

Detección de radiación ionizante basada en sensores comerciales C-MOS

Dr. José Lipovetzky
Ing. Martín Pérez
Ing. Fabricio Alcalde Bessia

Laboratorio de Bajas Temperaturas
Laboratorio Detección de Partículas y Radiación
Departamento de Física de Neutrones

29 de enero de 2016

Motivaciones

Buscar nuevos dispositivos electrónicos para detectar radiación ionizante que posean las siguientes características:

- ▶ Bajo costo
- ▶ Que puedan formar parte de un equipo de pequeño tamaño
- ▶ De fácil acceso en el mercado (no regulados)
- ▶ Que permitan obtener una buena resolución espacial
- ▶ Que posean un bajo consumo de potencia para ser utilizados en un sistema portátil (dosimetría portátil)

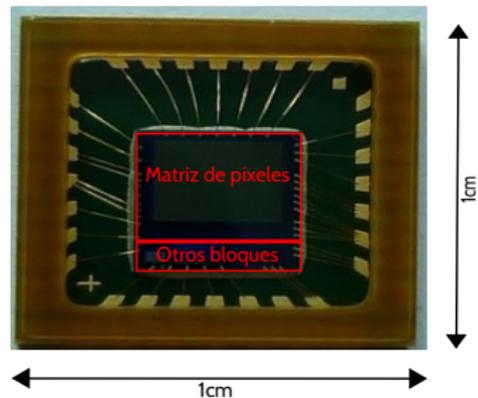
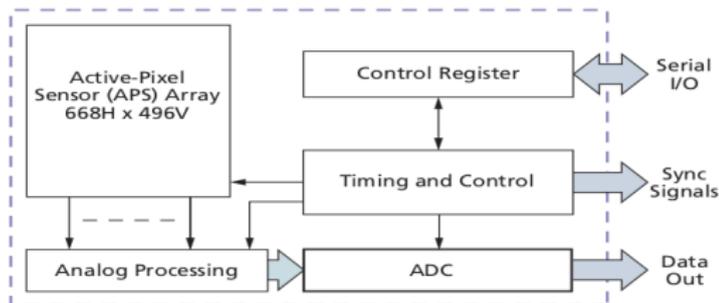
Los sensores de imagen CMOS

Propuesta, sensores de imagen CMOS, usados en celulares computadoras, cámaras fotográficas modernas. Estos circuitos poseen las siguientes características:

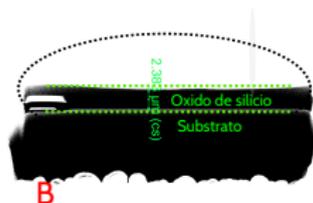
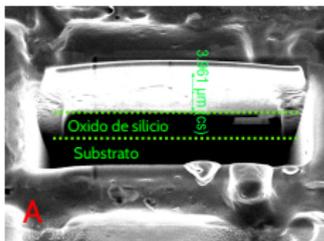
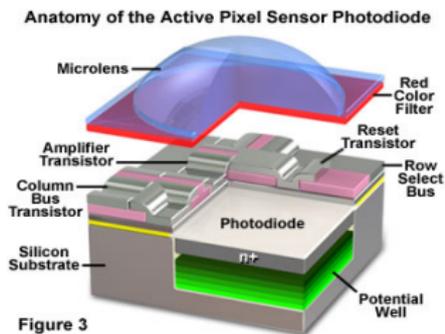
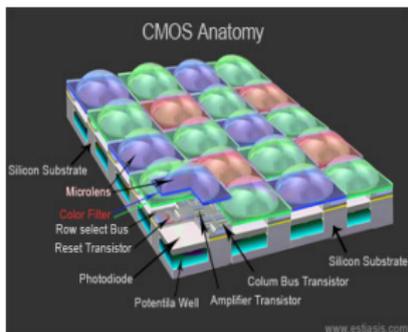
- ▶ bajo costo (10-15 USD)
- ▶ Fáciles de conseguir en el mercado (commercial of the shelf)
- ▶ Tamaño reducido (lo que los hace portátiles)
- ▶ Se pueden lograr detectores de gran superficie utilizando varios sensores
- ▶ Para su fabricación se emplea el mismo proceso que se utiliza en circuitos integrados convencionales como microprocesadores, lo que permite su bajo costo y alta confiabilidad

Diagrama en bloques de un sensor CMOS

Normalmente dentro de un chip se incluye una matriz de píxeles CMOS procesamiento analógico y conversores A/D para simplificar su uso (System on chip SoC)



