



CALIBRACIÓN DE SENSORES ACÚSTICOS, Y SIMULACIÓN DEL PULSO ACÚSTICO DEL NEUTRINO MEDIANTE HIDRÓFONO

Pacs; 43.30.Yj

Bou Cabo, Manuel; Ardid Ramírez, Miguel
Universidad Politécnica de Valencia
Carretera de Nazaret Oliva s/n
Grao de Gandia, Valencia. España
Teléfono: (+34) 962 849 300 Extensión 43148
Fax: (+34) 962 849 309
E-Mail: maboca3@doctor.upv.es

ABSTRACT

In this work, we present the possibility of detecting neutrinos in an acoustic way. Very high energy neutrinos can produce a thermo-acoustic pulse if an interaction occurs in water, which can be detected using an array of hydrophones. Detection of neutrinos is very important because it has consequences in the standard model of particles, astrophysics processes and the fundamentals laws of matter. In this line, we present two studies concerning calibration of sensors: study of the sensitivity of a hydrophone by reciprocity method, and the reproduction of neutrino pulse by a commercial hydrophone.

RESUMEN

En este trabajo se presenta la posibilidad de detectar neutrinos con técnicas acústicas. Los neutrinos de muy alta energía cuando interaccionan en el agua producen un pulso termo-acústico, que se pretende detectar con una red de hidrófonos. El interés de la detección de neutrinos se justifica por las repercusiones que conlleva en el conocimiento de las leyes fundamentales de la materia, así como de los procesos astrofísicos. En esta línea de trabajo, se presentan dos estudios relacionados con la calibración de sensores: el primero aborda el método de calibración por reciprocidad y el segundo la producción de la señal tipo neutrino por un hidrófono.

DETECCIÓN ACÚSTICA DE NEUTRINOS

El neutrino es una partícula de masa casi nula, (durante tiempo se pensó que no tenía masa) y la característica más notable que posee es que es muy difícil que interaccione con la materia. Por eso los detectores que se construyen para captar neutrinos poseen unas dimensiones tan grandes. El estudio de esta partícula está justificado por las repercusiones que conlleva en el conocimiento de las leyes fundamentales de la materia, así como de los procesos astrofísicos. Por ejemplo, las oscilaciones entre diferentes tipos de tiene consecuencias en el modelo estándar de partículas.

Mayoritariamente, los neutrinos se han detectado mediante luz de Cerenkov (es una emisión de luz azulada que se produce cuando una partícula atraviesa un medio a mayor velocidad

que la luz) es decir, se detectan de manera óptica. Pero estas partículas también pueden ser detectadas de manera acústica, en algunos casos.

Imaginemos que se tiene un neutrino de muy alta energía ($\sim 10^{20}$ eV), como hemos dicho en algunos casos no interactuará en absoluto, pero si interactúa (algunos lo hacen) se van a generar otros tipos de partículas que van a depositar energía en el medio de forma muy rápida en una región muy localizada de nuestro medio detector (es lo que se conoce como cascada de partículas). Esta cascada va a tener componente electro-magnética y componente hadrónica. Esta última es la que mas va a contribuir a tener una densidad de energía localizada muy alta. Su energía se va a distribuir en una especie de cilindro de unos 10 cm de diámetro y una longitud de 5 a 10 metros, tal y como ilustra en la figura 1.

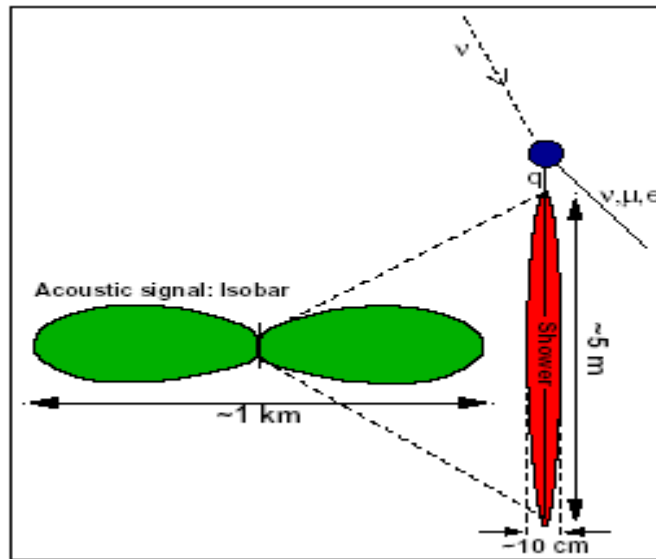


Figura 1: Esquema de la producción de un pulso termo-acústico debido a la cascada producida por la interacción de un neutrino en el agua. Extraída de [1].

