

Sistema de calibración temporal en el detector de neutrinos submarino ANTARES



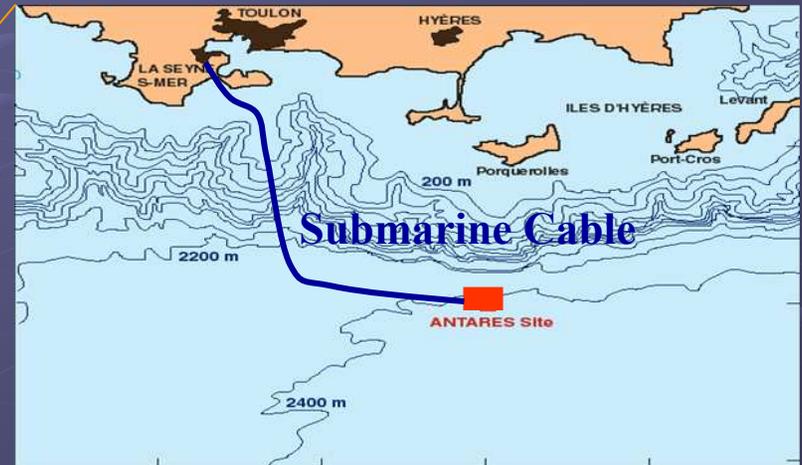
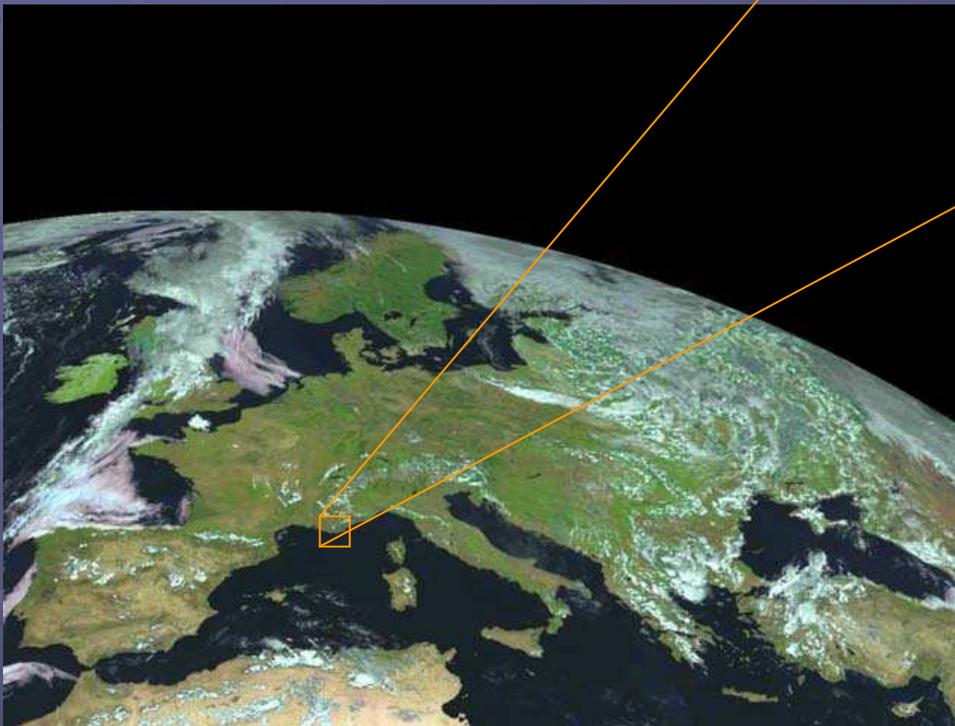
Francisco Salesa Greus
Instituto de Física Corpuscular (IFIC), Valencia



XXX Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física
Septiembre 2005, Ourense

Emplazamiento del detector

El detector de Neutrinos ANTARES se está construyendo en el fondo del mar Mediterráneo, a 2400 m de profundidad a 40km de la costa de Toulon (Francia).



La estación de control está situada en *La Seyne sur Mer*.

