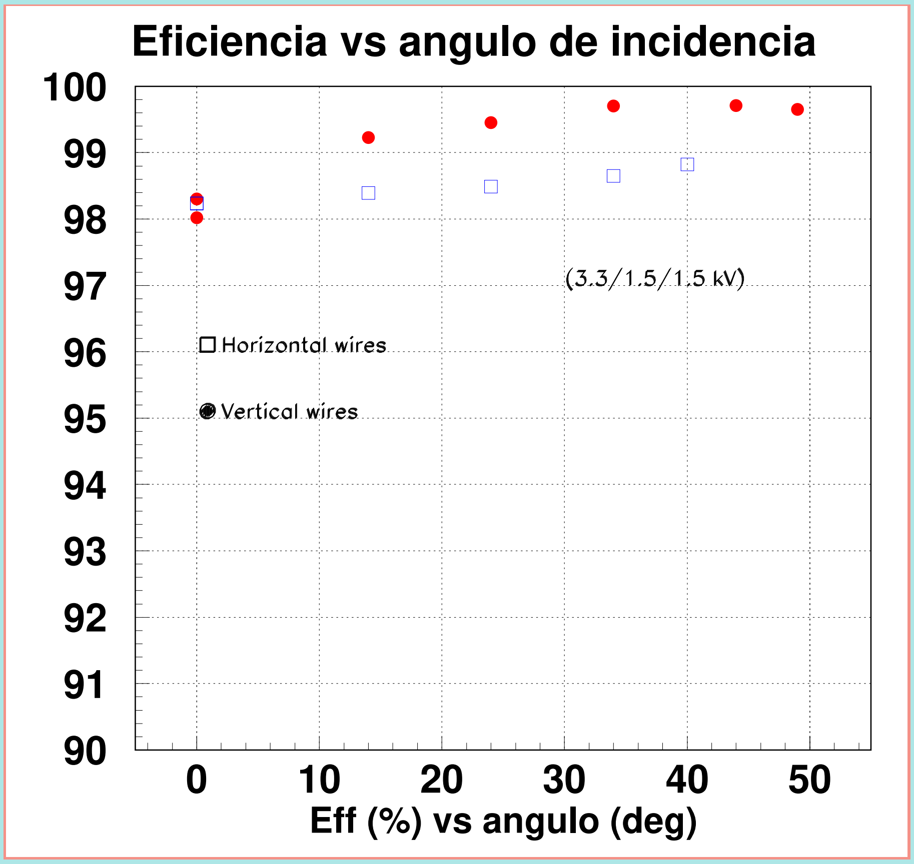
$$V_{eff} = (V_{wire} - V_{electrodoCobre}) + 0.16 V_{electrododeCobre} - 0.037 V_{catodo}$$



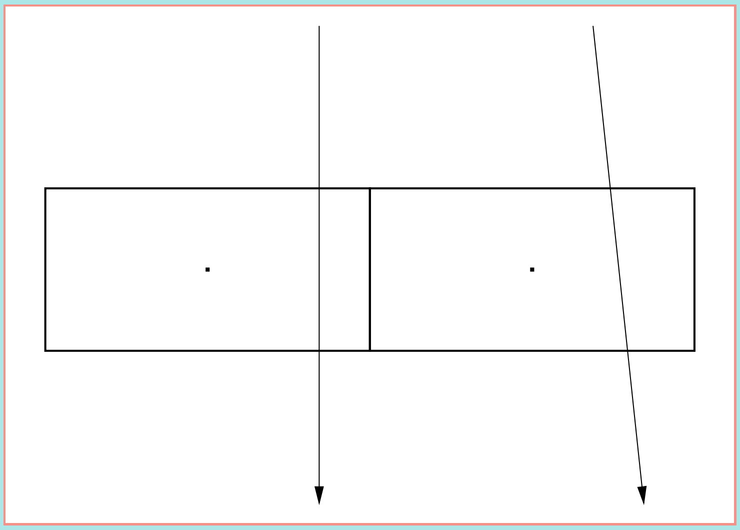
$V_{eff} > 2100V$ $Eficiencia > 99\%$

$V_{eff} > 2100V$ se alcanza el *plateau* de eficiencia

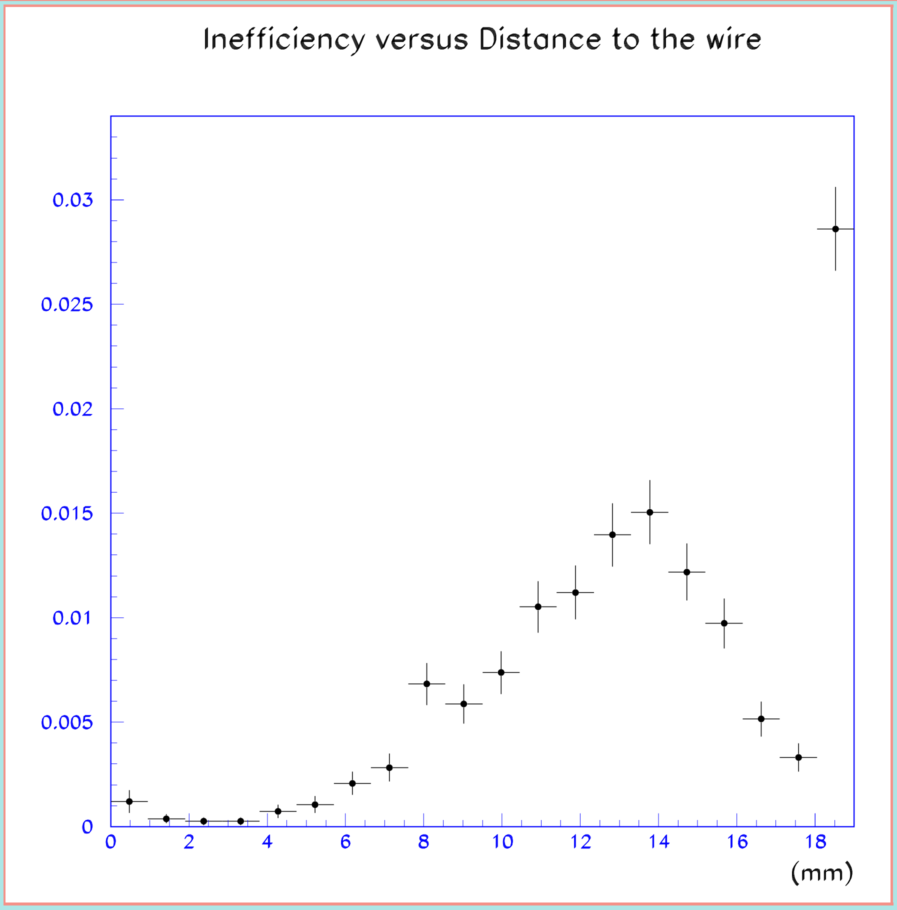
La eficiencia en función del ángulo de incidencia



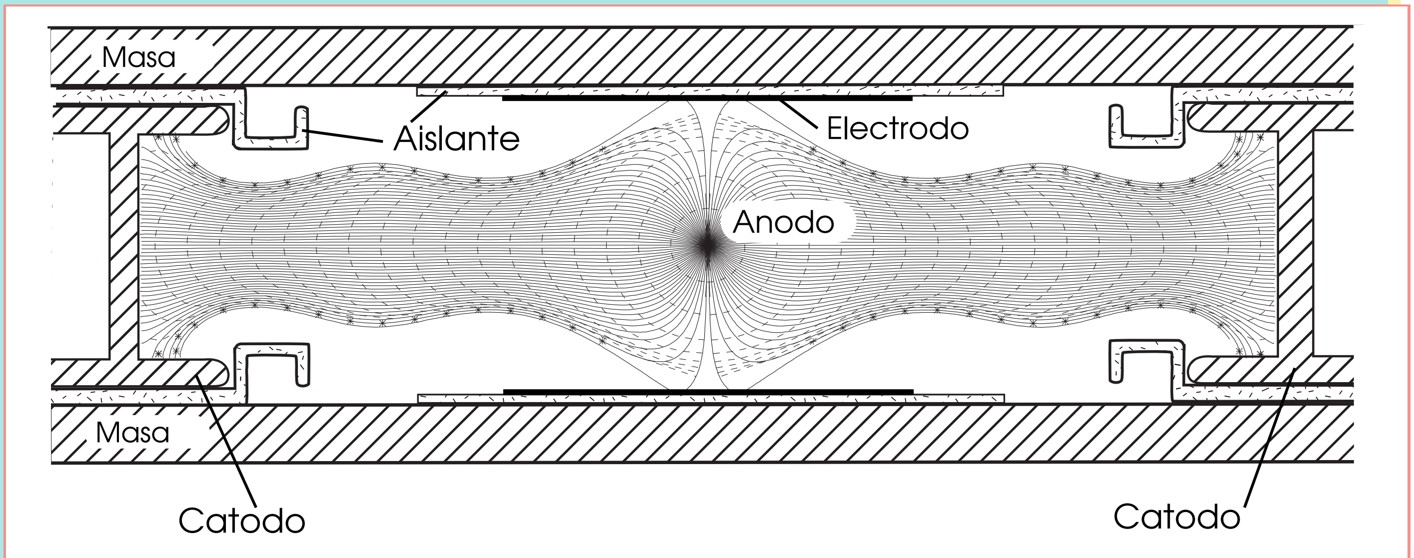
✓El recorrido aumenta con el ángulo, y con aquél la probabilidad de detección. Este efecto es particularmente apreciable en los hilos verticales.



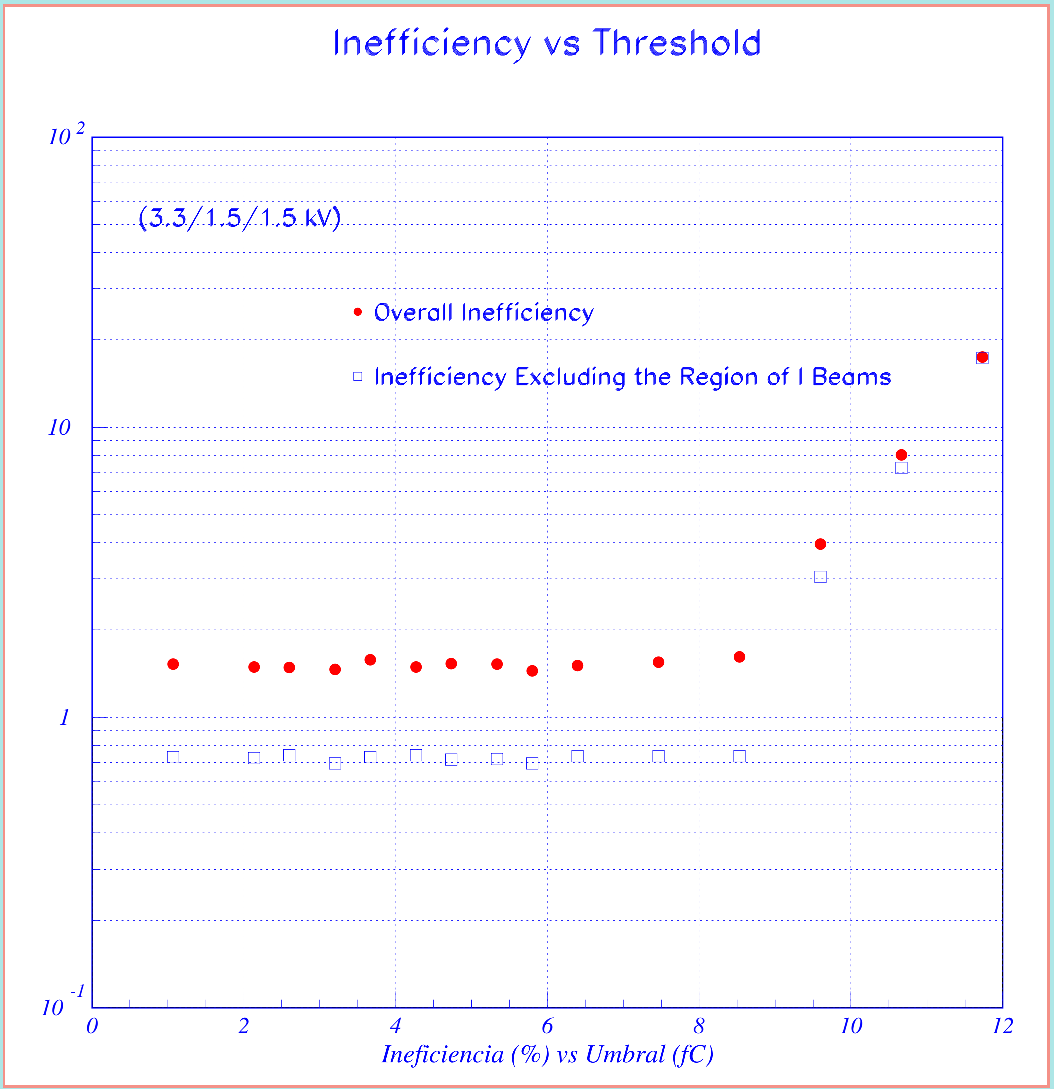
La eficiencia en función de la distancia al hilo



✓Los dieléctricos en la proximidad de la viga pueden afectar a las líneas del campo de modo que la detección sea menos eficiente. Esto parece indicar el comportamiento de la eficiencia, pues es aproximadamente a $14\ mm$ del hilo donde es mayor la ineficiencia.



