

# IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE REGISTRO DE EVENTOS RELACIONADOS CON RAYOS CÓSMICOS SECUNDARIOS



Universidad  
Industrial de  
Santander



**CPS**  
RESEARCH GROUP

**Dora Luz Ballesteros Delgado**

Director: Carlos Andrés Angulo Julio

Codirectores: Jesús Peña, Luis Alberto Núñez

Grupo de investigación en Relatividad y Gravitación - **GIRG**

Grupo de investigación en Conectividad y Procesamiento de Señales - **CPS**



#LaUISqueQueremos



# AGENDA

- Introducción
- Planteamiento del problema
- Diseño del sistema de adquisición
- Implementación del sistema de adquisición
- Resultados
- Conclusiones
- Trabajo futuro



Universidad  
Industrial de  
Santander



Universidad  
Industrial de  
Santander



# INTRODUCCIÓN



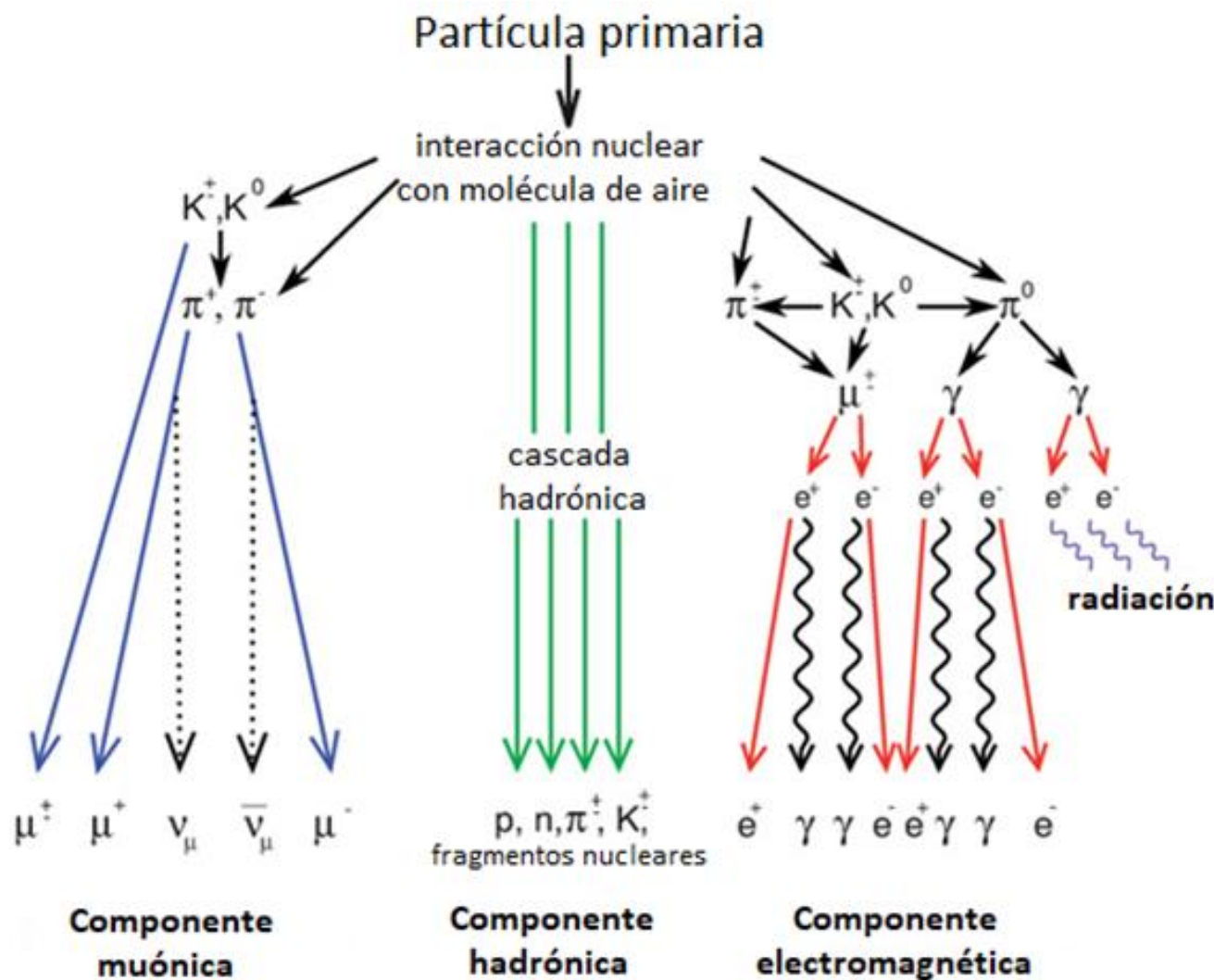
#LaUISqueQueremos

# Rayos Cósmicos

## ■ Características

➤ Las astropartículas son fotones, electrones, núcleos atómicos.

➤ Tres componentes: hadrónica, muónica y electromagnética.



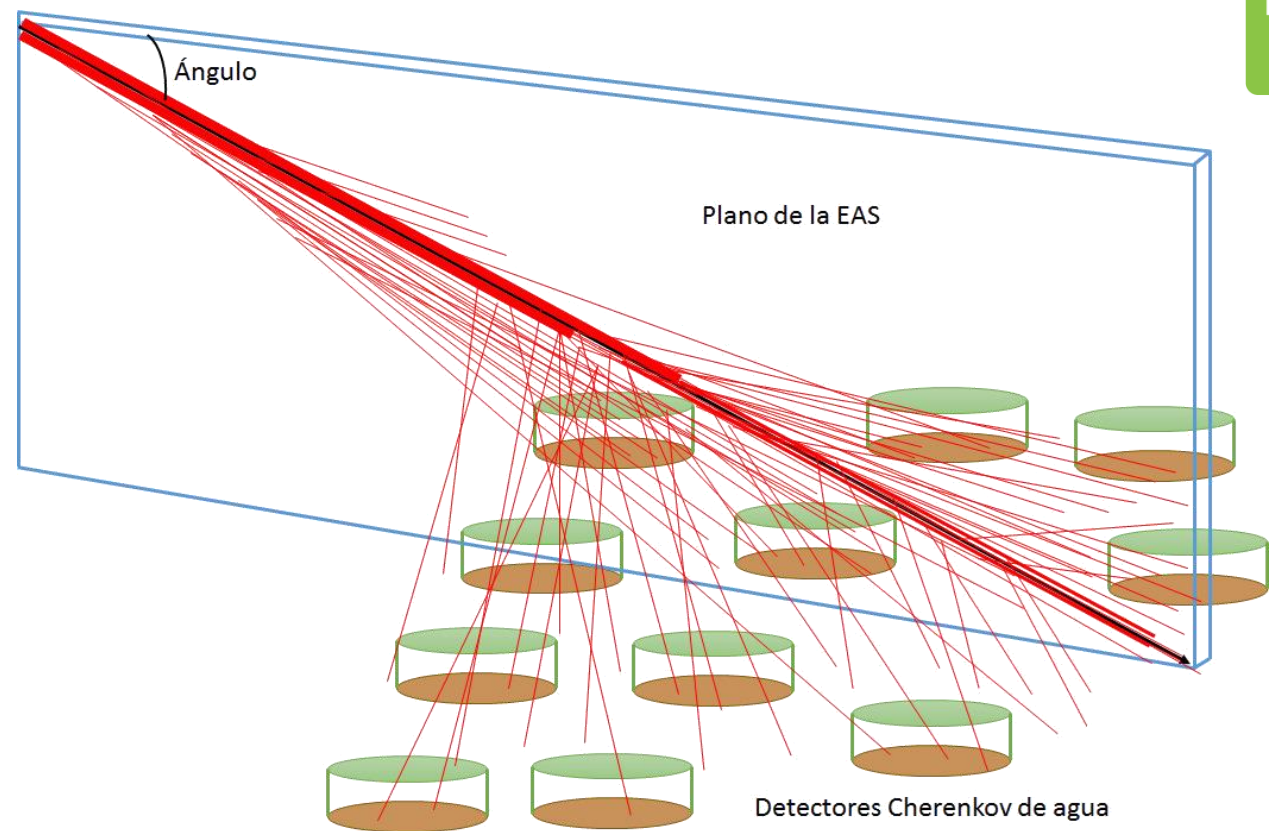
Modificada de: A. Haungs, et al.(2015). *The cascade cosmic-ray data centre,* *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 632, no. 1, p. 012011,2015.



Universidad  
Industrial de  
Santander

# Detección de rayos cósmicos

- Directa: detectores en satélites y globos.
- Indirecta: detectores de agua Cherenkov (WCD), telescopios de fluorescencia y detectores de centelleo.



Tomada de: Fauth, A. C., Grover, A. C., & Consalter, D. M. (2010). *Medida da vida média do múon*. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 32(4), 4502-1.



