

# **CLBv2-Electrónica White Rabbit**

## **FIDES: Estudios de fiabilidad**

### **Alimentación del módulo digital óptico**

### **Calibración temporal - Nanobeacon**



*Jornadas Técnicas IFIC*

Diego Real  
David Calvo  
(IFIC)

KM3NeT

12-03-2018

# KM3NeT

## Telescopio de neutrinos en el fondo del mar Mediterráneo

Más de 50 institutos, en 15 países  
principalmente europeos  
Dos sitios de instalación (Francia e  
Italia), más uno previsto en Grecia

### Phase I:

6 líneas en Toulon  
24 líneas en Capo Passero

### Phase II:

1 Building Block en Toulon (115  
líneas)  
2 Building Blocks en Capo  
Passero (230 líneas)

### Módulo Digital Óptico (DOM)

Esfera de 17"

31 PMTs de 3"

Electrónica adquisición y  
sincronización



690 líneas 18 DOMs/línea 12400 DOMs ~5 km<sup>3</sup> ~ 3500 m profundidad



# KM3NeT

- ✓ Estamos en el Roadmap de “European Strategy Forum on Research Infrastructures” (ESFRI) de 2016
- ✓ Y en la estrategia europea del “Astroparticle Physics European Consortium” (APPEC) de 2017
- ✓ Varias líneas instaladas y testeadas (electrónica testada en condiciones reales de operación)
- ✓ La operación de las primeras líneas de Phase I empieza en la segunda mitad de 2018
- ✓ La producción de los componentes de Phase II empezará este mismo año
- ✓ Está previsto tener 345 líneas -3 building blocks- instaladas en 2022

# El IFIC en KM3NeT, técnicamente

## Central Logic Board (CLB):

Diseño + Esquemáticos (Colaboración Fernando Carrió) + Layout + producción prototipos  
Firmware (Time to Digital Converters (TDCs), Reconfiguración, Watchdog, micro empotrado)

## Power Board (PB):

Diseño + Esquemáticos + Layout + producción prototipos + Medidas eficiencia

## Nanobeacon:

Esquemáticos + Layout + producción prototipos + estudios características pulso de emisión

## Coordinación:

del grupo de electrónica de KM3NeT

## Reparación:

Hub de la electrónica de KM3NeT. Las tarjetas con cualquier tipo de problema dentro de la colaboración se envían al IFIC para análisis y reparación (si es posible)

## Test:

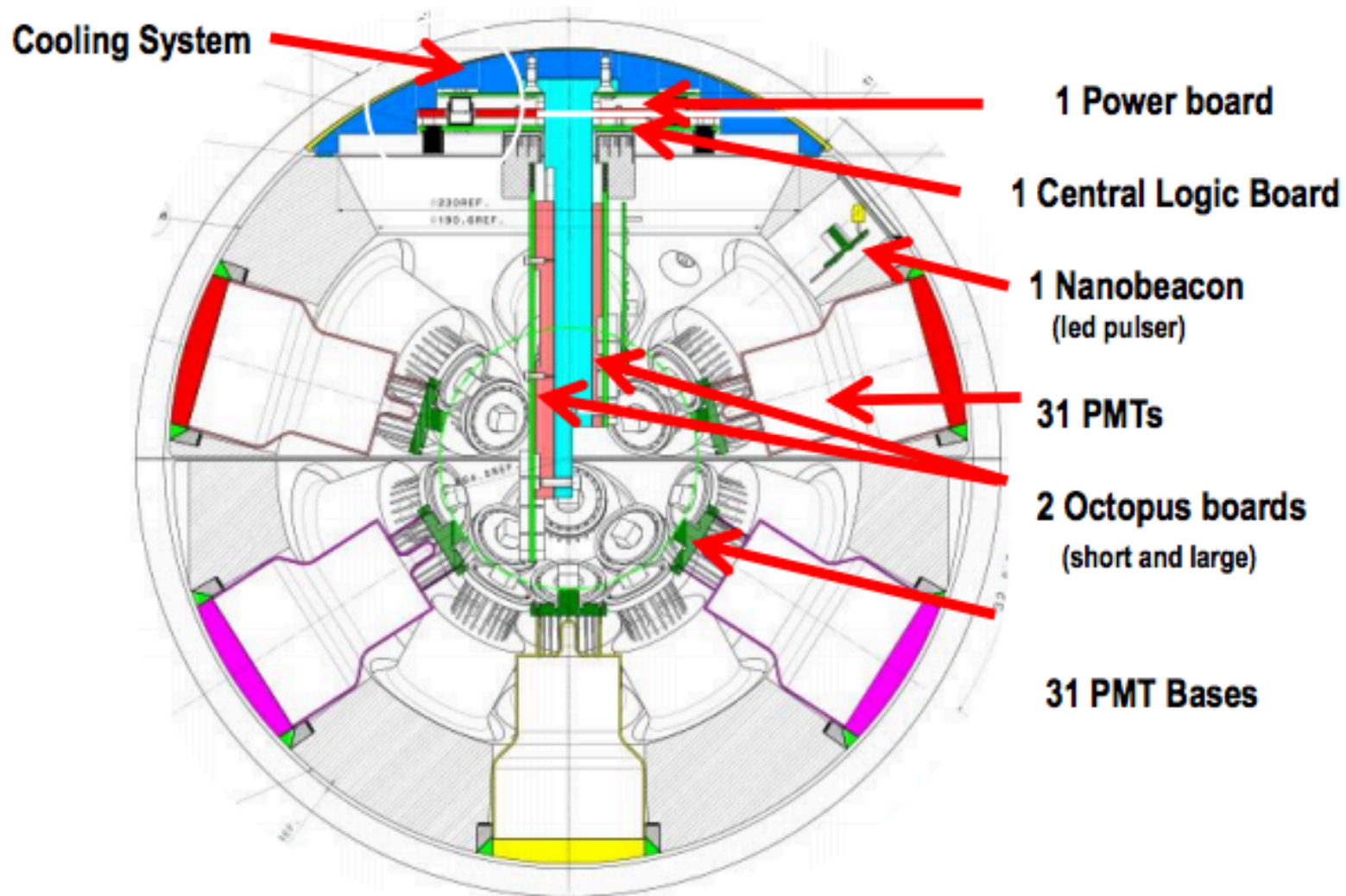
Cualificación protos CLB, PB y Nanobeacon-> preparación producción en serie  
Testeo releases firmware y software + Testeo rendimiento switches (Apoyo UGR)  
Evaluación sincronización (sincronización @ 1-ns)

## FIDES (Fe en latín):

Análisis de fiabilidad tarjetas adquisición KM3NeT (Y del Switch de White Rabbit)



