

Caracterización de detectores altamente segmentados de HPGe mediante SALSA (SAlamanca Lyso-based Scanning Array) para reducir el fondo de medida

Gala González Briz

Cat. Begoña Quintana Arnés

XIII Jornadas sobre la Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental

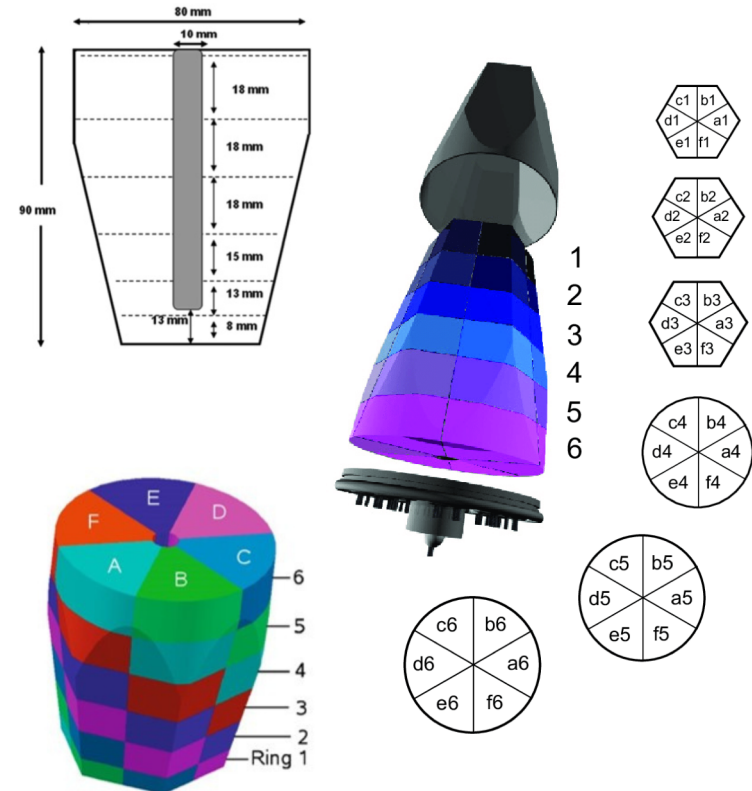
4 de junio de 2026

Detectores altamente segmentados

- Detectores de radiación γ
- 2-3 kg de Ge, $V \cong 380 \text{ cm}^3$
- Geometría asimétrica de tronco de cono
- Compuestos por **cristales coaxiales de HPGe tipo n**:
 - El contacto interno es tipo n
 - El **contacto externo es tipo p y está segmentado eléctricamente**



Volumen subdividido en
36 segmentos + contacto central



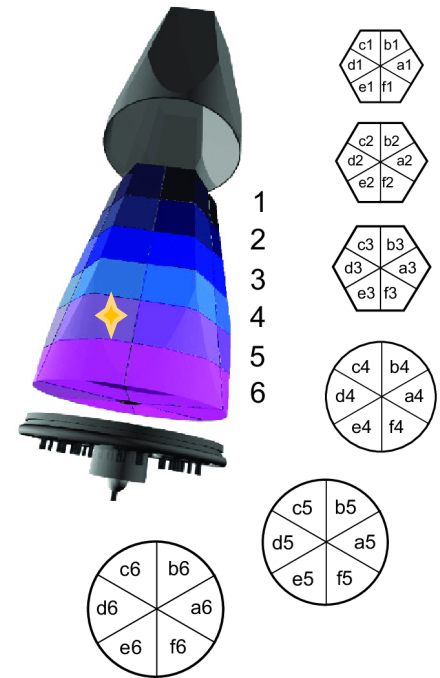
doi:10.1016/j.nima.2011.11.081
doi:10.1016/j.nima.2012.10.028
Agata/TDR/Dec08/EUJRA

Detectores altamente segmentados (AGATA)

Permite conocer la **posición de interacción** en el cristal

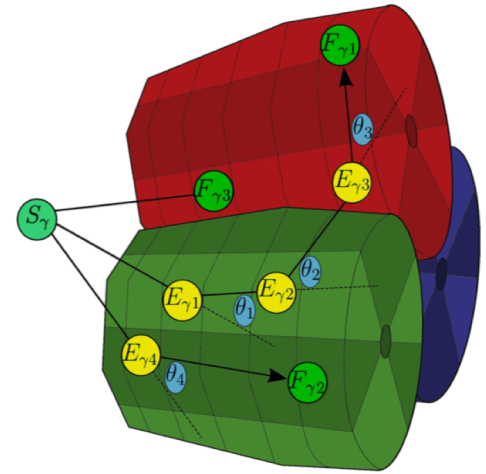
- El contacto externo es tipo p y está segmentado eléctricamente

Volumen subdividido en
36 segmentos + contacto central



Detectores altamente segmentados (AGATA)

Conocer la **posición y la energía depositada** por un fotón **en cada interacción** permite reconstruir su trayectoria y energía



Tesis F. Holloway, U. Liverpool (2022)

$$E_f = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

Detectores altamente segmentados (AGATA)