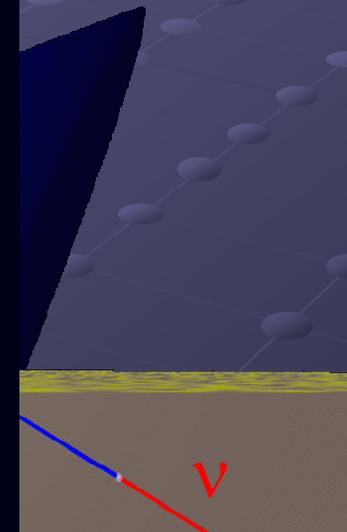
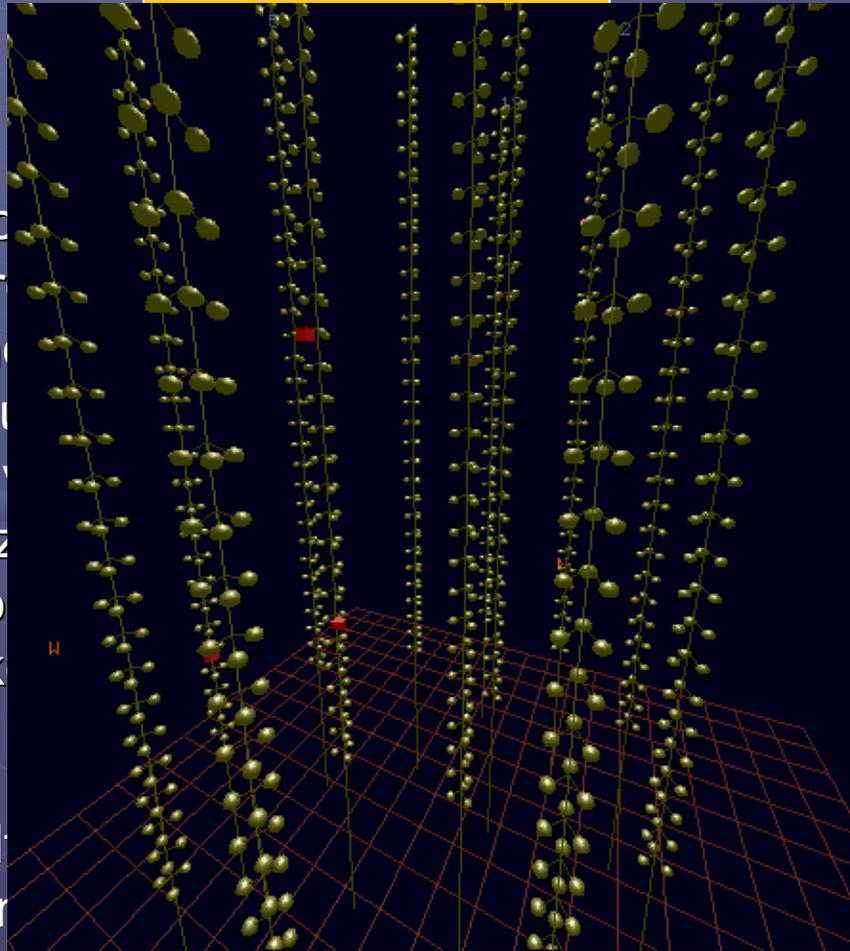


Instituto Michel Pacha
(La Seyne sur Mer).

Principio de detección

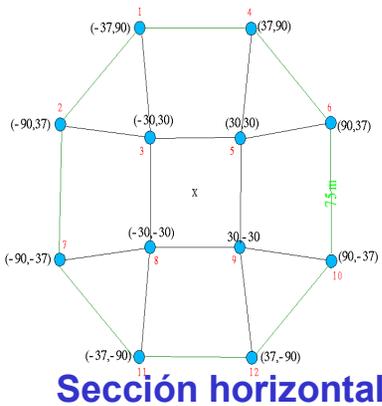
El neutrino de origen extragaláctico recorre un volumen circunscrito al detector y produce este al viajar a una velocidad superior a la luz en el medio induce un cono de radiación Cherenkov.

900 fotomultiplicadores formando un detector de la radiación Cherenkov.