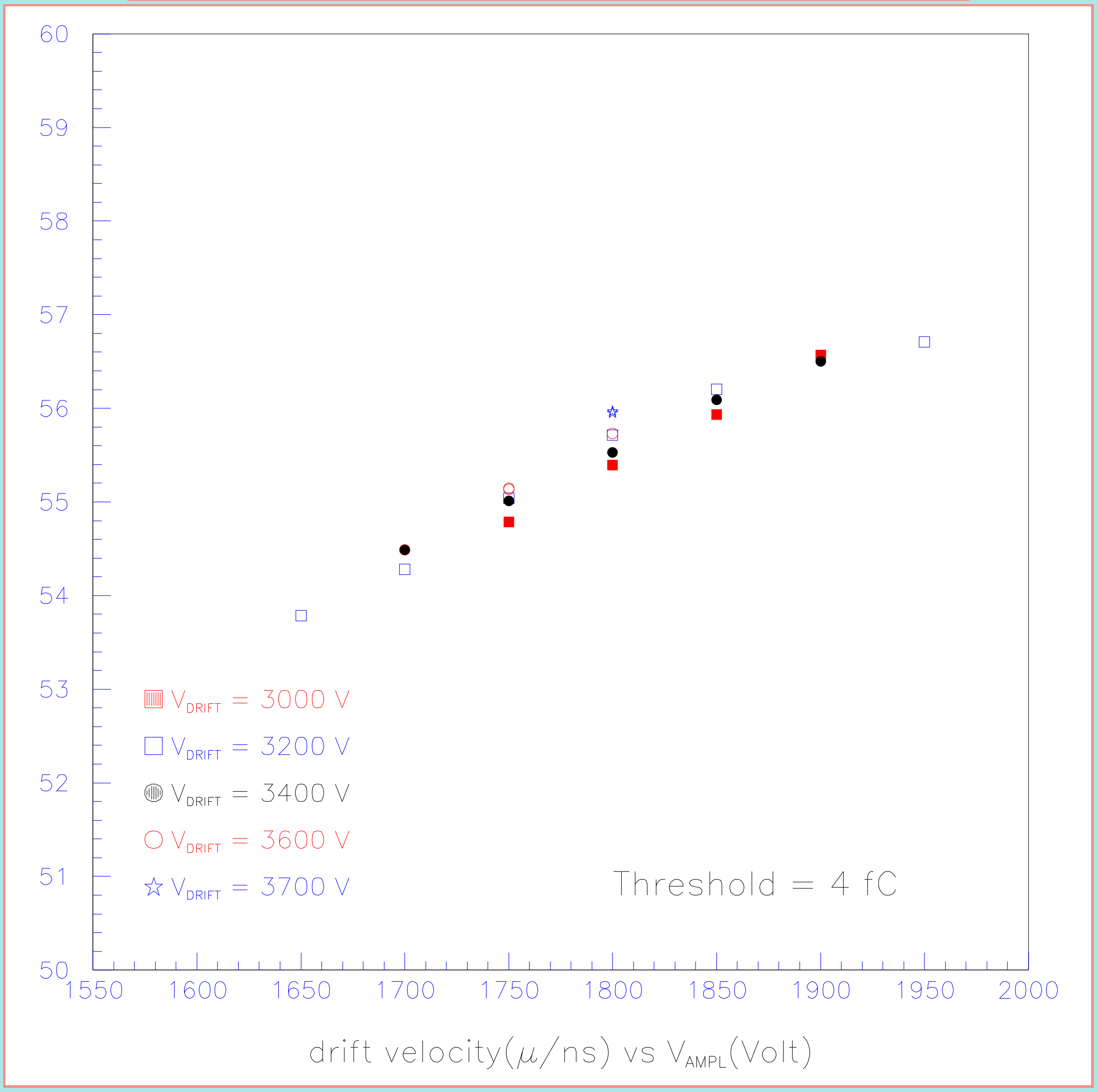
La eficiencia en función del umbral



Con la electrónica utilizada la eficiencia no se ve afectada para valores del umbral $< 8\ fC$

Por encima de $8\ fC$ la eficencia disminuye bruscamente

La velocidad de deriva en función de $V_{AMPL} \propto$ Campo electrico en el hilo

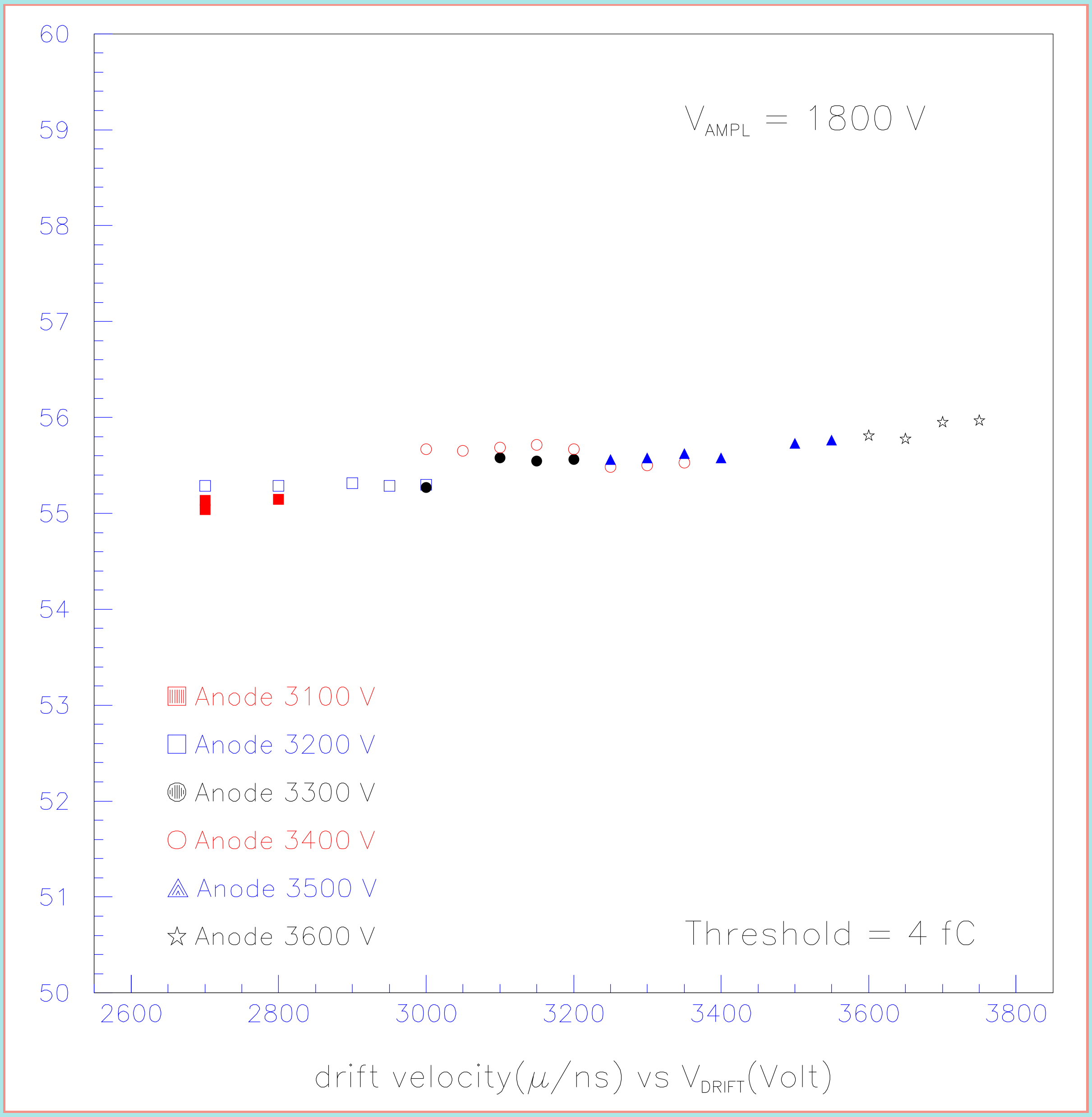


✓El tiempo de recolección de la carga necesaria disminuye con el campo en el hilo, y con él la velocidad de deriva aparente

✓El rango de velocidades de deriva barrido por los potenciales, para incidencia perpendicular, abarca de $\sim 54\ \mu m/ns$ a $\sim 56.5\ \mu m/ns$

Velocidad de deriva II

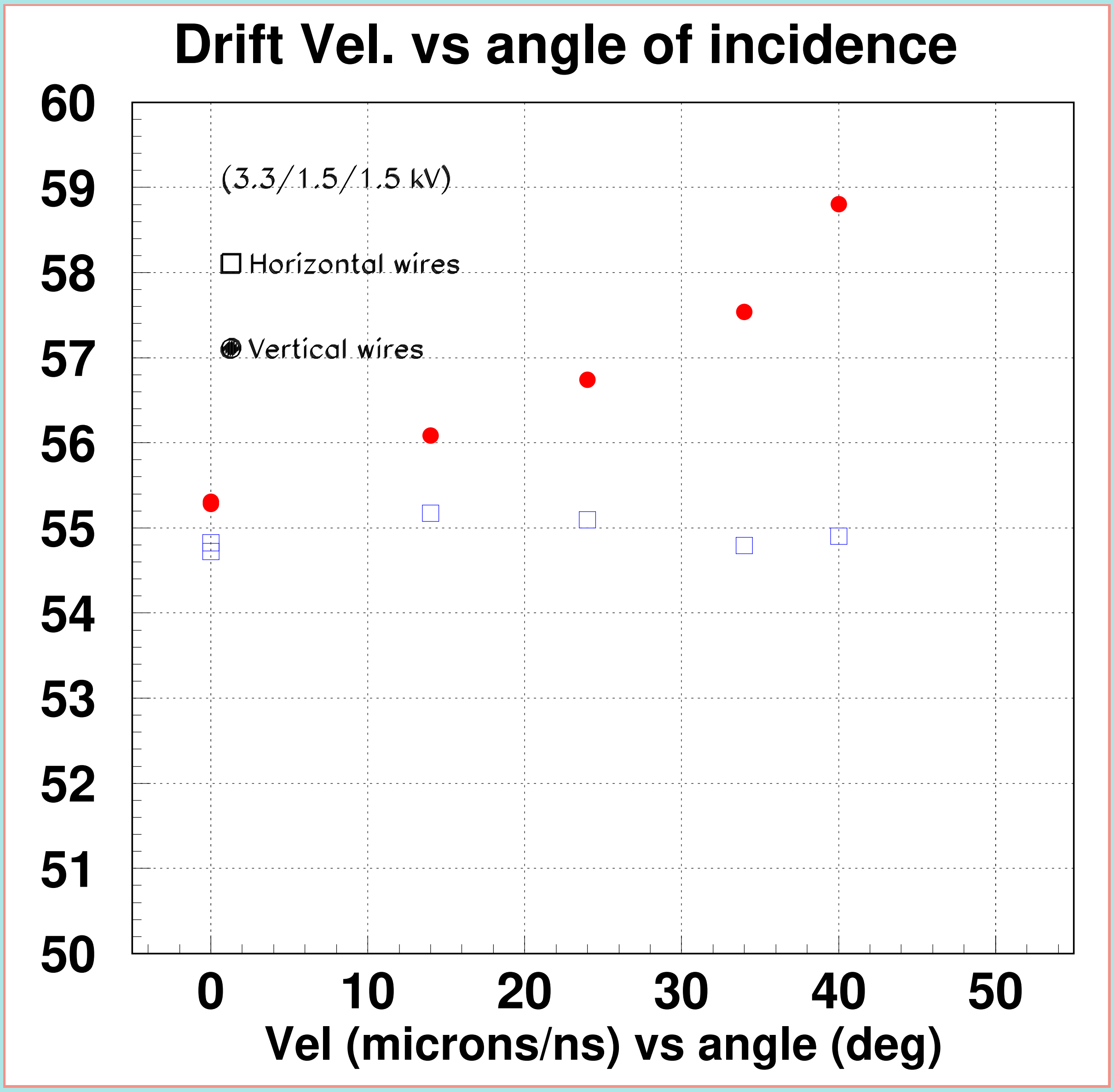
La velocidad de deriva en función de
$V_{DRIFT} = V_{anodo} - V_{catodo}$



✓La velocidad de deriva no depende de $V_{drift} = V_{anodo} - V_{catodo}$, lo cual indica que operamos en la región de saturación.