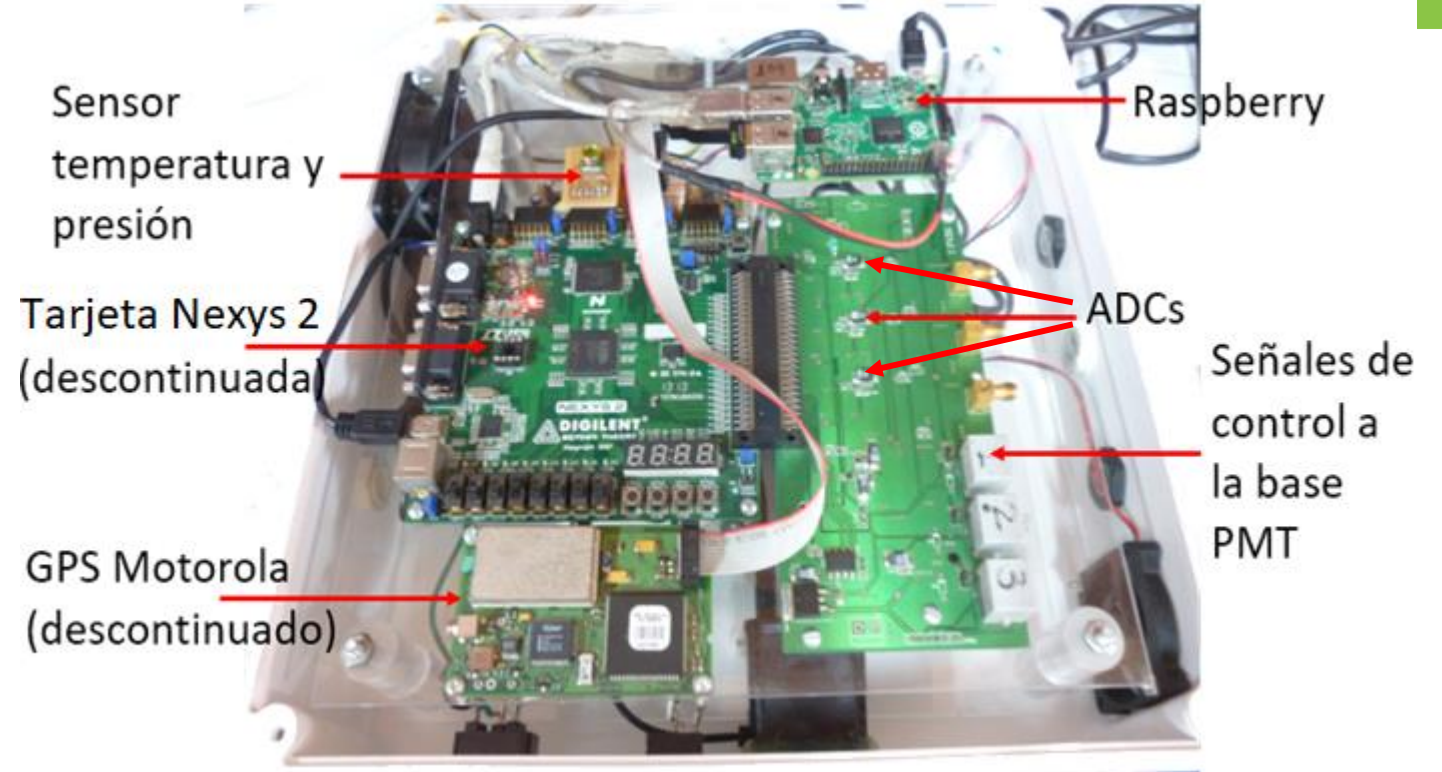
Universidad  
Industrial de  
Santander



# Proyecto LAGO



Universidad  
Industrial de  
Santander



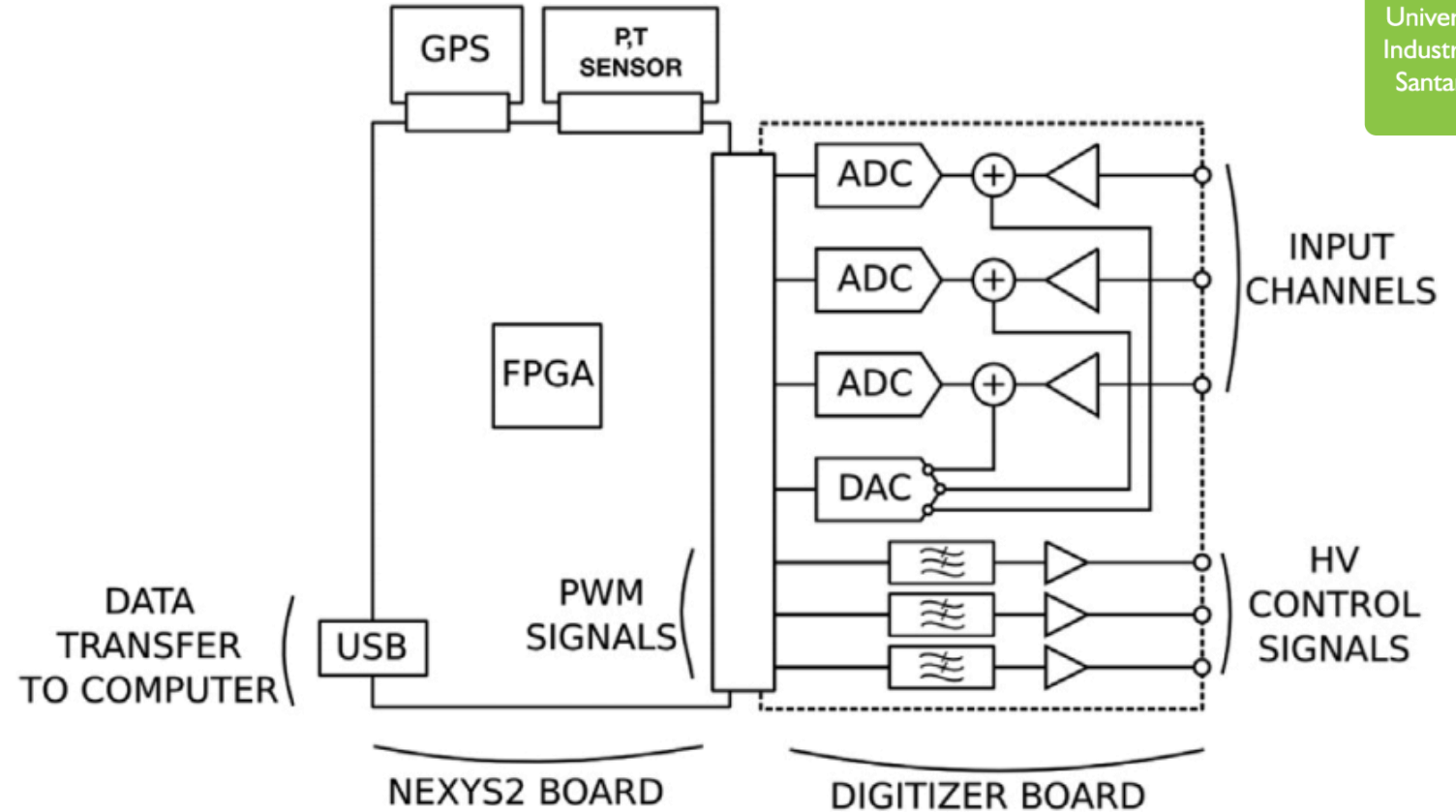
Sistema de adquisición proyecto LAGO

# Sistema de adquisición LAGO



Universidad  
Industrial de  
Santander

- Ajuste de umbrales de activación
- Ajuste de los voltajes de PMT
- Procesamiento de datos



Tomado de: (Haro et al.,2016). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 820, 34-39.



Universidad  
Industrial de  
Santander



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

¿Cómo actualizar el sistema de adquisición de LAGO haciendo uso de herramientas libres, mejorando la resolución y brindando continuidad al proyecto?







Universidad  
Industrial de  
Santander



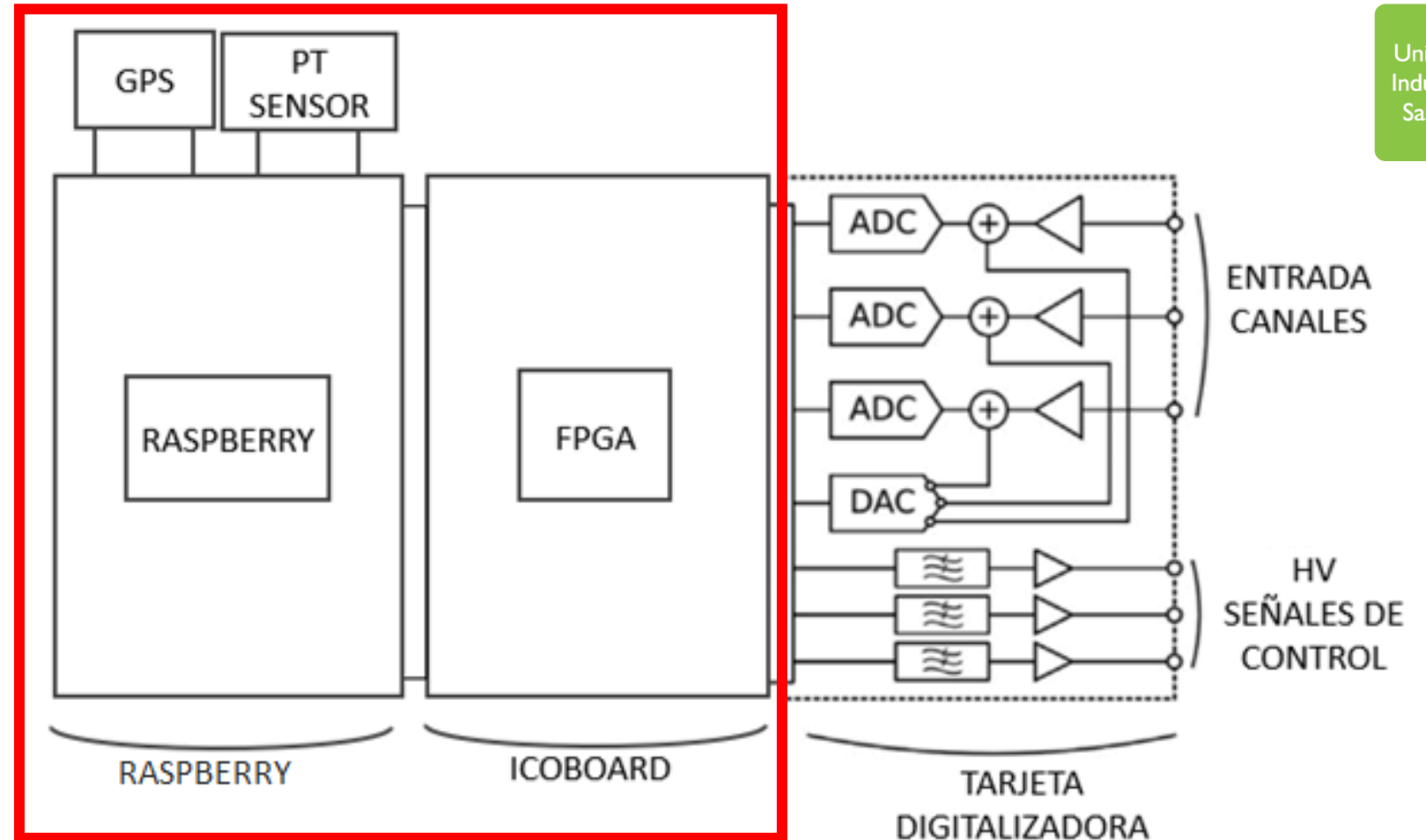
# DISEÑO DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN



#LaUISqueQueremos

# Sistema de adquisición

- YOSYS
- ARACHNE-PNR
- ICEPACK
- ICEPROG



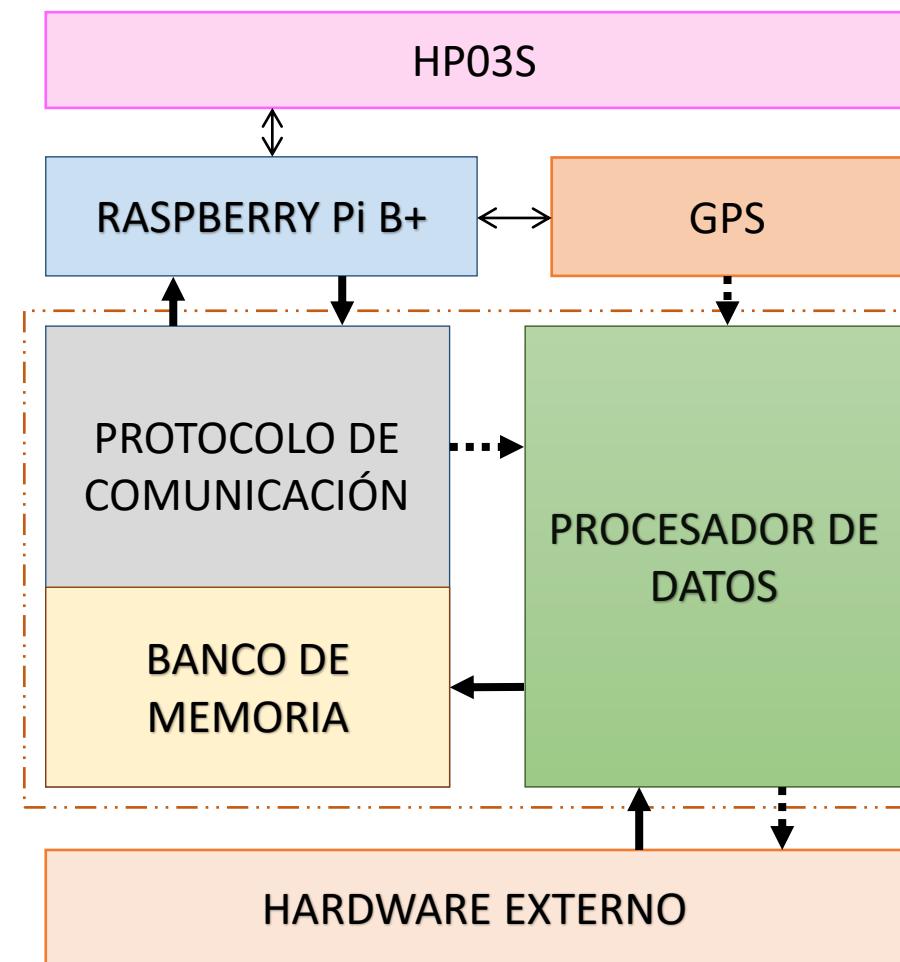
Modificado de: (Haro et al.,2016). *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 820, 34-39.



Universidad  
Industrial de  
Santander

# Diseño del sistema de adquisición

- Compatibilidad de periféricos.
- Aumento de la frecuencia de muestreo de 40 MHz a 50 MHz.
- Mejora de la resolución de 10 bits a 12 bits.

