



**BLUE GROWTH**

**METROLOGÍA**

**CALIBRACIÓN DE HIDRÓFONOS**

**INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA**

**2019**



Fondo Europeo de Desarrollo Regional  
"Una manera de hacer Europa"



Este informe ha sido elaborado por la Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico Naval y del Mar gracias al Convenio suscrito con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia con el apoyo del fondo FEDER.

Autores: Iván Felis Enguix y M<sup>a</sup> Ángeles García Albaladejo

Más info: [www.ctnaval.com](http://www.ctnaval.com)



**Fondo Europeo de  
Desarrollo Regional**

**“Una manera de  
hacer Europa”**

© CTN, 2019

Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright



## Índice

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introducción.....                                                                         | 5  |
| 2. Metodología .....                                                                         | 6  |
| 3. Blue Growth .....                                                                         | 9  |
| 4. Estado del arte .....                                                                     | 10 |
| 4.2 Metrología para la calibración de instrumentación acústica.....                          | 10 |
| 4.3 Obtención de incertidumbre en calibración de instrumentación acústica .....              | 11 |
| 4.4 Técnicas de calibración de hidrófonos en baja frecuencia más allá de los estándares..... | 14 |
| 5. Tendencias.....                                                                           | 18 |
| 5.1 Literatura científica.....                                                               | 18 |
| 5.2 Patentes.....                                                                            | 29 |
| 5.3 Proyectos .....                                                                          | 31 |
| 5.4 Noticias .....                                                                           | 36 |
| 6. Legislación y normativa .....                                                             | 38 |
| 6.1 La Directiva Marco sobre la Estrategia Marina – MSFD .....                               | 38 |
| 6.2 Normativa, guías, recomendaciones y otros recursos .....                                 | 38 |
| 7. Bibliografía .....                                                                        | 40 |
| Anexo I. Patentes .....                                                                      | 41 |



## Índice de imágenes

|                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ilustración 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica .....                             | 6  |
| Ilustración 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica .....                                 | 8  |
| Ilustración 3. Distribución por oficinas de patentes de calibración de hidrófonos ..... | 29 |
| Ilustración 4. Principales solicitantes de patentes de calibración de hidrófonos .....  | 30 |
| Ilustración 5. Evolución cronológica de las patentes de calibración de hidrófonos ..... | 30 |



## 1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, tiene como finalidad ofrecer al tejido empresarial una mejora en el conocimiento del entorno, que permita detectar tendencias y desarrollar estrategias adecuadas basadas en niveles superiores de certidumbre a través de la captación y divulgación de información y conocimiento de importancia estratégica en los ámbitos social, tecnológico y económico, que incidan en la detección de nuevas oportunidades de desarrollo regional.

Los contenidos de este informe están estrechamente relacionados con el desarrollo del proyecto "Metrocal: Metrología para la calibración de hidrófonos en baja frecuencia" financiado por el Instituto de Fomento de la Región de Murcia.

Para la realización de este informe se han aplicado técnicas de Vigilancia Tecnológica, una herramienta al servicio de las empresas y organizaciones que permite detectar oportunidades y amenazas aportándoles ventajas competitivas y fundamentos para la toma de decisiones estratégicas mediante la selección y análisis de información de diversos tipos (científica, tecnológica, comercial, de mercado, social...).

Para ello se parte de una introducción metodológica sobre las técnicas y fases de la Vigilancia Tecnológica que se han aplicado para el desarrollo del informe. A continuación se introduce el Crecimiento Azul como estrategia europea con el fin de dibujar un cuadro de referencia para la contextualización de los contenidos temáticos del informe. Seguidamente se realiza un análisis del estado de la técnica, noticias, patentes y literatura científica.

Por último se incluyen las fuentes que se han manejado para la realización de este informe.

## 2. Metodología

La vigilancia tecnológica se entiende como una “forma organizada, selectiva y permanente de captar información del exterior sobre tecnología, analizarla y convertirla en conocimiento para tomar decisiones con menor riesgo y poder anticiparse a los cambios”. (AENOR, 2011) Su finalidad última es generar ventajas competitivas para la empresa ya que le proporciona datos para:



Ilustración 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica

Para el desarrollo de la Vigilancia Tecnológica el primer paso es plantear los aspectos básicos (Degoul, 1992):

¿Cuál es el objeto de la vigilancia? ¿Qué debemos vigilar? ¿Qué información buscar? ¿Dónde localizarla?