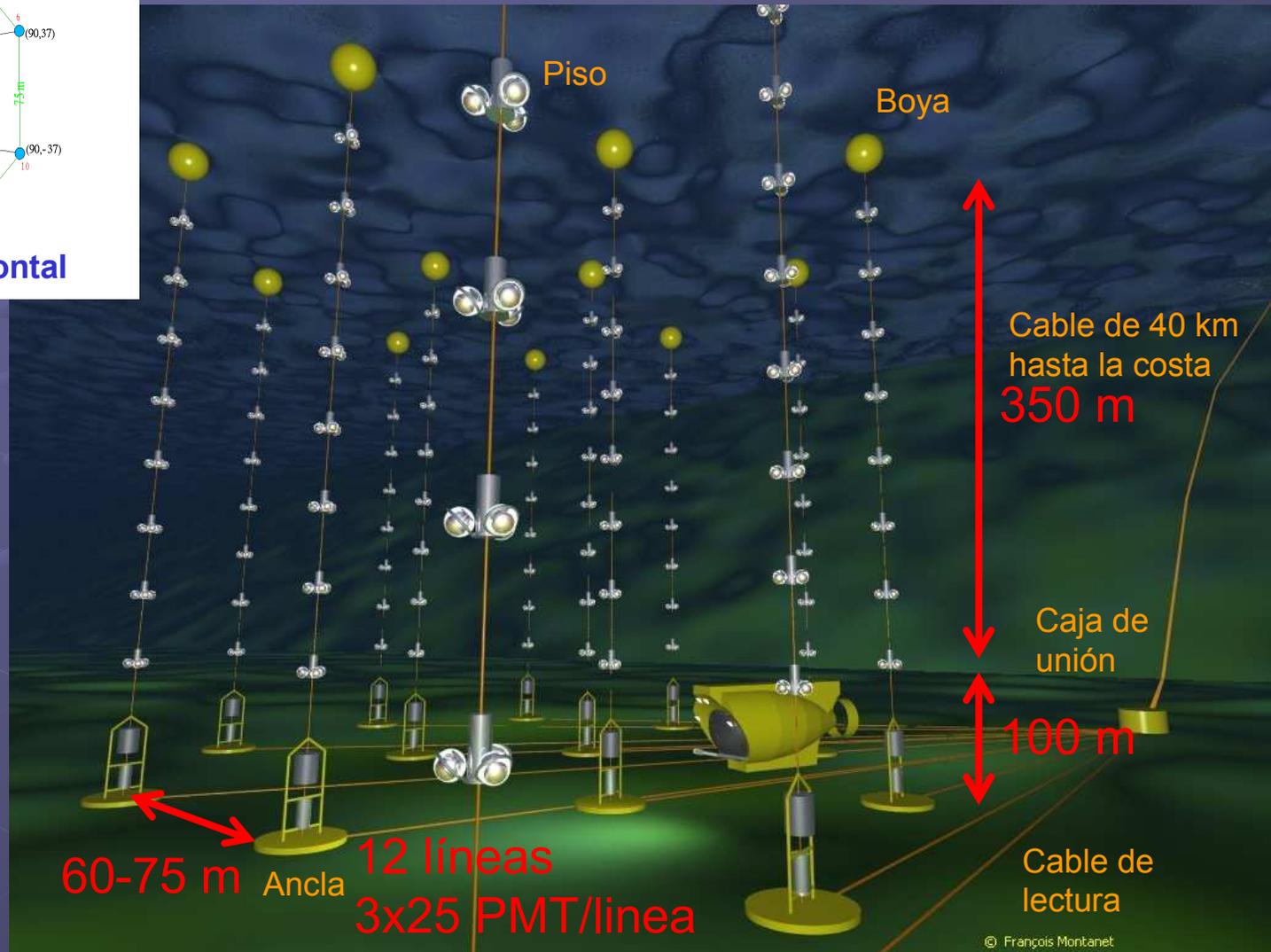


lineas, de detectar

Diseño del detector



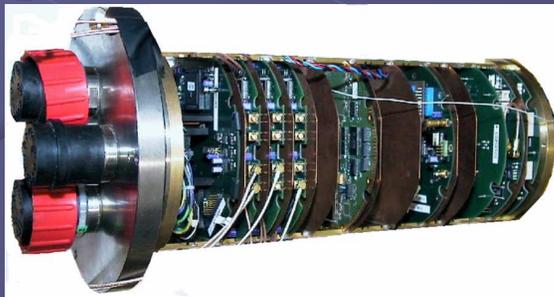
- 12 líneas
- 25 pisos/línea
- 3 PMT/piso
- 900 PMTs en total



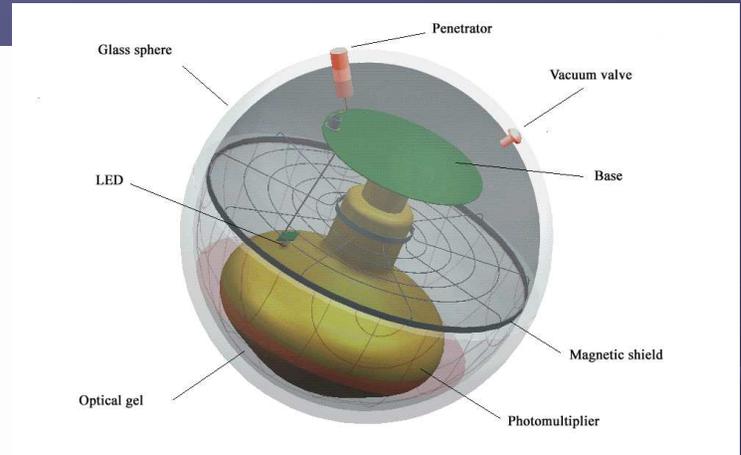
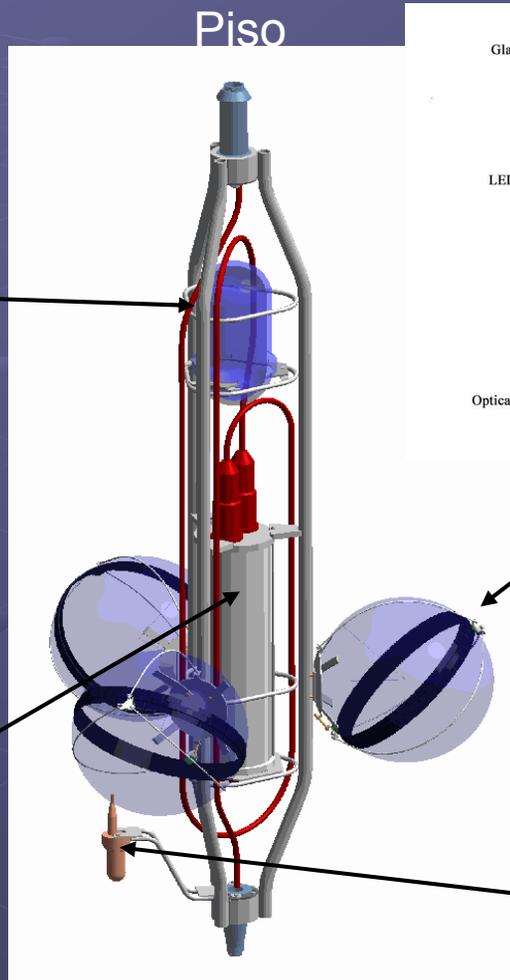
Componentes del detector



LED *beacon* para calibración temporal (LEDs azules).



Modulo de control de la electrónica (LCM).



Modulo óptico (OM) que alberga el PMT.



Hidrófono para posicionamiento acústico.