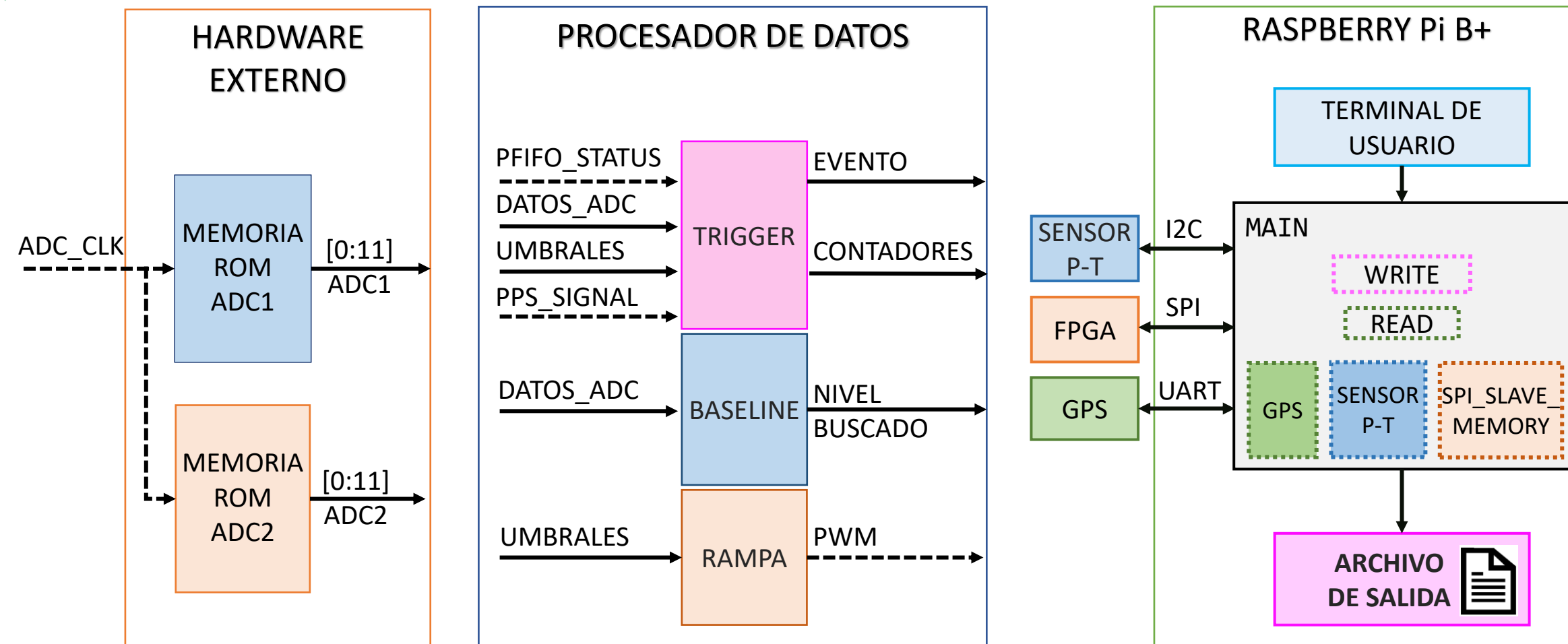


- \* Línea continua: Datos.
- \* Línea discontinua: Señal de control.
- \* Línea discontinua naranja: FPGA.

# Entradas y salidas sistema de adquisición



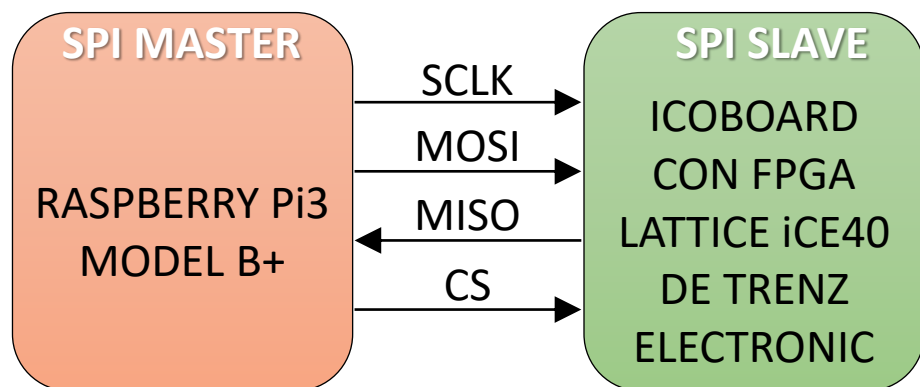
Universidad  
Industrial de  
Santander



--> Línea discontinua: Señal de control.  
-> Línea continua: Datos.

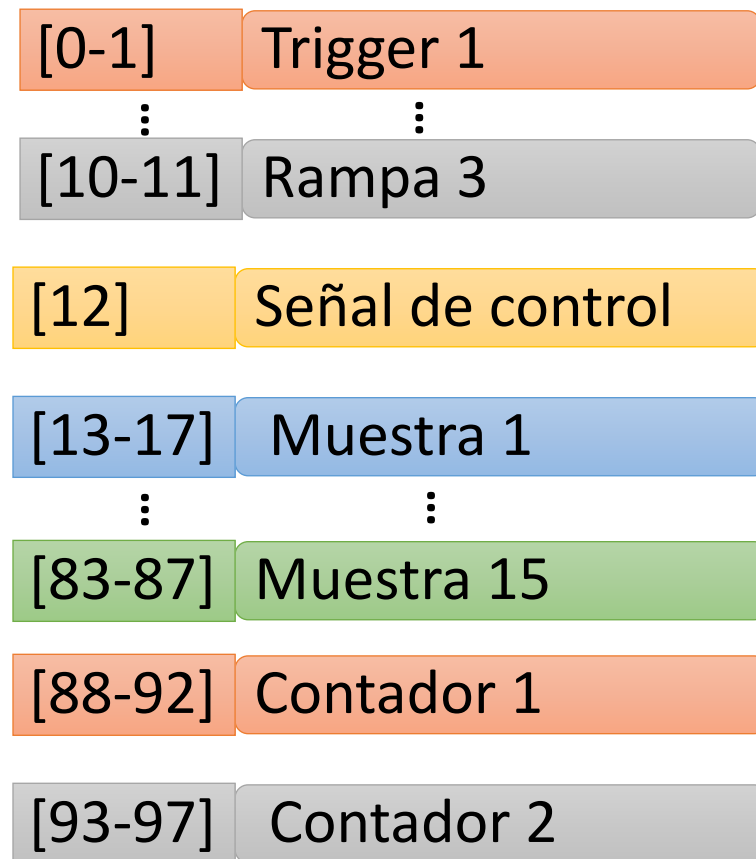
# Protocolo de comunicación

## Protocolo SPI



Charkster (2020).  
[urlhttps://github.com/charkster/spi\\_slave\\_verilog](https://github.com/charkster/spi_slave_verilog).

## Mapa de memoria



Posiciones de memoria protocolo SPI



# IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE ADQUISICIÓN

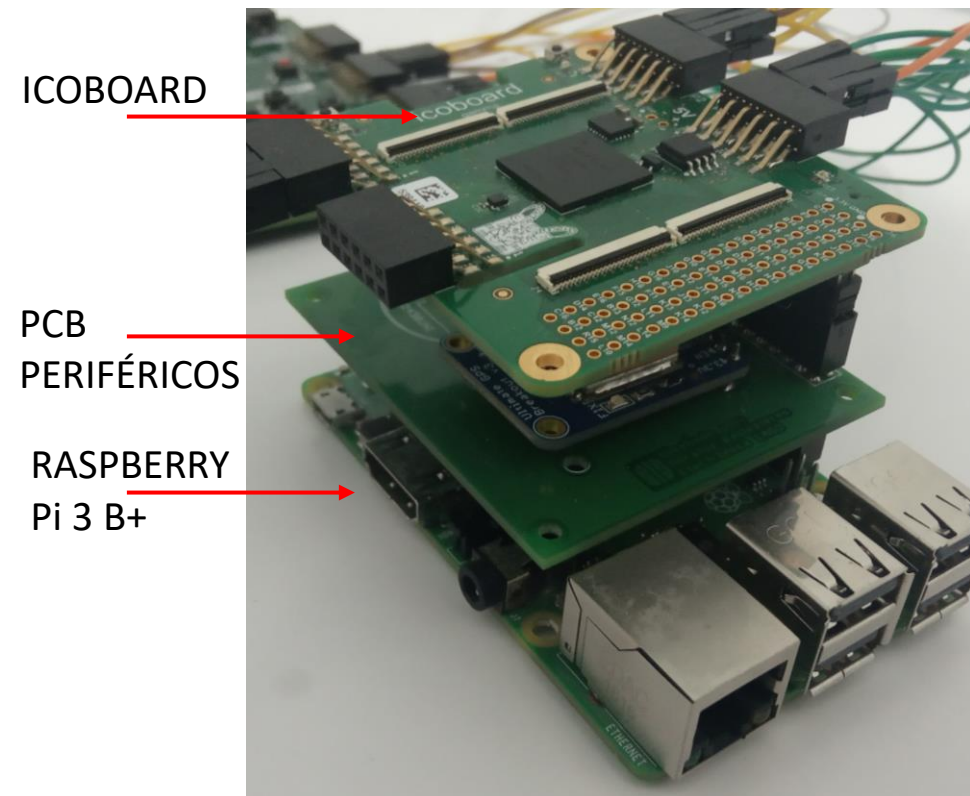




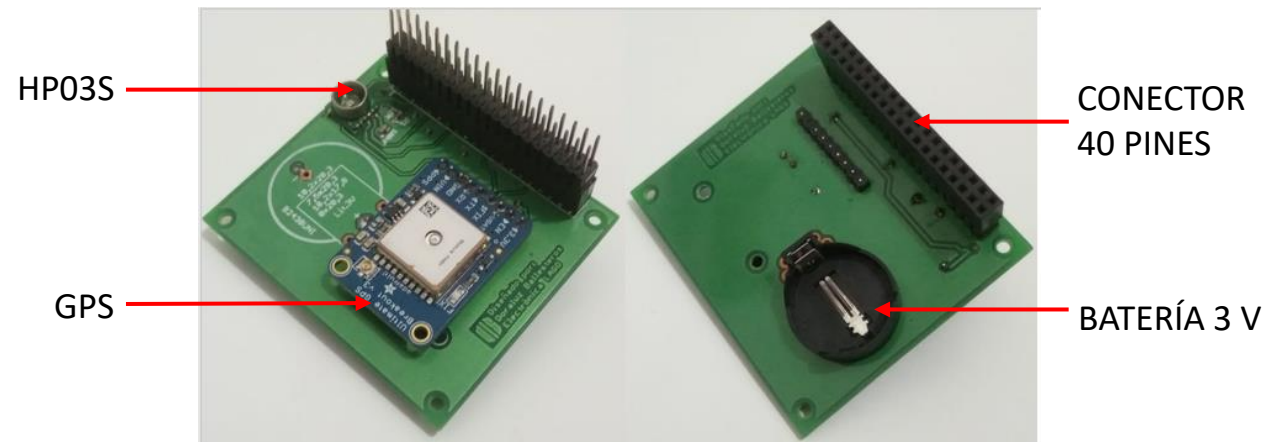
# Dispositivos del sistema de adquisición



Universidad  
Industrial de  
Santander



SISTEMA DE ADQUISICIÓN



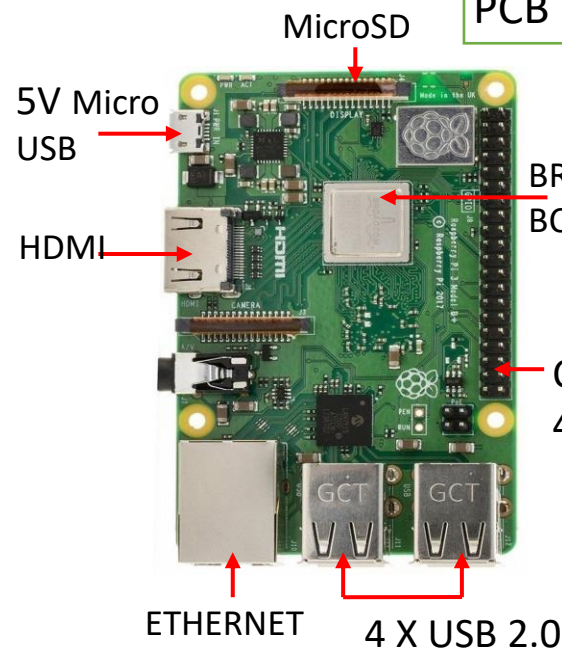
HP03S

GPS

CONECTOR  
40 PINES

BATERÍA 3 V

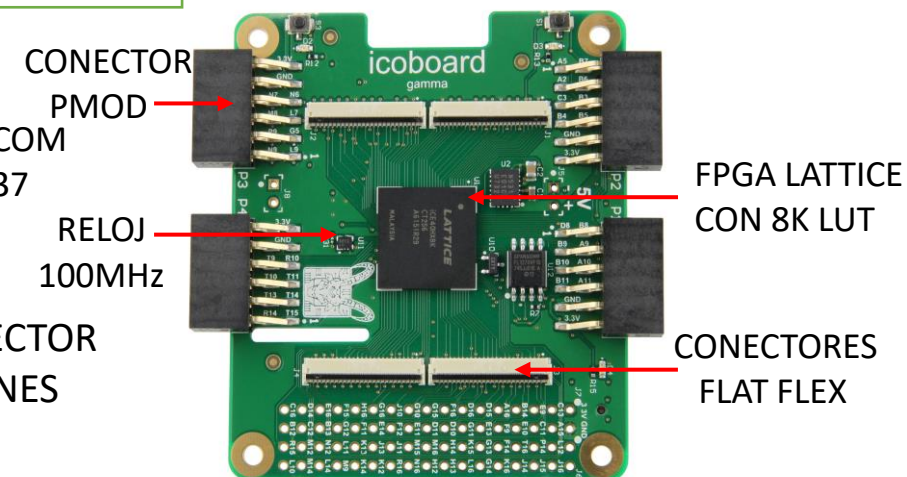
PCB PERIFÉRICOS



ETHERNET

4 X USB 2.0

RASPERRY Pi 3 B+



CONECTOR  
PMOD

RELOJ  
100MHZ

CONECTOR  
40 PINES

FPGA LATTICE  
CON 8K LUT

CONECTORES  
FLAT FLEX

PROCESADOR DE DATOS

15

Somos **el mejor** escenario  
de creación e innovación.