Matriz de píxeles

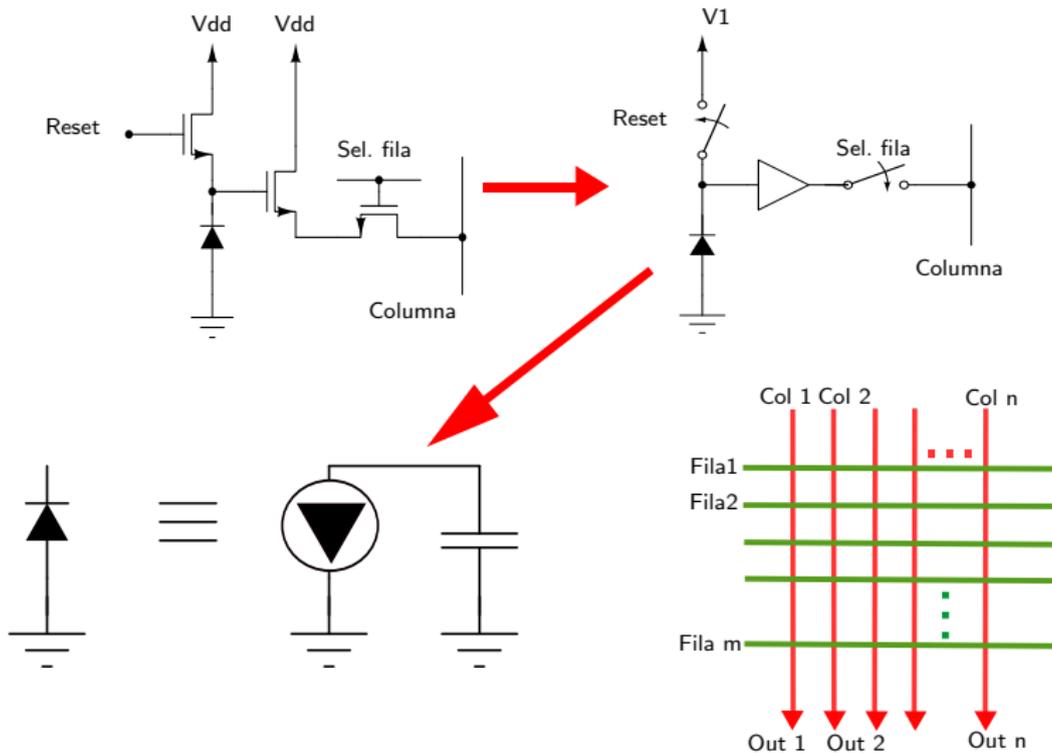


A) Fotografía del corte de un píxel color

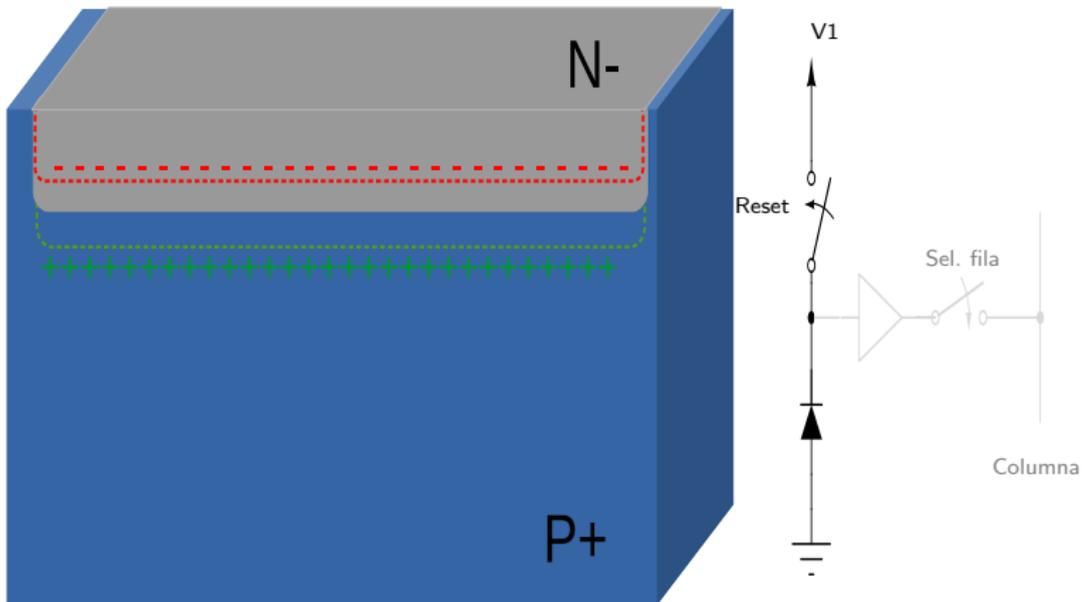
B) Fotografía del corte de un píxel blanco y negro

(Capturadas con el FIB/SEM INTI - CMNB Centro de Investigación y Desarrollo en Micro y Nano Electrónica del Bicentenario)