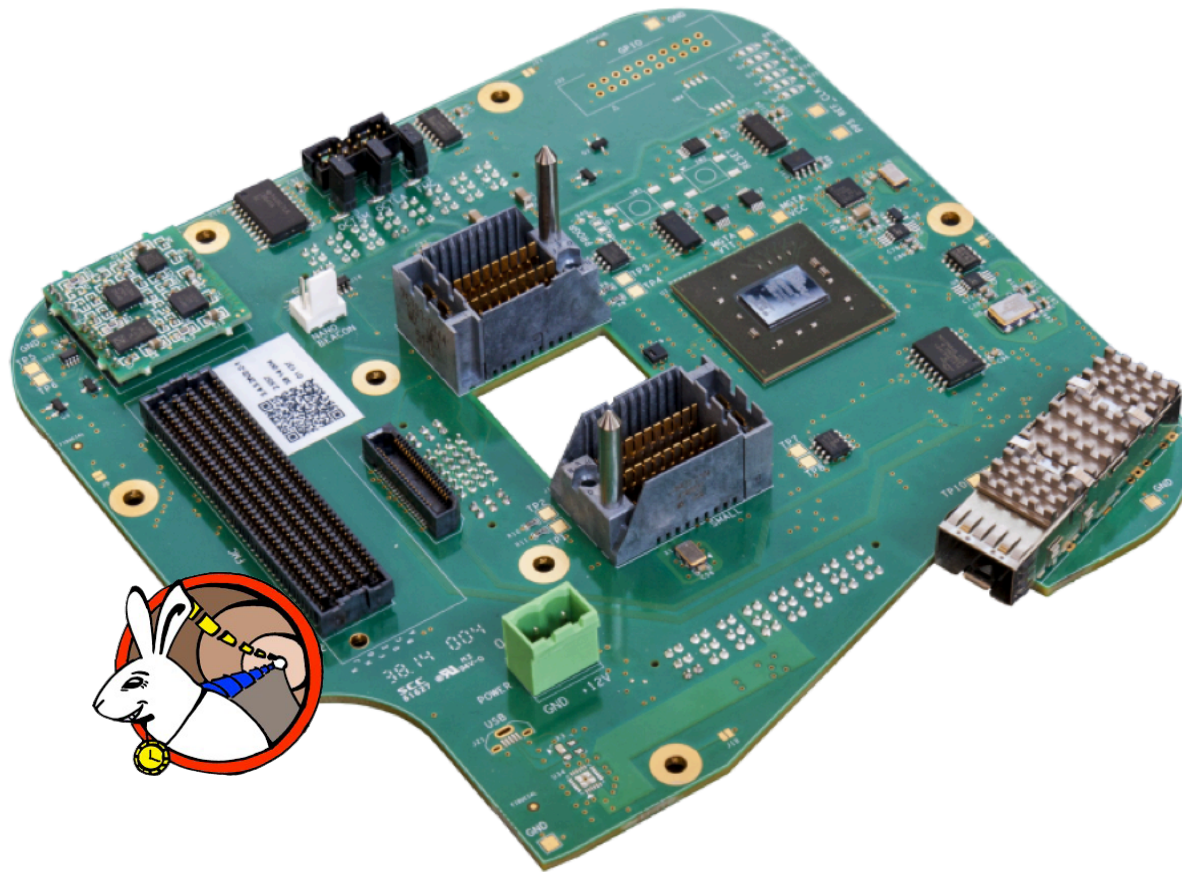
# Módulo Óptico Digital: DOM



# CLB: Central Logic Board

Principal tarjeta electrónica de KM3NeT

Adquisición 31 PMTs DOM + Sincronización 1-ns + Comunicaciones



**Esquemáticos**

**Layout**

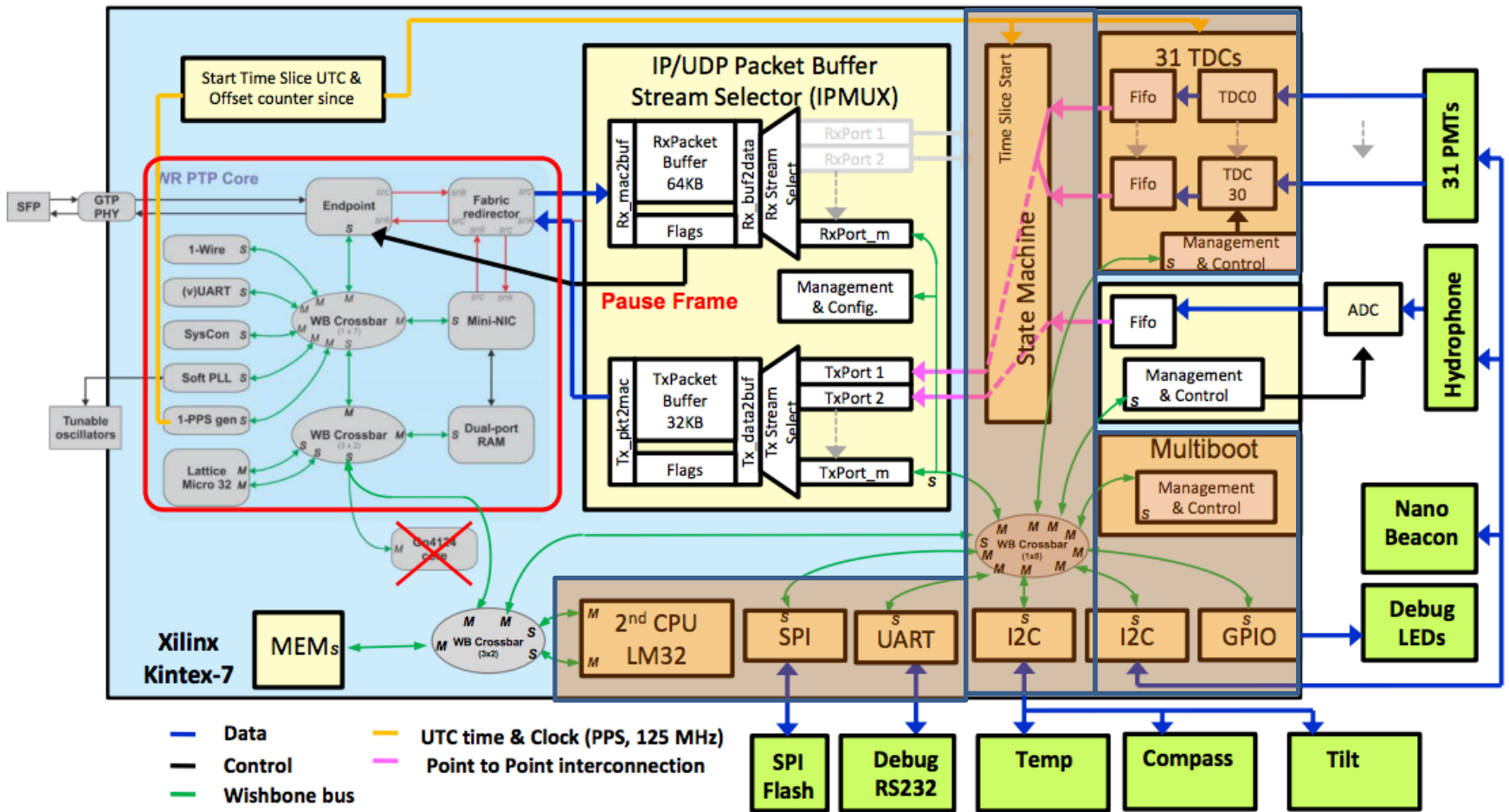
**Firmware:**

- TDC core + state machine
- Embedded micro (LM32)
- Drivers
- Reconfiguration
- Watchdog

Nodo White Rabbit: Hardware específico (VCOs, ...)

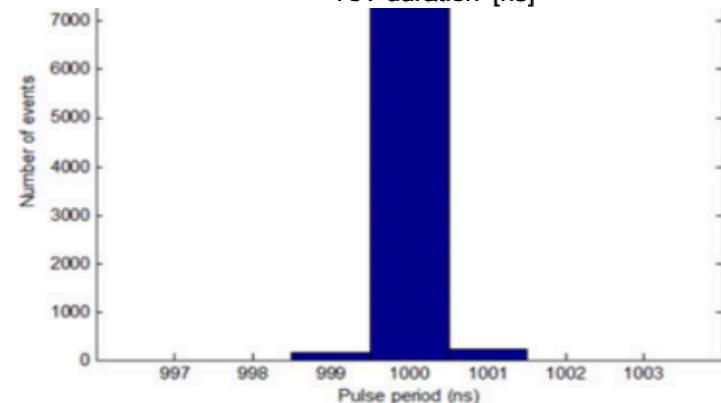
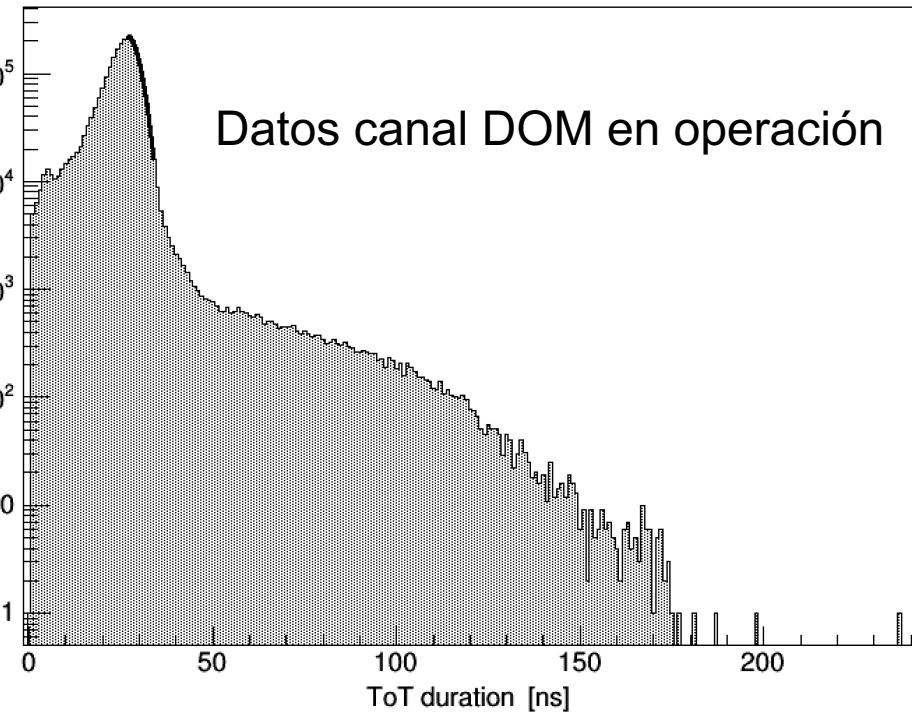
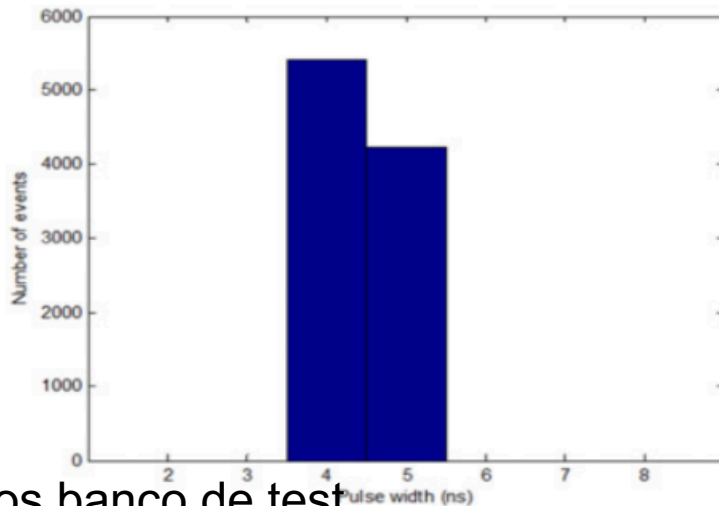
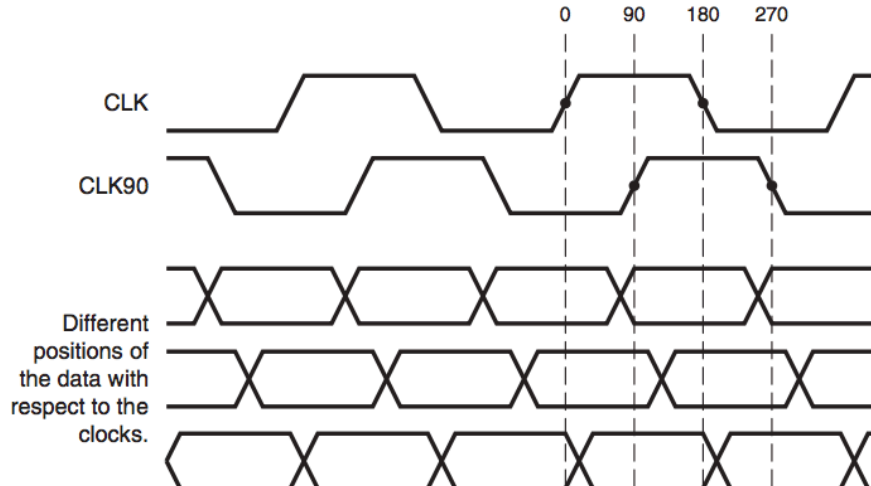