[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)



Universidad  
Industrial de  
Santander

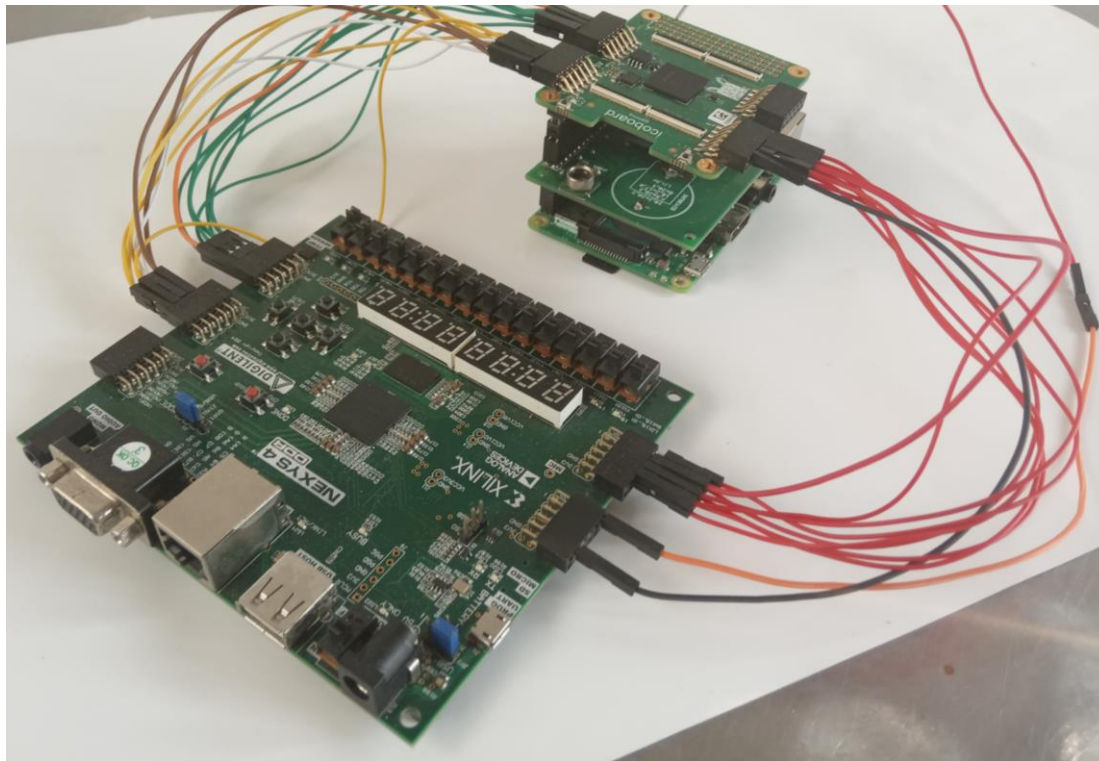


# RESULTADOS

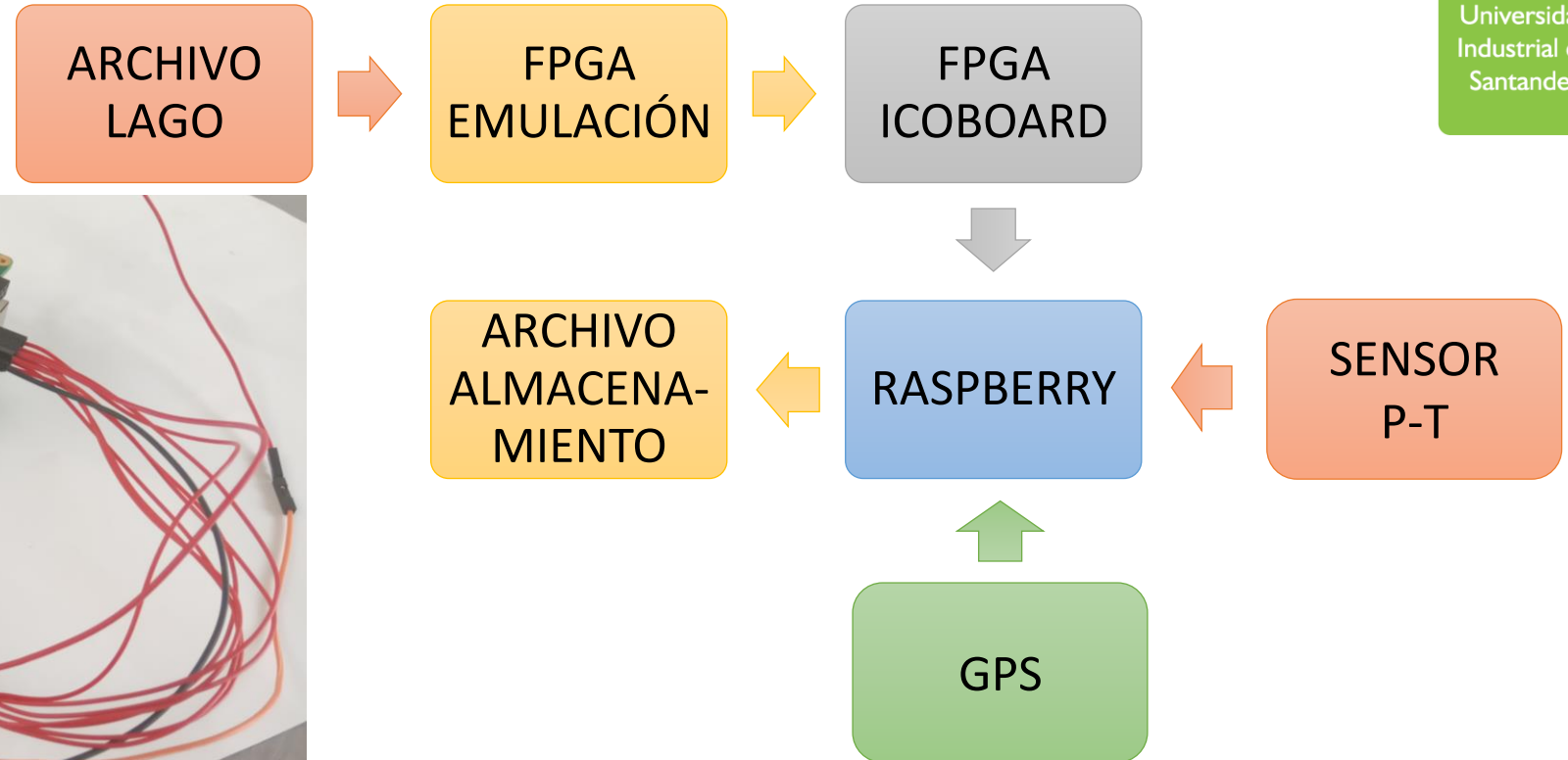


#LaUISqueQueremos

# VERIFICACIÓN DE RESULTADOS



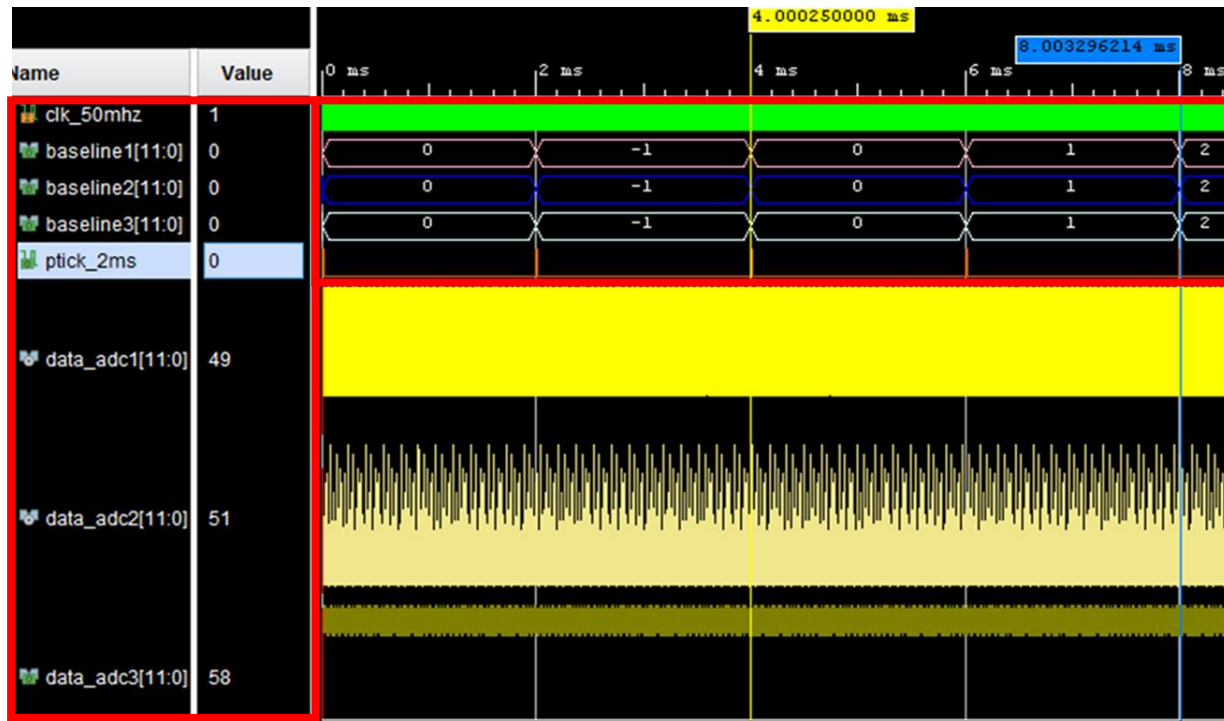
Implementación para verificación de resultados