Cuando el objetivo de la VT está claramente delimitado, se procede a planificar la estrategia de búsqueda. Para el despliegue de esta fase conviene tener en cuenta que la información puede presentarse de dos formas: estructurada y no estructurada. La primera es propia de las bases de datos, conjuntos de datos homogéneos, ordenados de una forma determinada, que se presenta en forma legible por ordenador (Escorsa, 2001). Su unidad es el registro –o ficha de un artículo científico o una patente- que presenta la información ordenada en campos: autor, título, fecha de publicación, titular de la patente, inventores, etc. En cambio, la información no estructurada se presenta en textos sin un formato determinado (noticias de periódicos, sitios web, blogs, correos electrónicos) cuyo tratamiento requerirá de nuevas herramientas capaces de “leer” y analizar estos textos. Estas herramientas son útiles también para analizar la información de textos completos de artículos científicos o de patentes. Hoy se considera que el texto es la mayor fuente

de información y conocimiento para las empresas. (Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología, 2007).

Tras la selección de las palabras clave se automatiza la búsqueda en función de las diferentes tipologías de fuentes a utilizar, se lanza la misma y se filtran los resultados en términos de pertinencia, fiabilidad, relevancia, calidad y capacidad de contraste (AENOR, 2011).

Una vez comprobada la calidad de la información, los métodos de análisis han de garantizar su valor para la explotación de los mismos (F. Palop, 1995). El objetivo del análisis es transformar la información en bruto recogida en un producto con alto valor añadido. A partir de aquí, la aportación de los expertos es crítica para crear información avanzada, para generar conocimiento. Pasamos de una masa ingente de información en distintos formatos y lugares a una etapa en la que se captura la información más relevante, se organiza, indexa, almacena, filtra y, finalmente, con la opinión del experto que aporta en este punto del proceso un máximo valor añadido (CETISME, 2003).

A continuación, se incluye un esquema con las distintas fases de la metodología empleada durante la generación de este informe.



### OBJETIVO DE VT

En esta fase se define el objetivo concreto de la Vigilancia mediante preguntas clave y se delimita el alcance acotando parámetros cronológicos, geográficos...

### ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

A continuación se define el listado de keywords, se genera el listado de fuentes de información así como la estrategia de automatización de las búsquedas.



### BÚSQUEDA Y FILTRADO

Posteriormente se procede a obtener información y aplicar filtros de pertinencia, fiabilidad o relevancia y se organizan, clasifican y archivan los resultados.

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Durante esta fase se analiza la información obtenida a nivel científico-tecnológico, estratégico y bibliométrico.



### PUESTA EN VALOR

Por último, basándose en la fase anterior, los expertos extraen conclusiones y se genera el Informe de Vigilancia Tecnológica.

Ilustración 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica





### 3. Blue Growth

El crecimiento azul es una estrategia a largo plazo de apoyo al crecimiento sostenible de los sectores marino y marítimo. Reconoce la importancia de los mares y océanos como motores de la economía europea por su gran potencial para la innovación y el crecimiento. Es la contribución de la Política Marítima Integrada (PMI) en la consecución de los objetivos de la Estrategia 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador. La Estrategia consta de tres componentes:

- a) Medidas específicas de la Política Marítima Integrada
  - ◆ Conocimiento marino para mejorar el acceso a la información sobre el mar;
  - ◆ Ordenación del espacio marítimo para garantizar una gestión eficaz y sostenible de las actividades en el mar;
  - ◆ Vigilancia marítima integrada para que las autoridades tengan una mejor apreciación de lo que pasa en el mar.
- b) Estrategias de cuenca marítima que garanticen la combinación de medidas más adecuada con el fin de fomentar el crecimiento sostenible;
- c) Desarrollo de las siguientes actividades específicas:
  - ◆ Acuicultura
  - ◆ Turismo marítimo, costero y de crucero
  - ◆ Biotecnología marina
  - ◆ Energía oceánica
  - ◆ Explotación minera de los fondos marinos

El informe de vigilancia tecnológica se centra en el desarrollo de plataformas multi uso como solución a varios de los temas prioritarios marcados por la estrategia europea Blue Growth.