✓La velocidad de deriva aparente sólo se ve afectada por el campo eléctrico en el hilo como se vio.

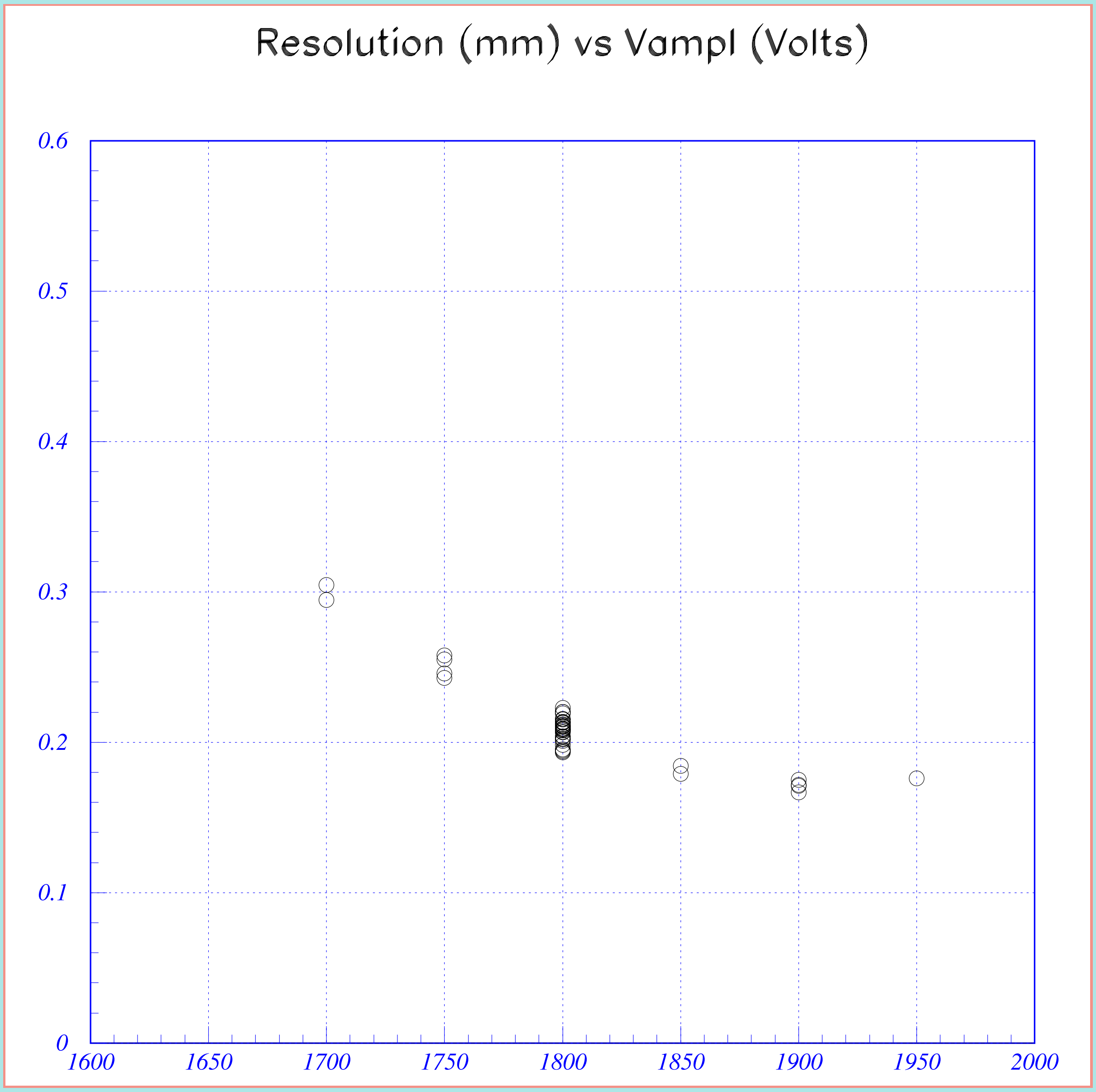
La velocidad de deriva en función del ángulo de incidencia



✓Al variar el ángulo de incidencia, el muon atraviesa líneas desde las cuales la deriva se realiza en menos tiempo.

La resolución en función de $V_{AMPL} \propto$ Campo electrico en el hilo

✓La resolución puede estimarse a partir de la distribución de residuos, o bien a partir de la distribución de Tiempo máximo o *Mean Time*.

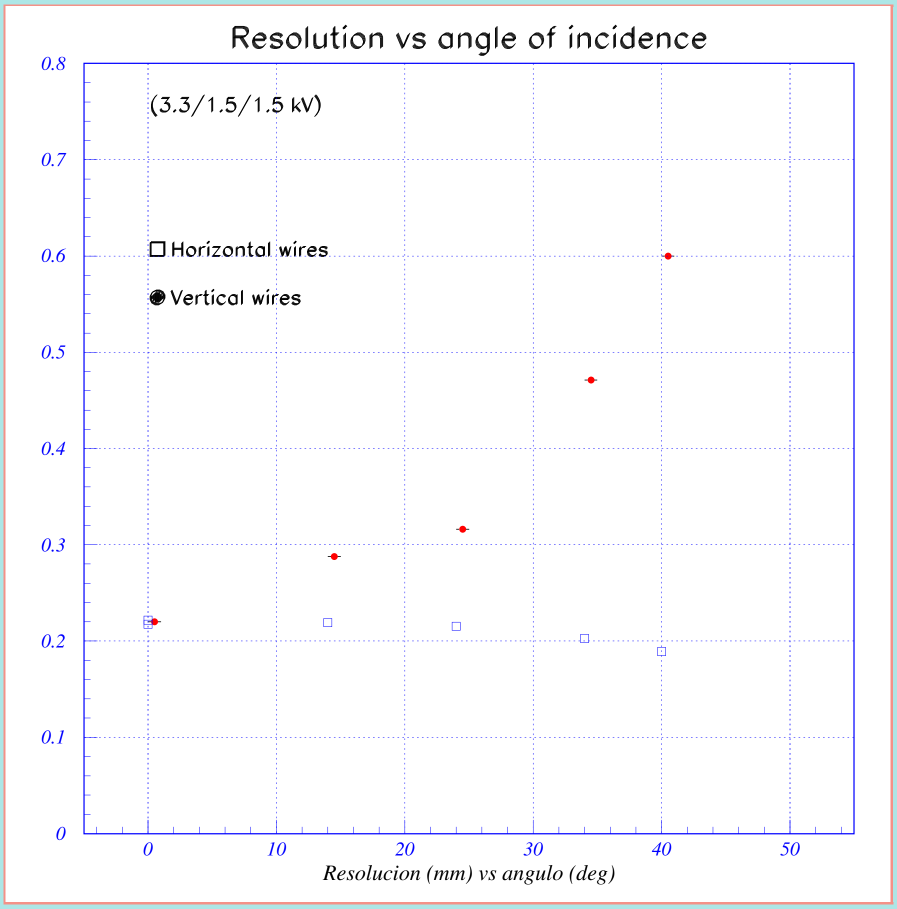


✓En la gráfica, la resolución ha sido estimada a partir de la distribución de residuos.

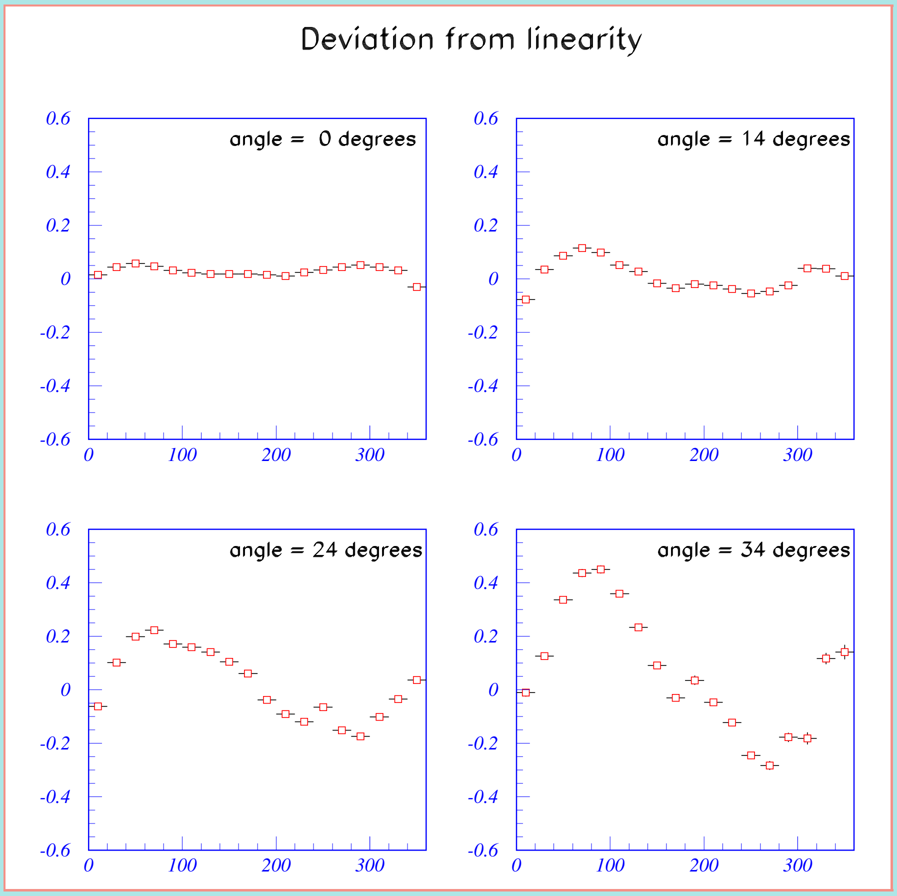
✓A medida que el campo eléctrico en el hilo aumenta se requieren menos electrones primarios para provocar una avalancha, disminuyendo así su indefinición temporal y espacial.

✓Se alcanzan desviaciones típicas en la distribución de residuos inferiores a $200\ \mu m$.

Comportamiento de la resolución (II) en función del ángulo



✓La resolución empeora con el ángulo de incidencia del muon.