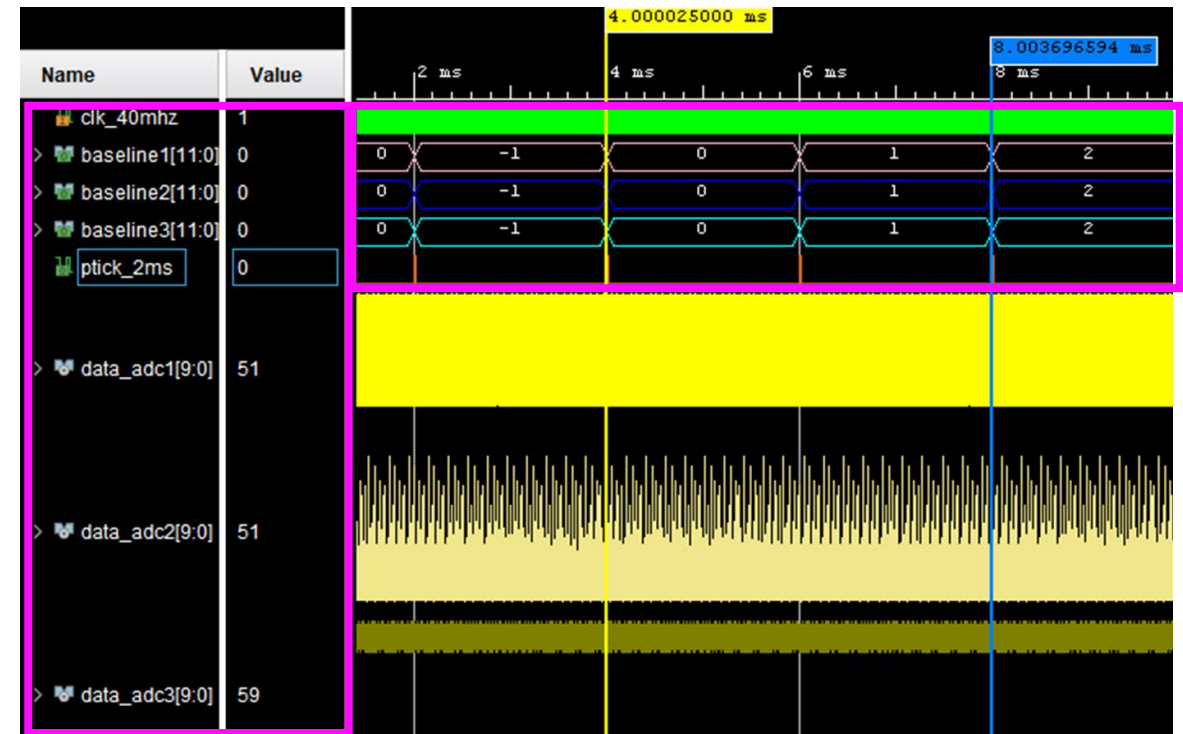
# Simulaciones línea base



Universidad  
Industrial de  
Santander



Simulación Baseline – versión actual



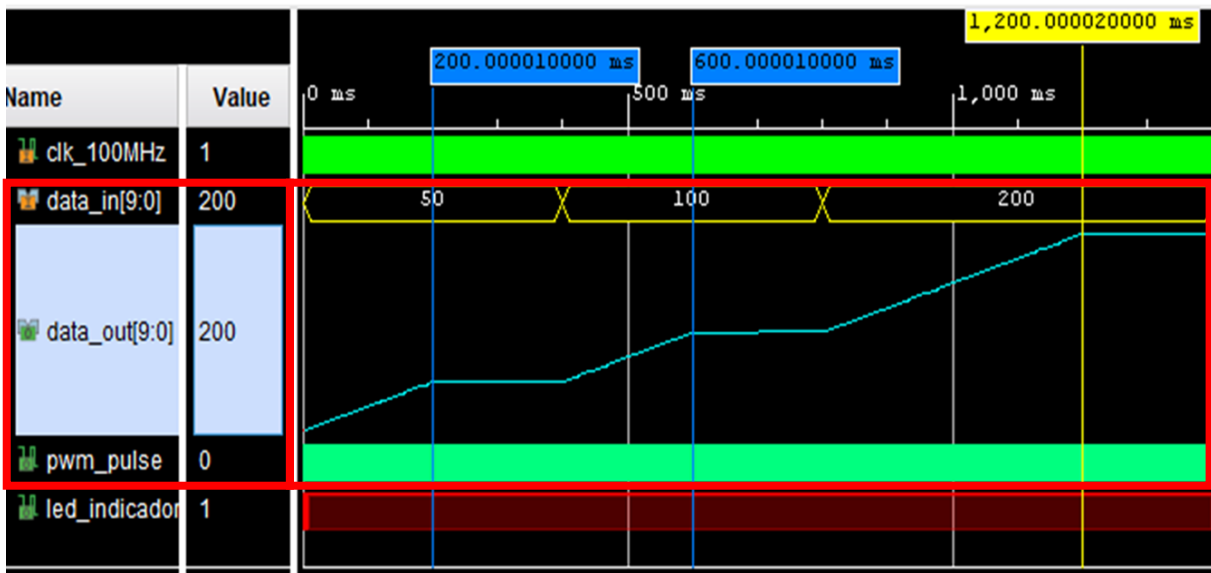
Simulación Baseline – versión anterior



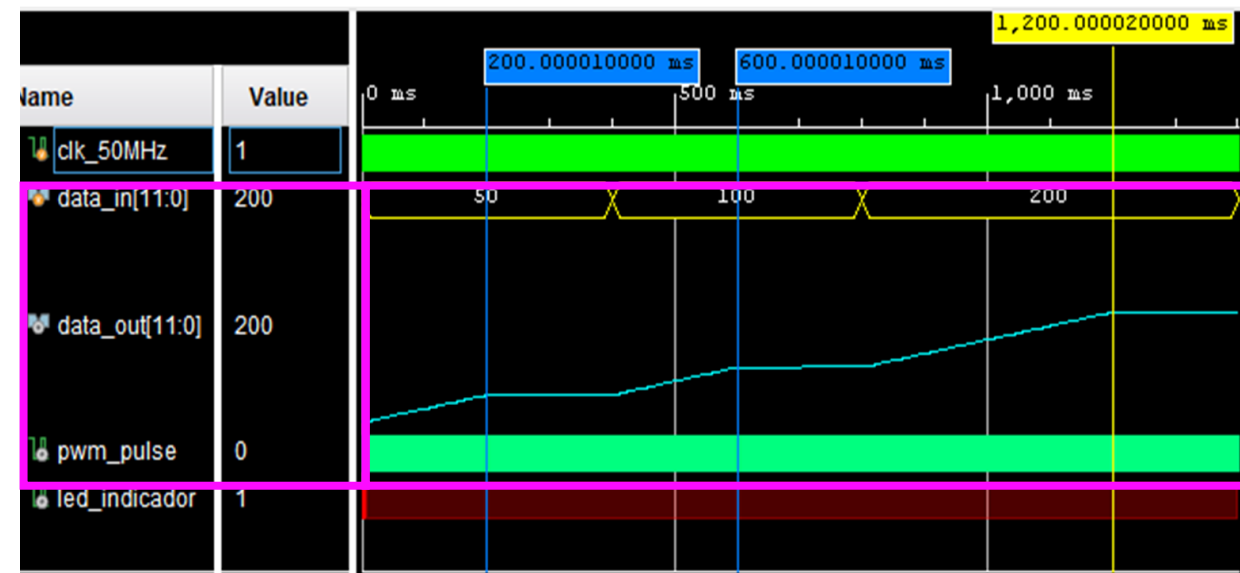
# Simulaciones regulación de polarización del PMT