Calibración temporal del detector

Resolución temporal absoluta (respecto al UTC)

- Se tienen en cuenta todos los retrasos (cables) del sistema.
- Se pretende tener suficiente precisión para obtener correlaciones con fenómenos físicos de interés (Supernovas, GRB,...).
- La resolución temporal absoluta que se requiere es del orden del milisegundo.

Resolución temporal relativa (entre OMs)

- Es crítica en la reconstrucción de la traza del muón.
- La resolución temporal entre OMs esta limitada por fluctuaciones suceso a suceso:
 - Incertidumbre en el tiempo de transito de los PMTs (~1.2 ns).
 - Dispersión cromática y *scattering* de los fotones en el agua (~1.5 ns).
 - Electrónica del detector (0.5 ns).
- Se necesita una precisión de 0.5 ns en la determinación del t_0 para conseguir una buena resolución angular.

Sistema de calibración

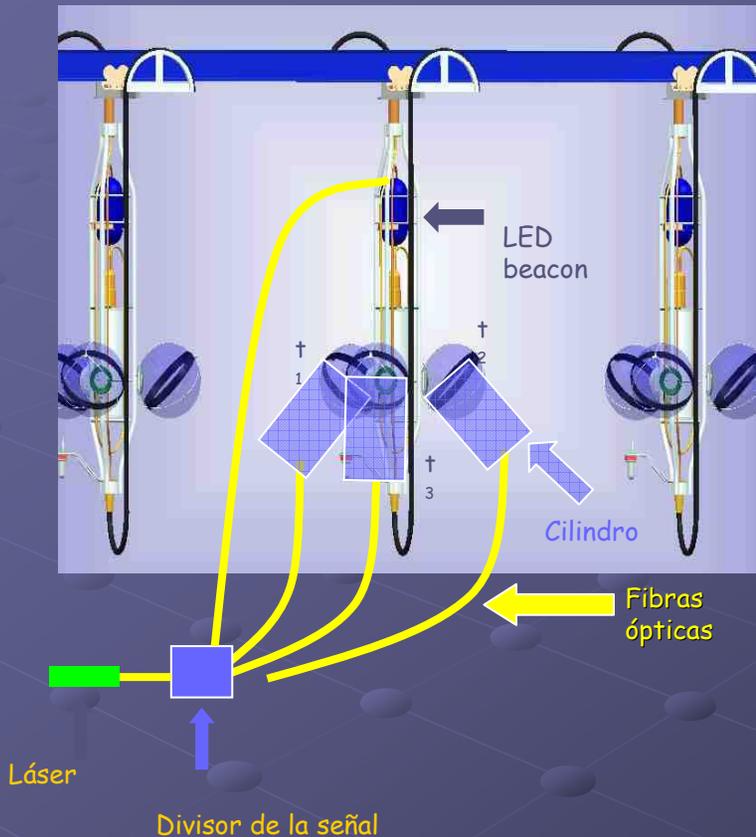
● Antes de sumergir la línea

- Láser por fibra óptica.
- LED interno en el OM.
- Calibración con el reloj.

● Después de sumergir la línea

- Calibración con el reloj.
- LED interno en el OM.
- Balizas (*beacons*) ópticas.
- Trazas de muones atmosféricos descendentes.

Láser por fibra óptica



En una cámara oscura situada en el CPPM (Marsella) se iluminan simultáneamente todos los OM de un sector (5 pisos), mediante un láser idéntico al de las balizas ópticas.



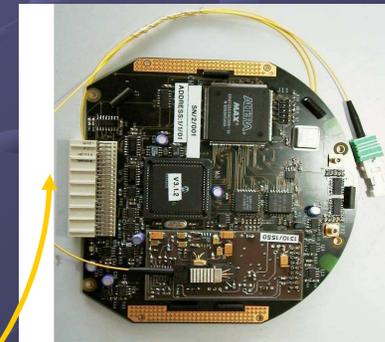
Los datos obtenidos sirven para medidas de la calibración relativa entre OMs y para calibración de la electrónica (ADCs).

Los datos de calibración obtenidos se toman como referencia después bajo el agua.

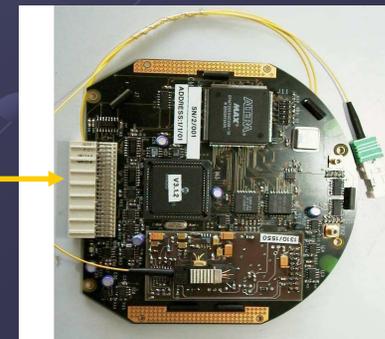
Calibración con el Reloj

- El reloj de 20 Mhz síncrono con el GPS, se distribuye por fibra óptica a todos los LCMs (electrónica).
- Los LCMs devuelven la señal de reloj al ser recibida. (sistema eco).
- Con esto se miden los retrasos relativos de cada LCM.
- Se alcanzan resoluciones de 50 ps.