# CLB: Firmware



# CLB Firmware: TDCs

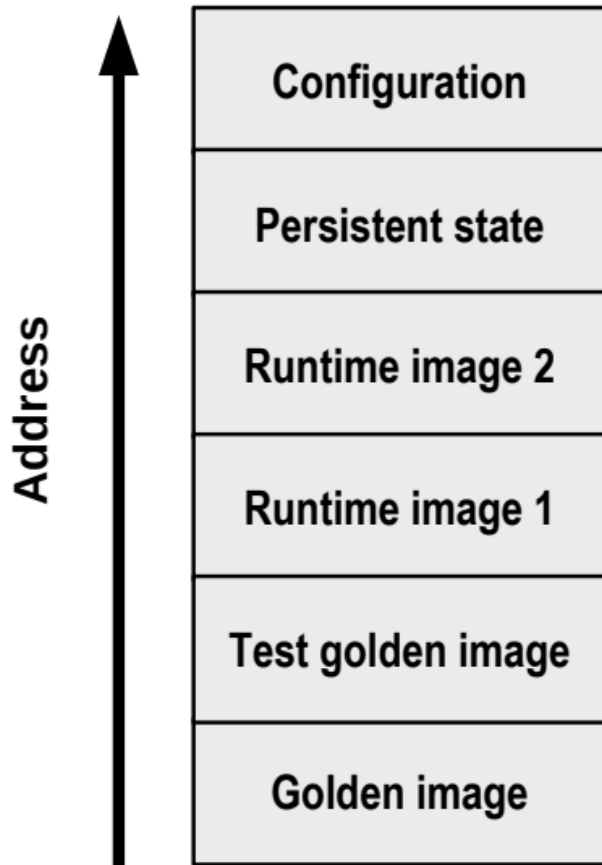
Reloj a 250 MHz – Readout a 1GHz (1 ns)



Datos banco de test



# CLB Firmware: Reconfiguración



- Utiliza una memoria no volátil
- Hasta cuatro imágenes de la FPGA
- Una imagen es permanente (Golden Image) – en caso de fallo en la reconfiguración la CLB recomienza con esta imagen.
- Permite una reconfiguración del firmware remota y segura (No queremos perder los DOMs ya que una vez instalados son inaccesibles)

# CLB: Nodo White Rabbit

## WR features

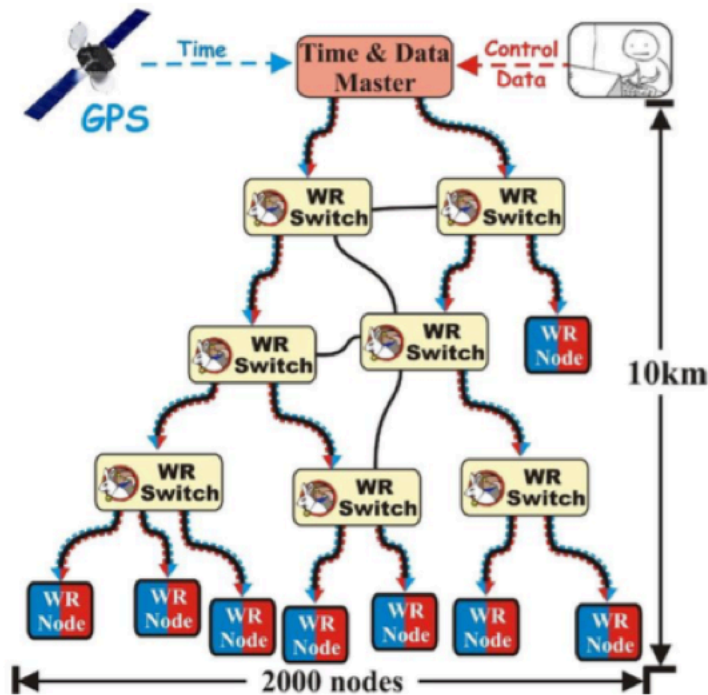
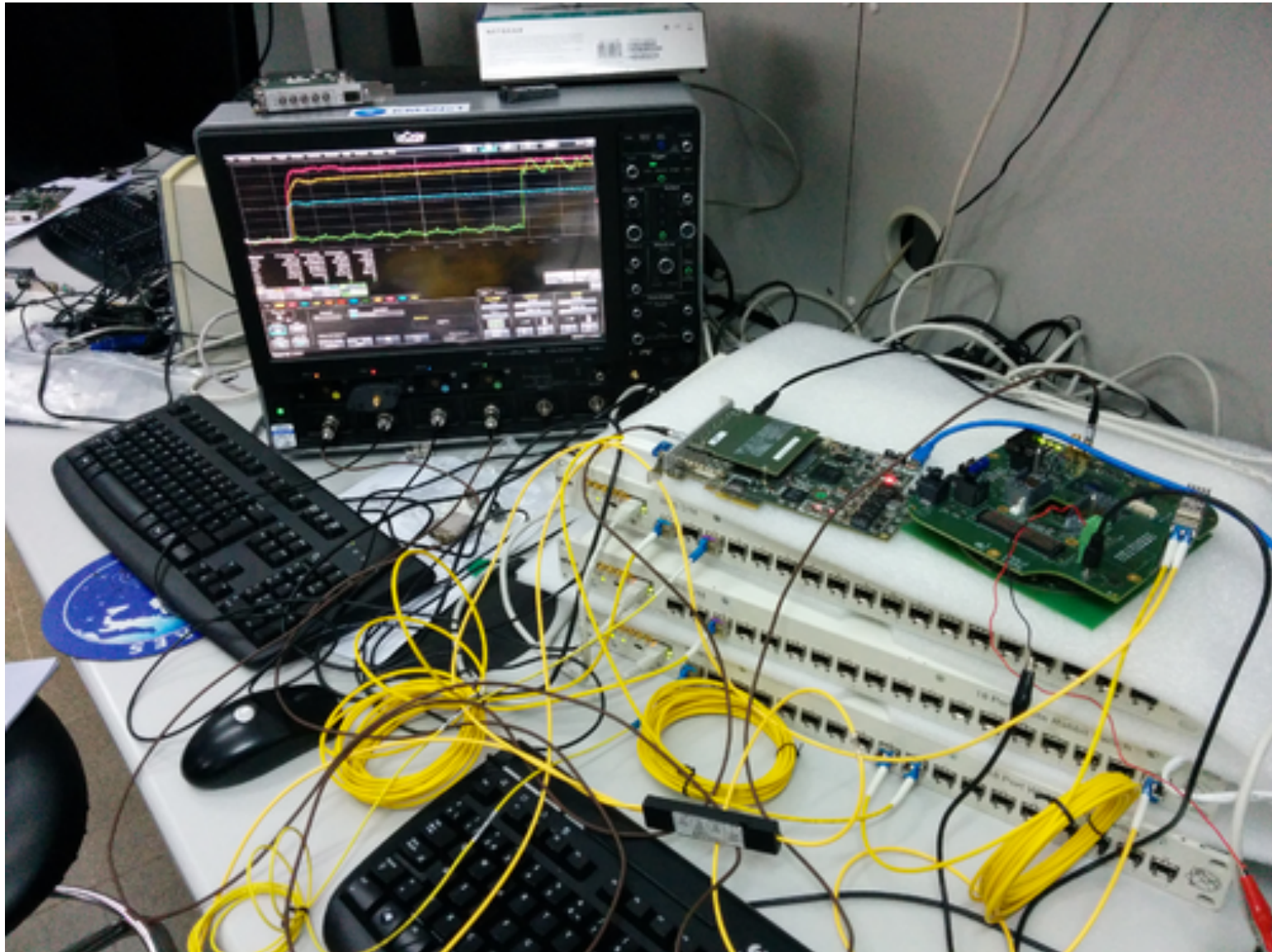


Figure from The White Rabbit Project at Open Hardware Repository.  
Available at <http://www.ohwr.org/documents/177>

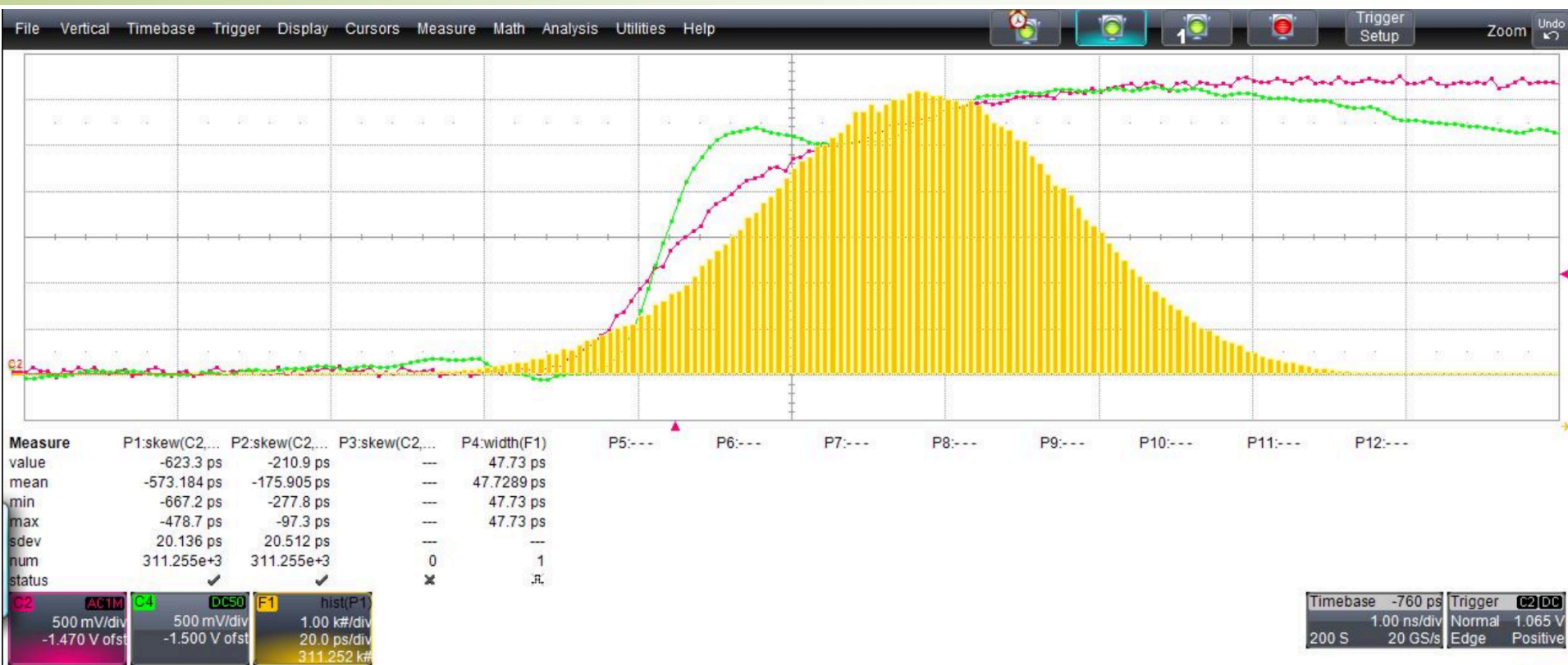
- Sincronización precisa
  - mejor de 1-ns
- Entrega de datos determinista
- Fiable
- Escalable
- 1Gbps de ancho de banda
- Medio fibra óptica
- Hasta 100 km por link
- 18 puertos por WR switch
- Nodos Ethernet estándar permitidos



