

# Sistema de calibración temporal en el detector de neutrinos submarino ANTARES

F. Salesa<sup>1</sup>, J.A. Aguilar<sup>1</sup>, E. Carmona<sup>1</sup>, J.J. Hernández<sup>1</sup>, J.D. Zornoza<sup>1</sup> y J. Zúñiga<sup>1</sup>

<sup>1</sup> IFIC – Instituto de Física Corpuscular (CSIC – Universitat de València), apdo.22085, 46071 Paterna.

## I. INTRODUCCIÓN

La colaboración ANTARES<sup>1</sup> está construyendo un telescopio Cherenkov para la detección de neutrinos cósmicos de alta energía en el fondo del mar Mediterráneo. Este telescopio constará de 12 líneas con 25 pisos por línea y 3 fotomultiplicadores (PMs) por piso, protegidos por una esfera de vidrio resistente a las altas presiones. El conjunto formado por el fotomultiplicador, su base, la electrónica asociada y la esfera protectora se denomina módulo óptico (OM) siendo un total de 900 OMs los que formarán el detector.

La finalidad de los PMs es detectar la luz Cherenkov inducida por el muón resultante de la interacción de un neutrino con la materia que rodea al detector. Así se podrá reconstruir la traza, la energía y el tiempo de llegada del neutrino. La eficiencia de reconstrucción y la resolución angular del detector son muy sensibles a la medida de los tiempos de llegada de los fotones Cherenkov, por lo que un adecuado sistema de calibración temporal es fundamental.

Las consideraciones físicas<sup>2</sup> nos indican que una precisión de 1 ms en nuestro tiempo absoluto, es suficiente para nuestros propósitos. Sin embargo, las fluctuaciones temporales relativas entre OMs han de estar en torno a  $\sim 0.5$  ns. Es por tanto imprescindible controlar las fuentes que puedan empeorar este límite. Las contribuciones más importantes son: las fluctuaciones en el tiempo de tránsito de la señal en los fotomultiplicadores ( $\sim 1.2$  ns), y el efecto de la dispersión cromática y *scattering* de los fotones en el agua ( $\sim 1.5$  ns). Otras fuentes de error a destacar son las fluctuaciones en los retrasos temporales introducidos en la conversión a voltaje en la electrónica ( $\sigma < 0.5$  ns) y en la transmisión de datos hasta la estación de control ( $\sigma < 0.1$  ns).

Los sistemas utilizados para la calibración temporal son<sup>3</sup>:

- **Calibración en la cámara oscura.** Las líneas se calibran antes de ser desplegadas en el mar, mediante un sistema basado en fibras ópticas que distribuye simultáneamente la misma señal láser a todos los OMs de un sector de línea y a un OM externo de referencia.

- **Calibración con el reloj interno.** Sincronización de los diferentes elementos del detector basada en la reversibilidad del sistema de distribución del reloj. El reloj es una señal a 20 MHz distribuida por todo el detector a través de sistemas electro-ópticos y que puede además transportar órdenes. Las órdenes de activar señales de eco en los sistemas de llegada permite calibraciones por debajo de 0.1 ns.

- **LED interno en el OM.** Este LED ilumina el fotocátodo a través de una fina capa de aluminio permitiendo medir y controlar la estabilidad del tiempo de tránsito de los PMs.

- **Balizas (*beacons*) ópticas.** Estas balizas ópticas emiten pulsos de luz que se propagan a través del agua y permiten, no solo medir los retrasos temporales relativos entre líneas, sino también participar en la calibración espacial, así como estudiar las propiedades de transmisión de la luz en el agua.

- **Calibración con muones atmosféricos.** Los 10000 muones atmosféricos que se prevé recibir al día se podrán utilizar para comprobar y refinar las diferencias relativas temporales estimadas con los métodos anteriores.

## II. BALIZAS ÓPTICAS

Este sistema de calibración está compuesto por dos tipos de balizas ópticas: 4 LED *beacons* distribuidos a lo largo de cada línea y un láser situado al pie de algunas líneas<sup>4</sup>.

Los LED *beacons*, protegidos por cilindros de vidrio resistentes a altas presiones, tienen una estructura de prisma hexagonal con 6 LEDs en cada una de las caras. Estos LEDs pueden ser pulsados mediante *software* en grupos de 1, 2, 4, 5 y 6 de forma independiente o coordinada en cada cara. Con esto se consigue seleccionar tanto la zona a iluminar como la intensidad con que se ilumina al detector. La luz emitida es azul (470 nm) y proporciona en cada pulso entre  $5 \cdot 10^6$  y  $8 \cdot 10^7$  fotones. El tiempo de emisión de la luz de los LEDs, que emiten simultáneamente, se conoce gracias a un PM interno en el *beacon*.

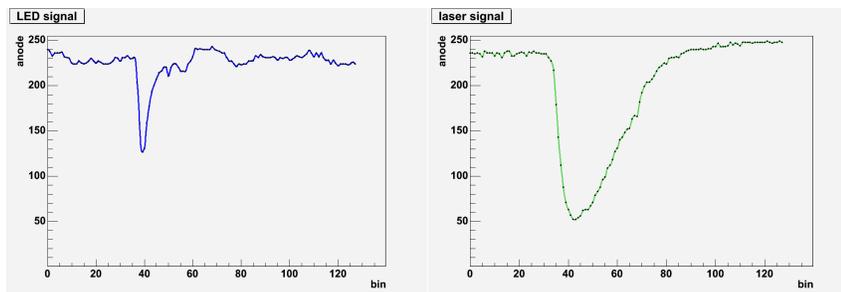


Figura 1. A la izquierda, señal registrada en la electrónica de lectura, debida al PM interno del LED *beacon*. A la derecha, señal producida por el fotodiodo interno del láser *beacon*.

El segundo tipo de baliza óptica, el láser *beacon*, está emplazado en un contenedor de titanio a fin de soportar las altas presiones y corrosión submarina. Sus principales características son la emisión de luz verde (532 nm), proporcionando una intensidad de 1  $\mu$ J. En este *beacon* es un fotodiodo interno el que permite conocer el tiempo de emisión de la luz. El haz láser incide sobre un difusor *lambertiano* colocado en la base de un cilindro de cuarzo de manera que la luz sale por las paredes verticales del cilindro evitando los efectos de la sedimentación.

En esta presentación daremos a conocer los últimos resultados de los *beacons* instalados hasta el momento y en particular los obtenidos con la llamada línea de instrumentación. En la Fig.1 puede verse la señal obtenida en los test de integración, tanto para el PM interno del LED *beacon*, como para el fotodiodo del láser *beacon*.

### Referencias

- <sup>1</sup> Colaboración ANTARES, *A deep sea telescope for high energy neutrinos*, astro-ph/9907432, 1999.
- <sup>2</sup> J.J.Hernández, Proc. of the 28th Int. Cosmic Ray Conf., ISBN4-946443-80-0, Universal Academic Press Inc. Tsukuba, Japan, 2003.
- <sup>3</sup> Sonia Karkar, Thèse de Doctorat, Université de la Méditerranée Aix-Marseille II (2004)
- <sup>4</sup> Colaboración ANTARES Technical Design Report, <http://antares.in2p3.fr>.