Referencia



Testeada

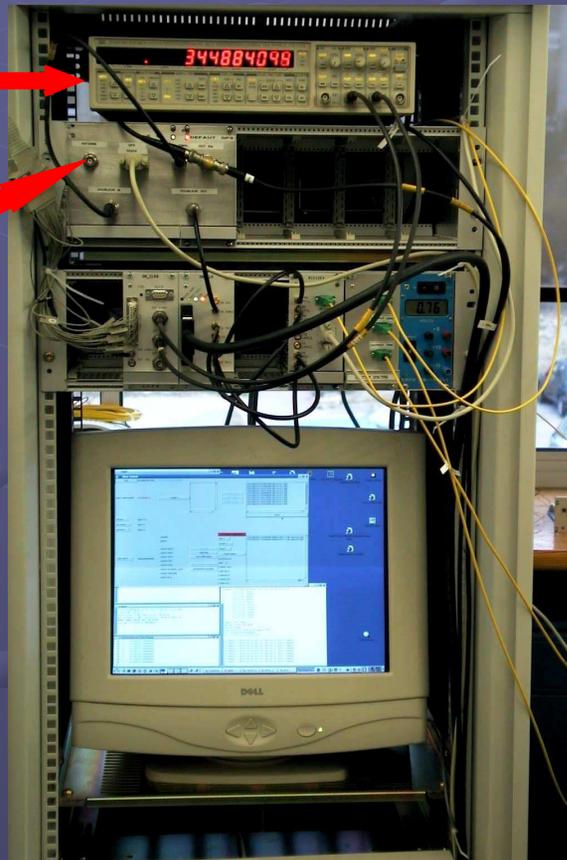


TDC

(se encarga de medir el retraso)

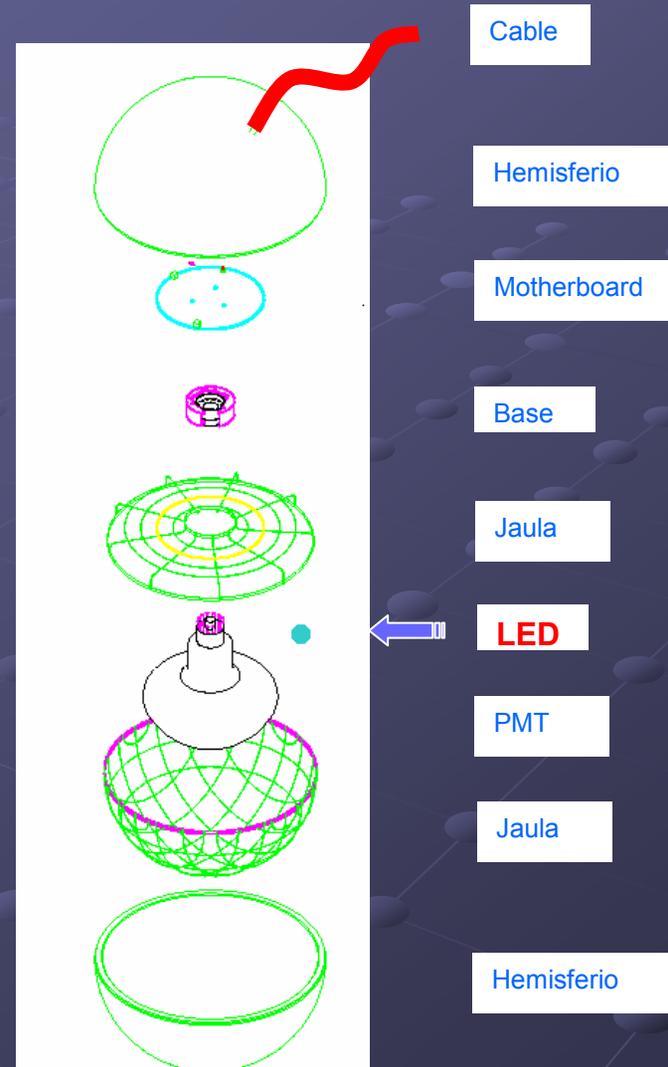
GPS

Estación de control



LED interno en el OM

- LED situado en el interior del OM.
- Se encarga de iluminar el fotocátodo directamente.
- El tiempo de emisión de la luz por el LED es conocido, esto permite monitorear el tiempo de tránsito del fotomultiplicador (TT).



Balizas (beacons) ópticas

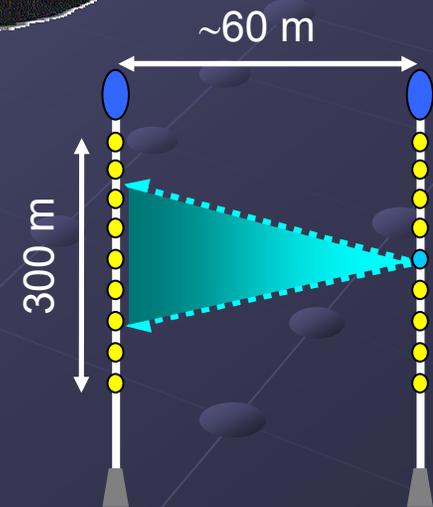
● LED beacon

Compuesto por 6 caras cada una de ellas con 6 circuitos pulsadores que albergan un LED.

Pueden emitir independientemente en grupos de LEDs.

Están distribuidos 4 por cada línea de manera uniforme. Los LED emiten pulsos de luz rápidos, tiempo de subida de ~ 2 ns, a 470 nm de longitud de onda y unos 40 pJ de energía típicamente.

El tiempo de emisión de la luz de los LEDs se conoce mediante un fotomultiplicador interno en el *beacon*.