# CLB: Tests de Sincronización White Rabbit



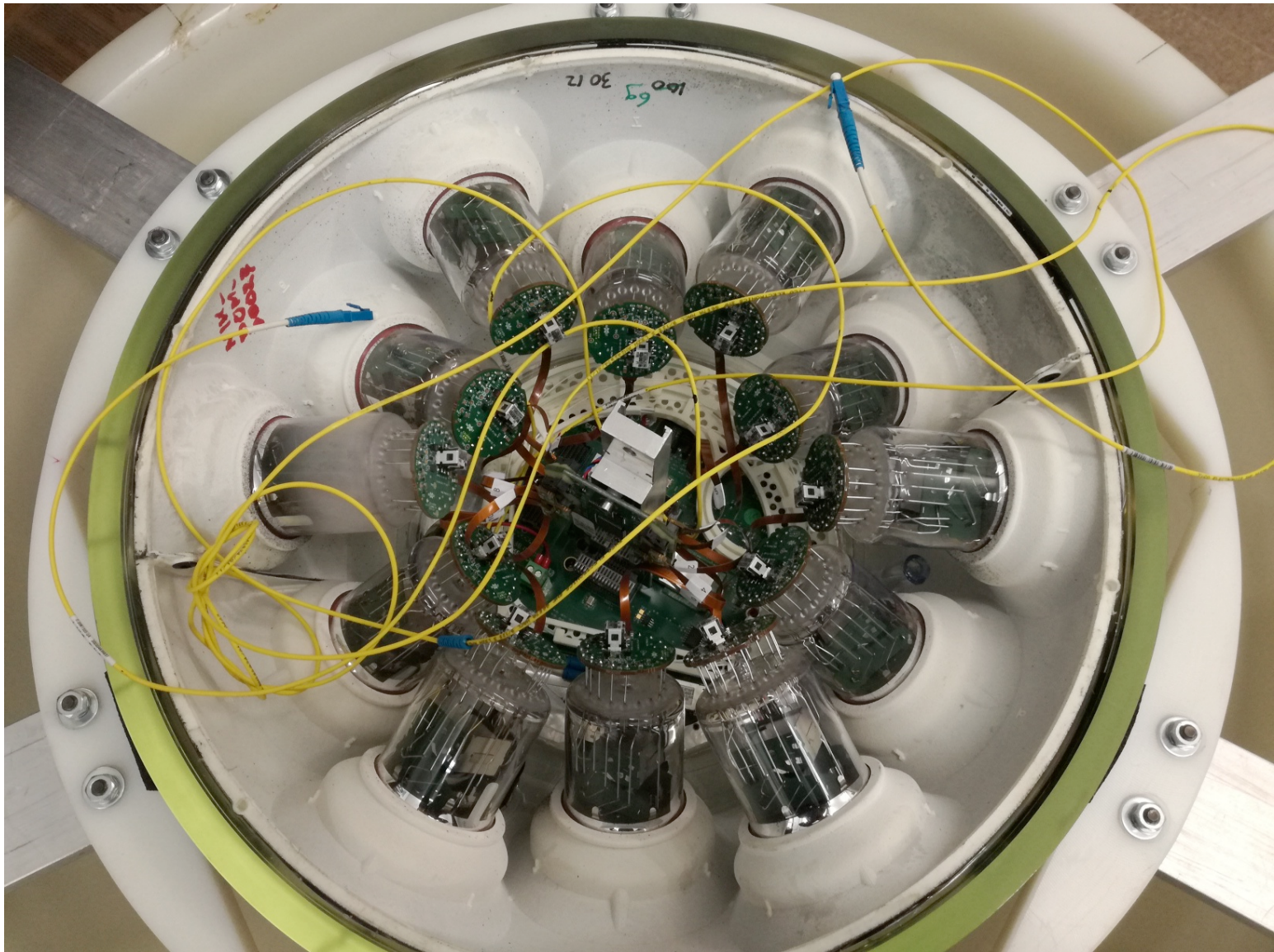
# CLB: Tests de Sincronización White Rabbit



Medida jitter reloj de referencia (Master WRS) con el reloj de la CLB.  
< 50 ps de desviación estándar durante 24 horas de operación.



# CLB: Tests de las releases Fw&Sw



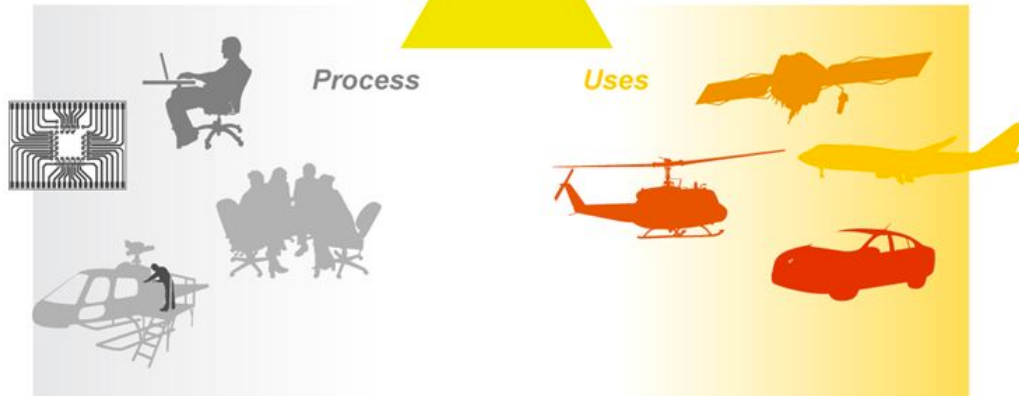
# FIDES: Análisis de fiabilidad

## FIDES

- Based on failure physics and calibrated with test feedback and field failure data



## RELIABILITY



**Fiabilidad es crítica en KM3NeT:**  
Instalación a 3500 metros de profundidad donde mantenimiento es imposible.

Analizadas (Junto APC):

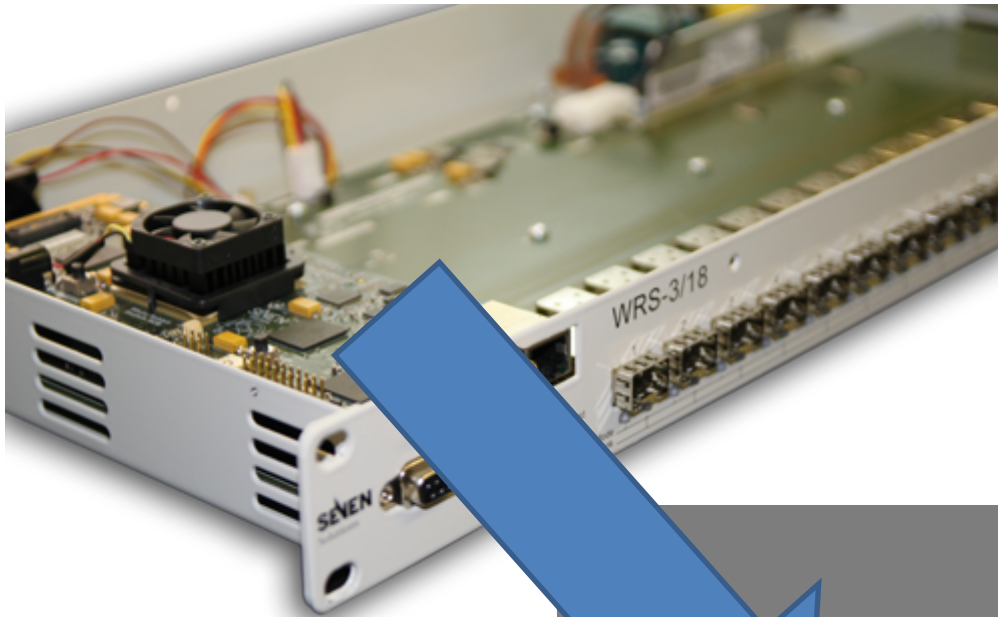
- CLB
  - PB
  - Octopus
  - Nanobeacon
  - PMT Base
- (Tarjetas electronicas DOM)

Proporciona un FIT (Fallos por billón de horas de operación)

