

## Estudio mediante simulación Monte Carlo de varios sistemas de calibración basados en Optical Beacons para el detector ANTARES

Juan de Dios Zornoza Gómez

IFIC – Nuevos Edificios de Investigación de Paterna. Polígono de Paterna, 46980-Valencia.

El objetivo de la Colaboración ANTARES es demostrar la viabilidad de un telescopio submarino para la detección de neutrinos cósmicos de alta energía<sup>1</sup>.

En la primera fase del proyecto, se construirá un detector con un área efectiva de 0.1 km<sup>2</sup> consistente en una matriz tridimensional de fotomultiplicadores (ver figura 1) que detectarán la luz Cherenkov emitida por el muon producido por el neutrino al interactuar en las inmediaciones del detector.

La traza del muon se obtiene a partir de la información del tiempo y la posición de las señales recibidas. Por tanto, uno de los factores más importantes para obtener una buena resolución angular es controlar bien los retrasos en la propagación de las señales y sus fluctuaciones. Con este fin se han diseñado tres sistemas de calibración temporal complementarios: la calibración del reloj interno en cada módulo óptico (esfera que alberga el fotomultiplicador y la electrónica asociada), la medida del tiempo de tránsito de cada fotomultiplicador y la calibración de los retrasos relativos mediante fuentes de luz externas, llamadas *Optical Beacons*.

Este último sistema es especialmente importante pues permite integrar todos los retrasos en la propagación de las señales. Ha sido necesario estudiar las distintas posibilidades para elegir el tipo de fuente óptica y su configuración<sup>2</sup>.

La idea original era usar unas pocas fuentes muy intensas para iluminar con un solo pulso de luz, gran parte del detector, siendo los láseres los candidatos naturales. Sin embargo, debido a la absorción de la luz en el agua, los Módulos Ópticos más cercanos reciben gran cantidad de luz mientras que hay partes del detector a las que no llega luz. Por ello, se consideró también utilizar muchas fuentes de luz poco intensas uniformemente distribuidas por el detector. Los LEDs son la mejor opción en este caso. Una de las ventajas de estos respecto a los láseres es que emiten en el azul, que es la longitud de onda óptima desde el punto de vista de la absorción, mientras que no existen láseres azules que sean operativos en las condiciones del experimento. Además, su intensidad es regulable, lo que permite seleccionar la cantidad de luz emitida por la fuente.

En cuanto a la configuración utilizada, se han propuesto cuatro posibilidades:

- Un LED individual en cada Módulo Óptico (*Single LEDs*).
- Varios cilindros con LEDs a lo largo de cada línea (*LED beacons*).
- Un láser en la línea de instrumentación (*Laser beacon*).
- Un láser en varias líneas del detector.

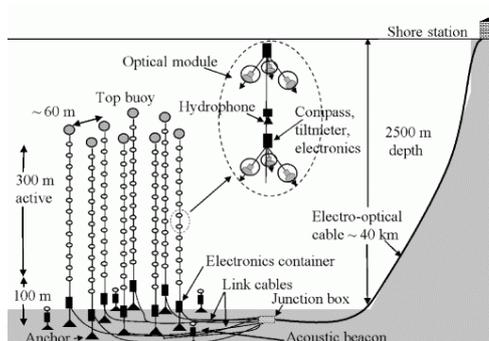


Figura 1. Vista esquemática del detector. Cada línea está conectada a la llamada "junction box", desde la cual se lleva la señal detectada hasta la estación en tierra mediante un cable electro-óptico.

En el Monte Carlo utilizado para simular estas configuraciones están incluidas la absorción y la dispersión de la luz en el agua. También se han simulado el TTS del fotomultiplicador y la anchura temporal de la fuente.

Una vez obtenidas las distribuciones de los tiempos de llegada de los fotones, se ajusta su parte izquierda (menos afectada por la dispersión) a una gaussiana. Los estimadores de los tiempos de llegada ( $T_0^{100}$  y  $T_0^{50}$ ) se obtienen sustrayendo el efecto de la dispersión a la posición del máximo y de la mitad del máximo de la gaussiana.

Los resultados indican que la configuración de los *Single LEDs* permite un excelente nivel de redundancia, con una muy buena reconstrucción temporal (el 98% de los fotomultiplicadores son calibrados dentro de un error menor de 0.2 ns).

La configuración con los *LED beacons* también proporciona una buena redundancia, pero como se puede ver en la figura 2, puede haber problemas con las líneas externas y con los pisos inferiores.

Si situamos un láser en la línea de instrumentación (línea que estará situada cerca del detector y que albergará diversos medidores de parámetros del agua), podemos calibrar los pisos inferiores y las líneas exteriores más cercanas.

Por tanto, si bien el problema de la absorción impide poder utilizar este sistema para la calibración global, sí que sería un sistema complementario muy útil.

También se han estudiado los errores sistemáticos debidos a las incertidumbres en los parámetros de la simulación. En concreto, hemos estimado el efecto de la incertidumbre en el modelo de agua y en la anchura de la fuente.

En el primer caso, se ha estimado que un caso pesimista supondría un error de  $\sim 0.5$  ns en  $T_0^{100}$  y  $\sim 0.3$  ns en  $T_0^{50}$ . Por otro lado, una incertidumbre en la anchura de la fuente del 10% produce un error sistemático de  $\sim 0.2$  ns en  $T_0^{50}$  mientras que apenas afecta a  $T_0^{100}$ . Todos estos datos corresponden a una distancia de 80 m.

## Referencias

- <sup>1</sup> Colaboración ANTARES, *ANTARES Proposal*, 1999, astro-ph/9907432.
- <sup>2</sup> J. D. Zornoza, *Characterization of two Photomultiplier Models and Study by Monte Carlo Simulation of several Calibration Systems based on Optical Beacons for the ANTARES Detector*, Trabajo de Investigación, 2001.

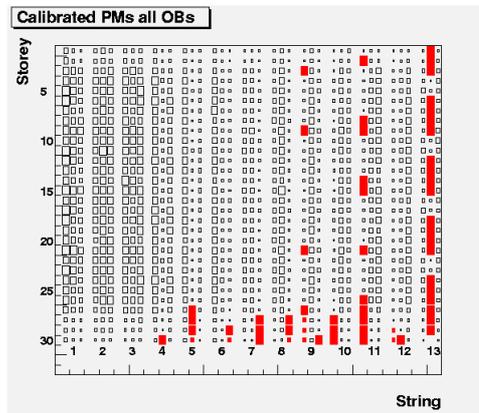


Figura 1. Nivel de redundancia para la configuración de los "LED beacons". Los cuadrados blancos indican que el fotomultiplicador en esa posición ha sido iluminado por tres o más fuentes, mientras que los cuadrados oscuros indican que sólo una o dos fuentes lo han iluminado.