Píxel APS

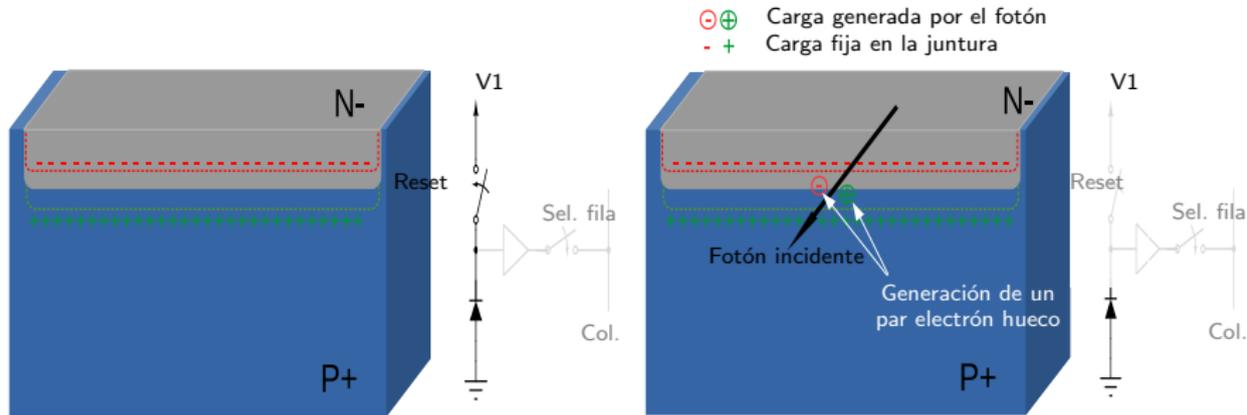


Ciclo de lectura con luz

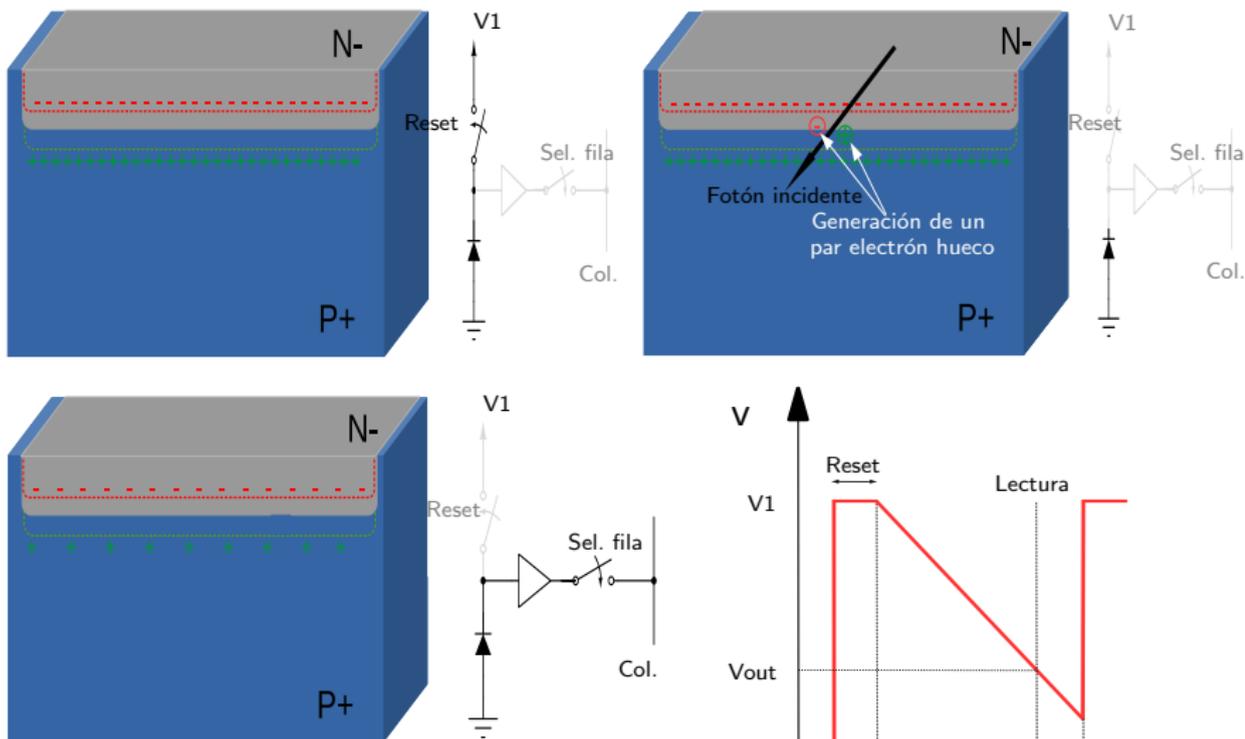


Ciclo de lectura con luz

(para lo que están diseñadas)

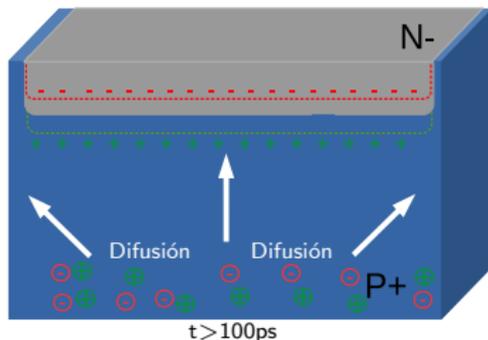
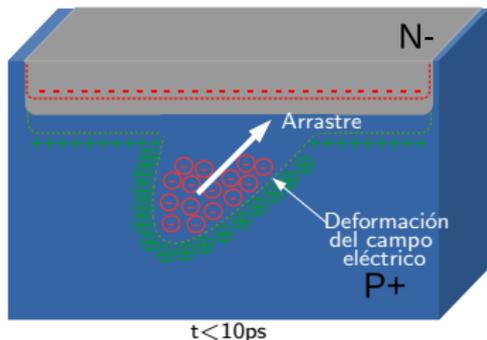
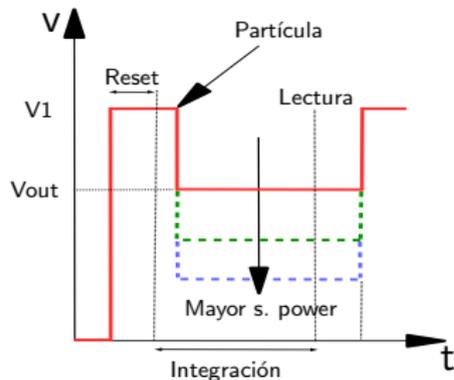
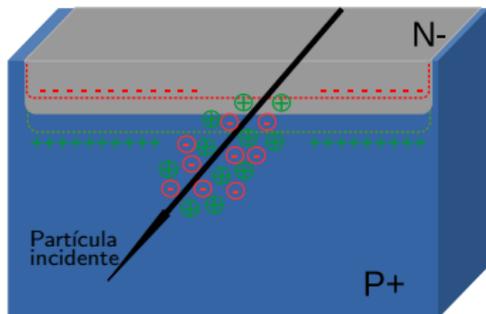