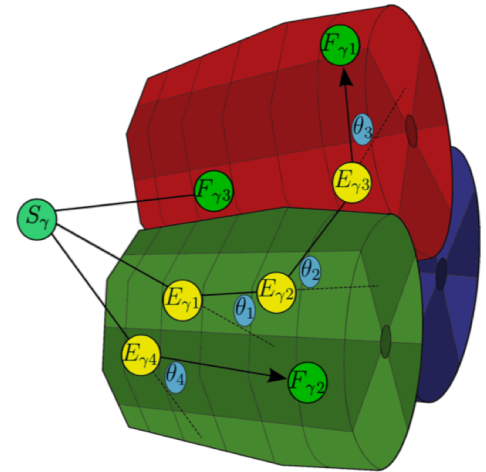
Conocer la **posición y la energía depositada** por un fotón **en cada interacción** permite reconstruir su trayectoria y energía

- Determinar si se ha absorbido por completo en el detector:

Rechazar los eventos que **escapan del cristal** y contribuyen al **fondo Compton**

- Reconstruir la trayectoria del rayo γ :

Descartar los eventos que **no proceden de la fuente** de medida



Tesis F. Holloway, U. Liverpool (2022)

$$E_f = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

Detectores altamente segmentados (AGATA)

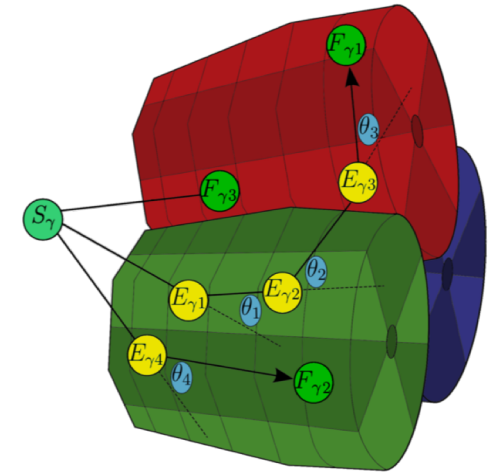
Conocer la **posición y la energía depositada** por un fotón **en cada interacción** permite reconstruir su trayectoria y energía

- Determinar si se ha absorbido por completo en el detector:

Rechazar los eventos que **escapan del cristal** y contribuyen al **fondo Compton**

- Reconstruir la trayectoria del rayo γ :