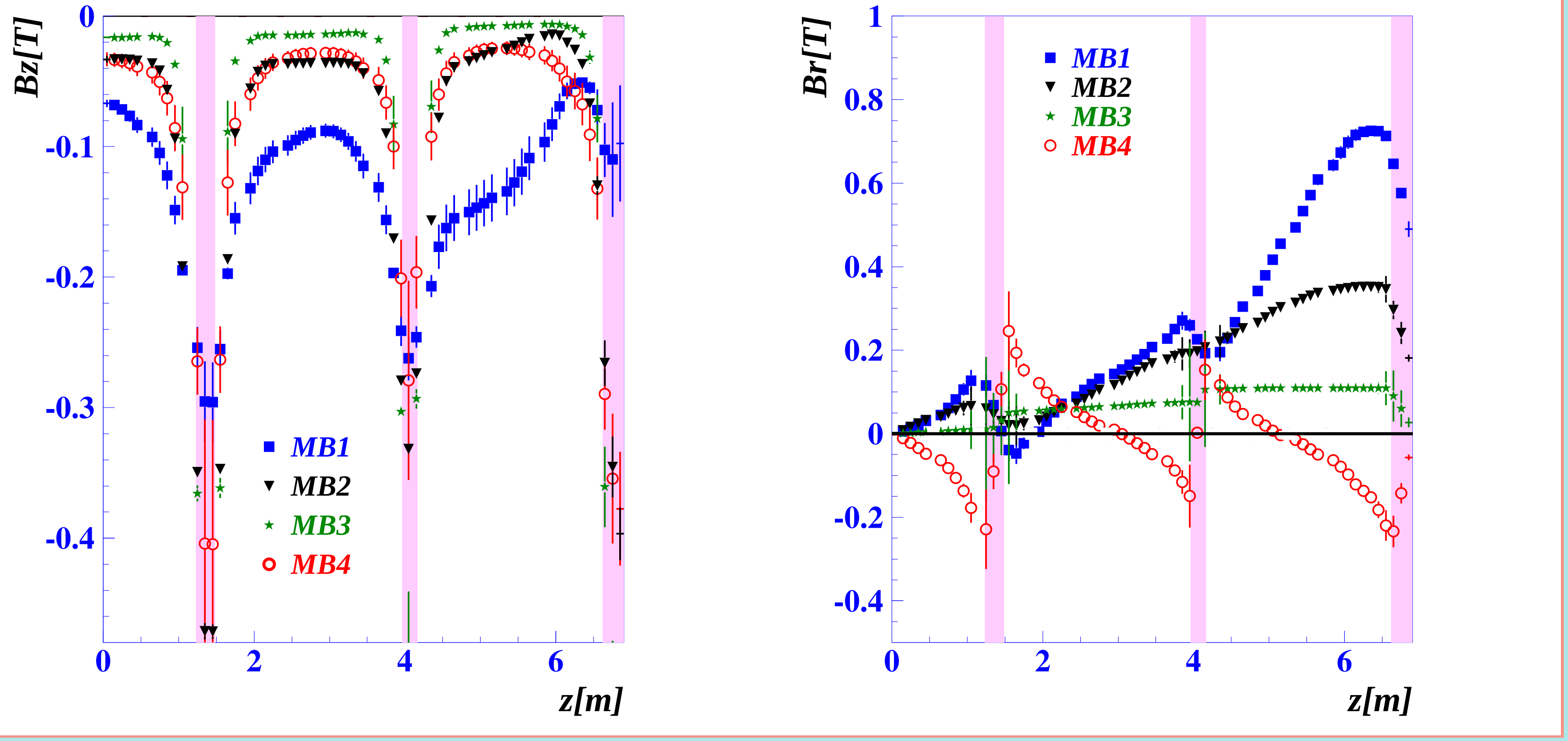


✓A partir de la pendiente media del haz, y asumiendo una relación espaciotemporal lineal, se obtiene la desviación para cada suceso.

✓Este método sobreestima la desviación respecto a la linealidad, al promediar la distribución de pendientes de los muones del haz.

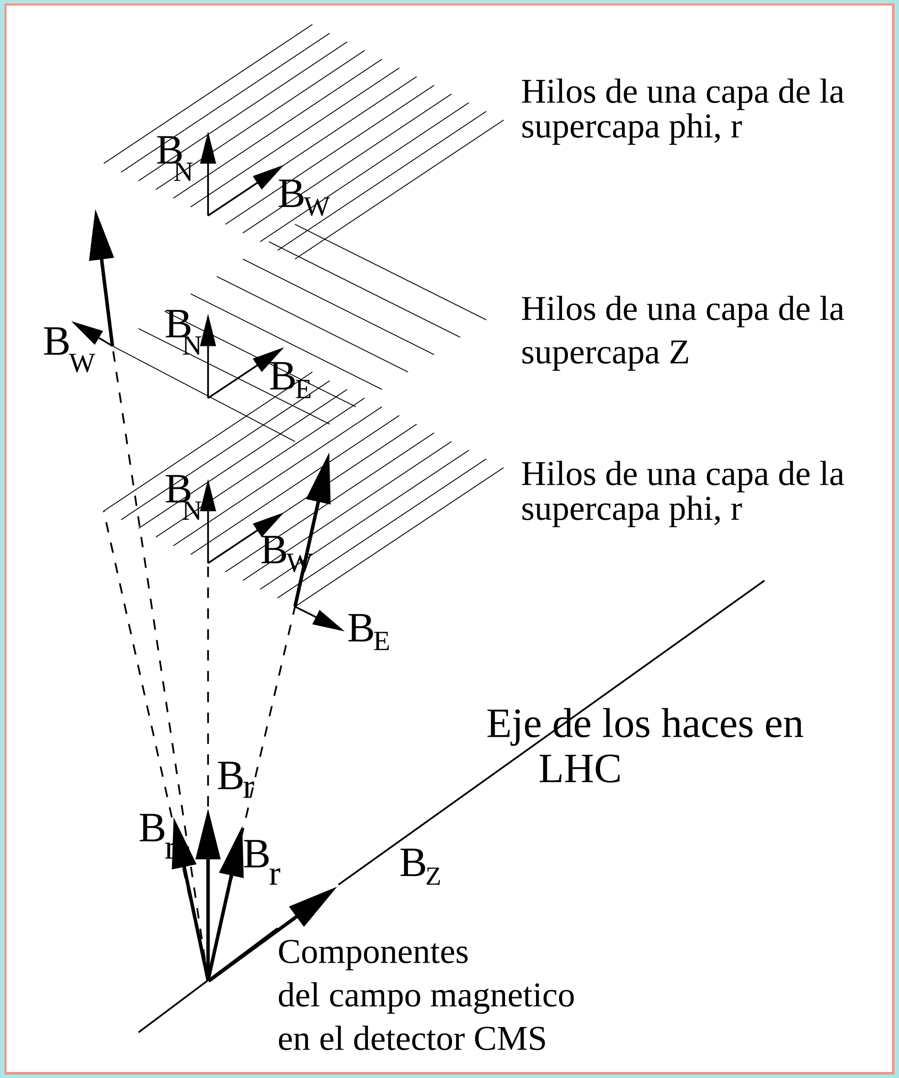
✓La desviación respecto a la linealidad es menor que $100\ \mu m$, para incidencia perpendicular, por debajo de la resolución intrínseca de la celda.

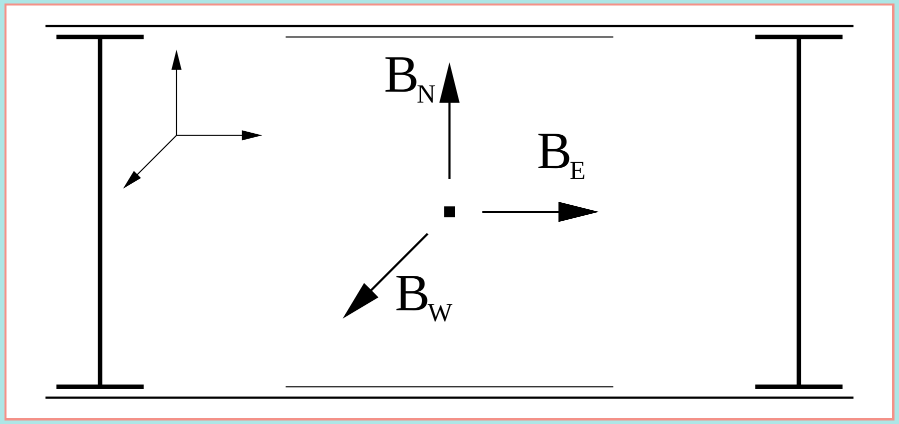
Componentes del campo magnético−paralela al eje de los haces B_Z y perpendicular B_r− en CMS.



☞ Cabe estudiar el comportamiento de las cámaras para valores de $B_z < 0.4\ T$ y de $B_r < 0.8\ T$

Orientación relativa de los hilos de las cámaras y del campo magnético en CMS

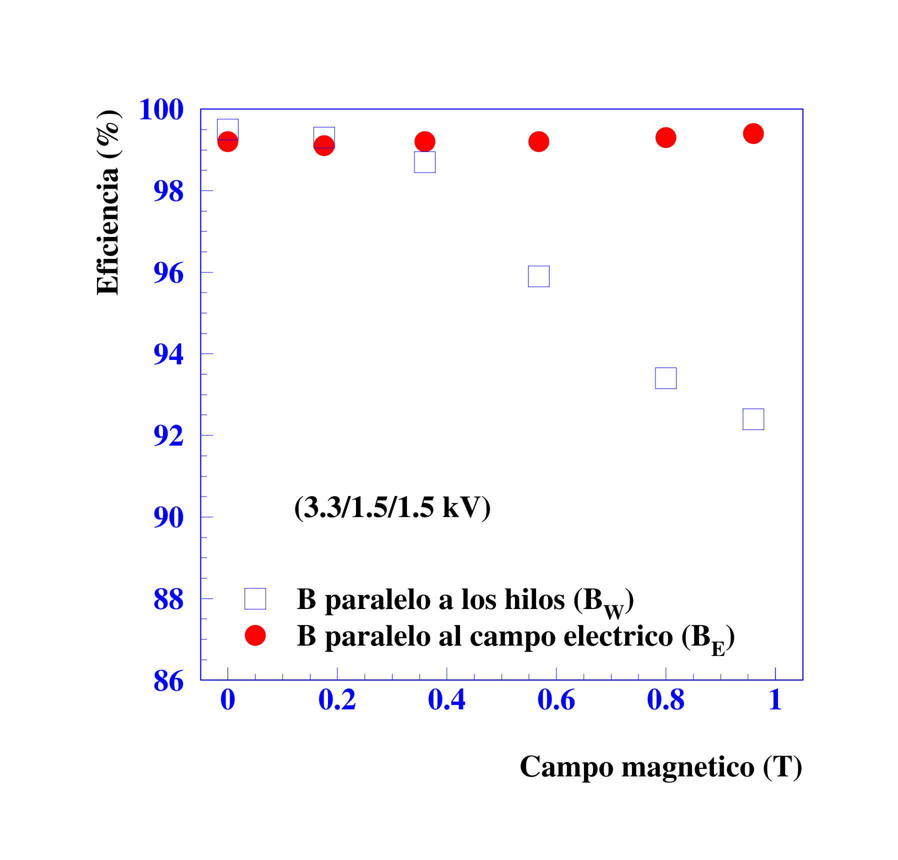


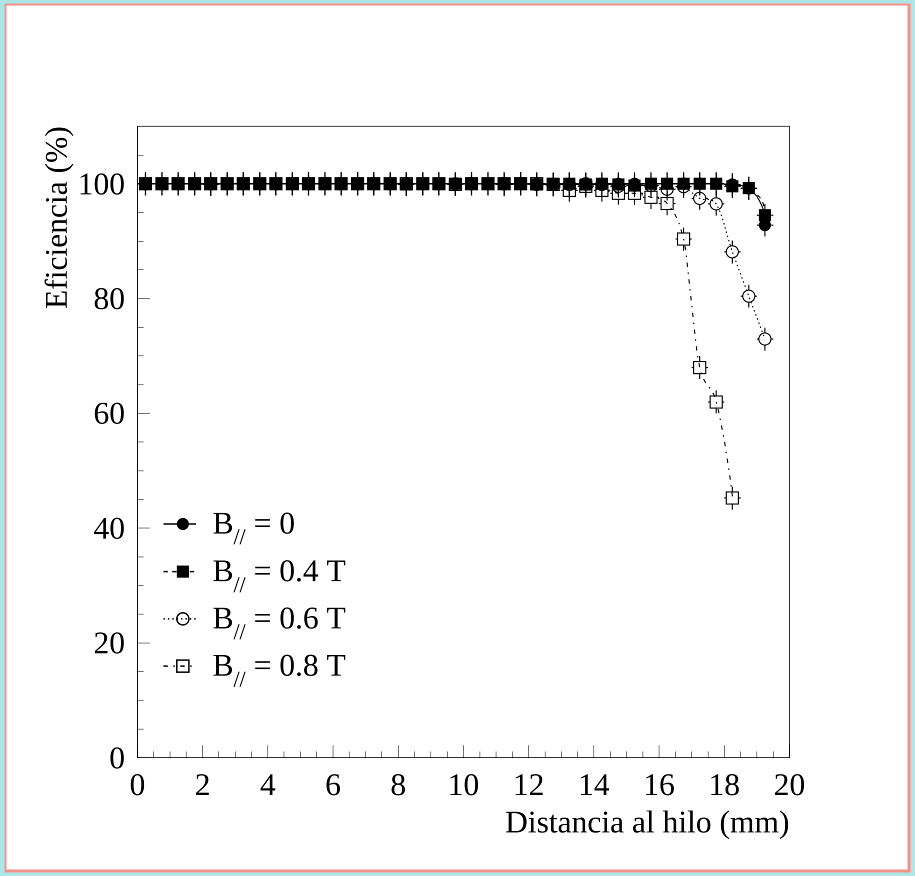


- ☞ El comportamiento de las cámaras se estudia para las orientaciones del campo magnético de la figura de arriba.