Ciclo de lectura con luz



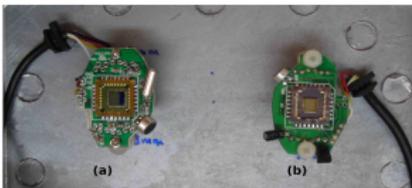
Ciclo de lectura con partículas

- ⊕ ⊖ Carga generada por la partícula
- + Carga fija en la junta



Cámaras utilizadas

Para comenzar a estudiar el comportamiento de los sensores se utilizaron cámaras comerciales



a) Cámara color b) Cámara byn



MT9V011: 1/4-Inch VGA Digital Image Sensor Features

1/4-Inch VGA Digital Image Sensor

Features

- Ultra low-power, low cost CMOS image sensor
- Superior low-light performance
- Simple two-wire serial interface
- Auto black level calibration
- Window Size: VGA, programmable to any smaller format (QVGA, CIF)
- Programmable Controls: Gain, frame rate, left-right and top-bottom image reversal, window size, and panning



OV5116N

OV5116N SINGLE IC CMOS MONOCHROME CAMERA WITH NTSC ANALOG OUTPUT

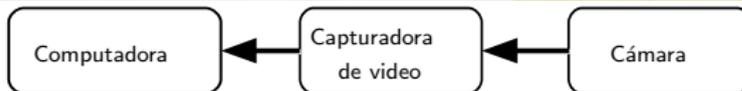
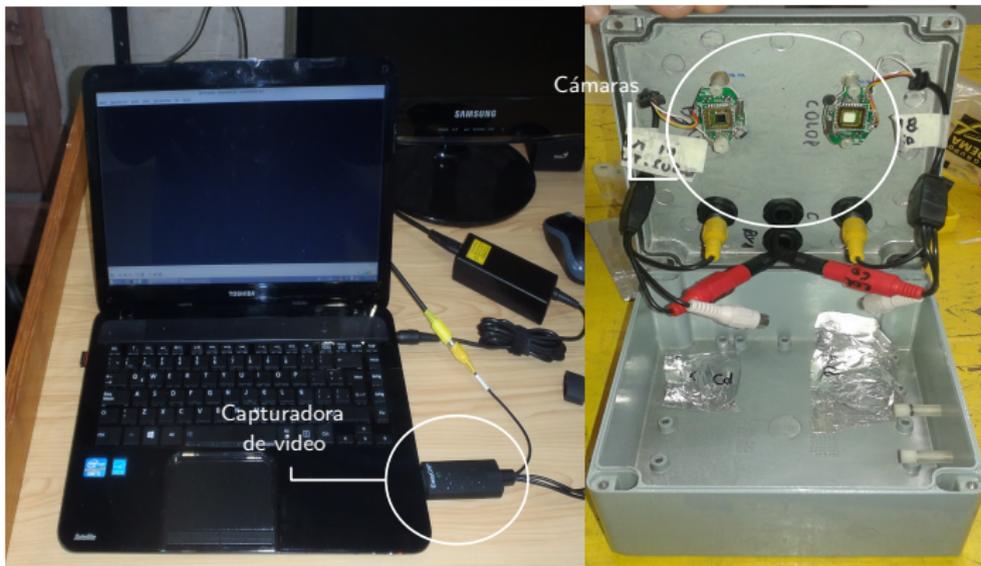
Features

- Single chip 1/4 inch format video image sensor
- EIA/NTSC output
- Selectable mirror image
- Auto gain control (maximum + 18 dB)
- High I.R. sensitivity for nighttime applications
- Auto and manual backlight compensation mode
- Gamma correction -On/Off
- External frame sync capability
- 40mw on-chip power consumption
- External data acquisition support
- Smear free
- Auto level expanding
- Optional edge enhancement

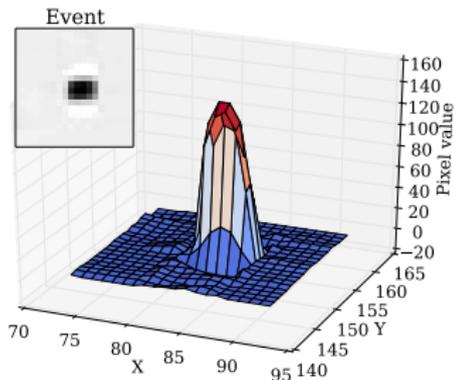
Ventaja: se pudieron obtener resultados en poco tiempo, que permitieron adquirir experiencia para el desarrollo de un hardware ad-hoc

Desventaja: de estos dispositivos es que no se pueden controlar parámetros como ganancia, interlineado, balance de blanco etc.