Descartar los eventos que **no proceden de la fuente** de medida

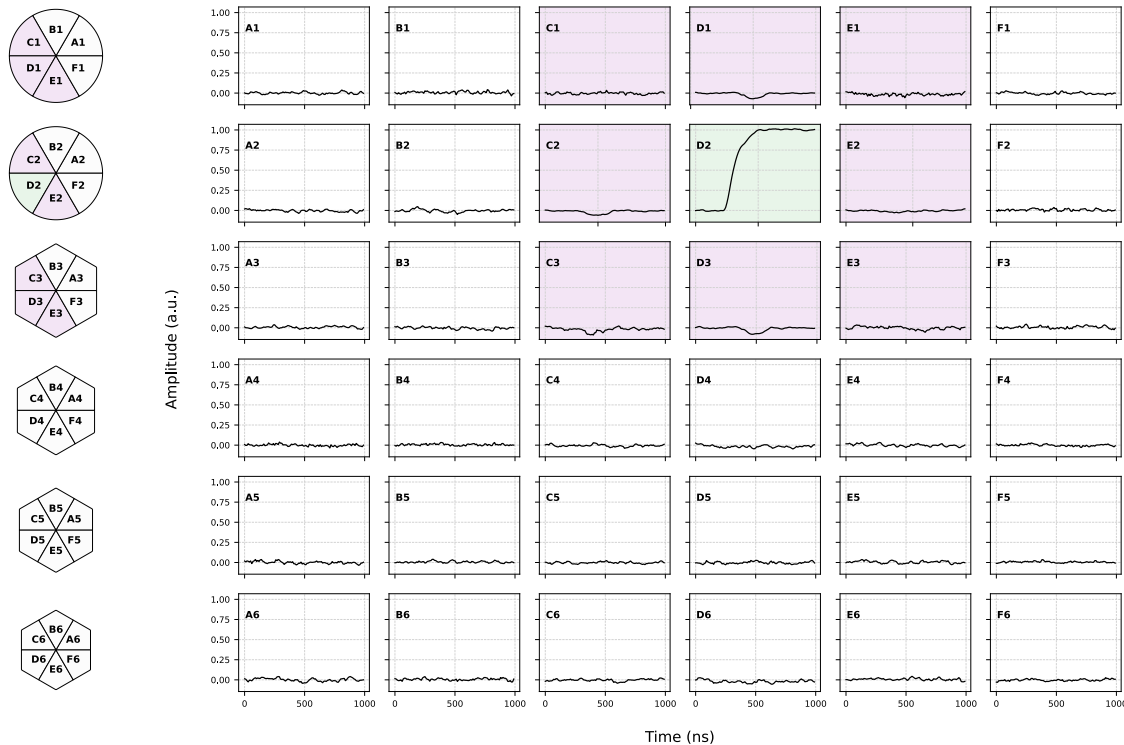


$$E_f = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

No se requiere el uso de **detectores auxiliares antiCompton**

Determinación de la posición de interacción

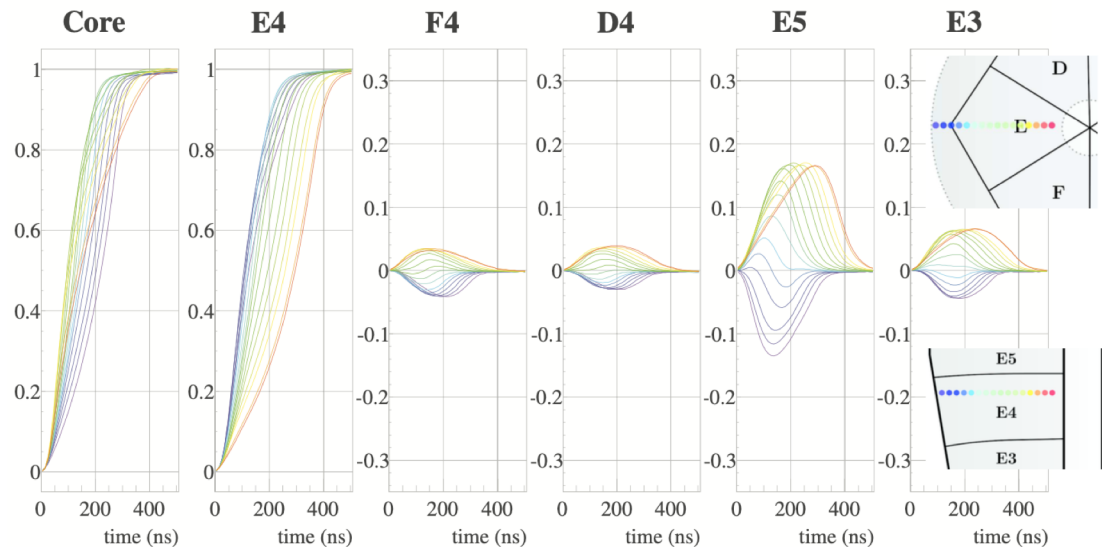
La **posición de interacción** de la radiación en el detector se determina por medio de la **forma de los pulsos eléctricos**



Determinación de la posición de interacción

La **posición de interacción** de la radiación en el detector se determina por medio de la **forma de los pulsos eléctricos**

Posición radial $\rightarrow$ Señal de carga neta

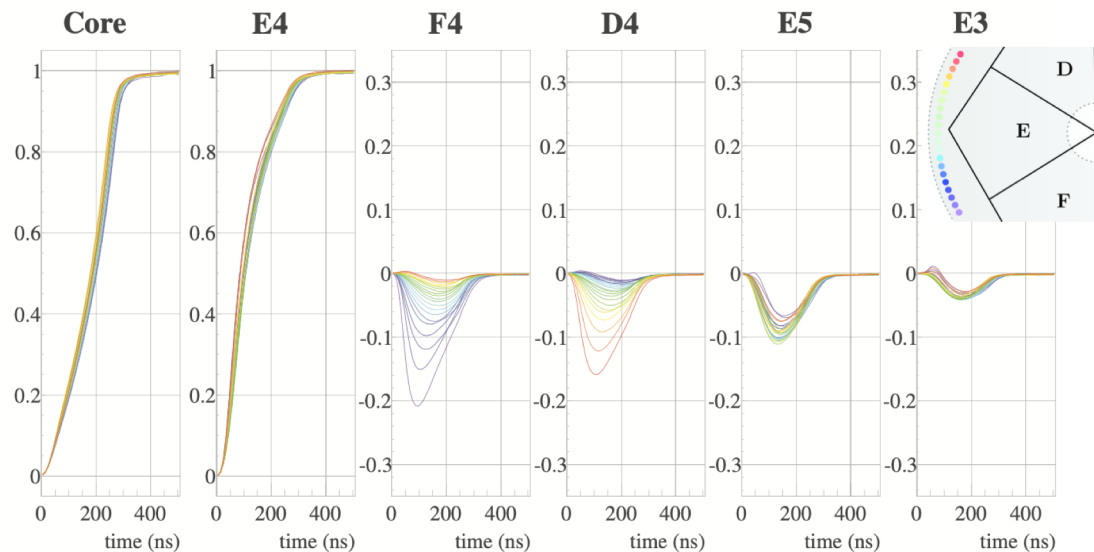


Tesis M. Ginz, U. Strasbourg (2015)

Determinación de la posición de interacción

La **posición de interacción** de la radiación en el detector se determina por medio de la **forma de los pulsos eléctricos**

Posición angular → Señales transitorias (izquierda y derecha)