Balizas ópticas

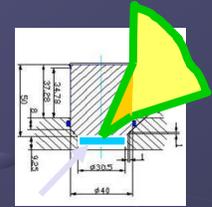
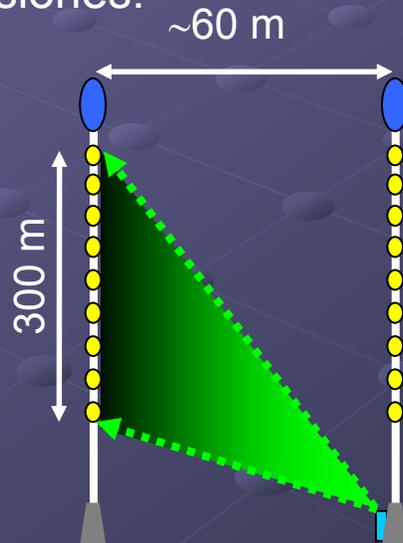
● Láser beacon

Emplazado al pie de algunas líneas.

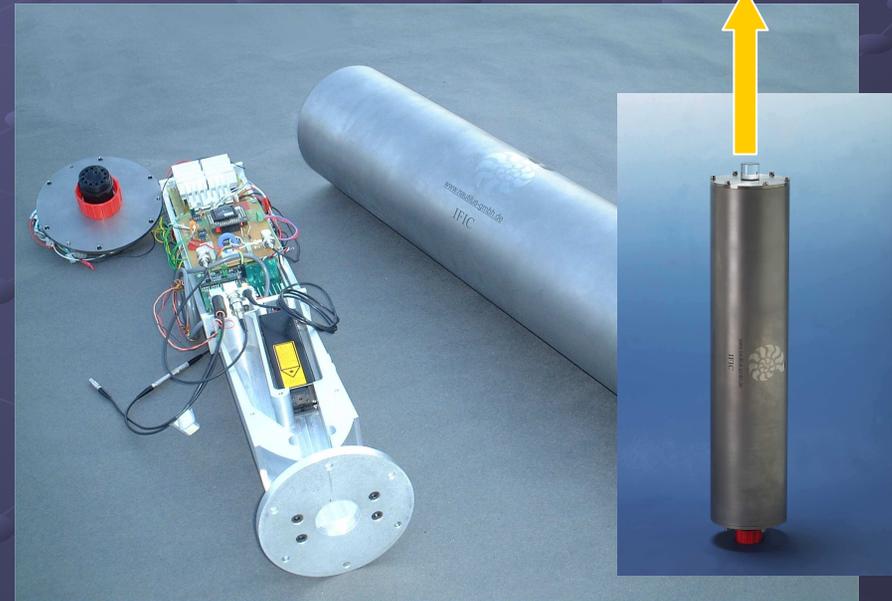
Emite pulsos de luz verde (532 nm) con una intensidad de $\sim 1\mu\text{J}$.

El láser y la electrónica están dentro de un contenedor de titanio resistente a altas presiones.

La luz se emite lateralmente iluminando las líneas contiguas mediante un difusor



difusor



El tiempo de emisión del láser se conoce gracias a un fotodiodo interno.

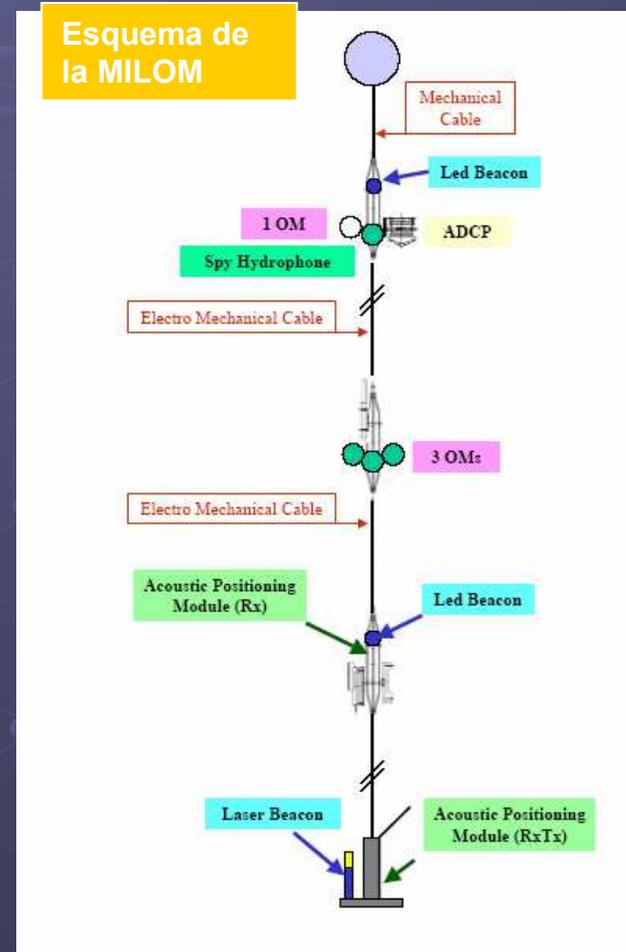
Situación actual ANTARES

LINEA 0

- Primera línea completa sumergida.
- Solo componentes mecánicos.
- Desplegada en primavera de 2005.