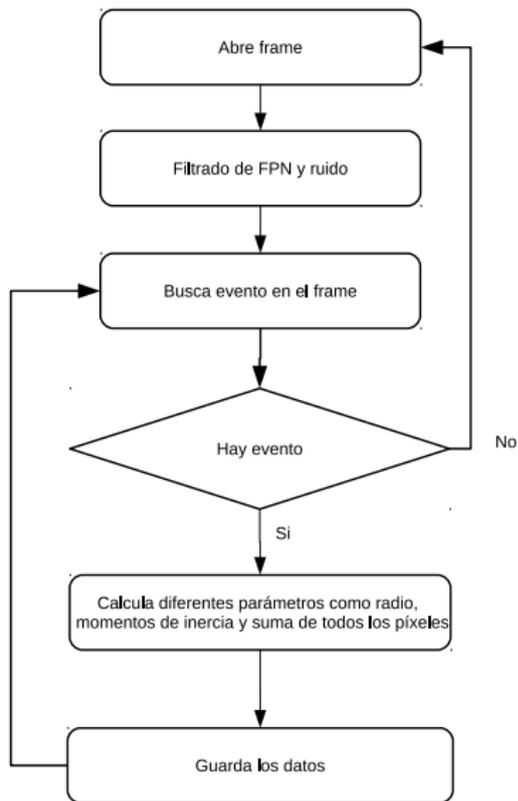
Esquema experimental



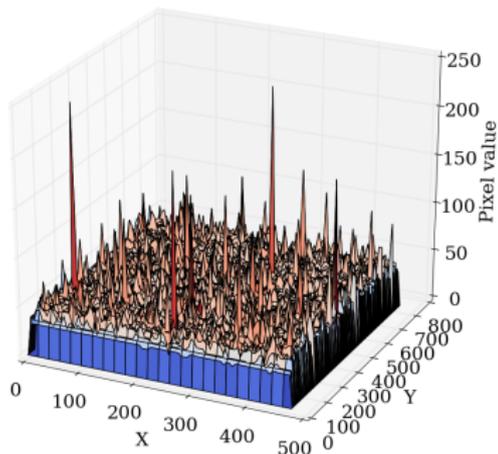
Procesamiento de video



- ▶ Procesamiento de video realizado con herramientas de software libre
- ▶ Programa realizado en lenguaje Python

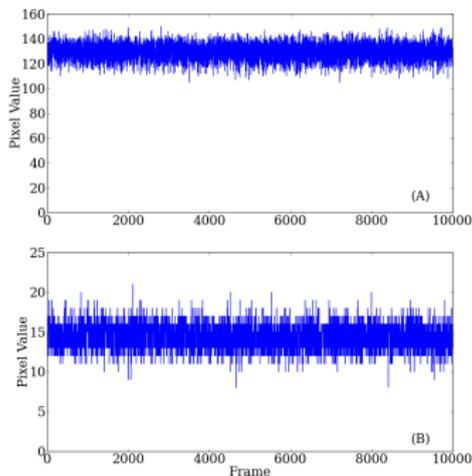


Fixed pattern noise



A pesar de no estar expuesto a la luz visible ni a partículas ionizantes se observa que:

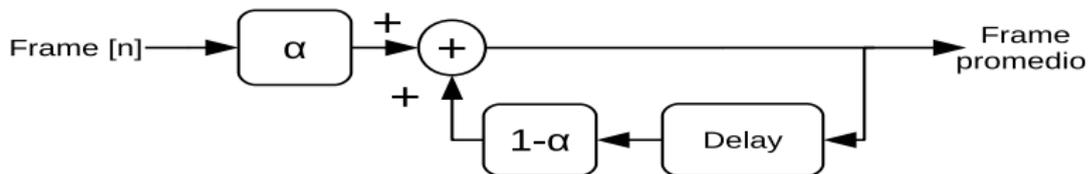
- ▶ Algunos píxeles defectuosos presentan valores altos (Fixed Pattern Noise)
- ▶ Todos los píxeles presentan lecturas no nulas ruido de oscuridad