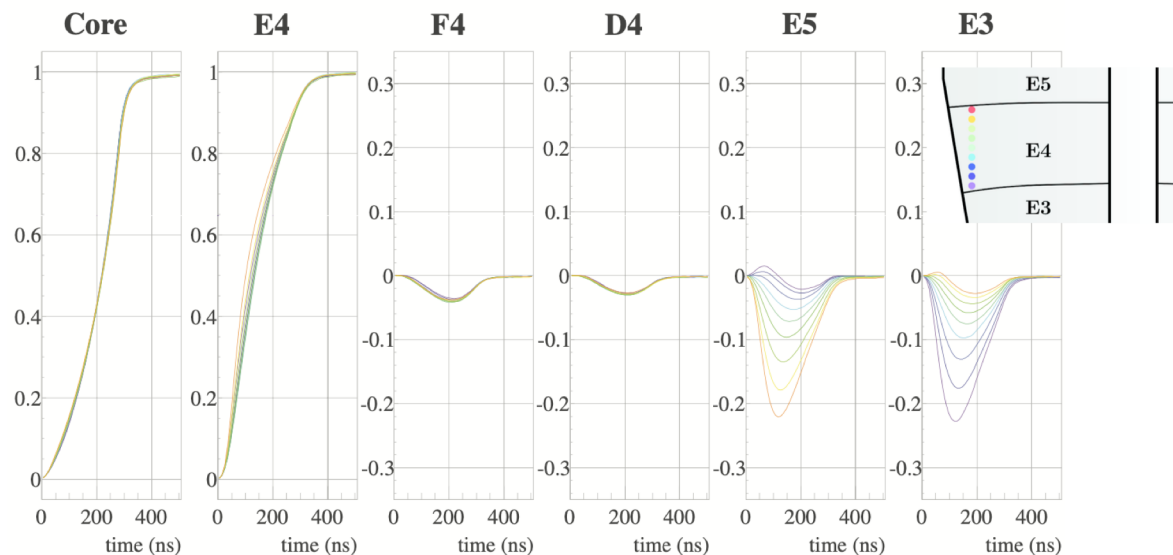


Tesis M. Ginsz, U. Strasbourg (2015)

Determinación de la posición de interacción

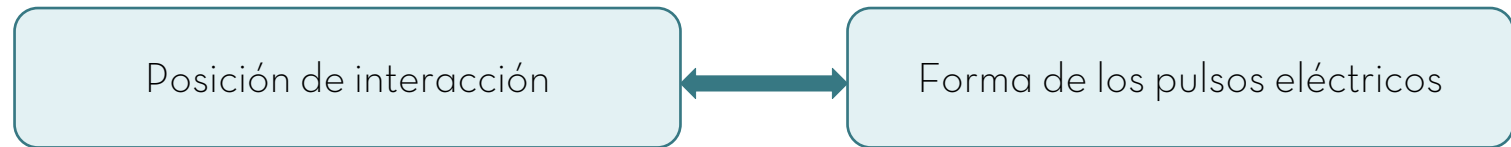
La **posición de interacción** de la radiación en el detector se determina por medio de la **forma de los pulsos eléctricos**

Posición en altura → Señales transitorias (superior e inferior)