## 4. Estado del arte

A continuación se describe el estado del arte actual de los protocolos metroológicos en calibración de transductores a través de los siguientes puntos:

1. Metrología para la calibración de instrumentación acústica.
2. Obtención de incertidumbre en calibración de instrumentación acústica.
3. Técnicas de calibración de hidrófonos en baja frecuencia más allá de los estándares.

### 4.2 Metrología para la calibración de instrumentación acústica

En la actualidad se están realizando diferentes estudios en el medio marino, algunos de ellos para conocer la relación entre la variación de ciertos parámetros con el cambio climático (variación del pH y nivel de CO<sub>2</sub>) mientras que otros se centran en el estudio de la contaminación acústica marina y su afectación a los cetáceos. Tanto para el estudio de la contaminación sonora y del seguimiento de cetáceos se utilizan los hidrófonos. Los hidrófonos son unos micrófonos preparados para trabajar en el medio acuático con altas presiones.

La sensibilidad habitual en este tipo de equipos es de entre -170 dB y -200 dB referidos a 1 V/ $\mu$ Pa, y de modo que reacciona a las variaciones de presión del medio con una generación de corriente. Entre las peculiaridades de uso que influyen en su calibración de estos equipos destacamos: suele utilizarse un amplificador de corriente para adaptar y condicionar la señal registrada; existe un proceso de cuantificación en la conversión de la señal analógica a digital; el medio marino es un ambiente agresivo que puede dar lugar a desviaciones de su calibración; la casuística de ambientes a medir es amplia (distintas profundidades, temperaturas, presiones, salinidad, etc.). Así, el control metroológico de un hidrófono marino es relevante para la veracidad de sus mediciones.

Cuando una institución de estandarización como el Centro Español de Metrología (CEM) o el Instituto Nacional de Patrones y Tecnología (NIST) emite un certificado para un estándar, le atribuye un valor numérico a ese estándar junto con una declaración sobre la incertidumbre de este valor<sup>1</sup>. El conocimiento de las características de los transductores electroacústicos subacuáticos y del proceso de calibración ha llevado a

---

<sup>1</sup> J. Mandel, «The Statistical Analysis of Experimental Data», John Wiley & Sons, New York, 1964.



creer que los procedimientos de calibración comunes empleados tienen un sesgo insignificante y que la precisión asociada con estas mediciones es de  $\pm 1$  dB<sup>2</sup>. No obstante, es necesaria una declaración de incertidumbre en la calibración, teniendo en cuenta las condiciones y aplicabilidad de la misma. En efecto, un laboratorio de estandarización nunca puede estar absolutamente seguro de que el valor certificado se encuentre dentro de los límites establecidos en el certificado; sin embargo, desde un punto de vista práctico, está bastante justificado en tener confianza en un valor de calibración basado en su conocimiento del proceso de calibración y la naturaleza física del dispositivo calibrado. Esta confianza generalmente se transmite en forma de una declaración de incertidumbre.

Adicionalmente, hay que tener en cuenta que el proceso de calibración contemplando en los estándares actuales e internacionales se realiza en laboratorio. Entonces, en el proceso de metrología incluye la logística de recuperación del hidrófono de su emplazamiento y dicho transporte suele ser técnicamente complejo y de un elevado coste. Así, existen estudios que pretenden abordar la calibración in situ de hidrófonos, teniendo en cuenta las incertidumbres inherentes pues suelen ser más elevada que la obtenida en un laboratorio. No obstante, es necesario evaluar si dicha incertidumbre es suficiente para la función que debe realizar el equipo.