A) Píxel defectuoso B) Píxel sano

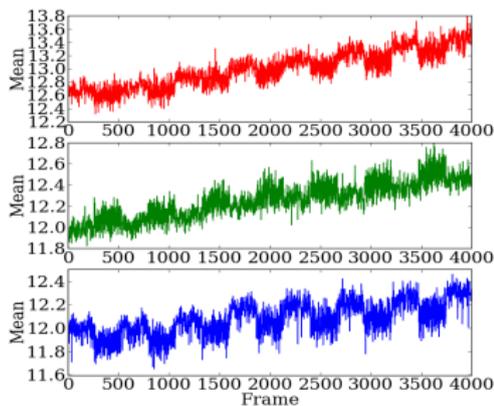
Filtro autoregresivo

Propuesta: filtrado temporal de las imágenes

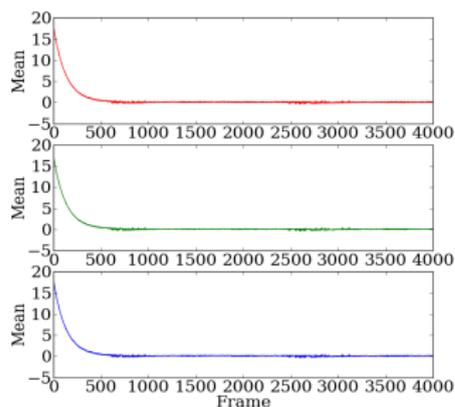


$$\text{Frame a procesar} = \text{frame } [n] - \text{frame promedio } (\alpha < 1/2^n)$$

Valor medio de cada frame sin filtro

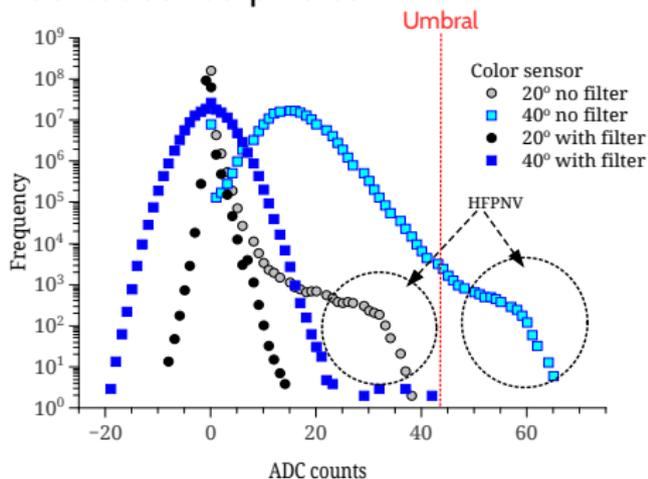
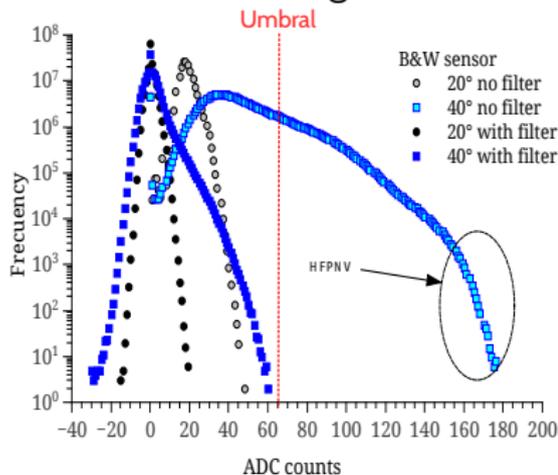


Valor medio de cada frame con filtro



Distribución estadística de los valores de los píxeles

Histograma del valor de todos los píxeles

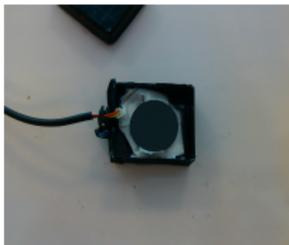


Si se discriminan los eventos utilizando un valor mayor al umbral se puede asegurar que no serán producidos por Fixed Pattern Noise haciendo muy bajo el número de falsos positivos

Respuesta de los sensores a radiación.

Análisis 1: respuesta a distintas partículas

Se irradió a los sensores con distintas fuentes radiactivas disponibles en el CAB. Se prestó especial atención a a diferentes variables experimentales como blindaje, distancia de la fuente al sensor etc.



^{235}U



^{137}Cs



^{60}Co



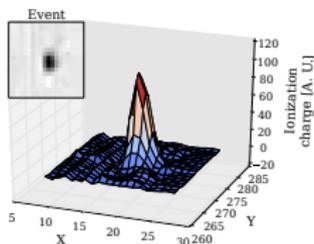
^{241}Am (sin blindaje)



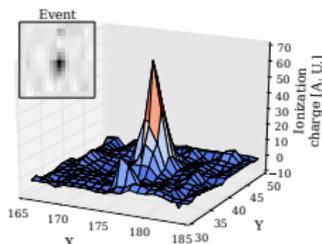
Otras fuentes utilizadas: ^{241}Am (con blindaje), ^{133}Ba , ^{55}Fe , ^{152}Eu

Gráficos de diferentes eventos

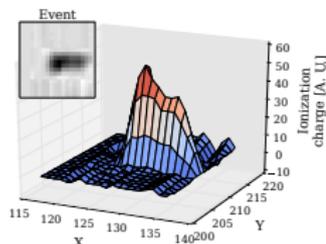
Comparación de eventos causados por diferentes partículas