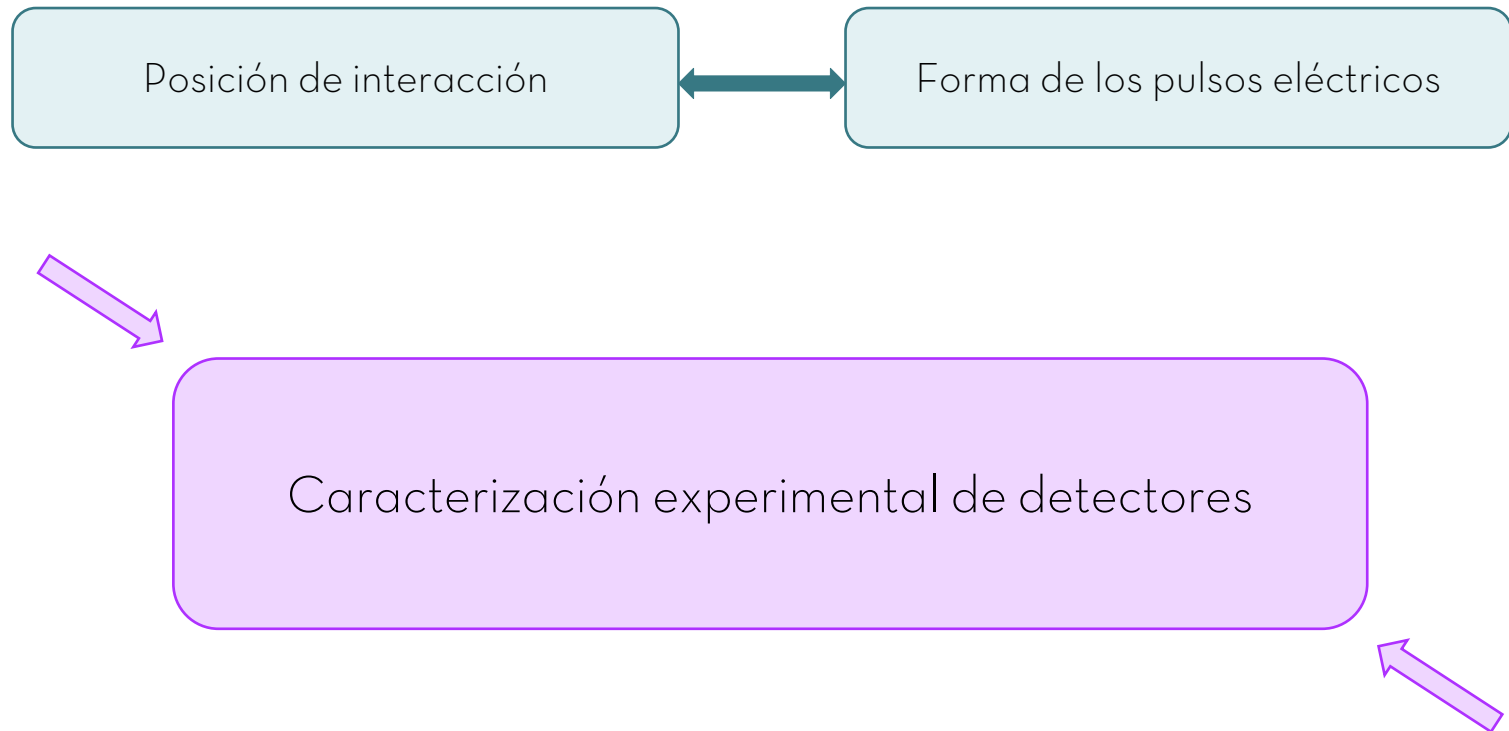


Tesis M. Ginsz, U. Strasbourg (2015)

Determinación de la posición de interacción



Determinación de la posición de interacción

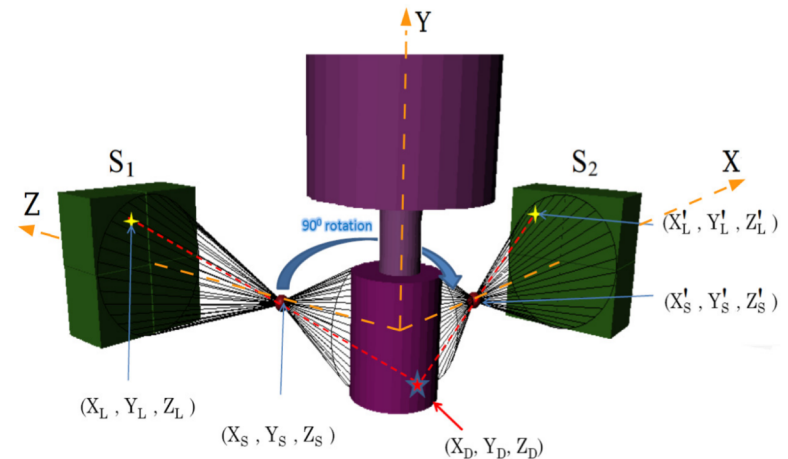
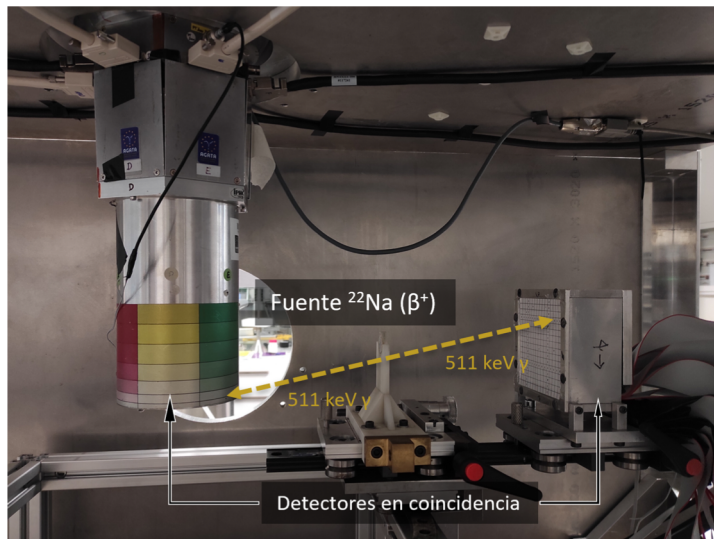


SALSA: SALamanca Lyso-based Scanning Array

Caracterización experimental de detectores multsegmentados

Objetivo: Construir una **base de datos** experimental que relacione la **posición de interacción** de la radiación en el cristal con la **respuesta eléctrica del detector**

- Fuente ^{22}Na : Emisión de dos fotones de 511 keV a 180° (colimación activa)
- Medida en coincidencia, entre el detector a escanear y la cámara de radiación γ



<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2016.03.103>

SALSA: SALamanca Lyso-based Scanning Array



Cámara de radiación γ :

- 4 PSD (Detectores sensibles a la posición)
- Centelladores: Cristales LYSO - 4 x (52x52x5 mm³)
- Fotomultiplicadores pixelados: 4 x 64 = 256 píxeles $\equiv$ 256 canales !!!