### **4.3 Obtención de incertidumbre en calibración de instrumentación acústica**

La acústica submarina es, en cuanto a la metrología, un campo relativamente joven. La calibración de hidrófonos en frecuencias en el intervalo 0.01 Hz a 1 MHz está regulada por el estándar internacional IEC 60565:2006, el cual está basado en la edición previa de 1977. En este documento también se describen las fuentes de incertidumbre de los métodos estandarizados. Puesto que el rango típico de frecuencia de trabajo de los sónares está entre 1 kHz y 500 kHz, históricamente la mayor parte de los estudios no han ahondado en bajas frecuencias. Tanto es así, que entre las instituciones capaces de ofrecer servicios de calibración en el rango de bajas frecuencias ( $< 1$  kHz), solo una está localizada en Europa, NPL (del Reino Unido). Por ello, y dado el actual interés en acústica submarina en estas frecuencias, existen proyectos con objeto

---

<sup>2</sup> J.E.Blue , «Evaluation of precision and accuracy in the calibration of hydrophones», 1973.



de desarrollar la capacidad metrológica de la Unión Europea en cuanto a calibración de transductores se refiere<sup>3,4</sup>.

Una calibración válida de un hidrófono debe ir acompañada de la incertidumbre asociada de la medida. Según la guía para la expresión de la incertidumbre de la medida (GUM<sup>5</sup>), la incertidumbre es el parámetro asociado al resultado de una medida que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mensurando. De forma resumida, esta guía establece unos procedimientos generales a seguir para evaluar incertidumbres que, se traducen en obtener, para cada una de las variables de entrada de las que depende el mensurando, las incertidumbres típicas respectivas, de forma que al propagar las mismas se obtenga un valor para la incertidumbre típica combinada del mensurando. Por tanto, uno de los pasos clave en el proceso de estimación de incertidumbre es la asignación de una función de distribución adecuada (rectangular, triangular, etc.) para cada una de estas variables, a partir de la que es posible deducir la incertidumbre típica de las mismas.

Conviene recordar que la asignación de incertidumbres se trata de un proceso no unívoco, de ahí la importancia de la norma GUM en el establecimiento de una guía que sirva de referencia entre laboratorios e instituciones. Como ejemplo, en 2016 el NPL realizó un estudio comparativo de la incertidumbre obtenida según el método de Montecarlo y la norma GUM, aplicado a la calibración por reciprocidad en campo libre con frecuencias de 40 kHz; los autores concluyeron que ambos métodos daban resultados muy similares (incertidumbres estándar relativas de 2.09 % y 2.02% respectivamente)<sup>6</sup>. La mayoría de la bibliografía que se puede encontrar sobre calibración acompañada con análisis completo de la incertidumbre sigue las directrices de la GUM.

Según esta norma, las incertidumbres pueden clasificarse en dos tipos, según el método de evaluación de las mismas, que son los tipos A y B. Una incertidumbre de tipo A es aquella que se utiliza cuando el mismo experimento se repite un número determinado de veces (bajo idénticas condiciones); por ejemplo, de este tipo es la incertidumbre asociada a la variabilidad entre repeticiones de la calibración de un mismo hidrófono. Una incertidumbre de tipo B se da cuando la estimación de la magnitud estudiada no se deriva a partir de observaciones repetidas; de este tipo son la mayor parte de incertidumbres a tratar en la calibración del

<sup>3</sup> A. Biber, et al., «Calibration standards for hydrophones and autonomous underwater recorders for frequencies below 1 kHz: current activities of "UNAC-LOW" project», Acta IMEKO 2018.

<sup>4</sup> «Underwater acoustics calibration standards for frequencies below 1 kHz», EURAMET 2015.

<sup>5</sup> «Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement» (CGM 100:2008)

<sup>6</sup> S. Robinson, et al., «Evaluation of uncertainty in the free-field calibration of hydrophones by the three-transducer spherical wave reciprocity method», inter-noise 2016.



hidrófono. De hecho, la parte crucial en la estimación de la incertidumbre en la calibración es precisamente la de conocer la totalidad de este tipo de incertidumbres que tengan un impacto significativo en la medida, así como la asignación apropiada de funciones de distribución correspondientes. El NPL ha dispuesto de un documento con las principales fuentes de incertidumbre de tipo B<sup>7</sup>.

En definitiva, ya que cada método de calibración implica escenarios diferentes, es necesario hacer un estudio detallado de la configuración particular de instrumentos involucrados y las condiciones presentes para cada técnica.