Askaryan [2] demostró que en estas condiciones el aporte de energía era suficiente como para incrementar la temperatura del agua de forma que se producía un pulso bipolar termoacústico como el representado en la figura 2. El pulso generado posee dirección perpendicular a la cascada, y en la figura 1 se representa también su patrón de directividad.

Para llevar a cabo la detección acústica y poder aislar el pulso bipolar del ruido es necesario un gran número de hidrófonos. Recordemos que los detectores de neutrinos han de poseer dimensiones grandes, y en este sentido la detección acústica presenta la ventaja de poseer una menor atenuación en comparación con la detección óptica.

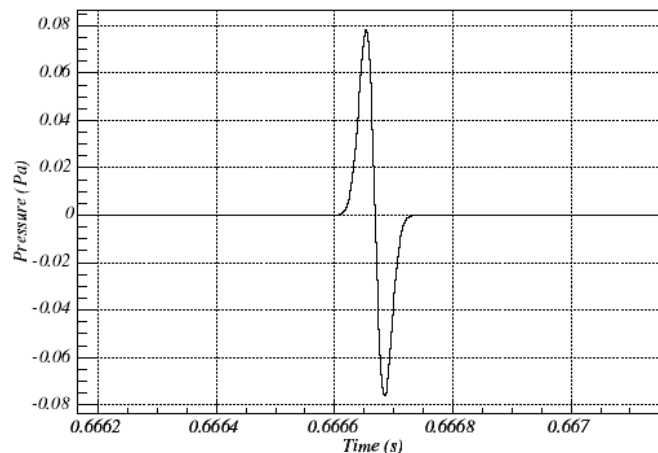


Figura 2: Simulación del pulso termoacústico generado por la interacción de un neutrino de 1.2×10^{20} eV a una distancia de 1000 m del punto de interacción. Extraído de [3].

CALIBRACIÓN DE HIDRÓFONOS MEDIANTE EL MÉTODO DE RECIPROCIDAD

Ahora que hemos introducido la técnica de la detección acústica de neutrinos, pasamos a presentar unos estudios encaminados a la obtención de sistemas de calibración que puedan ser de utilidad para futuros detectores de neutrinos basados en esta técnica. Dado que estos detectores consistirán de un gran número de sensores acústicos, es fundamental tener un buen y accesible método de calibración de la sensibilidad de estos sensores. Con el fin de explotar este aspecto se ha llevado a cabo un estudio sobre la calibración de la sensibilidad de un hidrófono por el método de reciprocidad bajo diferentes configuraciones de medida.

Para la calibración por el método de reciprocidad [4], se necesitan tres hidrófonos, de esos tres vamos a calibrar uno (el c), y los otros dos (a y b) no es necesario que estén calibrados (es la ventaja de utilizar este método). Para ello se dispondrán las configuraciones representadas en la figura 3. y se realizarán las medidas V_b , V_c , $V_{c'}$ e I_b .

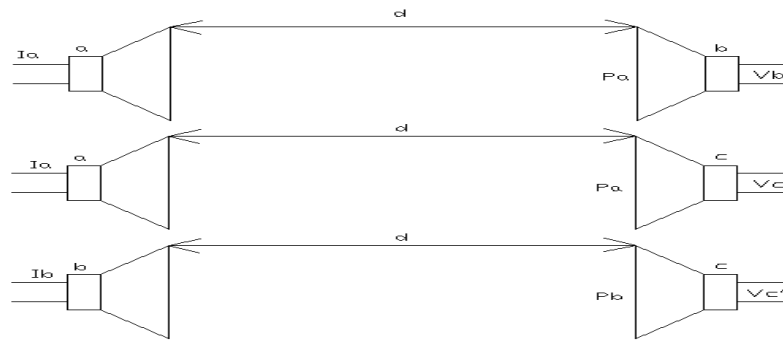


Figura 3: Configuraciones para la medida de la sensibilidad por el método de reciprocidad.