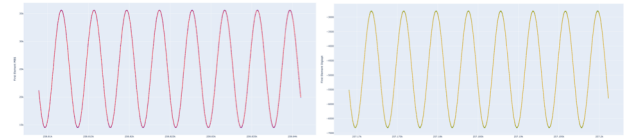
Análisis de datos

1. **Correlación** entre eventos del detector AGATA y la cámara de rayos γ
2. **Preprocesado** de datos
 - Filtrado de eventos (ventana energética, interacción única, derivada, ...)
 - Tratamiento de señales (línea base, ganancia, alineación temporal, suavizado, ...)
3. **Comparación** de señales de **carga neta**
4. **Comparación** de señales **transitorias**
5. **Cálculo** de **rectas e intersecciones**
6. **Construcción** de la **base de datos** (Formas de pulsos eléctricos – posición de interacción)

Análisis de datos

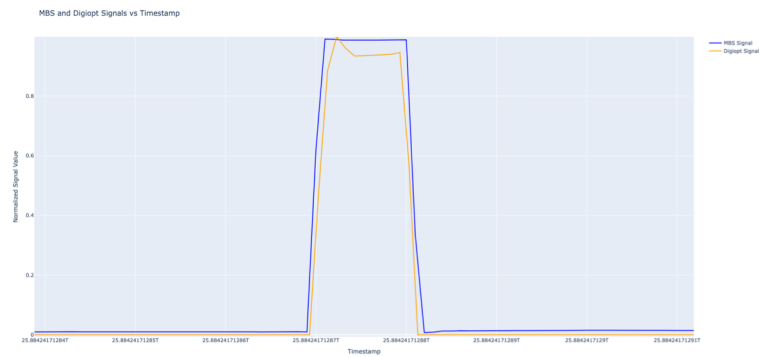
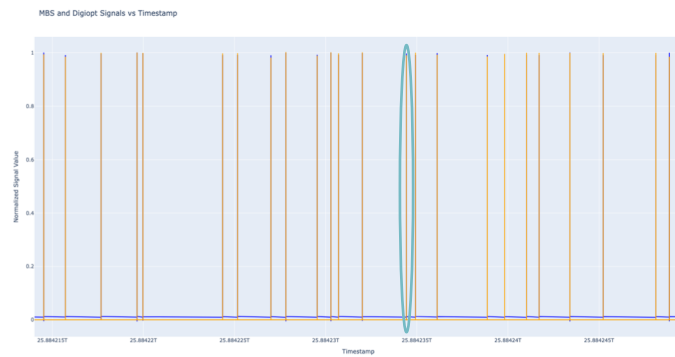
1. Correlación entre eventos del detector AGATA y la cámara de rayos γ

Alineación temporal: señal sinusoidal + proceso iterativo



Se alcanzan **muy buenos resultados**:

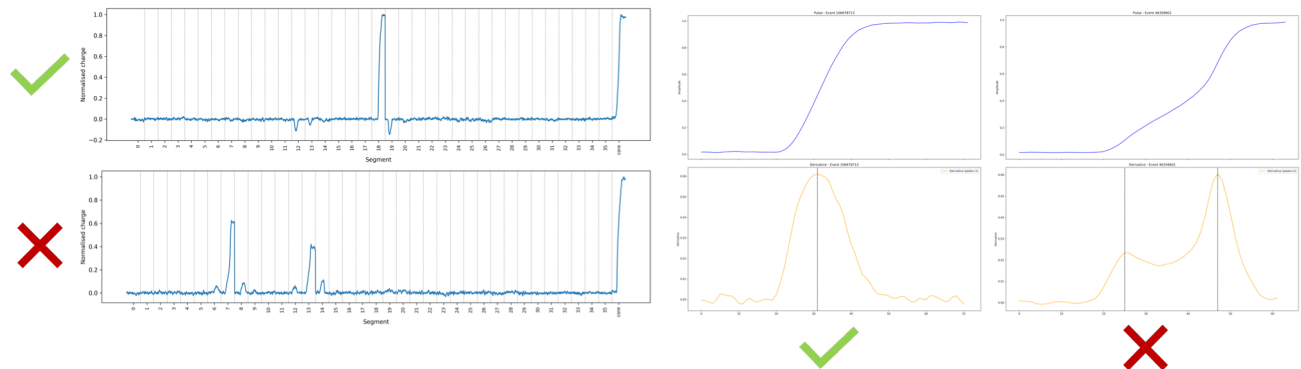
Diferencia temporal entre detectores < 40 ns (Tasa de muestreo : $100 \text{ MHz} \equiv 1/10 \text{ ns}$)



Análisis de datos

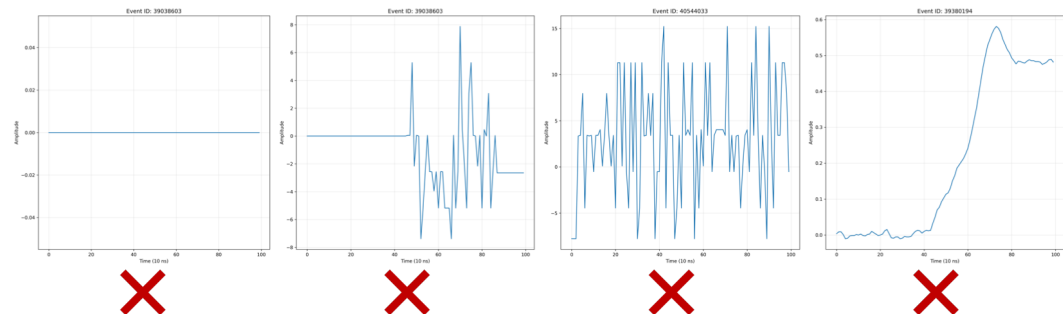
2.1 Preprocesado de datos (Filtrado de eventos)