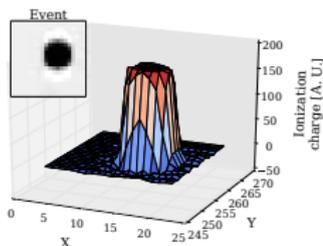
(a) β ^{137}Cs



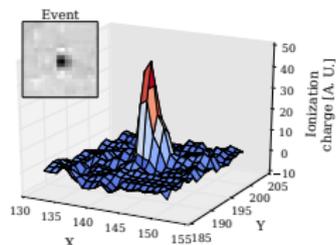
(b) γ ^{137}Cs



(c) γ ^{137}Cs



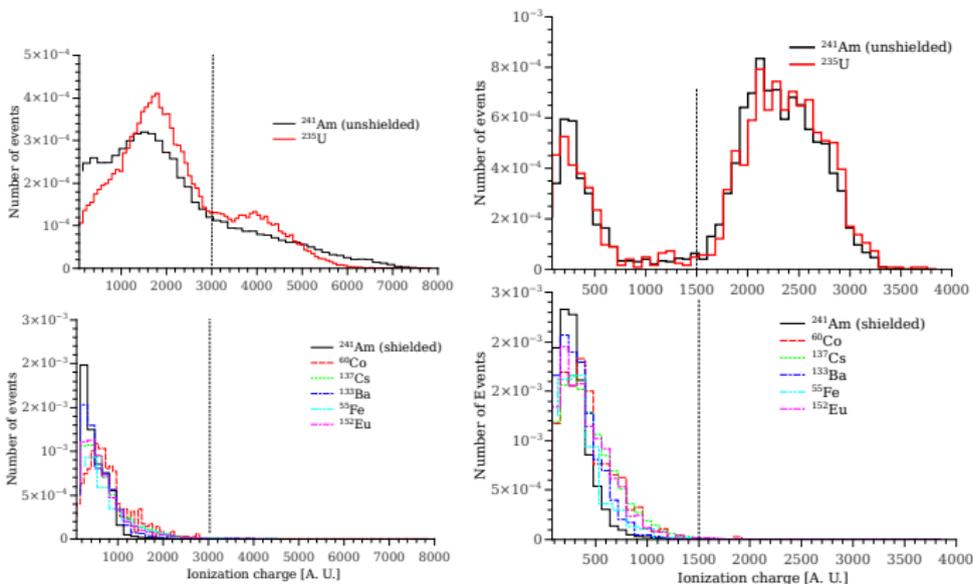
(d) α ^{241}Am



(e) X ^{55}Fe

Se observa que la forma, el máximo, y el radio de los eventos varía dependiendo del tipo de partícula incidente y del ángulo de incidencia

Histogramas de carga colectada



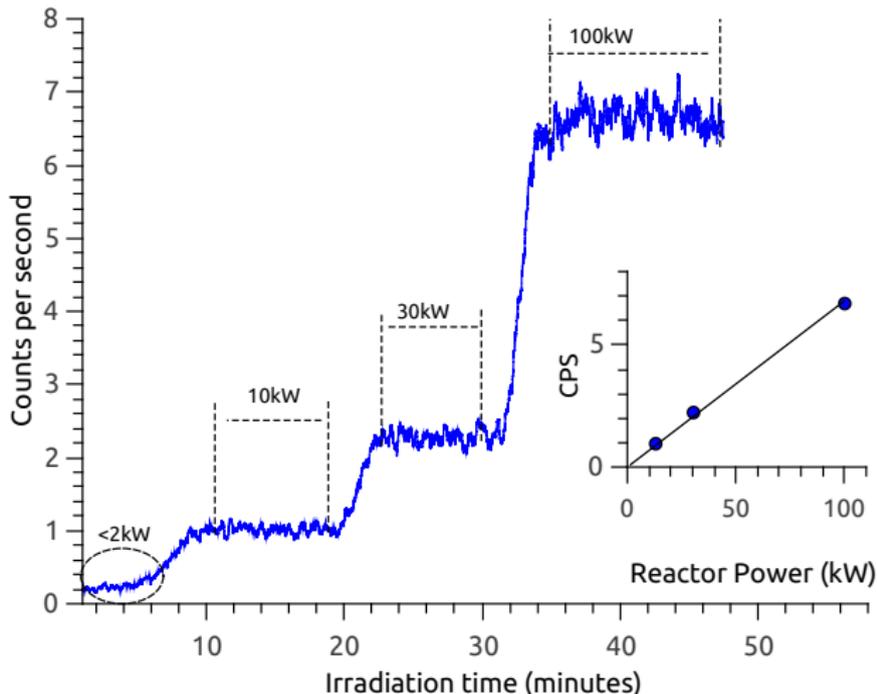
- ▶ Los eventos generados por fuentes γ y β generan picos en la misma región
- ▶ En las fuentes de ^{235}U y ^{241}Am se observan picos mas a la derecha generados por partículas α
- ▶ La carga colectada no depende de la energía de la radiación, es función del stopping power de las partículas incidentes. Esto se debe a que el espesor de la region activa del sensor es de unos pocos μm

Respuesta de los sensores a radiación.

Análisis 2: respuesta a distintas tasas de dosis γ



Número de eventos Vs. potencia del reactor

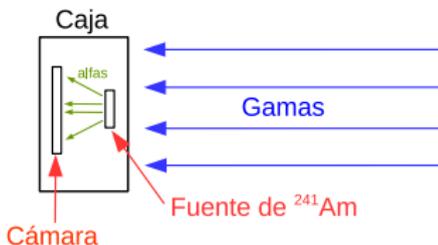


Se buscaba estudiar el comportamiento del sistema como contador de eventos para su potencial uso en dosimetría

Respuesta de los sensores a radiación.