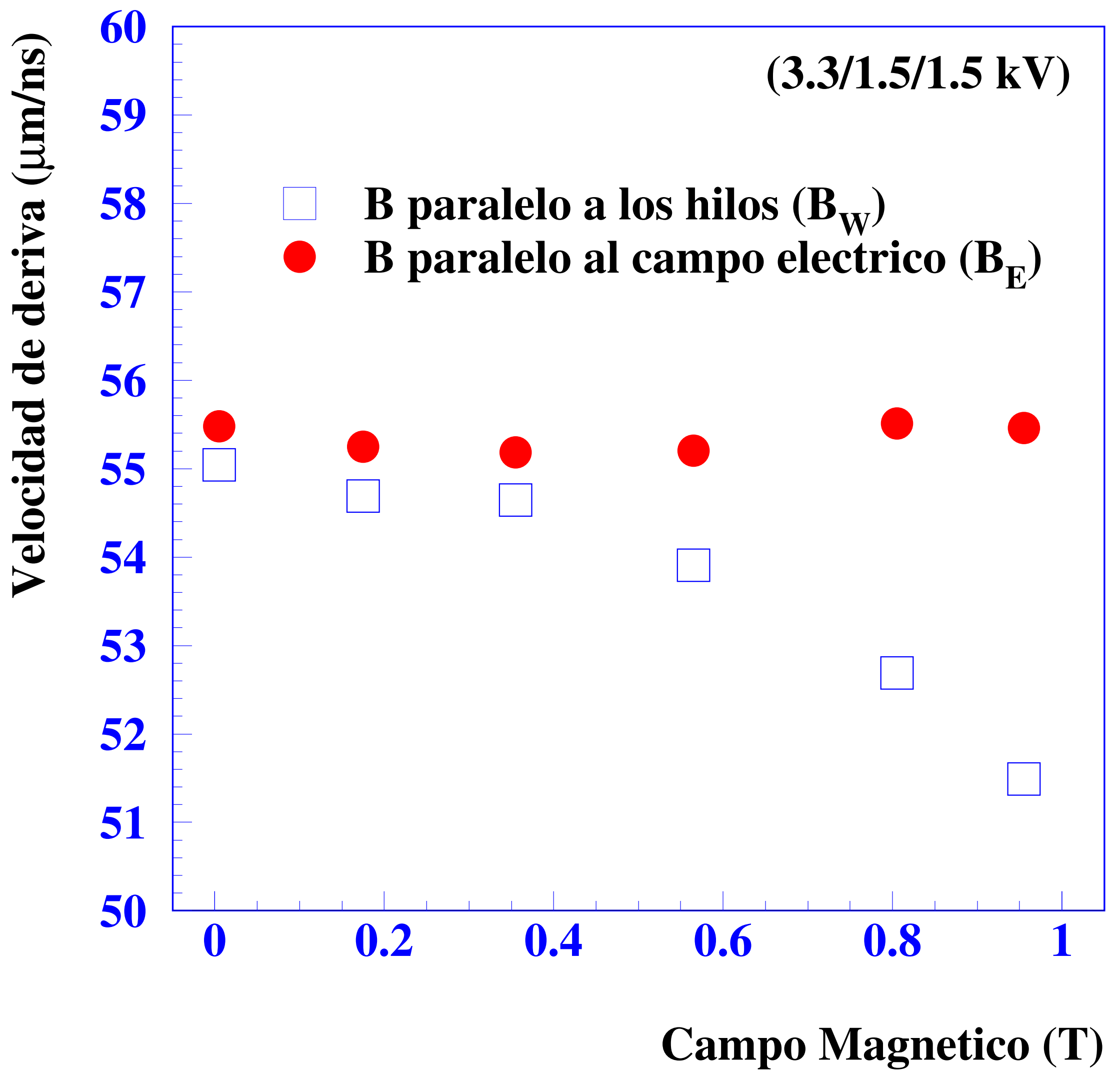
- ☞ En la otra figura se muestran las orientaciones del campo magnético de CMS en el interior de las celdas de deriva con respecto a sus hilos.

Comportamiento de la eficiencia

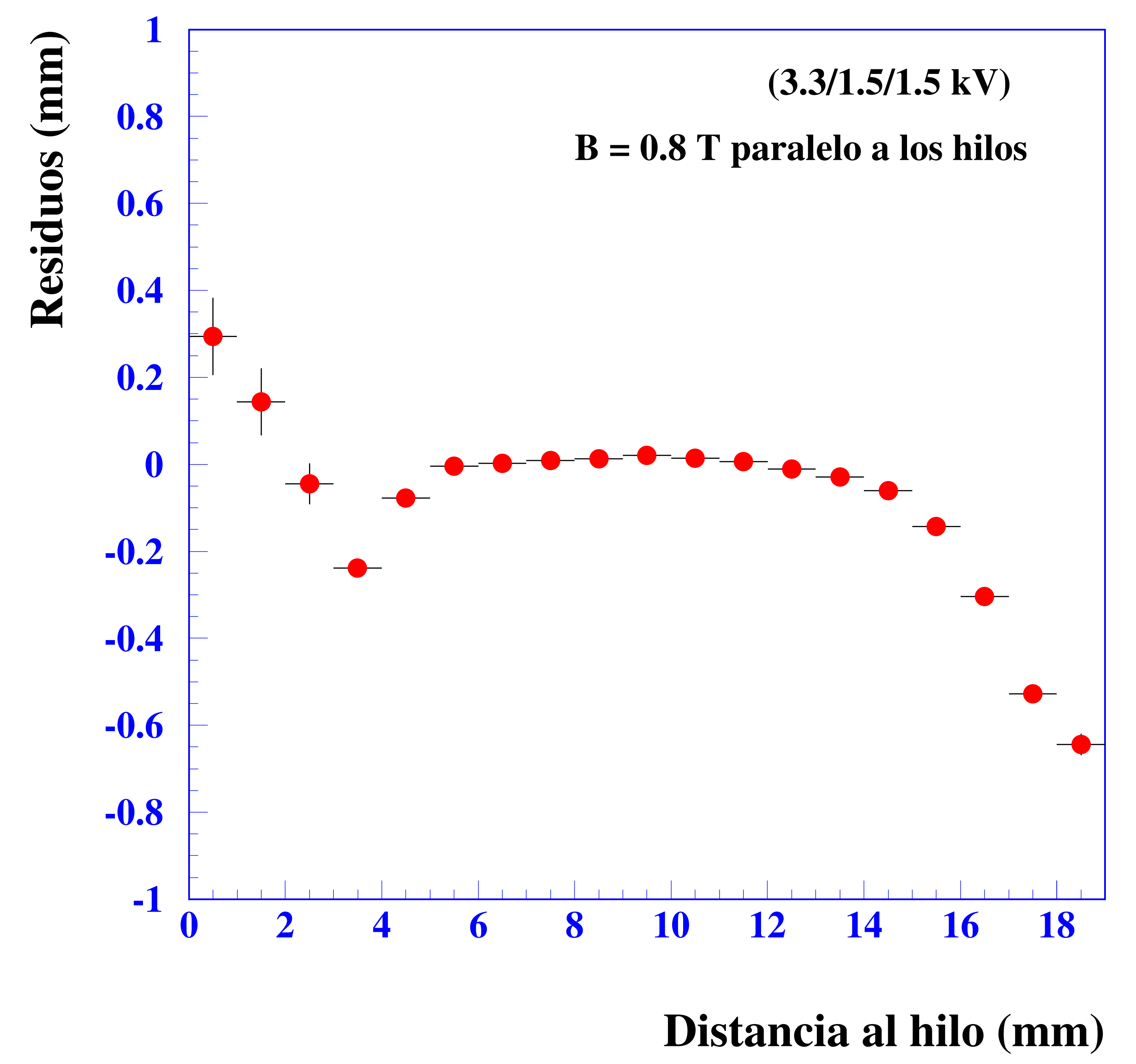




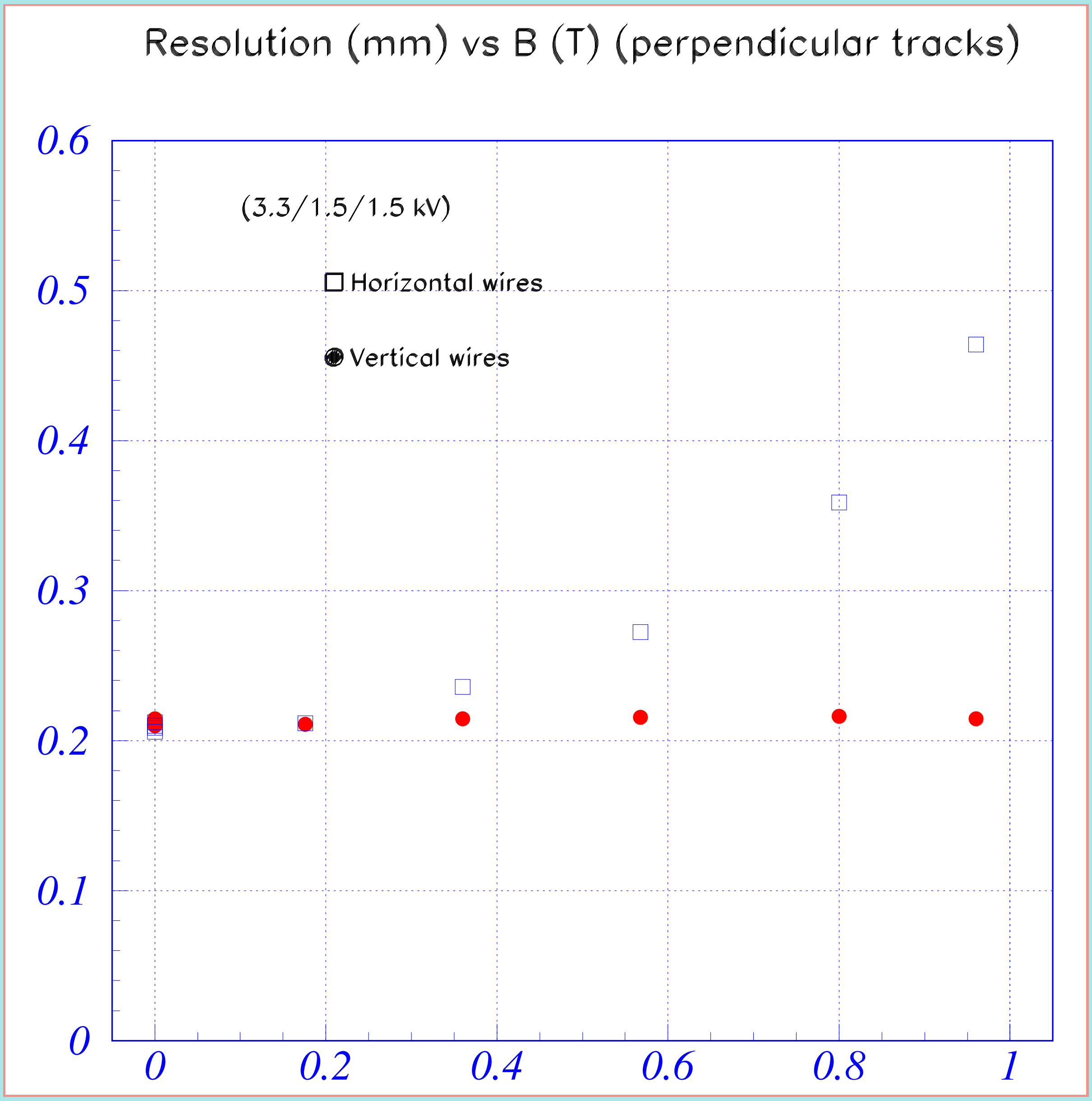
- La eficiencia sólo se ve afectada por B_W (no por B_E.)
- Las ineficiencias presentan un carácter local, apareciendo en las proximidades de la viga.
- Por debajo de $0.4\ T$ la eficiencia no se ve afectada



☞ La velocidad de deriva aparente no varía con B_E. La variación es del orden del $1\ \%$ para $0.4\ T$