Universidad  
Industrial de  
Santander



— Simulación rampa – versión actual

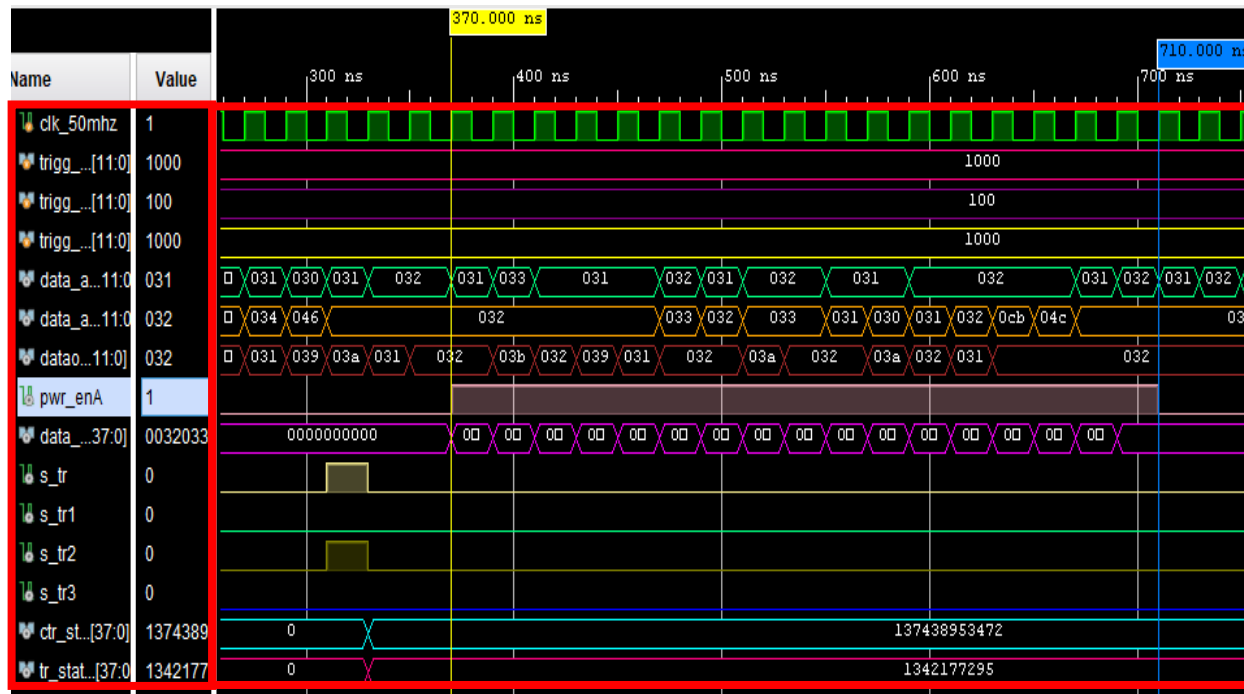


— Simulación rampa – versión anterior

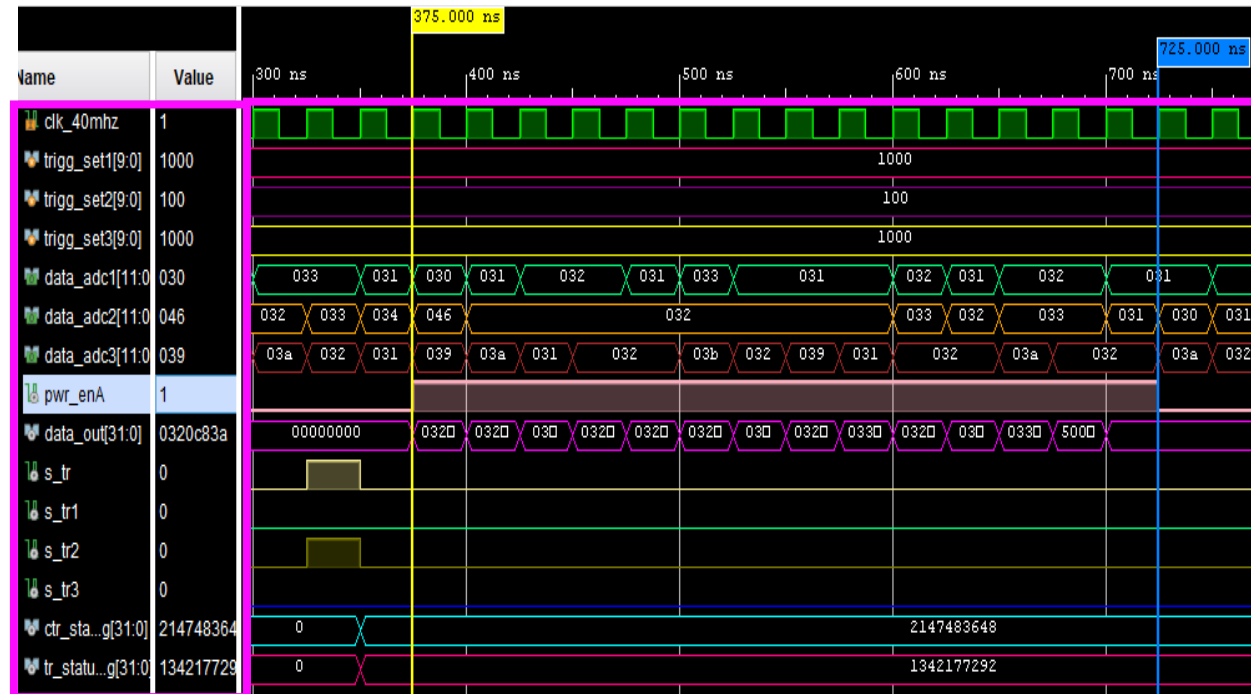
# Simulaciones discriminación de datos



Universidad  
Industrial de  
Santander



— Simulación trigger – versión actual



— Simulación trigger – versión anterior



# Registro de datos

15 muestras

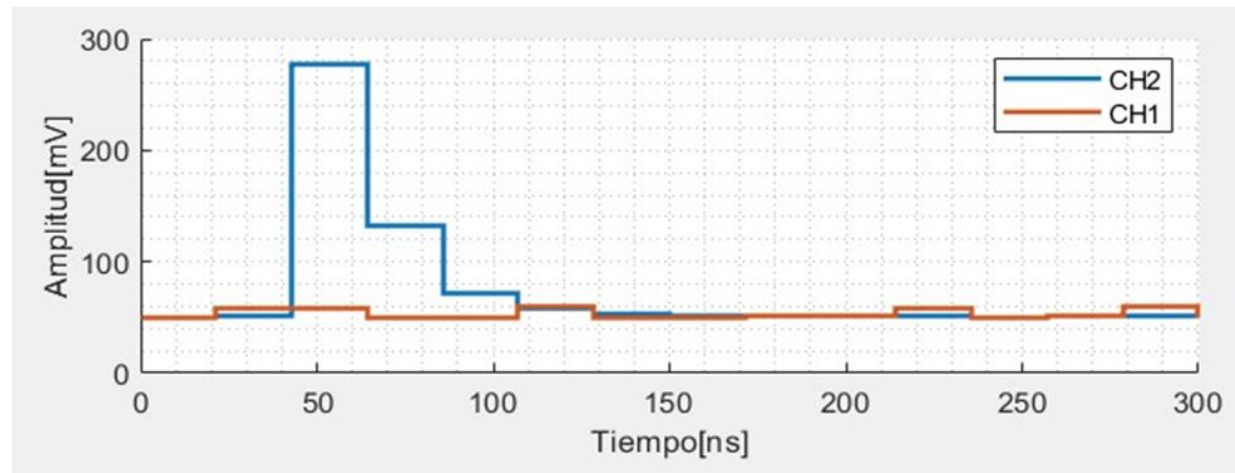
}

# t 2 128271154	# t 2 809695
# c 2147535245	# c 177517050
50 51 1	178 51 50
50 56 1	50 56 49
50 111 1	50 111 58
49 64 1	51 64 51
50 61 1	50 61 50
50 48 1	50 48 50
50 51 1	51 51 59
50 51 1	51 51 50
58 51 1	50 50 50
50 63 1	50 49 50
50 50 1	50 50 59
50 50 1	50 50 50
50 63 1	# t 2 1030232
59 50 1	# c 177517051
58 50 1	177 48 50
# t 2 128288654	50 72 50
# c 2147535246	50 283 50
50 49 1	49 107 50
51 72 1	51 115 59
59 283 1	50 58 58
50 107 1	50 53 50
51 115 1	49 52 50
59 58 1	50 52 50
50 53 1	49 52 50
50 52 1	51 51 59
51 52 1	49 50 58
51 52 1	# t 2 1252175
58 51 1	# c 177517052
50 50 1	178 49 50
50 51 1	50 52 50
50 50 1	50 278 58
50 49 1	50 133 51
# t 2 128323656	50 72 50
# c 2147535248	50 66 50
	51 51 51

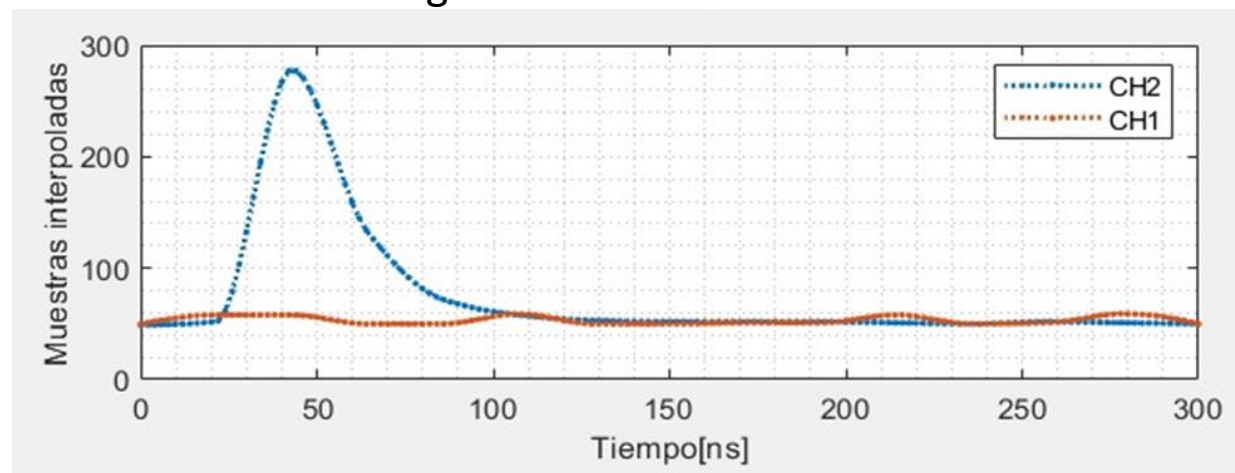
12 muestras

}

— Actualización de archivo de salida    — Archivo de salida anterior



Digitalización de eventos



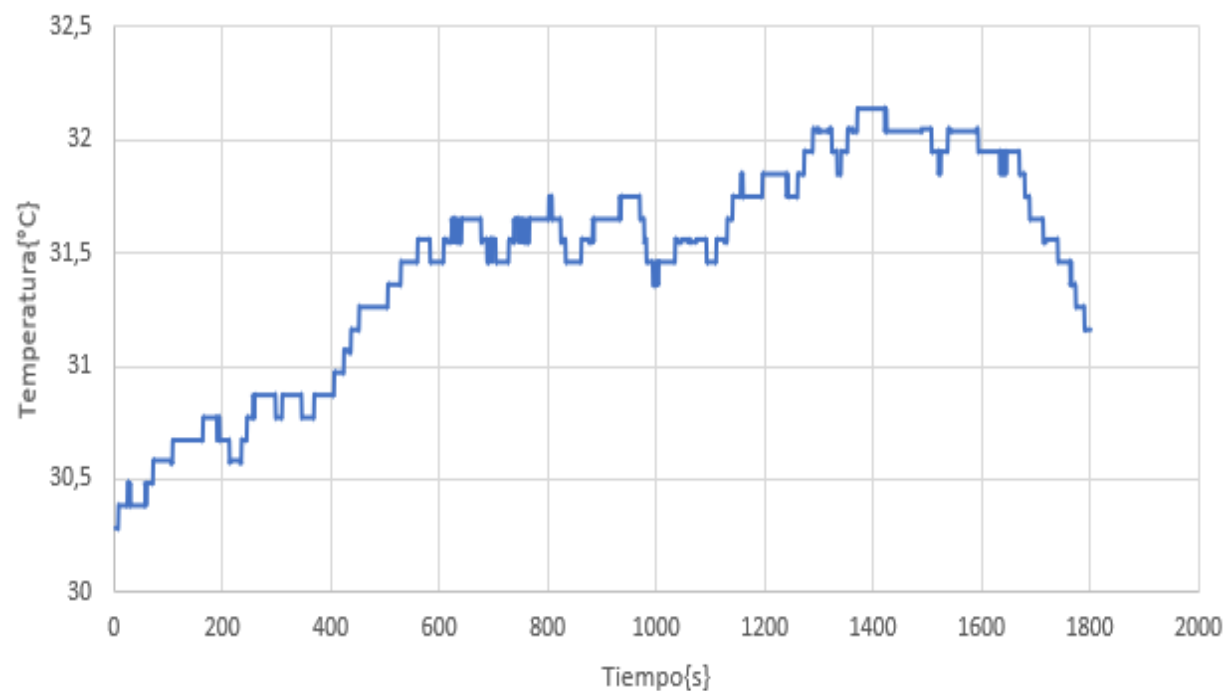
Entrada al ADC

# Registro de presión y temperatura

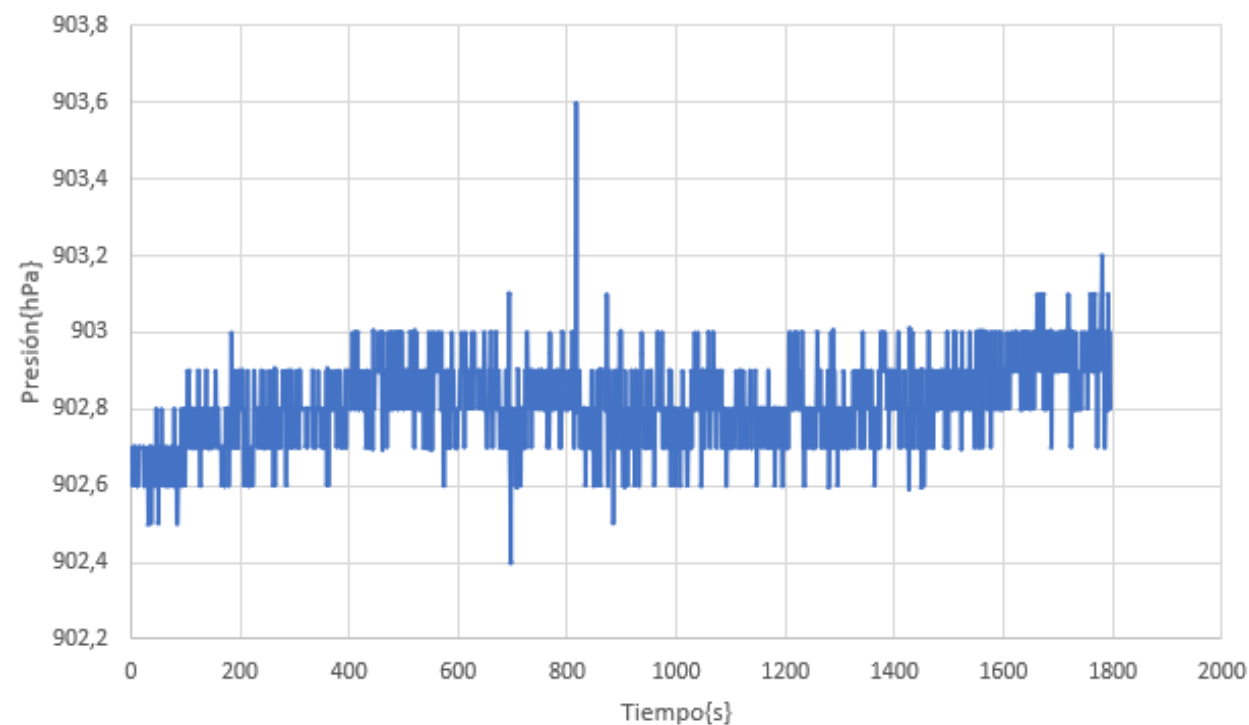


Universidad  
Industrial de  
Santander

Registro de temperatura HP03S



Registro de presión HP03S



# Costos de la implementación



Universidad  
Industrial de  
Santander

Costo implementación actual		Costo de implementación original	
FPGA (Icoboard)	\$ 450.000	FPGA (Nexys 2)	\$ 1'100.000
Tarjeta shield	\$ 40.000		
Raspberry Pi 3 Model B+	\$ 237.000	Raspberry Pi 3 Model B+	\$ 237.000
Sensor de presión y temperatura (HP03s)	\$ 40.000	Sensor de presión y temperatura (HP03s)	\$ 40.000
GPS (Adafruit Ultimate)	\$ 150.000	GPS (Motorola Oncore)	\$ 200.000
Disco duro (2TB)	\$ 330.000	Disco duro (2TB)	\$ 330.000
<b>Total</b>	<b>\$ 1'247.000</b>	<b>Total</b>	<b>\$ 1'907.000</b>



Universidad  
Industrial de  
Santander



# CONCLUSIONES



#LaUISqueQueremos

# Conclusiones

- En este proyecto se diseñó una actualización del sistema de adquisición del proyecto LAGO, mejorando la frecuencia de muestreo del evento captado de 40 MHz a 50 MHz y conservando el comportamiento en las señales de control.
- El sistema se implementó mediante herramientas de desarrollo libres como Yosys, Arachne, Icepak y Iceprog, logrando la independencia respecto a las FPGA en el proyecto.

# Conclusiones

- Es posible optimizar el sistema de adquisición para dar soporte y continuidad al proyecto implementando una lógica distinta a la del proyecto LAGO, mejorando la compatibilidad con los dispositivos para almacenar información relevante de los periféricos HP03S y GPS.
- Se almacena la información de los eventos registrados en una Raspberry Pi 3 junto con el registro los datos de los periféricos HP03S y GPS que permiten obtener información relacionada con el entorno del WCD (ubicación geográfica, hora, temperatura ambiente y presión atmosférica).