El billón es americano

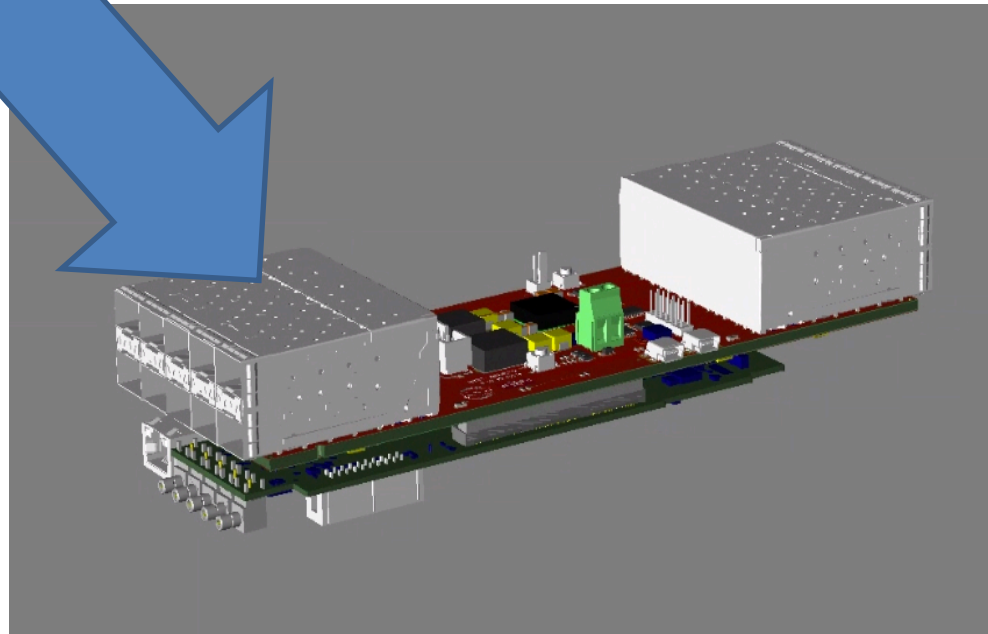


# FIDES: White Rabbit Switch



Modificación para instalarlo en el fondo del mar –Phase II (Simplificación de la red óptica, escalabilidad) – Base de las líneas-

Fiabilidad muy importante. FIDES análisis necesario.

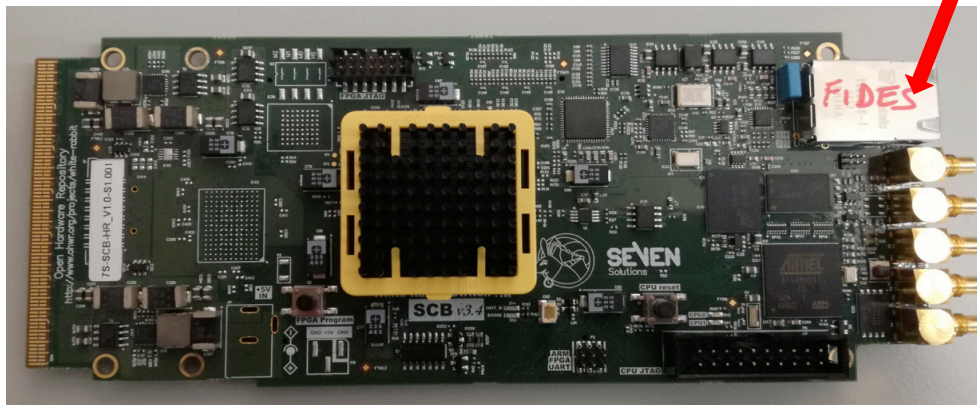


# FIDES: White Rabbit Switch results

WR SWITCH			
Current Design		FIDES: KM3NeT Modification	
WR SCB			
FIT	MTBF	FIT (Preliminar)	FIT (definitive)
2937	340483	983	794
Chromium board (carrier)			
FIT	% Failure	FIT (Preliminar)	FIT (definitive)
639	1562575	317	435
TOTAL		TOTAL	
3576	279642	1310	1230

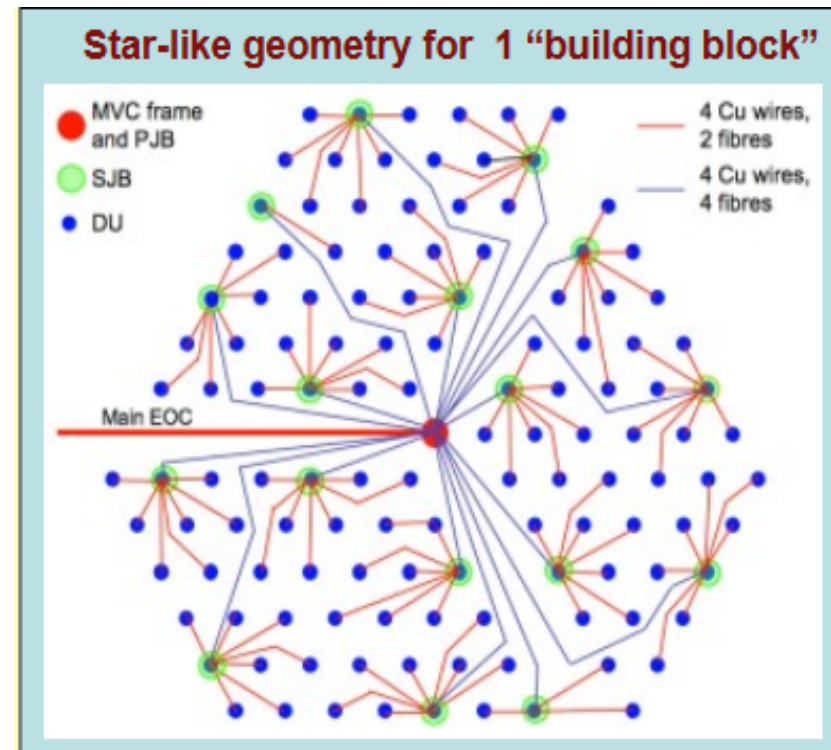
4 prototipos de la Switching Core Board (SCB) del switch de White Rabbit producidos con los cambios resultantes del análisis de fiabilidad

Tests en marcha



# KM3NeT: Power Board

- Cada módulo óptico (DOM) recibe la alimentación de un convertor externo 400V/12V
- Se necesita generar 7 tensiones diferentes para toda la electrónica interna:
  - Central logic Board (CLB) .
  - Fotomultiplicadores (PMT).
  - Comunicaciones ópticas
  - Sensores de instrumentación internos
    - Sensor acústico de posicionamiento.
    - Brújula, inclinómetro para monitorizar la orientación del DOM.
    - Sensores de temperatura y humedad.
    - LED de los nanobeacons para calibración temporal.



# KM3NeT: Power Board

- Requisitos:
  - Todas las tensiones son derivadas de los 12V de entrada .
  - Conversores de alta eficiencia.
  - Arranque secuencial de las tensiones
  - Geometría estricta, impuesta por la mecánica del DOM
  - Diseño modular, para evitar obsolescencia de componentes
  - Unida directamente al sistema de enfriamiento
  - Sensado de todas las tensiones y corrientes
  - Sistema de comunicación I2C
  - Bajo coste en componentes y PCB (4 capas)
  - Alta fiabilidad (> 15 años)

# KM3NeT: Power Board

- Tensiones y corrientes:

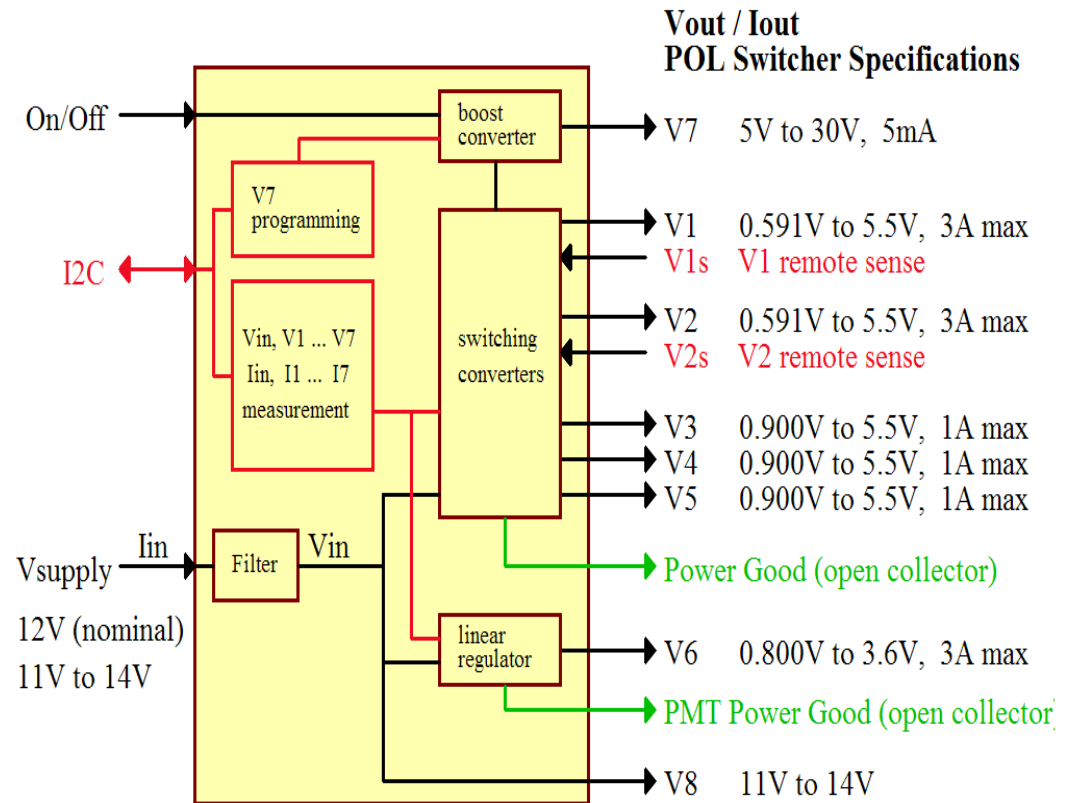
- **Step down:**

12V  $\rightarrow$  1.0V 1.3A (FPGA)  
 12V  $\rightarrow$  1.8V 0.9A (FPGA)  
 12V  $\rightarrow$  2.5V 0.9A (FPGA)  
 12V  $\rightarrow$  3.3V 0.7A (Digital)  
 12V  $\rightarrow$  3.3V 0.3A (Analógico)  
 12V  $\rightarrow$  5.0V 0.4A (Acústica)