La ecuación que nos da la sensibilidad del hidrófono c que queremos calibrar es [4]:

$$Sm = \sqrt{J \cdot \frac{|V_c| \cdot |V_{c'}|}{|V_b| \cdot |I_b|}}$$

donde J es un parámetro que ajusta la sensibilidad según el tipo de propagación de las ondas: ondas planas, ondas esféricas, etc.

Se ha estudiado el método de calibración para distintos montajes: en un tanque de $1.00 \times 0.80 \times 0.50 \text{ m}^3$; en el mismo tanque pero con una configuración de mariposa para intentar evitar las reflexiones en las superficies del tanque (añadiendo una trampa acústica); en un tubo largo de metacrilato de 1.60 m de largo y 8 cm de diámetro; y, por último, en un tubo del mismo diámetro pero más corto, de 30 cm.

La expresión de J consideradas para cada montaje es:

- Tubos cilíndricos (largo y corto): ondas planas, $J=2A/(\rho c)$
- Tanque (con o sin trampa): ondas esféricas, $J=2d/(pf)$

Siendo A el área de la superficie radiante, ρ la densidad del medio, c la velocidad del sonido, d la distancia entre emisor y receptor y f la frecuencia.

También se ha realizado un estudio de la calibración por reciprocidad utilizando distintas señales en el tanque: señal mls (maximum length sequency), sinesweep, white noise y tone burst.

Veamos brevemente que son cada una de estas señales, la mls es una señal pseudo aleatoria compuesta por 1 y -1, y posee la propiedad de auto correlación, es decir, si se convoluciona con ella misma da una delta, la señal sinesweep es una señal que hace un barrido en frecuencias, desde un valor mínimo hasta uno máximo, el ruido blanco es una señal

aleatoria con densidad espectral de potencia plana, y el Tone Burst es una señal monofrecuencia de breve duración.

A continuación, se presentan los resultados para los distintos montajes (la señal utilizada es la mls19).

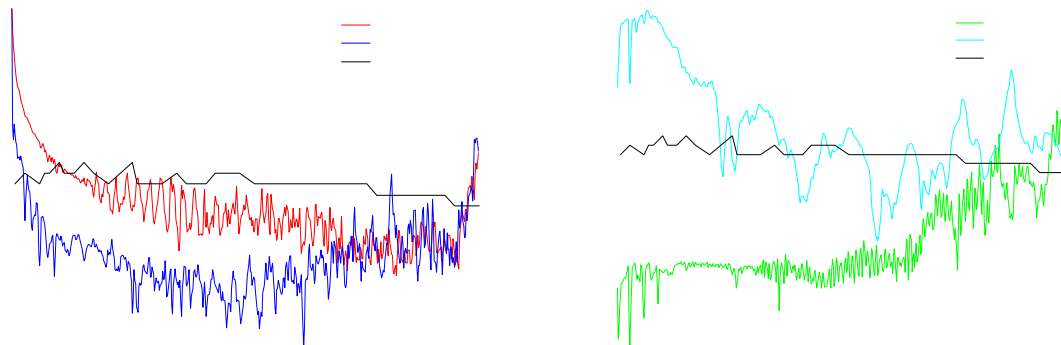


Figura 4: Izquierda: Sensibilidad obtenida en el tanque y tanque con trampa acústica. Derecha: Sensibilidad calculada en tubo largo y corto.

Se observas que las configuraciones que mejor resultado dan son el tanque y el tubo corto. La piscina con trampa acústica no mejora el resultado del tanque, aunque con ella se pretendía obtener un mejor resultado al reducir las reflexiones. El empeoramiento observado podría ser debido a la reducción de volumen que la trampa conlleva.