MILOM

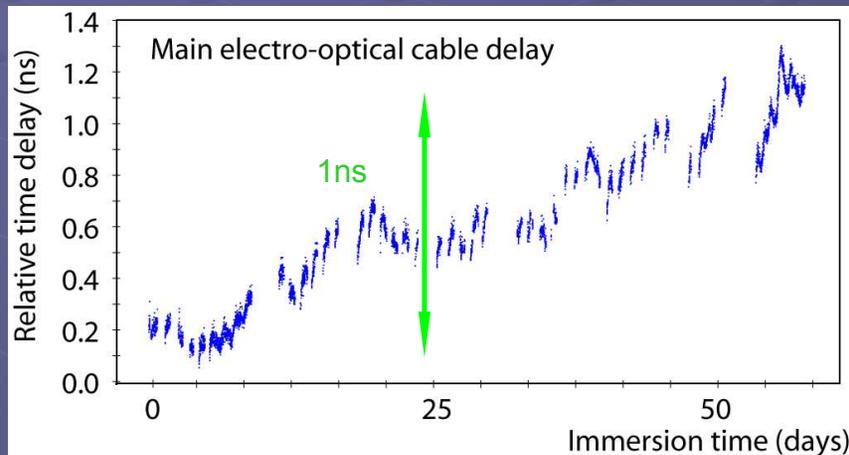
- Línea de instrumentación.
- Contiene 4 OMs emplazados en 2 pisos (3+1), 2 LED *beacons* y un láser *beacon*.
- Prueba de adquisición y análisis de datos.



Resultados de la MILOM

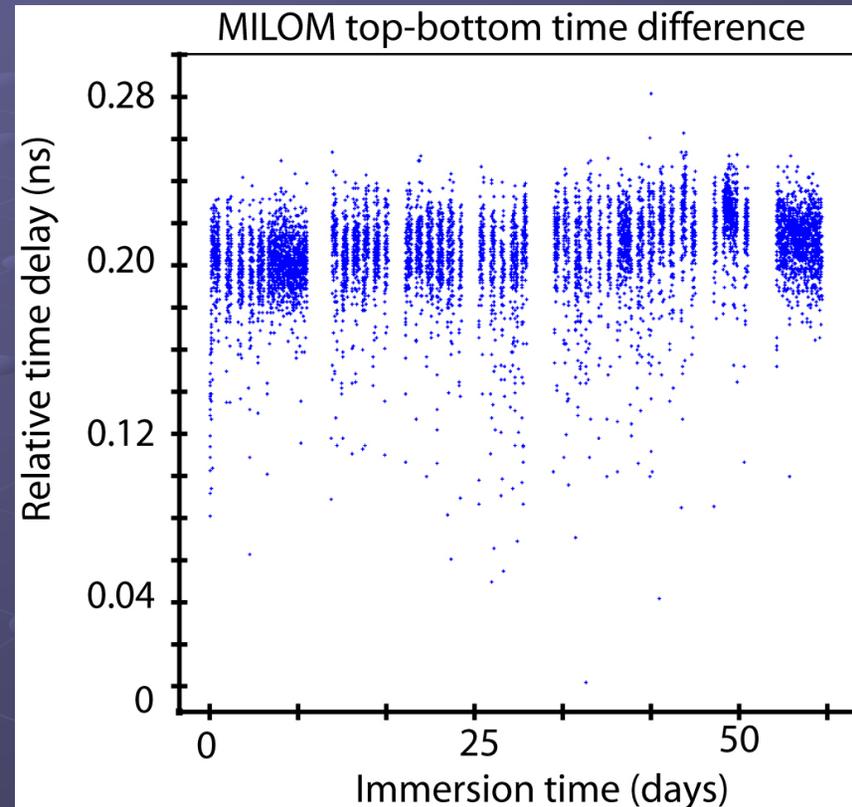
● Test del reloj

Sistema de reloj probado con éxito en el agua.



Retraso en el reloj entre la estación de control y el fondo de la línea, sobre 48 días de toma de datos.

Incremento en el retraso de tiempo de 1 ns debido a la diferencia de temperatura del cable en la orilla.

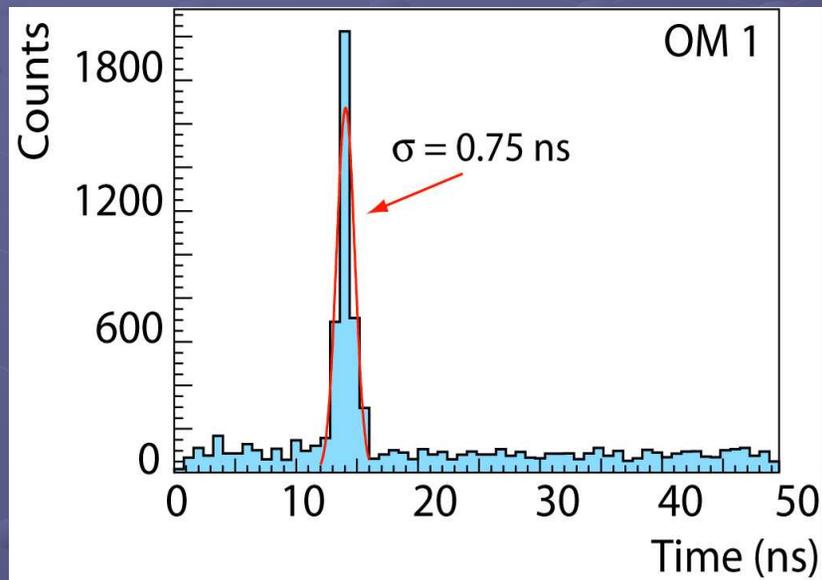


Retraso relativo en el reloj entre el fondo y el piso más alto de la MILOM.