# TRABAJO FUTURO

Para dar por terminada la actualización del sistema de adquisición del proyecto LAGO se debe aplicar una mejora a la electrónica analógica, aumentando la frecuencia de muestreo y la resolución para adaptarlo a la implementación de este proyecto.



Universidad  
Industrial de  
Santander

#LaUISqueQueremos

# iGracias!

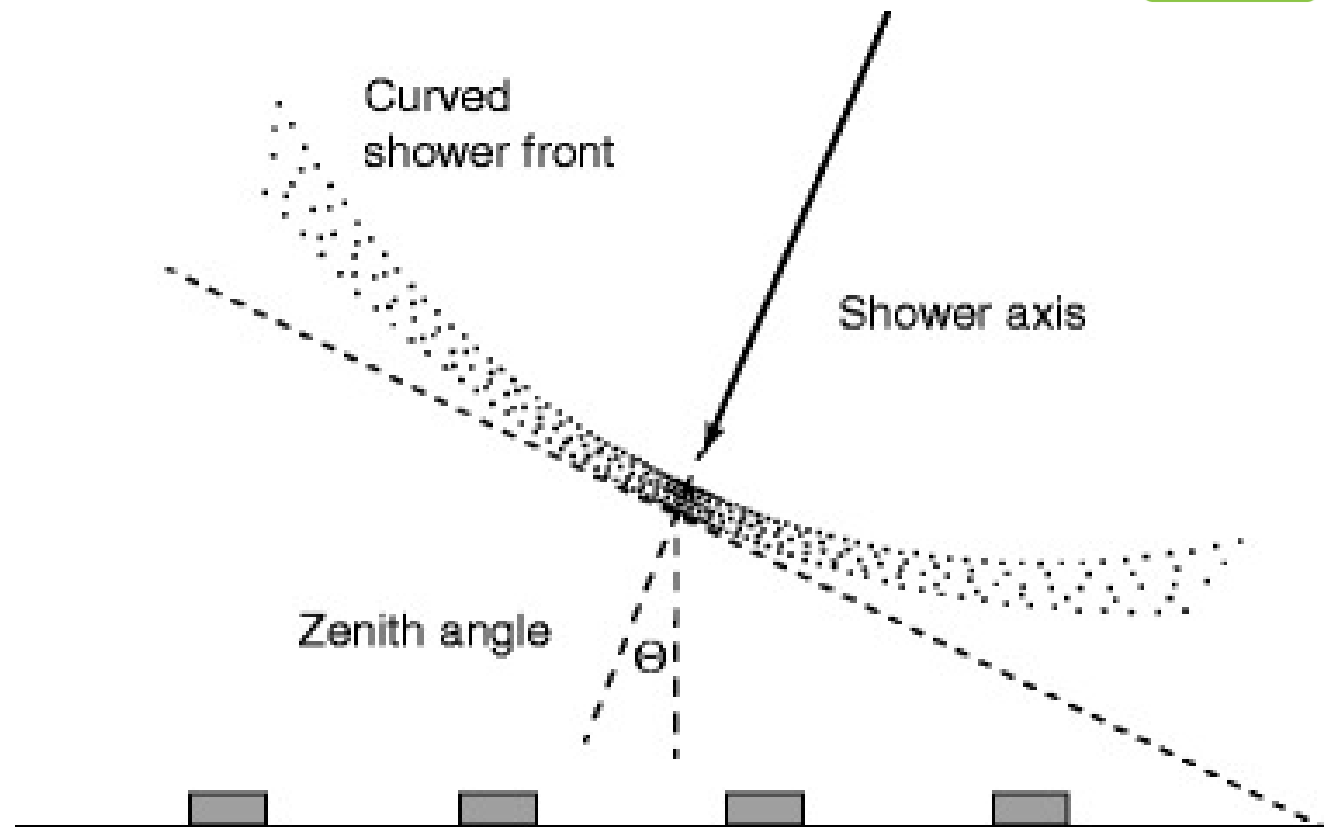


# Aumento de resolución y frecuencia de muestreo



Universidad  
Industrial de  
Santander

- El aumento de frecuencia permite mejorar la resolución temporal de los arreglos de WCD. También disminuye el error en la reconstrucción de la dirección de la lluvia de partículas.
- El aumento de la resolución vertical, es decir de 10 bits a 12 bits permite disminuir el error en la medición de la energía depositada en los WCD.



Eidelman S.I., Shwartz B.A. (2012). Springer, Berlin, Heidelberg

29

Somos **el mejor** escenario  
de creación e innovación.