Los resultados del estudio con diferentes señales se muestran en la figura 5.

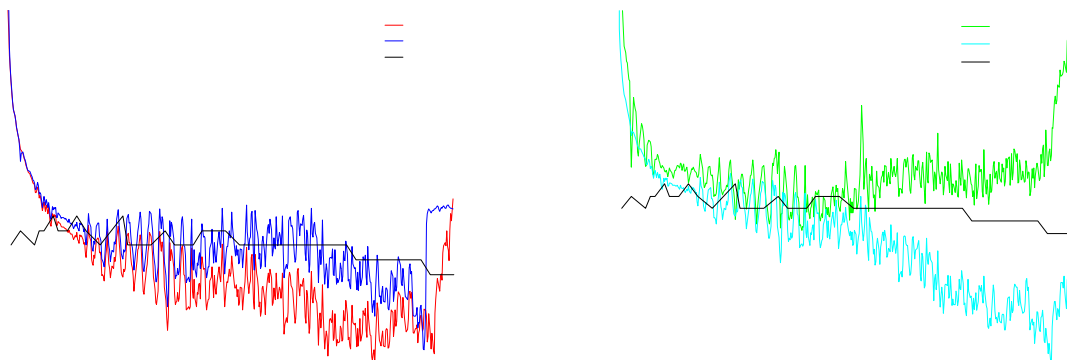


Figura 5: Izquierda: Sensibilidad obtenida con las señales mls y sinesweep. Derecha: Sensibilidad obtenida con las señales toneburst y white noise.

Se observa que el mejor resultado es el obtenido con la señal sinesweep y que hay variaciones notables dependiendo del tipo de señal, con lo que la elección de la señal de calibración puede jugar un papel importante en el resultado de la sensibilidad obtenida.

GENERACIÓN DEL PULSO DE UN NEUTRINO MEDIANTE UN HIDRÓFONO COMERCIAL.

En esta parte del trabajo vamos a estudiar la posibilidad de reproducir con un hidrófono comercial, la señal que generaría la interacción de un neutrino. Este estudio está justificado ya

que una vez se tenga el dispositivo de detección de neutrinos construido, éste se deberá calibrar, es decir, se tendrá que conocer parámetros como la relación señal ruido, eficiencias de detección, métodos de reconstrucción, etc. Por tanto, es de mucha utilidad poder contar con un emisor acústico del pulso del neutrino.

Estudiemos, en primer lugar, que ocurre si tratamos de generar directamente la señal del neutrino en el sistema emisor. El resultado se presenta en la figura 6. Se observa que la señal detectada no es la que se desea. En realidad, el transductor, debido a que no tiene una respuesta plana en frecuencia, emite una señal muy diferente del pulso del neutrino.

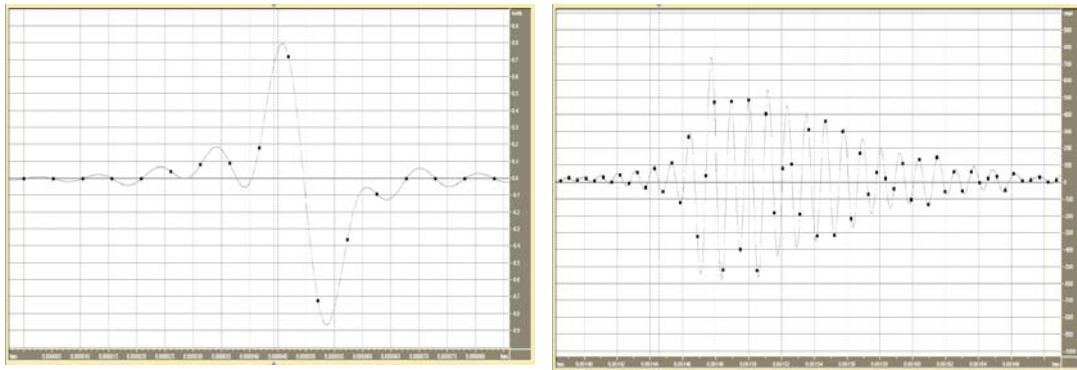


Figura 6: Izquierda: Señal que introducimos en el emisor. Derecha: Señal que es captada por el receptor, proveniente del emisor.