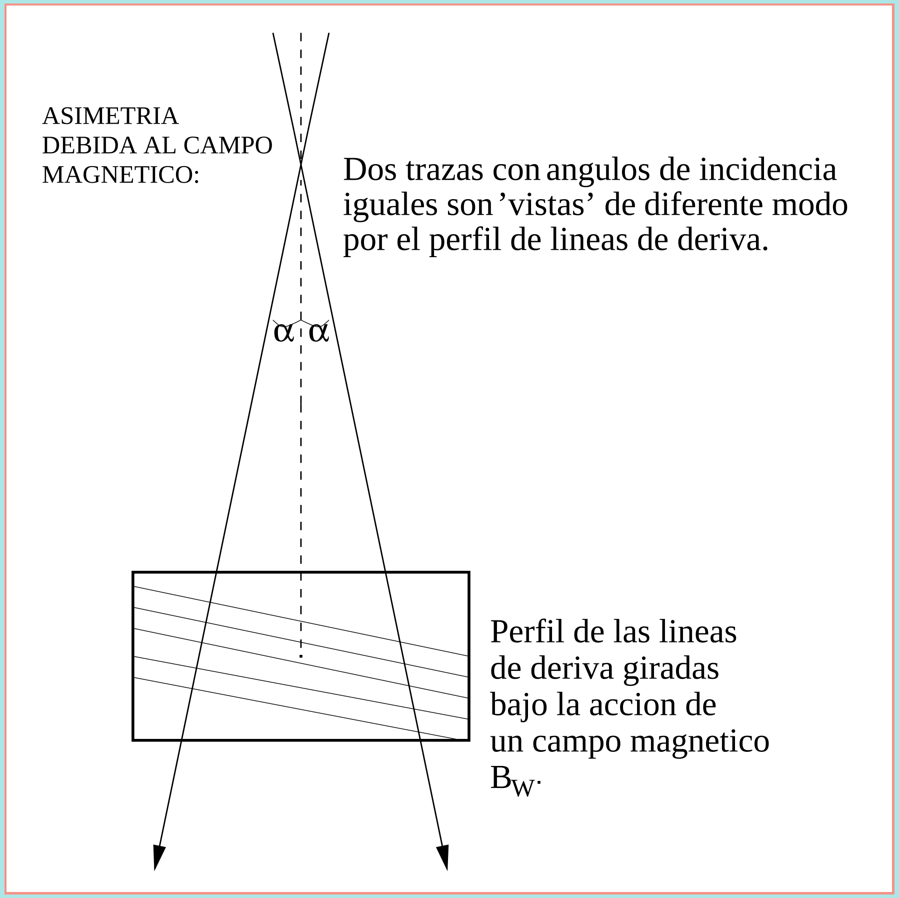
☞ El comportamiento de la celda se aparta de la linealidad a una distancia del hilo menor que $4\ mm$, para un campo $B_W = 0.8\ T$. El efecto es mínimo para $B_W < 0.4T$.

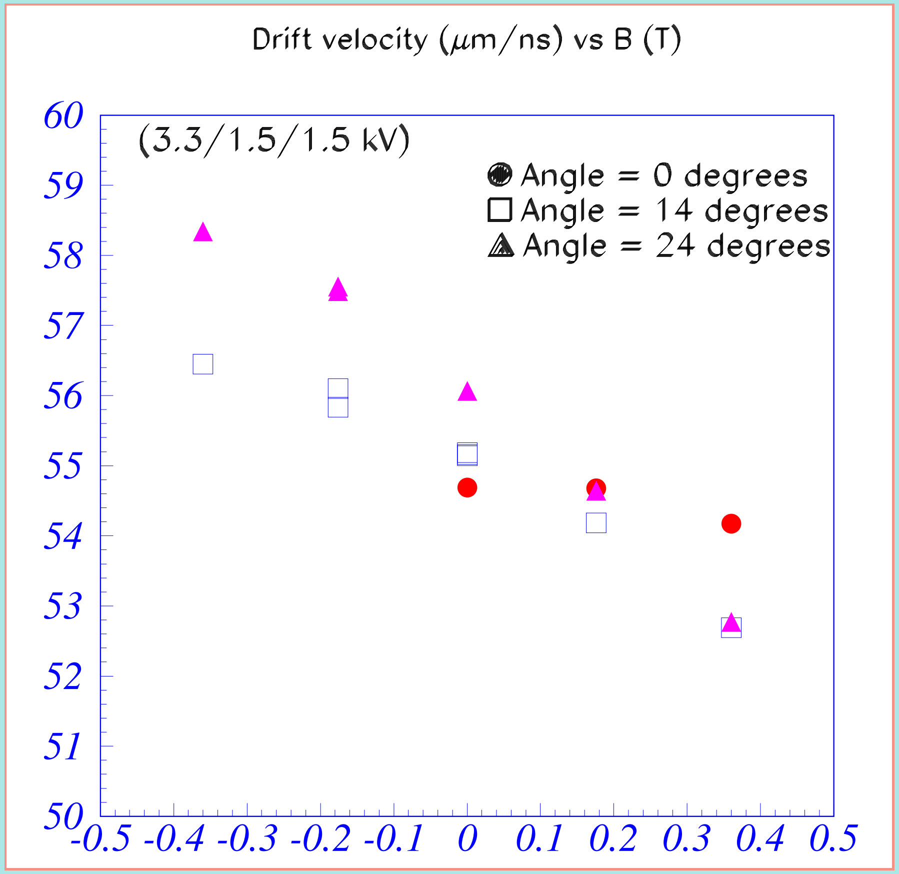


☞ La resolución se ha obtenido a partir de las anchuras de las desviaciones de *Mean Time*, observándose que se mantiene por debajo de $250\ \mu m$ para $B_W = 0.4T$, que es el mayor valor del campo B_W previsto en CMS.

☞ La resolución no se ve afectada por B_E.

Efectos asimétricos dependientes del ángulo





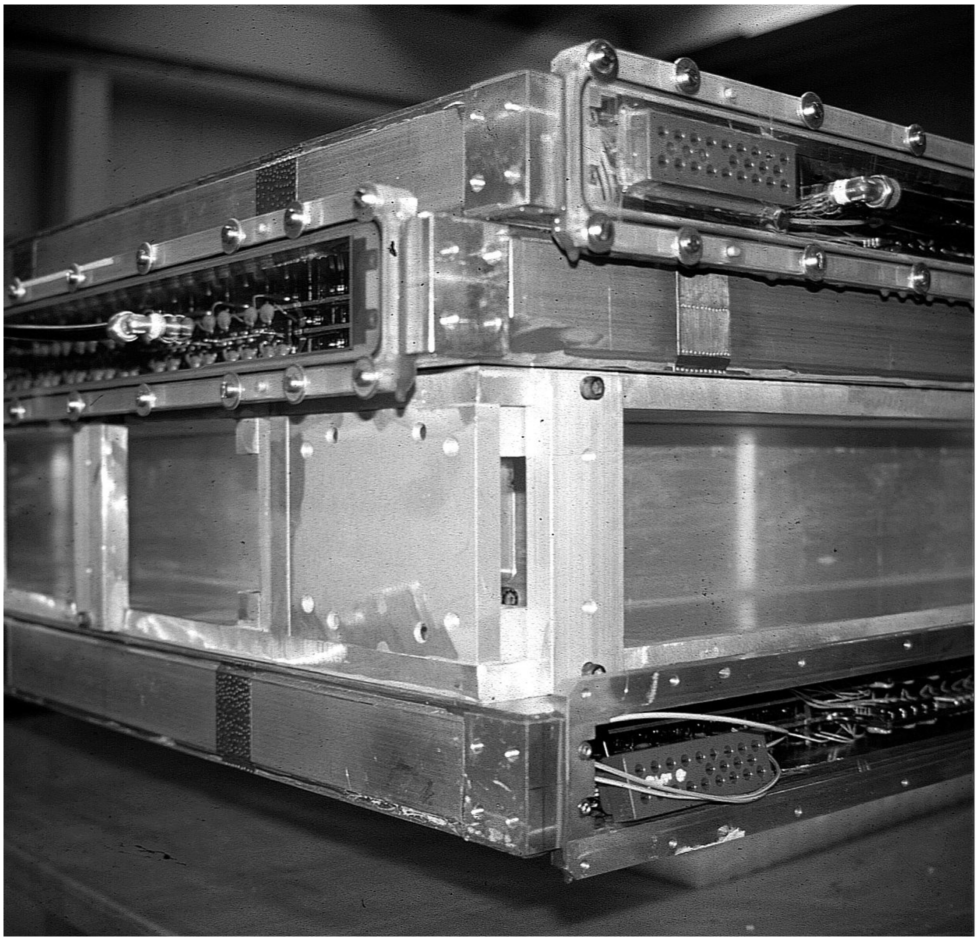
☞ B_W produce una rotación entorno al ánodo del perfil de las líneas de deriva, que provoca una asimetría en la longitud de los caminos de deriva con que se encuentran las señales procedentes de muones incidentes en ángulos opuestos. El efecto puede estudiarse a partir de la velocidad de deriva aparente, utilizando campos magnéticos opuestos.

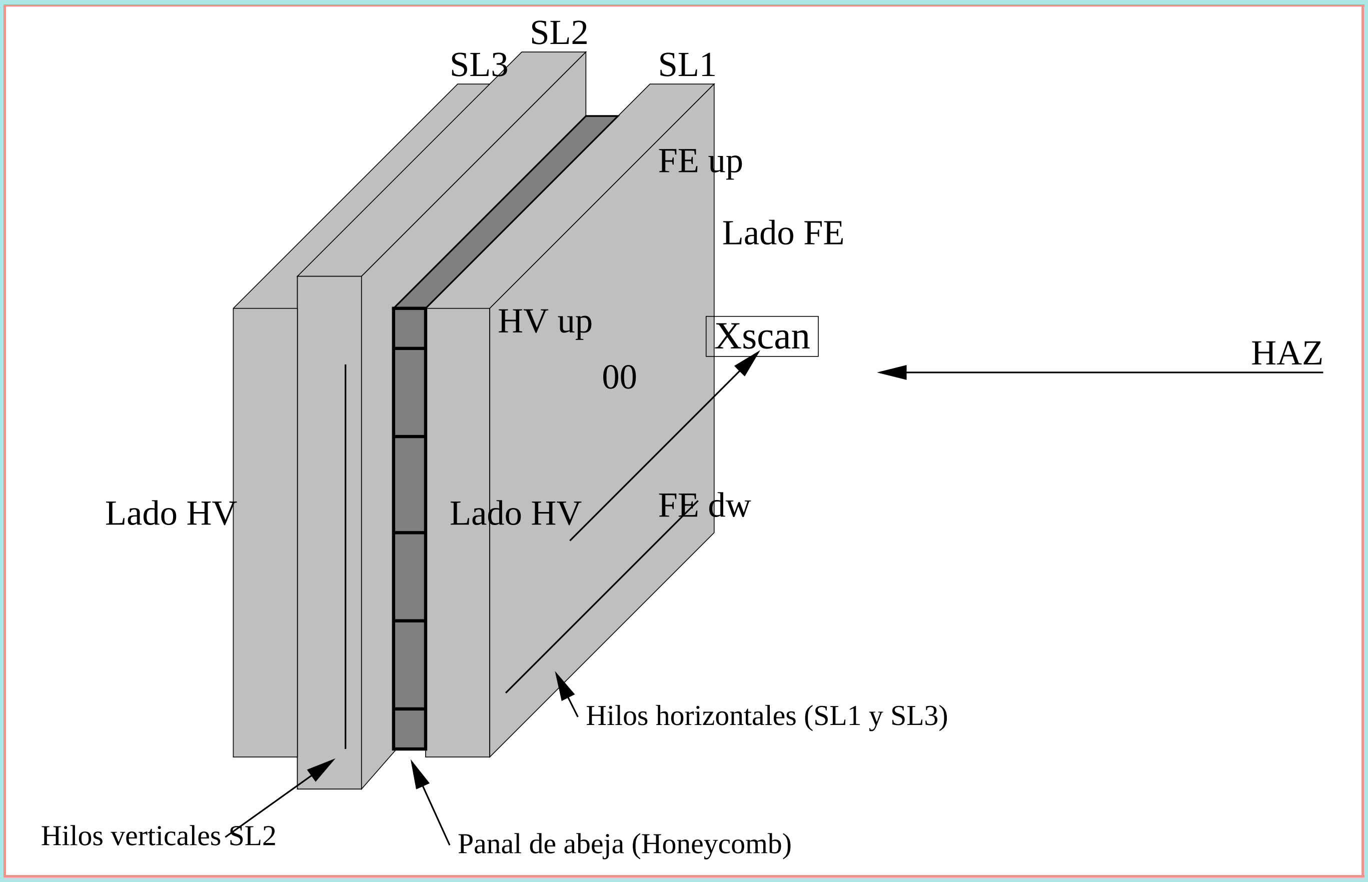
☞ Para un ángulo de 24° y $0.36\ T$ se produce una variación del orden del $\sim 10\%$ al invertir el campo.