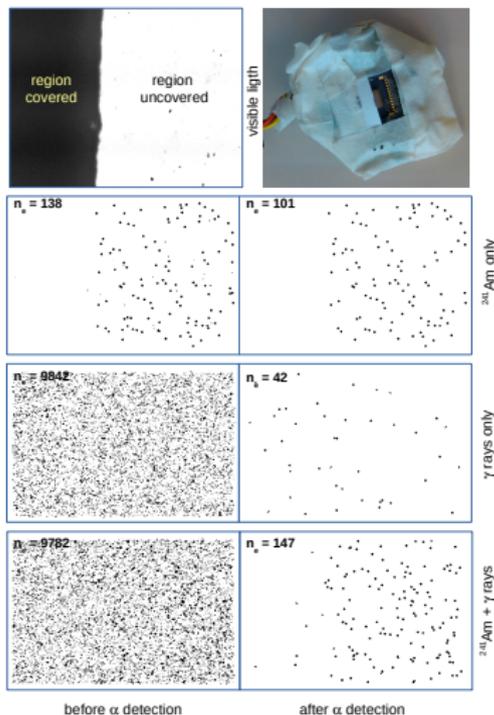
Análisis 3: respuesta en campo mixto $\alpha + \gamma$

Se buscaba detectar eventos alfa en un fondo de eventos gamma. Posible aplicación en detección de neutrones térmicos emitidos por boro



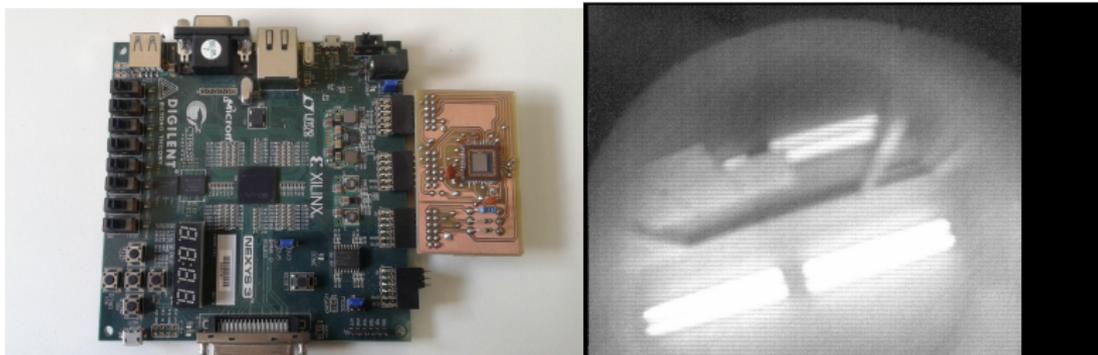
Eficiencia de detección

- ▶ Cuando fue irradiado con ^{241}Am se discriminaron 101 eventos sobre 138 totales. Los 37 restantes se produjeron por γ producidos por la fuente
- ▶ Cuando fue irradiado con γ hubo 42 falsos positivos sobre 9842 eventos totales, lo que representa un error del 0.42 %
- ▶ Cuando fue irradiado con $^{241}\text{Am} + \gamma$ se discriminaron 147 eventos sobre 9782 totales.
- ▶ El número total de eventos α detectados es el mismo en un campo mixto
- ▶ El número de eventos en un campo mixto es la suma de los aportes de ambas fuentes



Con esta limitación se pudo hacer una clasificación de partículas en un campo mixto

Prototipo de detector implementado con FPGA



Conclusiones

- ▶ Se desarrolló un sistema de detección de radiación portátil, y un algoritmo que permite utilizar este tipo de sensores para la detección de diversos tipos de radiación ionizante
- ▶ Se pueden discriminar partículas alfa en campos mixtos mediante un algoritmo computacional apropiado

Patentes y publicaciones

- ▶ **Perez, M., Haro, M. S., Sidelnik, I., Tozzi, L., Brito, D. R., Mora, C., Lipovetzky, J.** (2015, July). **"Commercial CMOS pixel array for beta and gamma radiation particle counting"**. In Micro-Nanoelectronics, Technology and Applications (EAMTA), 2015 Argentine School of Microelectronics(pp. 11-16). IEEE.
- ▶ Mariano Gómez Berisso; Juan Jerónimo Blostein; José Lipovetzky; Hernán Pastoriza; Martín Pérez; Iván Pedro Sidelnik; Miguel Sofo Haro, "DETECTOR DE PARTÍCULAS IONIZANTES BASADO EN SENSORES DE IMAGEN CMOS COMERCIALES Y TÉCNICA DE ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE EVENTOS." solicitud presentada el 21/07/2015, expediente 20150102319, solicitada por CONICET/CNEA.
- ▶ Artículo "Particle detection and classification using commercial off the shelf CMOS image sensors" enviado a Nuclear Instruments and Methods
- ▶ Patente de detector de neutrones (por ser presentada a CONICET)