Así pues la pregunta que nos debemos hacer es “¿que señal debemos introducir a un emisor para que pueda emitir un pulso bipolar de las mismas características que el generado por la interacción de un neutrino de alta energía?”

Para resolver este problema, el primer paso es conocer la función de transferencia del sistema. Para ello, utilizamos la señal mls ya que posee una propiedad muy interesante, la auto correlación con ella misma. Esto permite que, mediante una deconvolución de la señal de salida del sistema con la señal de entrada podamos averiguar la respuesta al impulso del sistema. Ésta nos informa de como se comporta el sistema.

Después, con la ayuda del Inverse Filter del software Aurora[5], basado en el método de Mourjopoulos[6], se puede calcular la señal que se debe usar en el emisor para poder generar el pulso que deseamos. El proceso que realizamos es invertir la siguiente ecuación $X*Y=S$, donde X es la señal que introducimos al sistema (al emisor), Y es la respuesta al impulso del sistema y S es la salida del sistema. En la figura 7 se presenta la señal de emisión resultante de aplicar este método, así como la señal captada, que ahora sí es muy parecida a la señal generada por la interacción de un neutrino.

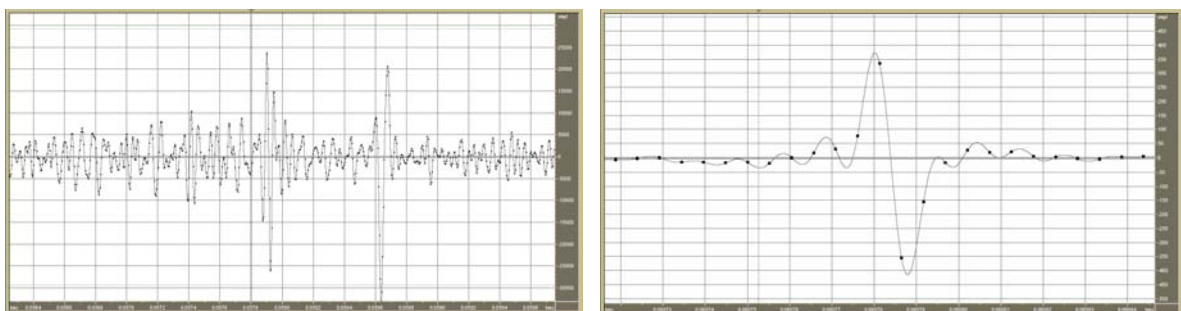


Figura 7: Izquierda: Señal de emisión calculada. Derecha: Señal captada.

CONCLUSIONES

Cómo conclusión a estos estudios podemos decir que el método de calibración por reciprocidad en espacios reducidos tiene limitaciones notables, y, por tanto, su uso en laboratorios reducidos no es trivial. Por otra parte, también se ha visto que la elección del tipo de señal para la calibración puede jugar un papel importante. Respecto a la reproducción del pulso del neutrino con un hidrófobo comercial, se ha demostrado que es viable utilizando las técnicas inversas, tal y como se ha descrito. Como siguiente paso, se pretende generar un pulso bipolar tipo neutrino, pero que además tenga el mismo patrón de directividad.

REFERENCIAS

- [1] T. Karg et al., Development of acoustics devices for ultra-high energy neutrino detectors, Proceedings of the 29th International Cosmic Ray Conference
- [2] G.A. Askariyan et al. Nucl. Instr. & Meth. 164, 267 (1979).
- [3] J.Allen et al. ACORNE: Acoustic Cosmic Ray Neutrino Experiment. Proposal (2005).
- [4] J. Urick, Principles of underwater sound, McGraw-Hill, 1983.
- [5] A. Farina y F. Righini, Software implementation of an MLS analyzer, with tools for convolution, auralization and inverse filtering, 103rd AES Convention, 1997.
- [6] J.N. Mourjopoulos, Digital Equalization of Room Acoustics, JAES 42, 884 (1994).