- **Step up:**

12V  $\rightarrow$  0V .. 30V 5mA

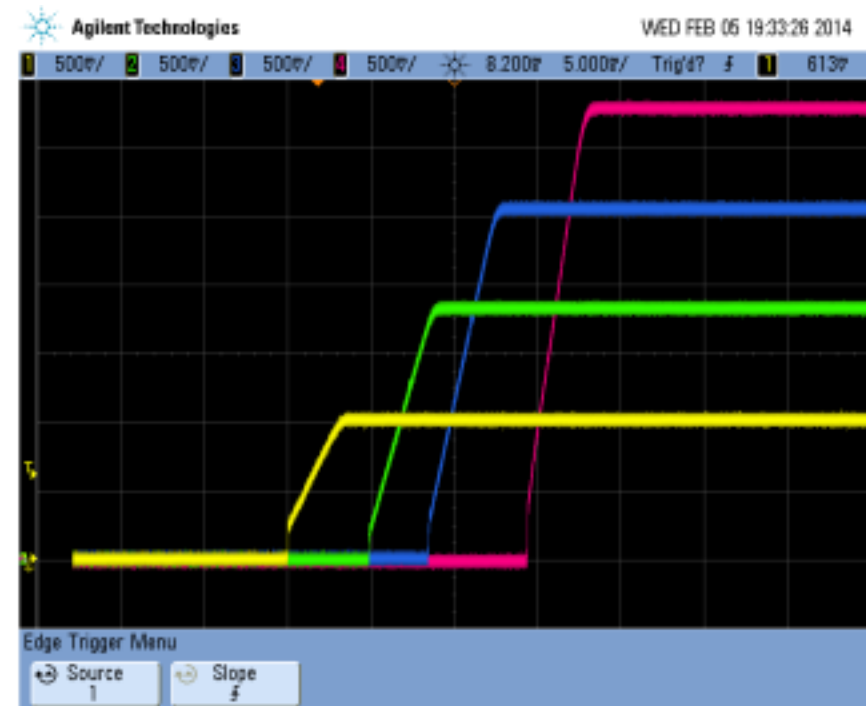
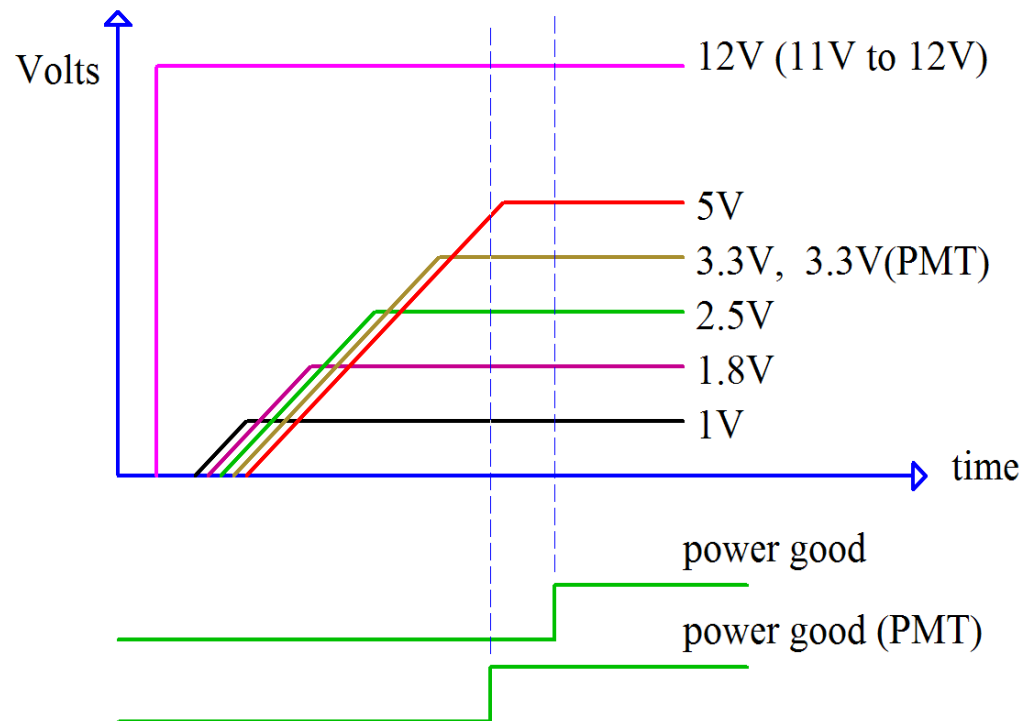
(programable vía I2C para nanobeacon)





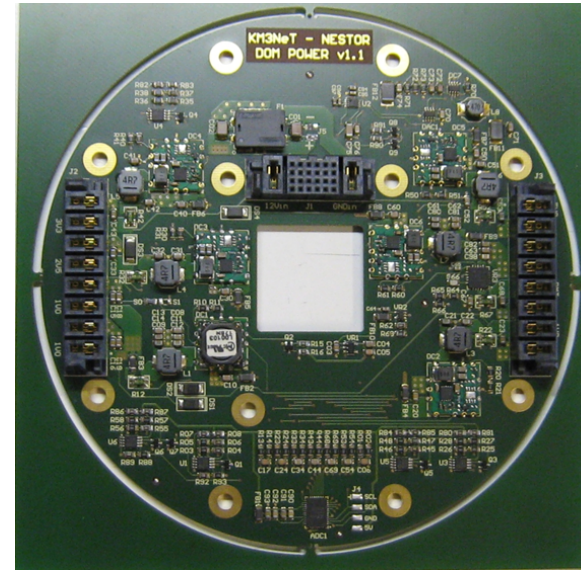
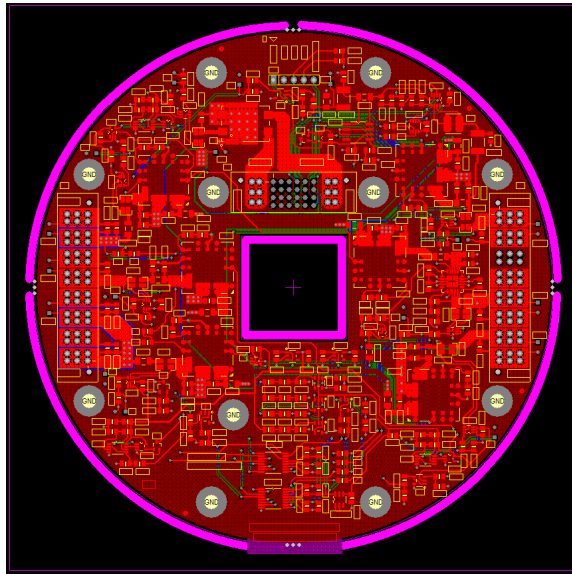
# KM3NeT: Power Board

- Implementación:
  - Conversores conmutados para mejorar la eficiencia
  - La alimentación de los PMTs incluye un regulador lineal para reducir ruido:



# KM3NeT: Power Board

- Diseño Final:



- Mejoras:
  - Análisis de eficiencia de los reguladores.
  - Cambios en 3 de ellos para conseguir mejorar la eficiencia y reducir el consumo un 15%

# KM3NeT: Nanobeacon

- Calibración:
  - La resolución angular es crítica en KM3NeT.
  - Una buena resolución angular se consigue mediante un buen sistema de posicionamiento y calibración temporal
  - Resolución angular de KM3NeT:  $0.1^\circ$  para  $E > 100 \text{ TeV}$
- Resolución temporal relativa:
  - Electrónica
  - Transit Time Spread (TTS) de los fotomultiplicadores .
  - Propiedades ópticas del agua:
    - Scattering
    - Dispersión cromática
  - Incertidumbre de 1-2 ns
  - Un sistema basado en fuentes de luz externa, donde es conocido el tiempo de emisión, es muy útil para calibración temporal y para medir propiedades ópticas del agua.
  - Offsets entre los PMTs de una misma línea

# KM3NeT: Nanobeacon

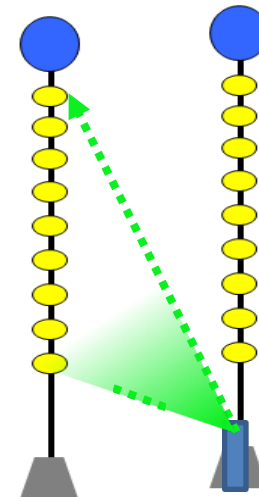
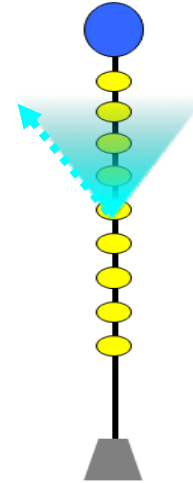
- Calibración:

- INTRA DU (nanobeacon)

- Un nanobeacon por módulo óptico
    - Un LED por nanobeacon
    - Frecuencia de disparo configurable (kHz)
    - Redundancia
    - Bajo coste