[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

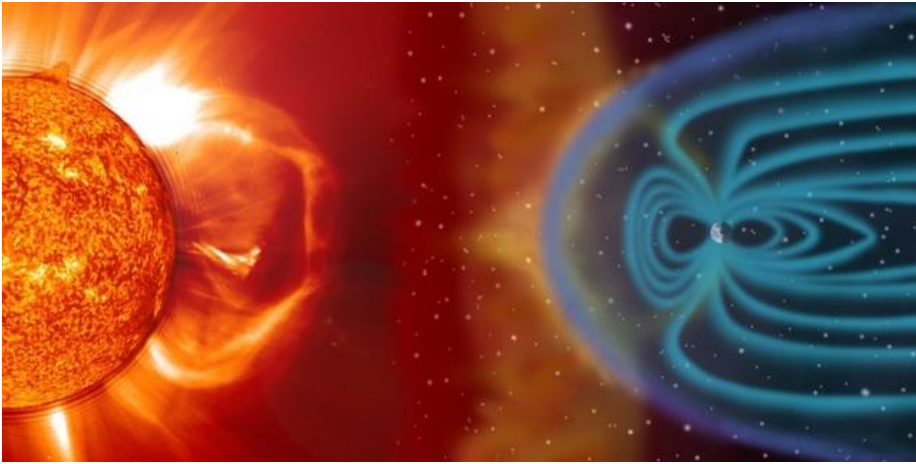


# El Observatorio Gigante Latinoamericano (LAGO)



Universidad  
Industrial de  
Santander

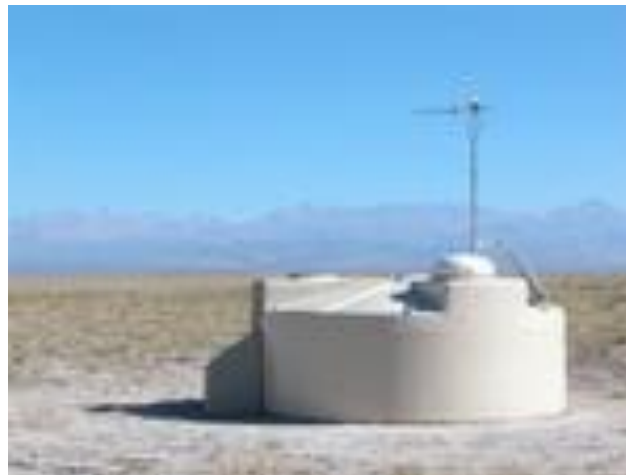
## Los fenómenos del clima espacial



## El universo extremo



## La radiación atmosférica a nivel del suelo.



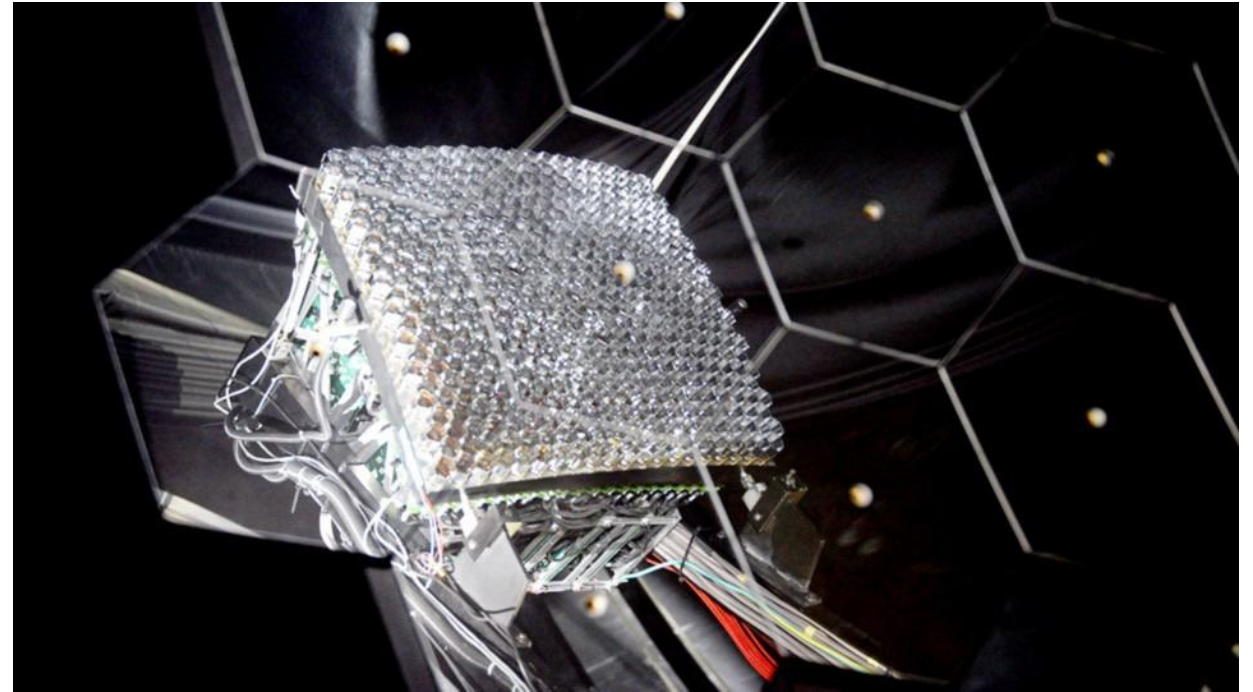
# METODOS DE DETECCIÓN



Universidad  
Industrial de  
Santander



Detectores de centelleo  
Detectores Cherenkov de Agua

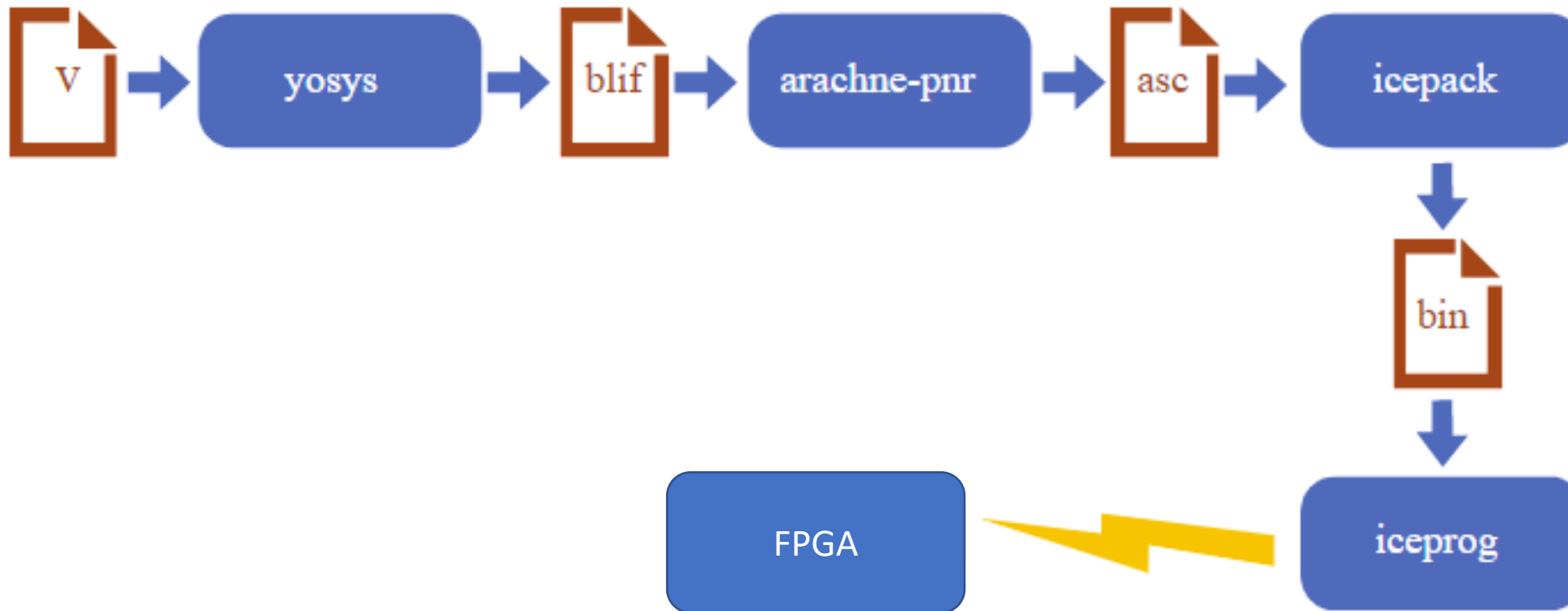


Telescopios de fluorescencia

# Herramientas seleccionadas



Universidad  
Industrial de  
Santander

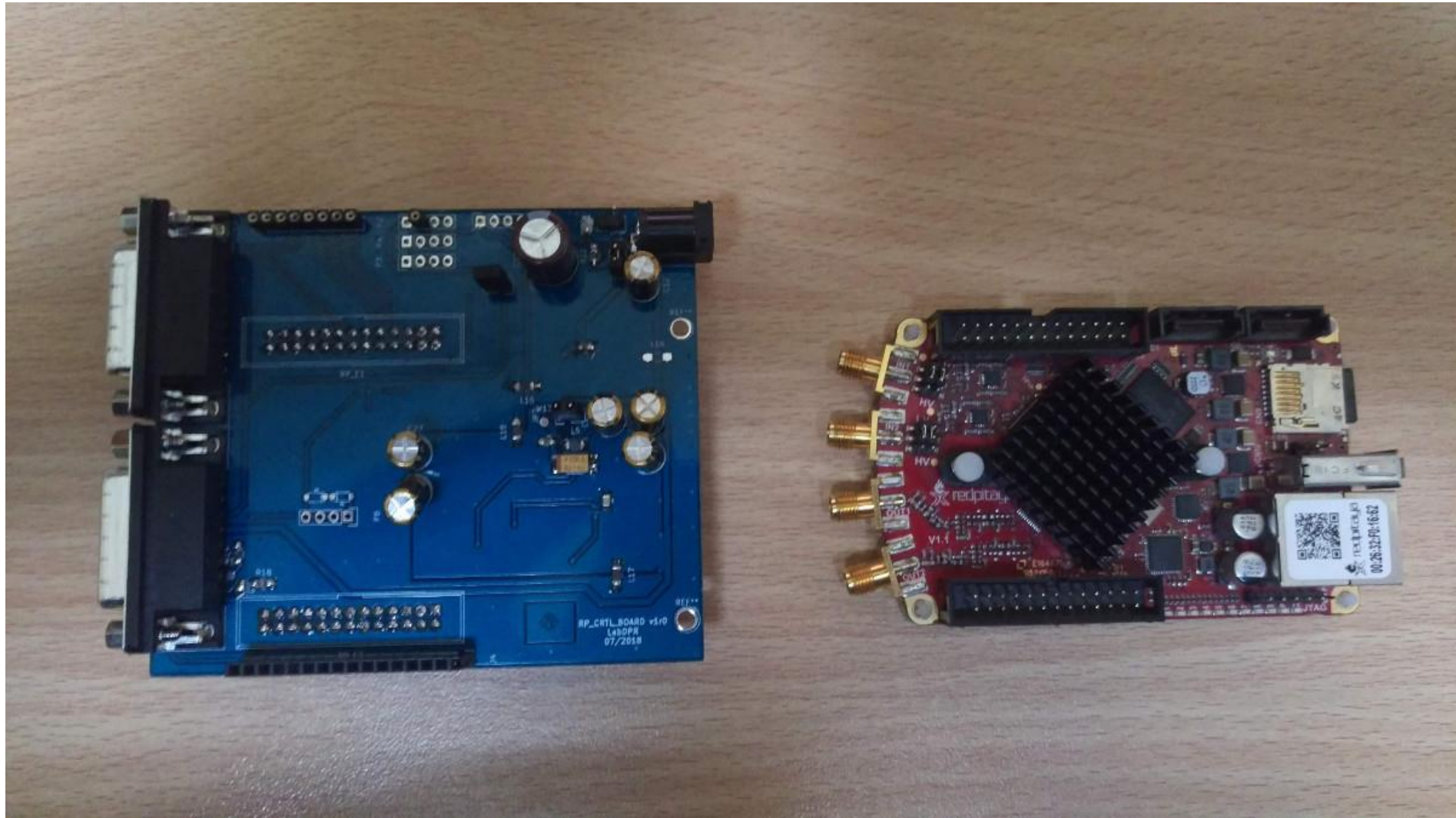




# RedPitaya



Universidad  
Industrial de  
Santander



33

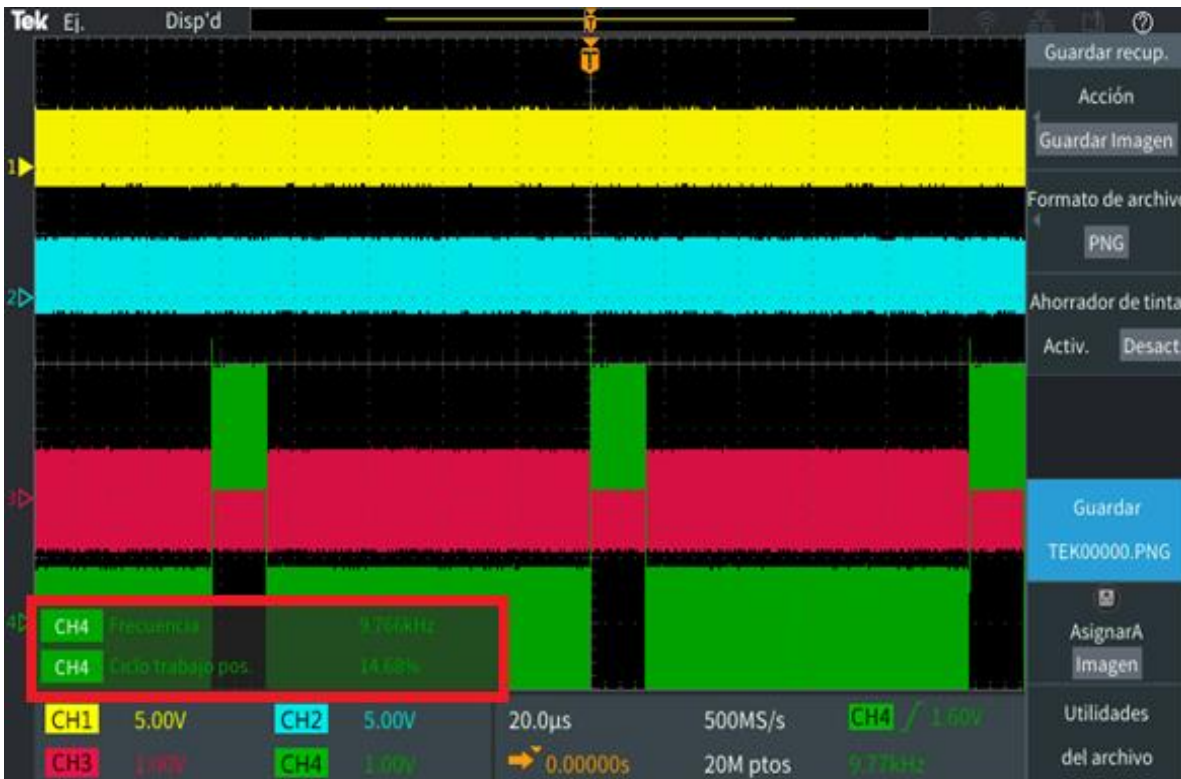
Somos **el mejor** escenario  
de creación e innovación.

[www.uis.edu.co](http://www.uis.edu.co)

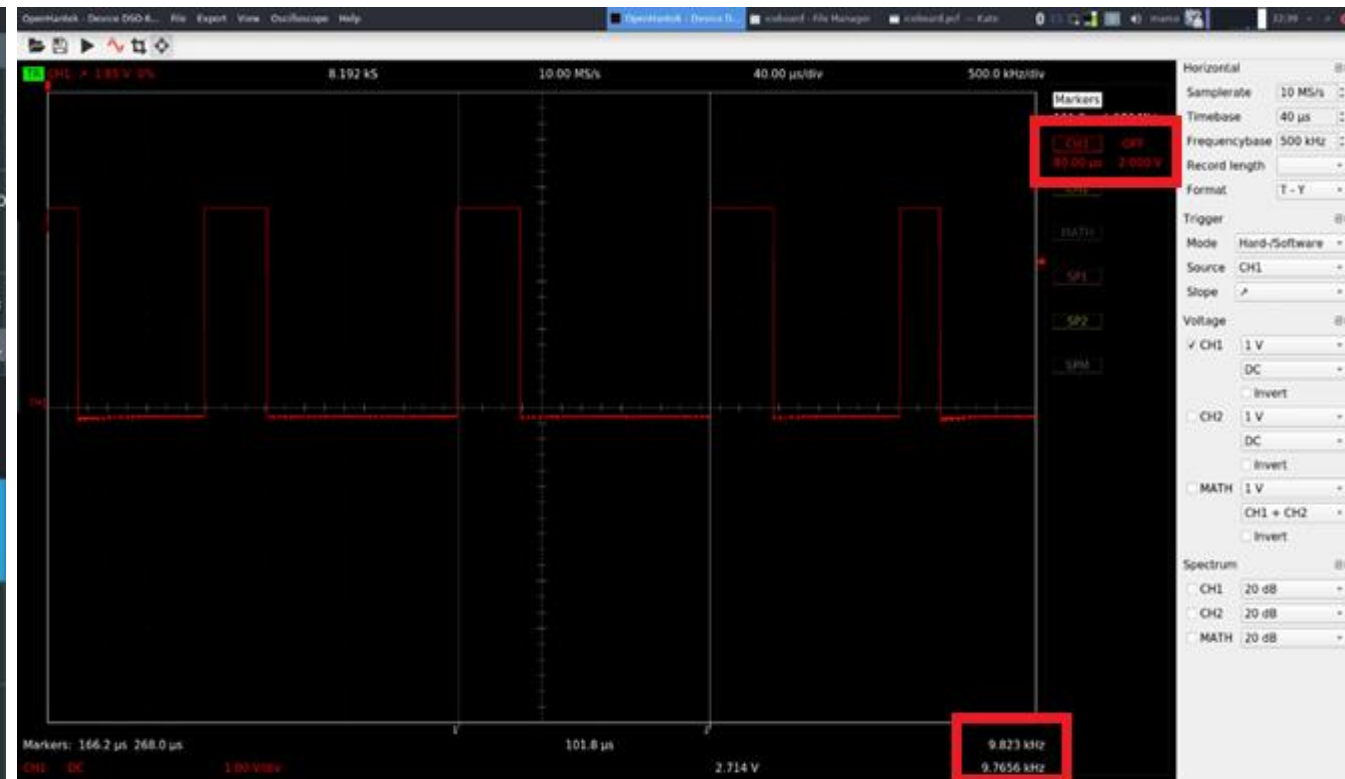
# Salida de control PMT



Universidad  
Industrial de  
Santander



Regulación de polarización del PMT del sistema original



Regulación de polarización del PMT del sistema actual

# SE CLASIFICAN EN TRES COMPONENTES LAS LLUVIAS ATMOSFERICAS

**La componente electromagnética** la partícula primaria es un rayo  $\gamma$ , que desaparece al interactuar con algún átomo atmosférico dando lugar a la creación de un par electrón positrón las partículas más abundantes de esta componente son positrones, electrones y fotones

**La componente Hadrónica** la lluvia es iniciada por un nucleón, la primera interacción es hadrónica. Algunas de las partículas producidas en interacciones de este tipo son piones neutros (que pueden decaer en dos fotones, las partículas más abundantes de la lluvia sean positrones, electrones y fotones, compuesta por hadrones y otras partículas. Estos se producen muy poco

**La componente Muónica** es generada por el decaimiento de mesones cargados, los cuales son derivados de las primeras interacciones hadrónicas. Inicialmente el número de muones aumenta a medida que la lluvia se desarrolla hasta llegar a un máximo para luego atenuarse lentamente. Esto sucede, debido a que los muones casi no interactúan con el medio y la pérdida de energía solo se da por ionización.