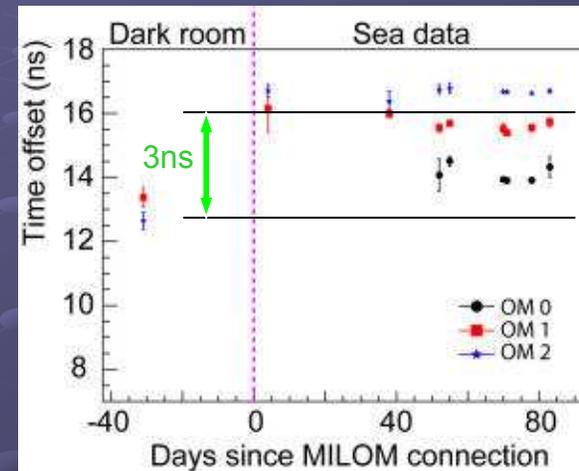
Resolución de ~ 0.01 ns.

Tests con el LED interno

El LED interno, pulsado con el reloj, ilumina el fotocátodo.



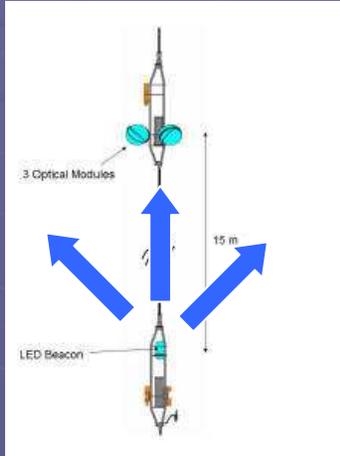
Picos en tiempo de la luz del LED interno.



Las diferencias entre los datos en el laboratorio y en el mar (~3ns) posiblemente debidas a efectos de temperatura sobre el circuito pulsador del LED.

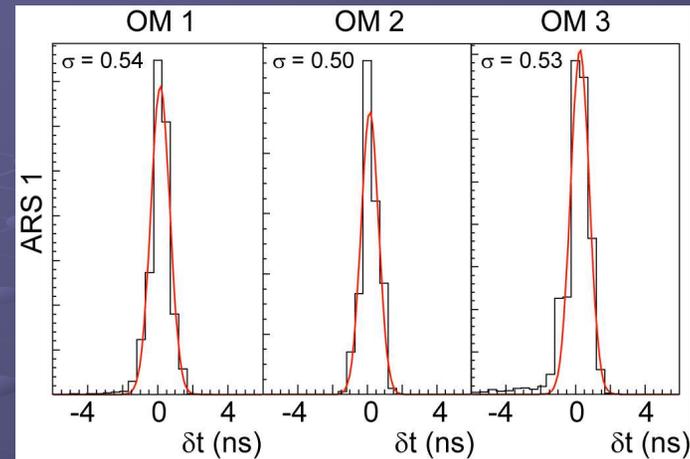
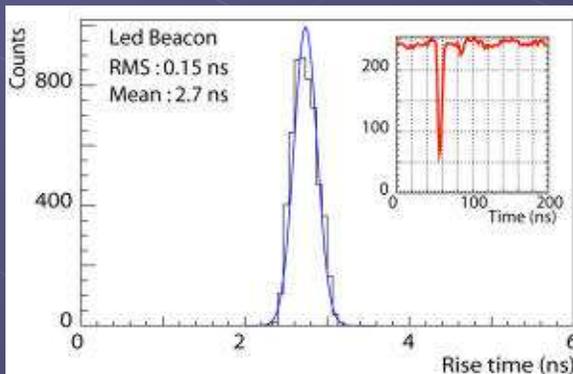
Tests de las balizas ópticas

● LED beacon



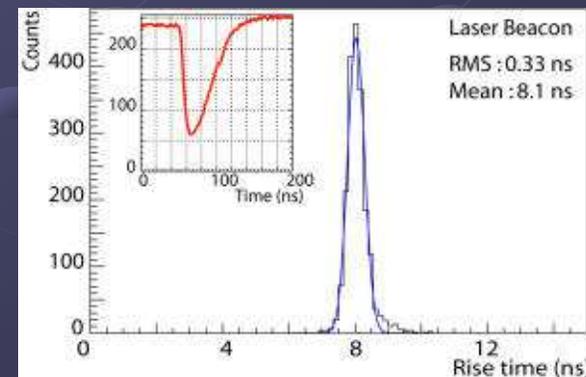
El LED *beacon* ilumina a los 3 OMs del piso superior.

Pulsos de luz rápidos. Tiempo de subida ~ 2.7 ns



Las diferencias temporales entre la emisión de luz y cuando se recibe en el PMT, indican una resolución de ~ 0.5 ns.

● Láser beacon



Señal del fotodiodo del láser.

Conclusiones

- Fase de pruebas completada con éxito tras la LINEA 0 y la MILOM.
- Los primeros datos de la MILOM vienen a confirmar las expectativas de la calibración temporal:
 - Resolución absoluta 1ms (respecto al UTC).
 - Resolución relativa 0.5 ns (entre OMs).
- Gracias a esta resolución temporal la capacidad de detección de fuentes puntuales de ANTARES está garantizada.
- El detector estará completo a principios de 2007.