Interacción única



Ventana energética: 511 ± 3 keV

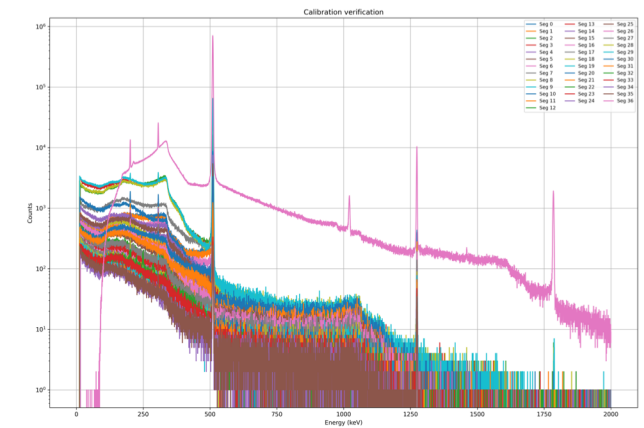
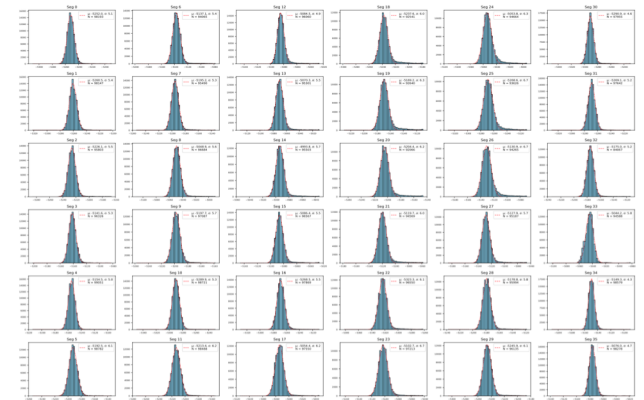
Comportamientos anómalos



Análisis de datos

2.2 Preprocesado de datos (Tratamiento de señales)

1. Aplicar un offset para situar la línea base a cero
2. Aplicar la ganancia a cada canal (segmento)
3. Normalizar las señales respecto al contacto central
4. Aumentar virtualmente la tasa de muestreo (de 100 MHz a 1 GHz)
5. Suavizar la forma del pulso eléctrico
6. Alinear las señales en tiempo
7. Disminuir la tasa de muestreo (de 1 GHz a 100 MHz)

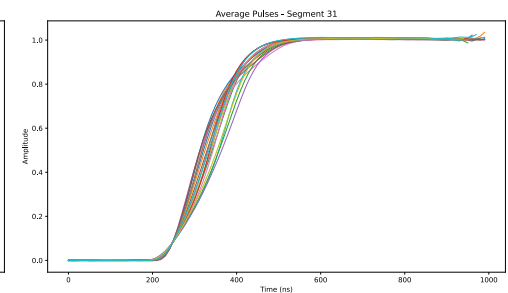
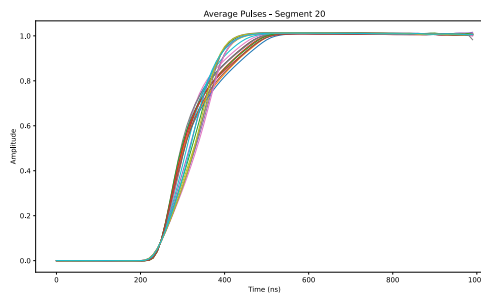
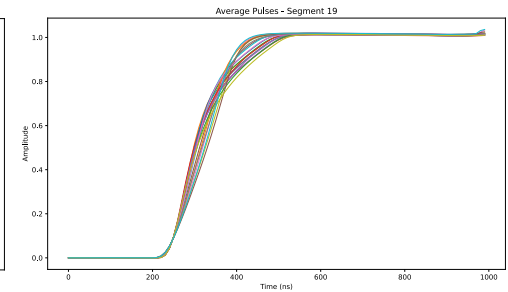
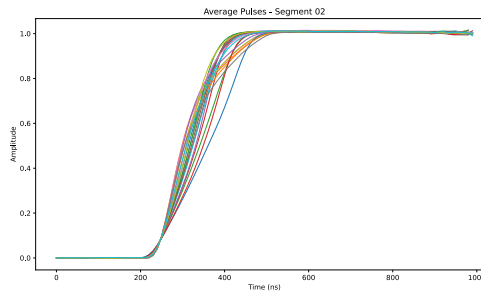
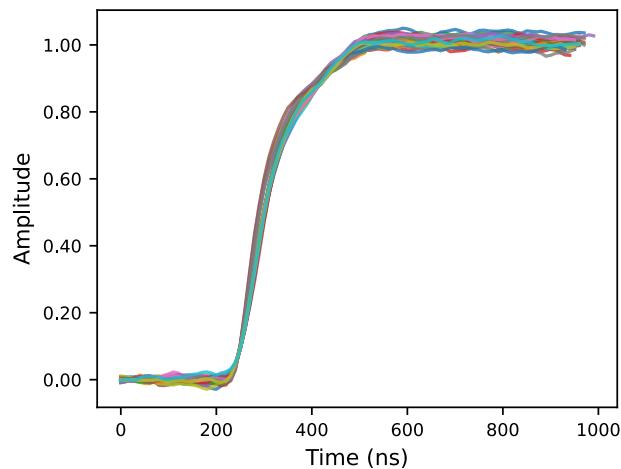