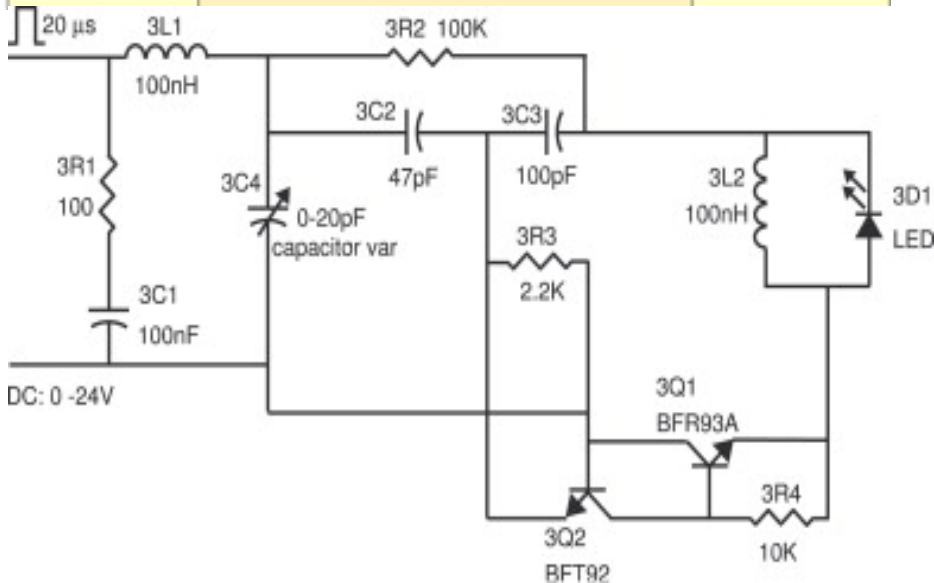
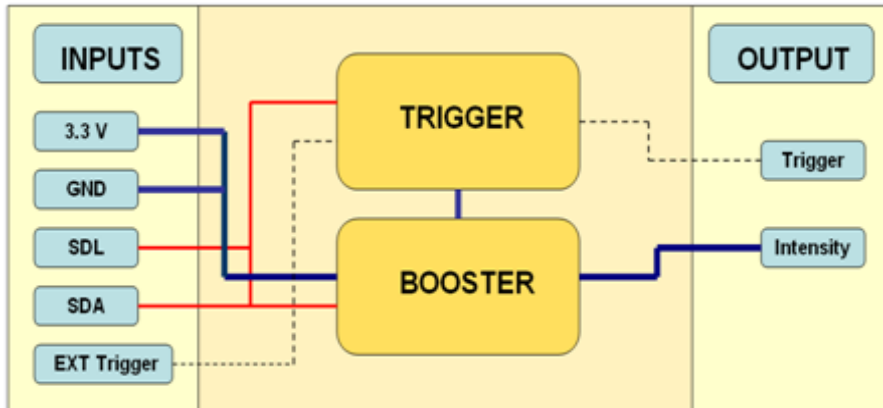
- INTER DU (Laser);

- Mucha más intensidad
    - Más costoso
    - No tiene redundancia
    - Sintonizable
    - Requiere un difusor



# KM3NeT: Nanobeacon

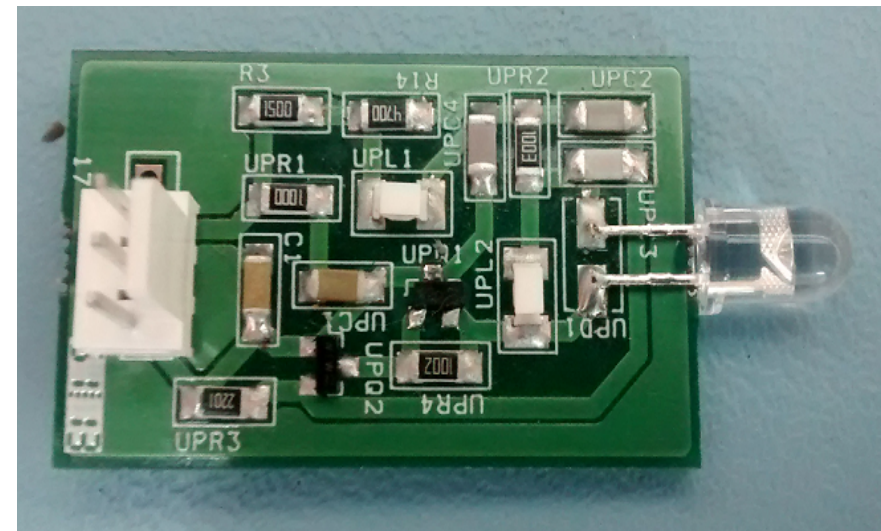
- **Diseño:**



## Configurar la intensidad del LED (2.5V-30V)

### Configurar la frecuencia de disparo (<8kHz)

La frecuencia no está correlacionada con la intensidad del LED

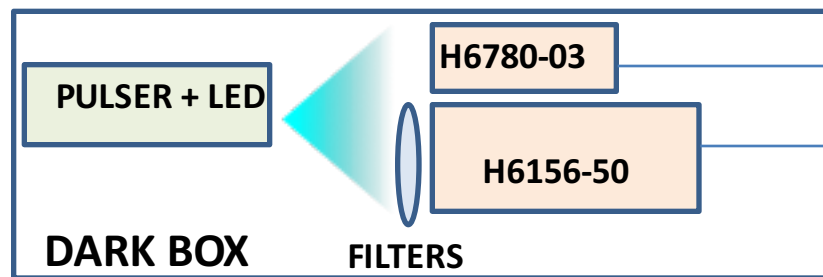




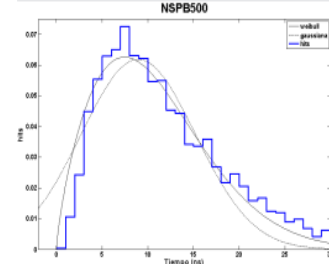
# KM3NeT: Nanobeacon

- Testeo (técnica de fotoelectrón):
  - Evaluación de modelos de 470 nm
  - Actualmente medias para LEDs de diferentes longitudes de onda (naranja, rosa, azul, cian, uv)

Nanobeacon property	Performance
Optical rise-time	$\sim 2.5$ ns
Optical FWHM	$\sim 4.8$ ns
Wavelength	470 nm (blue)
Angular distribution	$15^\circ$
Intensity	$\sim 150$ pJ
Power consumption	$< 0.12$ W