☞ La cámara MB96 es una cámara MB1 del Detector Central de Muones.

☞ Fue construida en Legnaro en el INFN. El CIEMAT participó de manera destacada en su diseño y en la construcción de útiles para la misma, así como en la puesta a punto y la toma de datos.

☞ Se han tomado datos para diferentes ángulos, diferentes valores de potencial en los electrodos, y diferentes regiones de incidencia del haz con objeto de probar la uniformidad de la cámara en su funcionamiento.

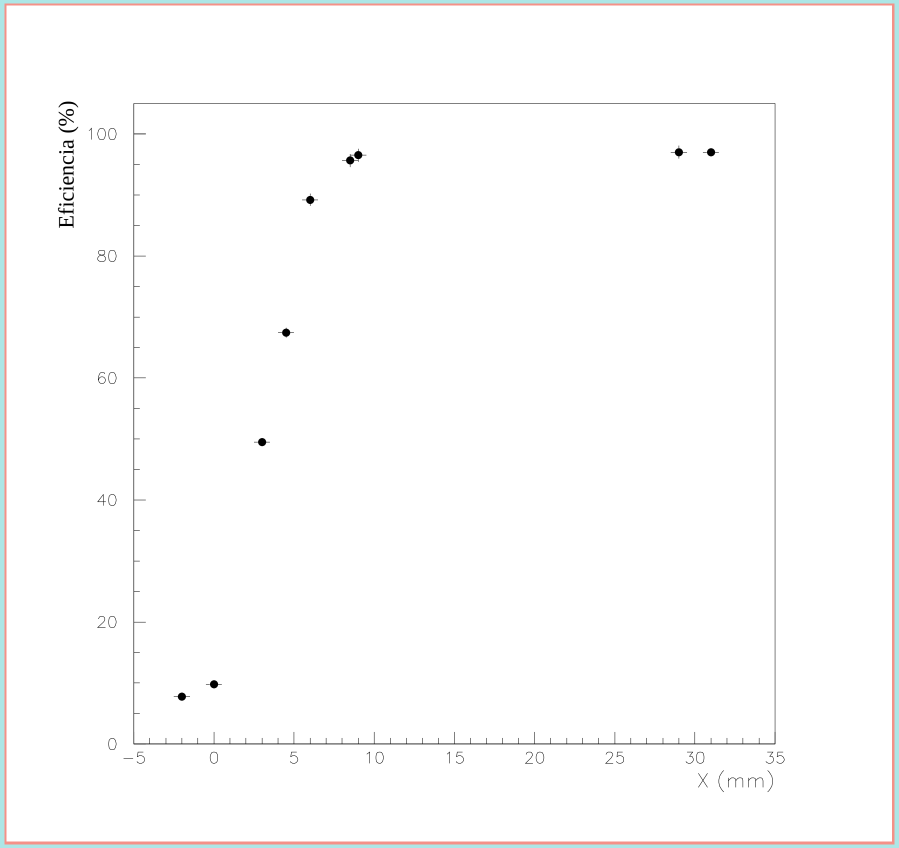


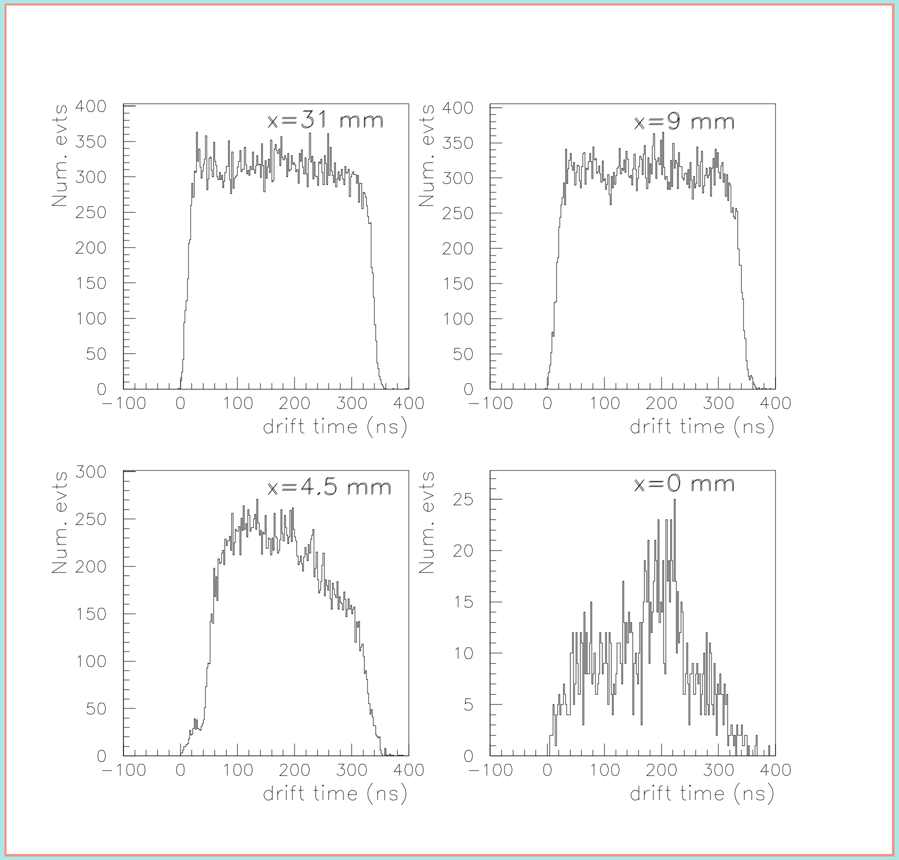


☞ Se ha realizado:

- Test de eficiencia en el extremo de la celda.
- Test de uniformidad para las regiones indicadas en la figura, mostrándose resultados de eficiencias y resoluciones.
- Propagación de la señal en el hilo, utilizando la derivada del espectro.

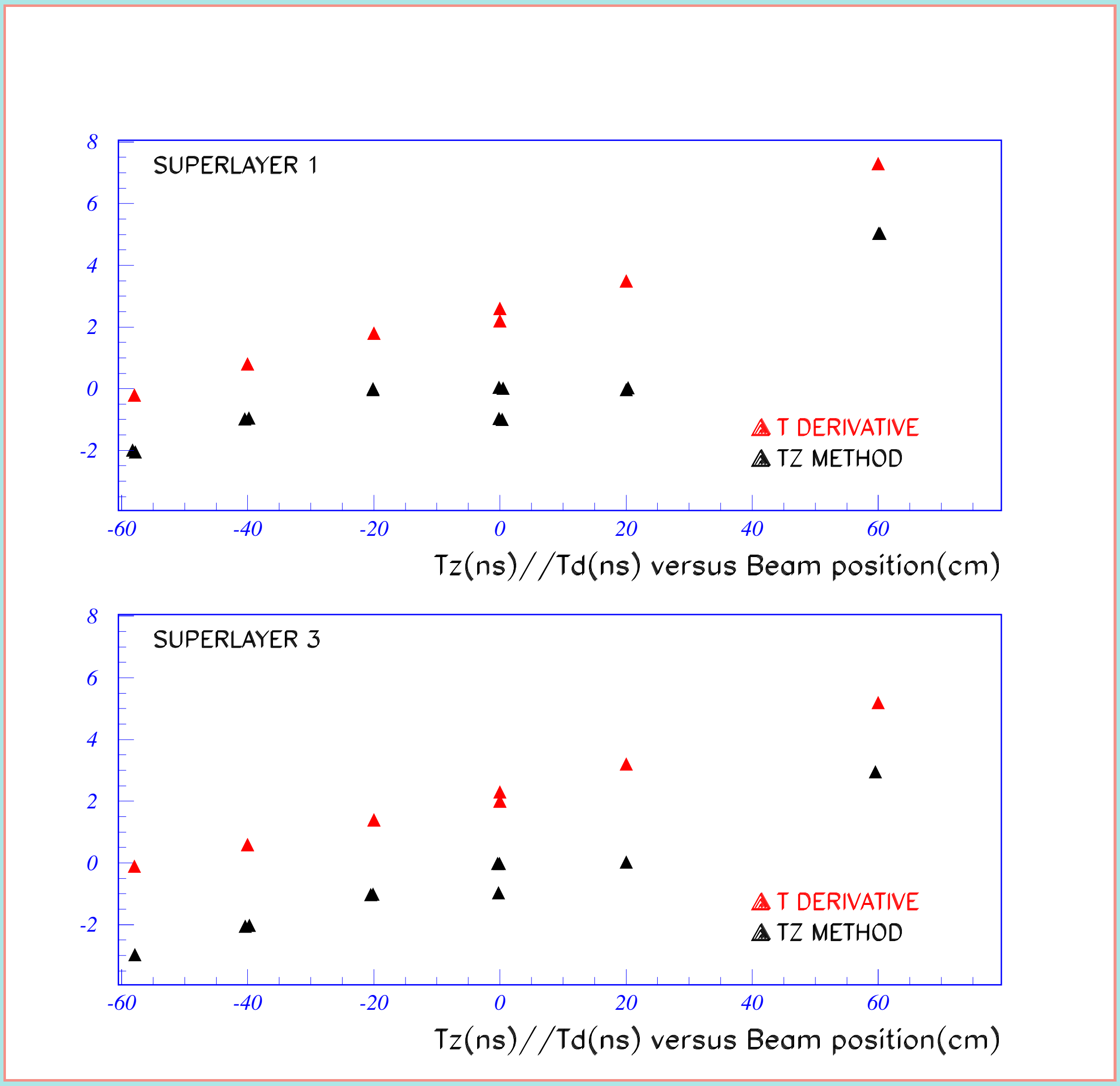
Test en el extremo del hilo





☞ A partir de $8\ mm$ después del bloque portahilos la eficiencia alcanza su *plateau* y el espectro de tiempos no presenta distorsión.