Resultados preliminares

3. Comparación de señales de carga neta

Clasificación según la **señal de carga neta** → Posición **radial**

- Se utiliza el **Test de Wilcoxon** para la comparación de señales de carga neta

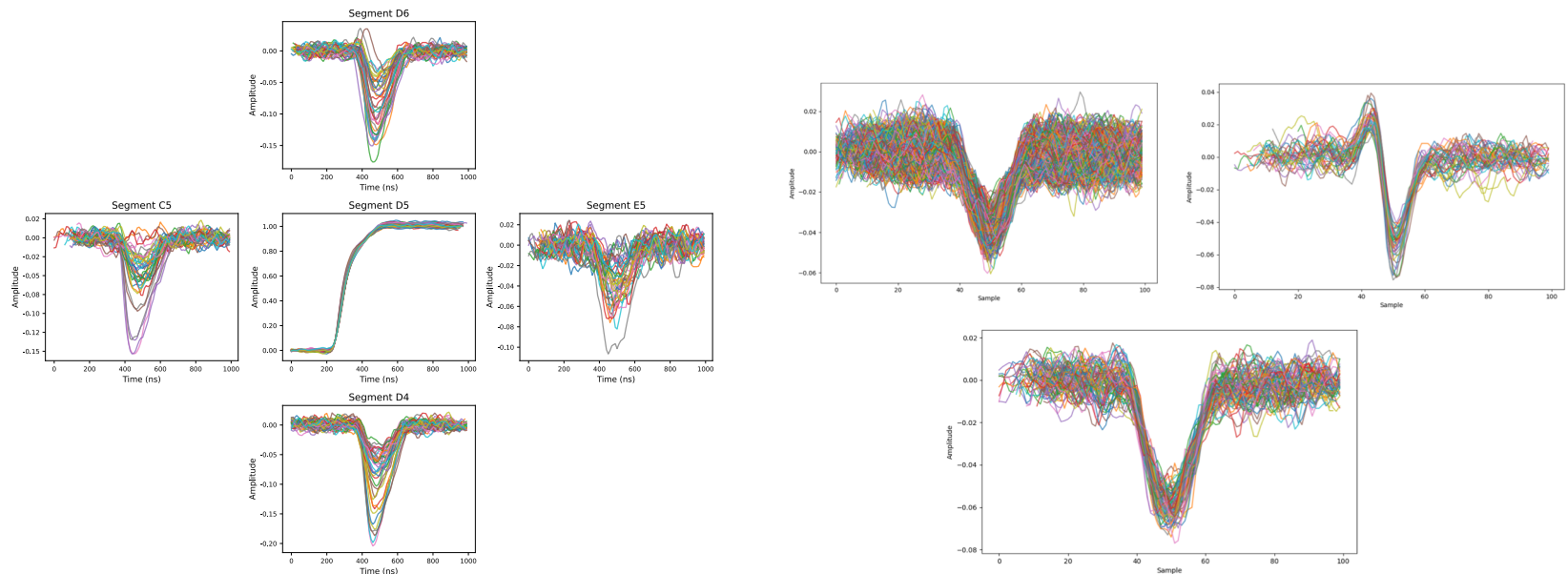


Resultados preliminares

4. Comparación de señales transitorias

Clasificación según la **señal de las cargas inducidas** → Posición **angular y altura**

- Se utiliza el **Test de Wilcoxon** para la comparación de señales transitorias



Conclusiones

- Se propone el empleo de **detectores segmentados** como alternativa al uso de **blindajes antiCompton** más convencionales.
- Los detectores segmentados requieren conocer la **relación entre la posición de interacción** de la radiación en el cristal y la **respuesta eléctrica generada** (set de formas de pulsos).
- Para los detectores de AGATA, la **señal de carga neta** aporta información de la posición radial de la interacción, mientras que las **señales transitorias** permiten determinar la componente angular y en altura.
- Resulta fundamental **caracterizar** estos detectores de manera experimental. Por ese motivo, en Salamanca se está desarrollando el método **SALSA**, que destaca por la **colimación activa del haz**.
- Los resultados obtenidos hasta el momento resultan consistentes con la bibliografía.

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Laboratorio **Datación**
Radiaciones Ionizantes