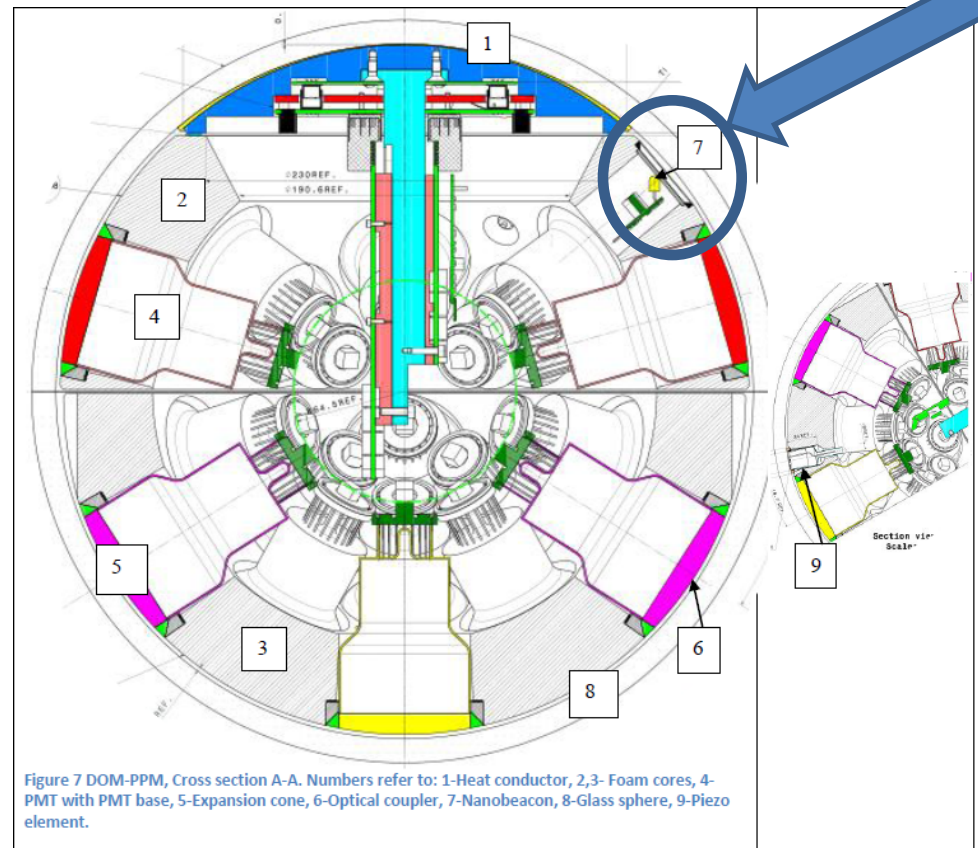


## OSCILOSCOPE

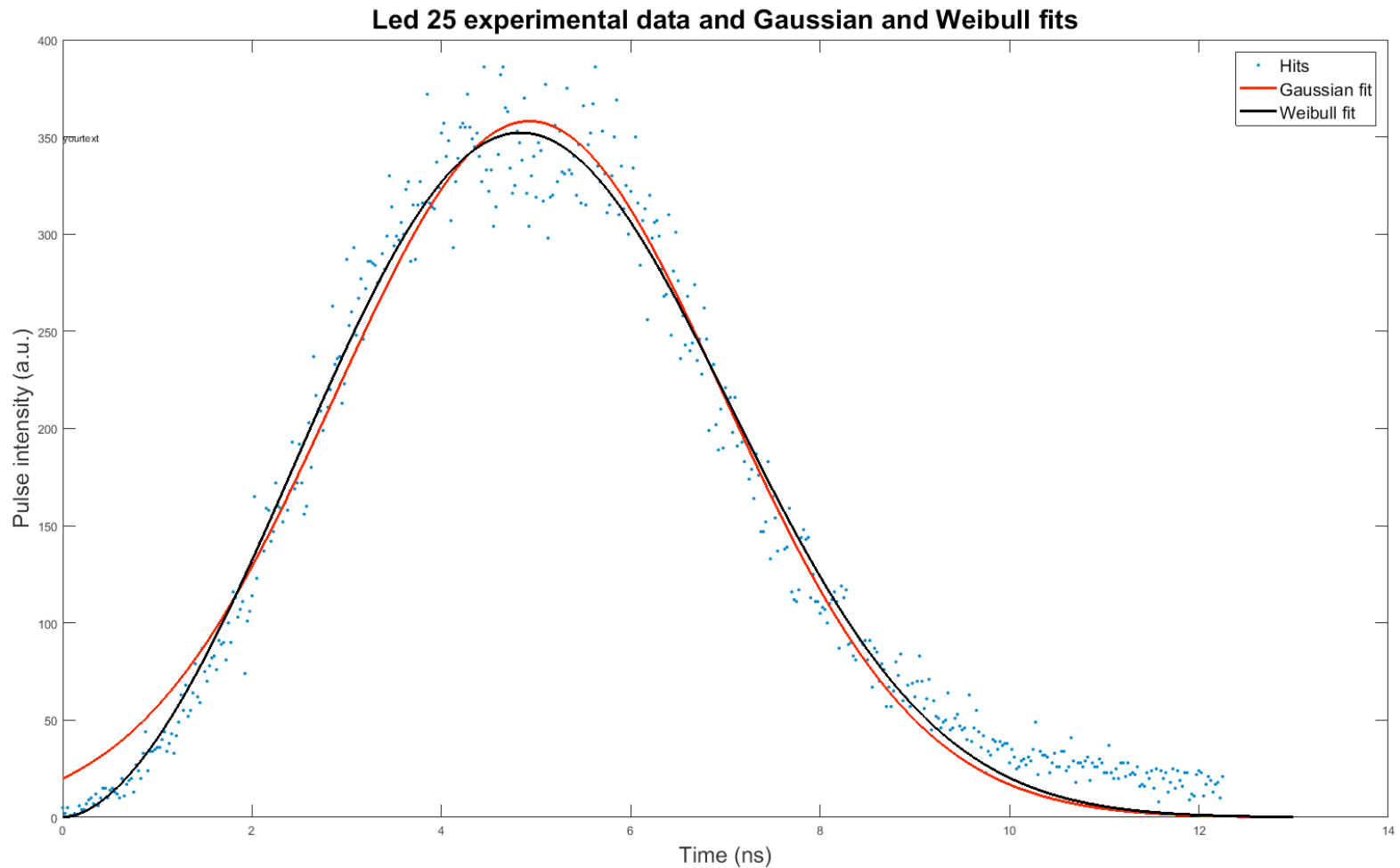


# KM3NeT: Nanobeacon

- Posición:
  - Un nanobeacon por DOM

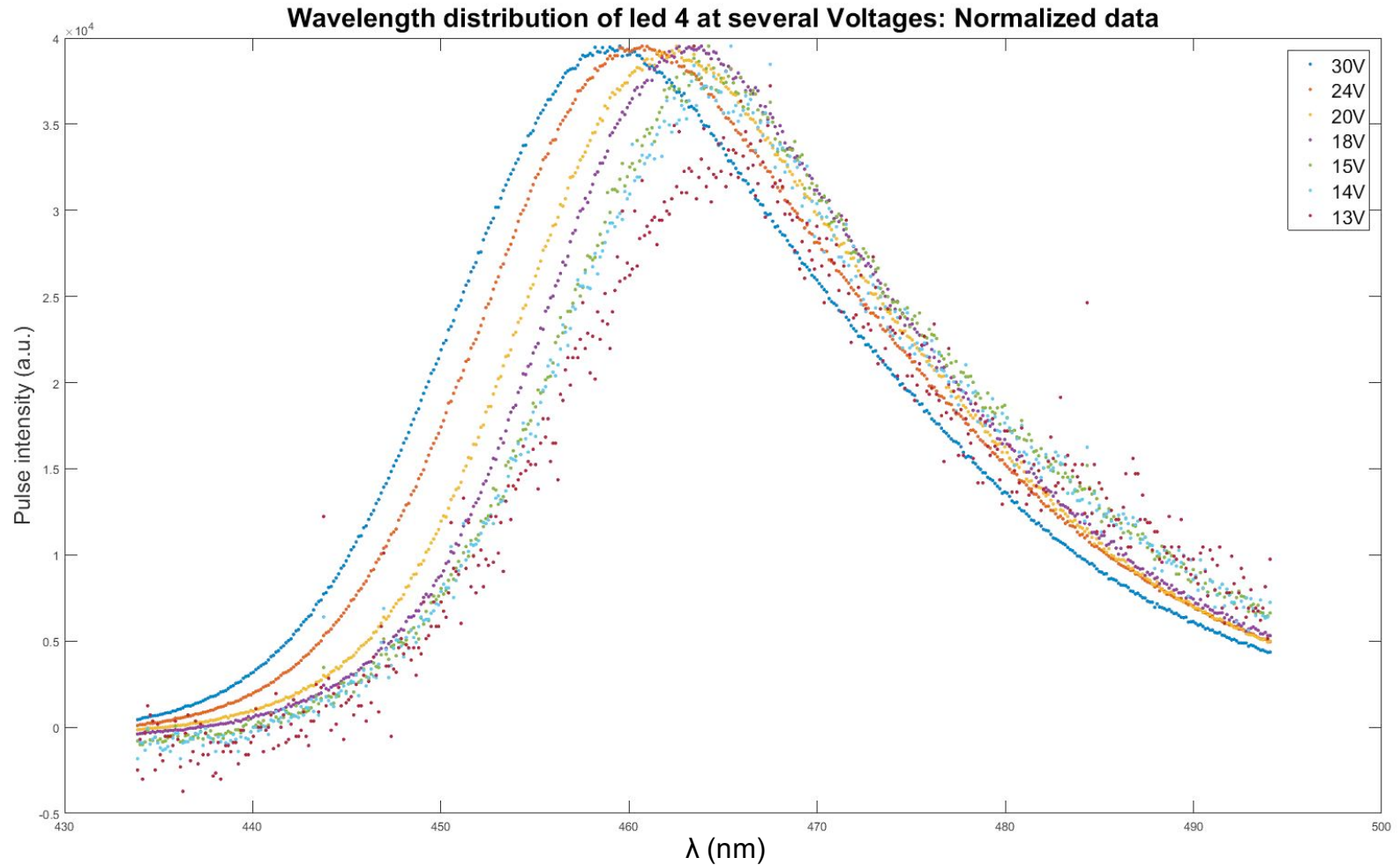


# KM3NeT: Test Nanobeacon



**Caracterización del pulso de luz generado por el Nanobeacon:  $t_r \sim 3$  ns y FWHM  $\sim 5$  ns**

# KM3NeT: Test Nanobeacon



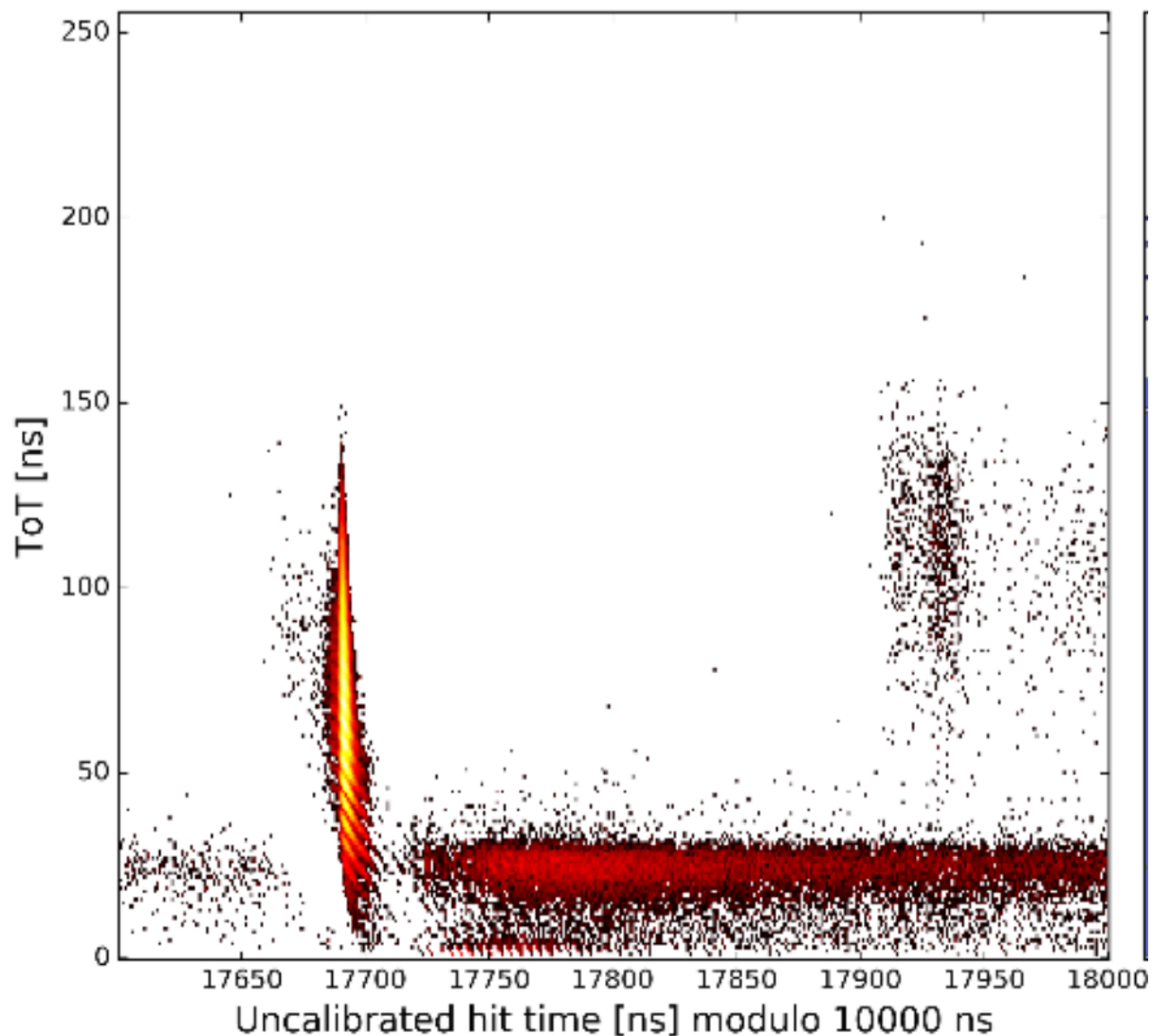
Caracterización de la respuesta en longitud de onda del Nanobeacon a diferentes voltajes de operación

# KM3NeT: TDCs y Nanobeacon

Datos adquiridos en un canal de un DOM cuando es iluminado por un Nanobeacon.

-Línea instalada en Toulon (Francia)-

TDCs y Nanobeacon en funcionamiento





# ¡¡¡GRACIAS POR SU ATENCIÓN!!!