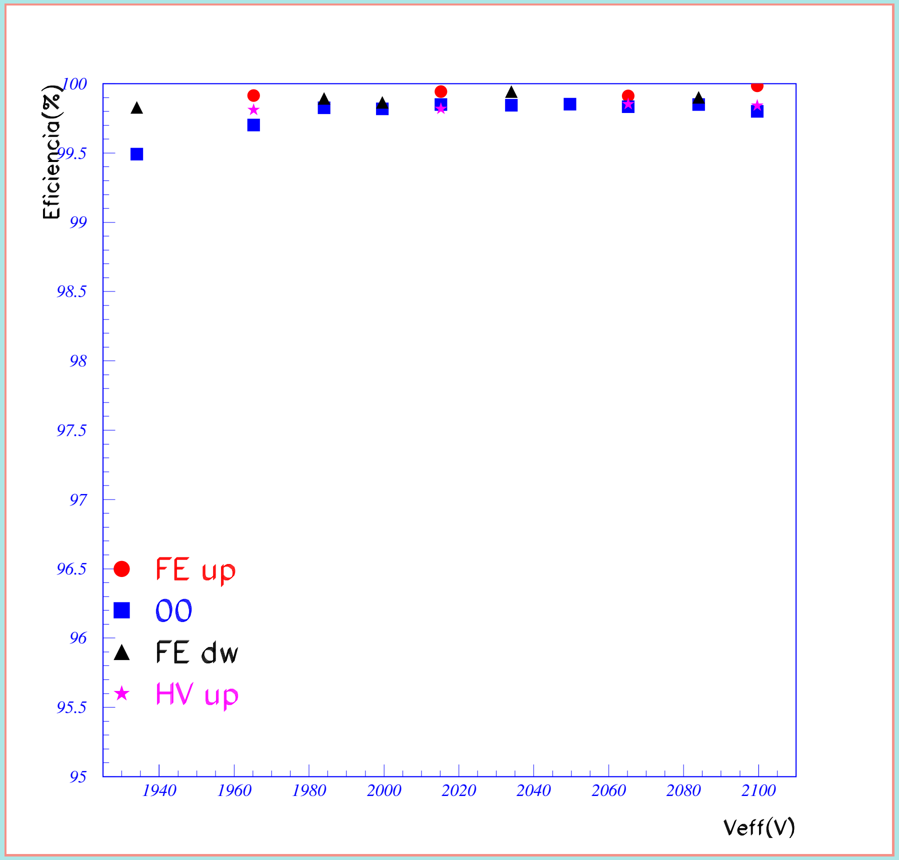
Propagación de la señal en el hilo

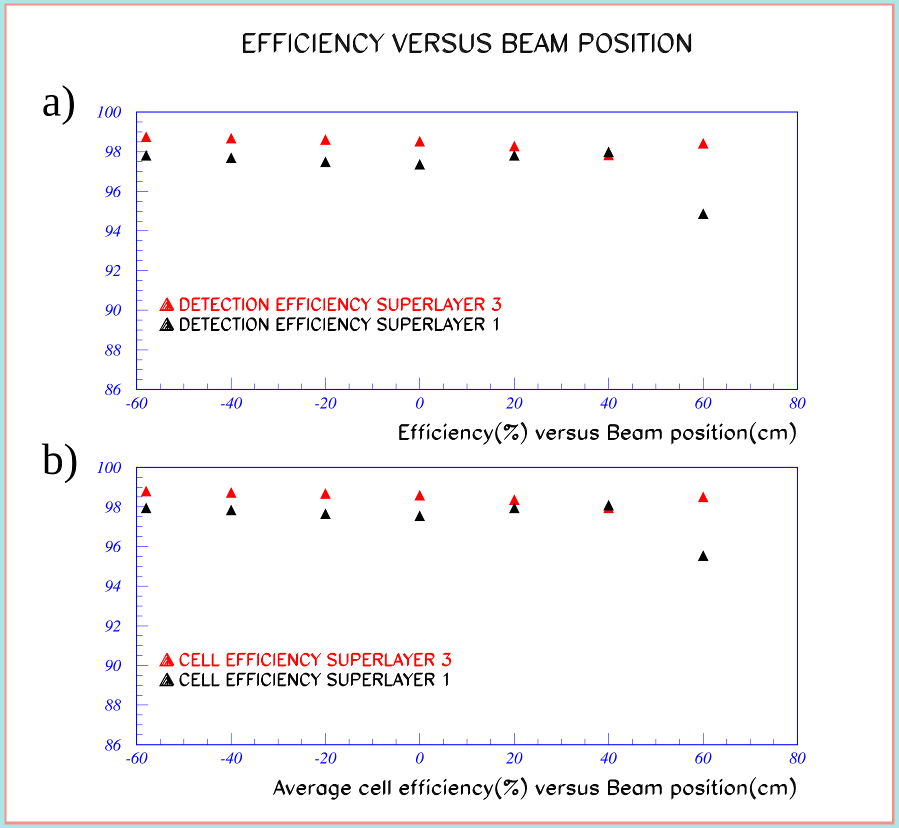


☞ Se estudia el inicio de los espectros de *runes* consecutivos, en un corto periodo de tiempo, a lo largo de los hilos horizontales, mediante el ajuste del ruido de fondo y a partir de la derivada del espectro con resultados consistentes.

☞ Podemos explicar este resultado asumiendo una velocidad de propagación en el hilo del orden de $0.22\ m/ns$.

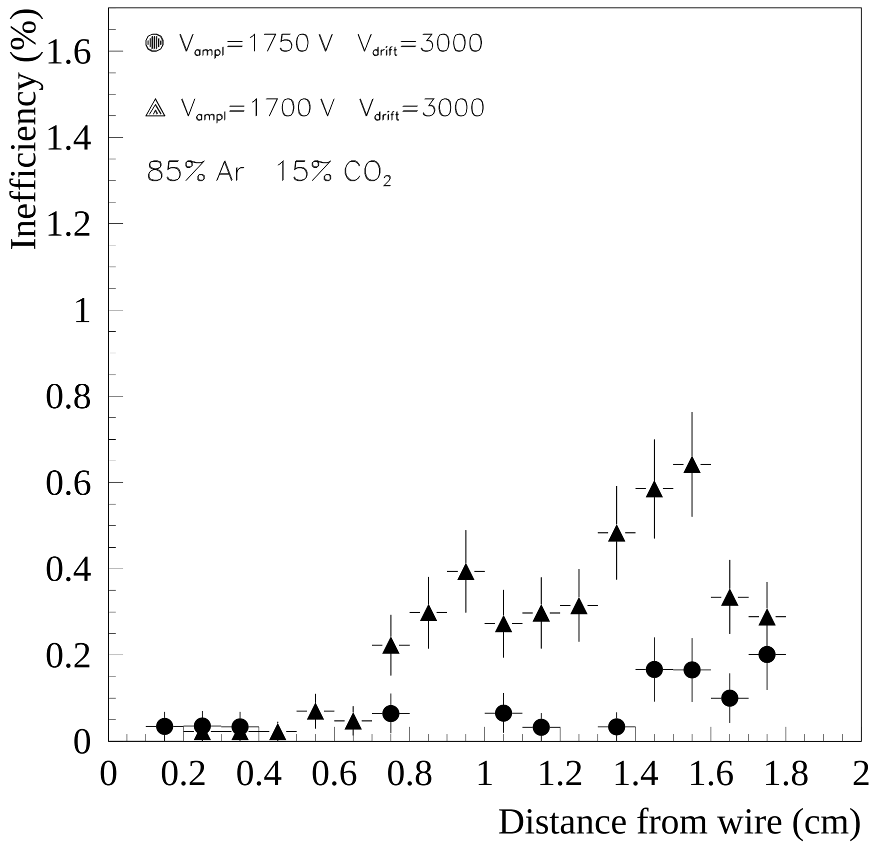
Test de Uniformidad. Eficiencia



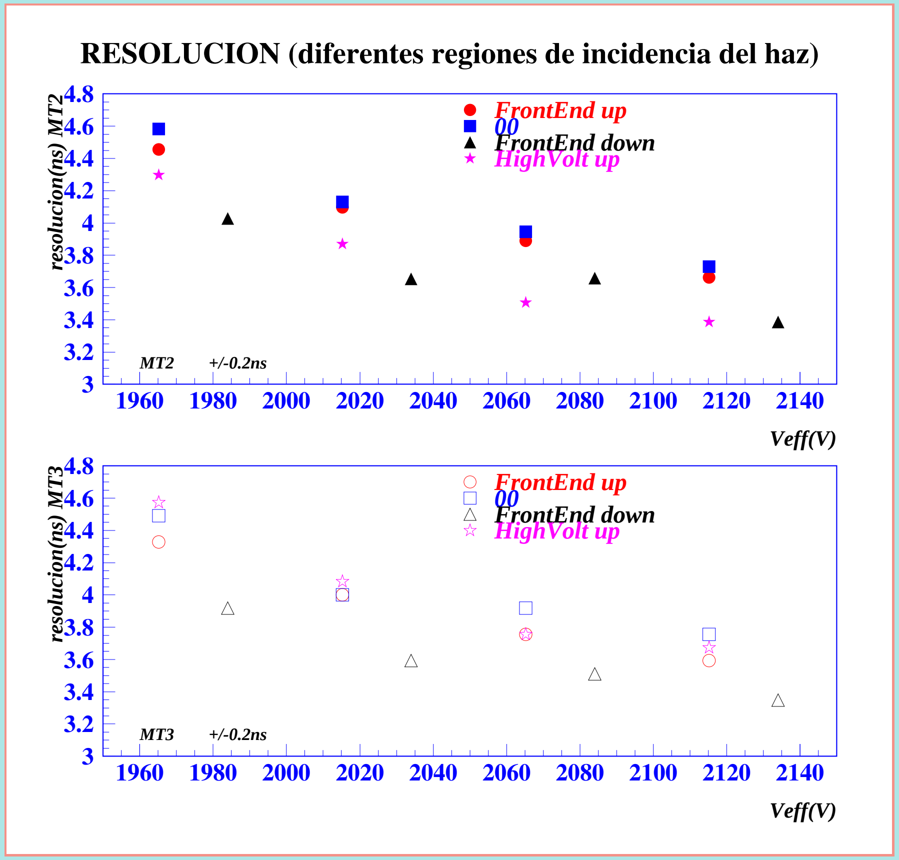


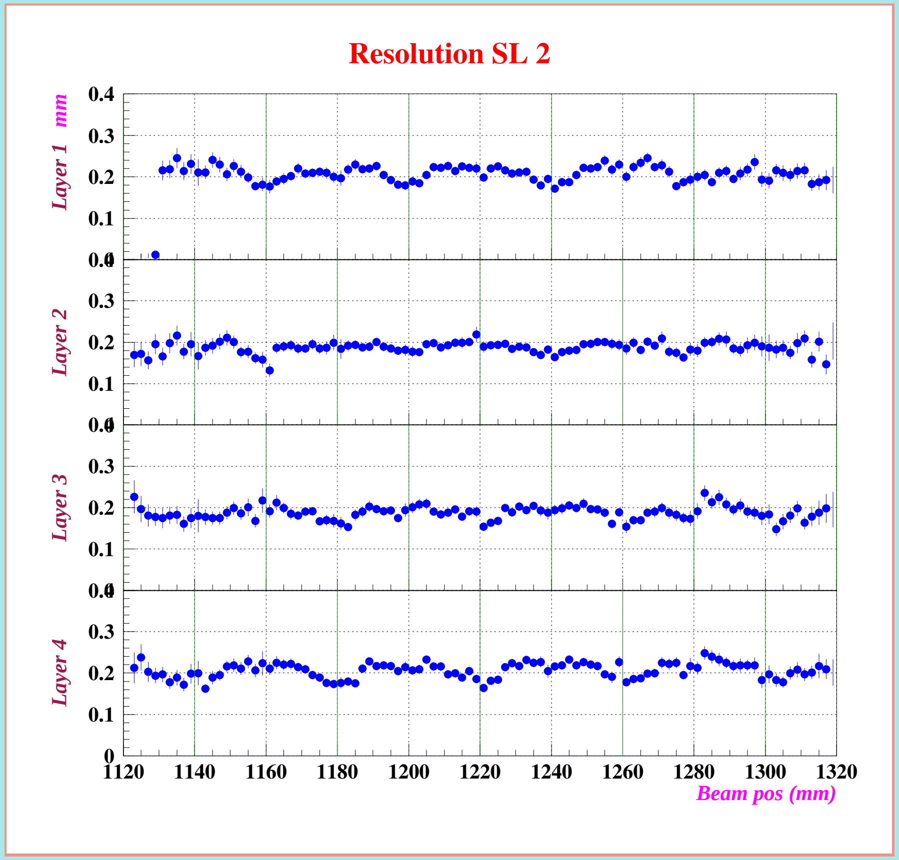
☞ Todas las regiones de la cámara operan correctamente.

Eficiencia en el interior de la celda



Test de Uniformidad. Resolución





☞ Comportamiento uniforme de la cámara para todas sus regiones.

☞ Así a lo largo de la distancia al hilo en el interior de la celda.

✌ El trabajo ha supuesto la construcción de prototipos a escala reducida en el CIEMAT, y a escala real en Legnaro (INFN).

✌ Los prototipos han sido expuestos al haz de muones H2 del CERN, donde han sido exhaustivamente probados. en diferentes condiciones de ángulos, tensiones, campo magnético, umbral.

✌ El prototipo construido en el CIEMAT ha cumplido los requisitos mecánicos de posicionado de hilos con la precisión requerida de $100\ \mu m$, y superó las pruebas de estanqueidad y alta tensión a que se le sometió.

✌ Se han estudiado las prestaciones del prototipo, en un haz de pruebas, en función de los múltiples parámetros que determinan su rango de operación.

✌ Se alcanza una velocidad de deriva promedio de $55.2\ \mu m$ en las condiciones estándar en que se ha operado. El comportamiento de la velocidad de deriva confirma que se ha operado en condiciones de saturación.

✌ Para trazas perpendiculares las desviaciones respecto a la linealidad son inferiores a $100\ \mu m$.

✌ El *BTI* de una supercapa sólo se habría visto afectado en un $3\ \%$ de sucesos a causa de rayos δ.

✌ La eficiencia de detección es, salvo en las proximidades de las vigas $> 99\ \%$.

✌ El prototipo alcanza una resolución mejor que $250\ \mu m$ en la medida de cada hilo.

✌ El estudio del comportamiento del prototipo bajo un campo magnético revela que la componente B_E no afecta a la operación en el rango de $0 - 1\ T$. Mientras que para el valor $B_W = 0.4\ T$, la eficiencia se mantiene por encima del $98\ \%$, y la resolución es mejor que el valor $250\ \mu m$.

✌ El prototipo a escala real confirma que los útiles empleados y los controles realizados son aplicables a la producción en serie de las cámaras, mostrando un comportamiento uniforme y dentro de los requerimientos.

✌ Participación en la fase de construcción, optimización y control de calidad del prototipo de tamaño reducido.

✌ Preparación del *test beam* y de la toma de datos.

✌ Estudio de los datos adquiridos durante el *test beam*.

✌ Participación en la construcción control de calidad, *test beam* y estudio de los datos del prototipo a escala real MB96.