En cuanto a la calibración en sí, lo que se pretende evaluar es la sensibilidad del hidrófono, dada en dB @ 1 V/ $\mu$ Pa. Existen dos categorías amplias de técnicas de calibración: las técnicas primarias (en las que la no hace falta utilizar un hidrófono auxiliar calibrado) y secundarias (las que sí necesitan de un transductor auxiliar calibrado). A continuación, mostramos el estado de la técnica de las principales técnicas de calibración de transductores hidroacústicos estandarizadas, enfatizando en el rango frecuencial de aplicabilidad e incertidumbres asociadas a cada uno:

- Técnica de reciprocidad: es el método de calibración estandarizado más utilizado en el rango de frecuencias medias, entre 1 y 500 kHz. Es una técnica primaria que precisa de la utilización de tres transductores en campo libre. El problema de las técnicas en campo libre es que existe un límite inferior para la frecuencia, impuesto por las dimensiones del tanque de calibración, y que normalmente limita los estudios a frecuencias superiores a pocos kilohercios. No obstante, es posible realizar calibraciones mediante esta técnica en baja frecuencia, por ejemplo, usando procesamiento y modelado de la señal se ha conseguido disminuir el límite inferior de la frecuencia de calibración impuesto por las dimensiones del tanque de medidas<sup>8,9</sup>, aunque estas no estén aun recogidas en estándares.
- Técnica por comparación en columna de agua vibratoria: es uno de los métodos estándar recurrentes para calibrar hidrófonos en baja frecuencia. Recientemente se han realizado estudios obteniéndose incertidumbres de menos de 1.6 dB en todo el rango de frecuencias

<sup>7</sup> «Uncertainties in free-field hydrophone calibration», NPL

<sup>8</sup> A.E. Isaev, et al., «COOMET.AUV.W-S1 supplementary comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 250 Hz to 8 kHz», Supplementary comparison of free-field hydrophone calibrations between China and Russia.

<sup>9</sup> S.P. Robinson, et al., «Signal-modelling methods applied to the free-field calibration of hydrophones and projectors in laboratory test tanks», Meas. Sci. Technol. 29, 2018.



(30-2000) Hz<sup>10</sup>. Simulaciones de estos escenarios establecen como más significativas fuentes de error la incertidumbre asociada al hidrófono de referencia (se trata de un método secundario) y la asociada al diseño del contenedor, siendo esta última reducible aumentando el grosor del mismo<sup>11</sup>.

- Técnica de reciprocidad en cámara de adaptación (*coupling chamber*): es el método clásico de calibración utilizado en Estados Unidos. Según un estudio reciente realizado en las instalaciones de la USRD (*Underwater Sound Reference Division*), un laboratorio de la armada de EEUU, en el que se realizaron medidas tanto de la magnitud como de la fase la de sensibilidad compleja de un hidrófono, se obtuvieron incertidumbres, mediante un análisis detallado, de 0.1 dB @ 1 V/μPa para la primera<sup>12</sup>, y valores cercanos a los 0.25 dB @ 1 V/μPa de incertidumbre obtenidos por estudios anteriores<sup>13</sup>.

#### 4.4 Técnicas de calibración de hidrófonos en baja frecuencia más allá de los estándares

Tal como se ha comentado, los sistemas de monitorización acústica del medio marino deben incluir hidrófonos que respondan a las necesidades de monitorización. Para la cuestión del ruido submarino, como se ha comentado, el ruido impulsivo requiere un rango de sensibilidad entre 10 Hz y 10 kHz, mientras que, para ruido continuo, dos bandas adicionales en 63 y 125 Hz. En cuanto a la vida marina, la mayoría de las vocalizaciones de los mamíferos marinos se encuentran en rangos de bajas frecuencia (desde 20 Hz para ballenas azules hasta 85 – 100 kHz en el caso de algunos odontocetos) para ser sensibles a la detección de sonidos provenientes de especies como *Tursiops truncatus*, *Globicephala melas*<sup>14,15</sup> es necesario ampliar este rango frecuencial hasta, al menos, los 100 kHz.

<sup>10</sup> S. Cui, D.W.Y. Khoo, «Underwater Calibration of Hydrophones at Very Low Frequencies fomr 30 Hz to 2 kHz», IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1065, 2018.

<sup>11</sup> A. Malakordi, et al., «Design Considerations and Establishment of a Low Frequency Hydrophone Calibration Setup using the Principle of Vibrating Water Column», International Journal of Acoustics and Vibrations, 2018.

<sup>12</sup> W.H. Slater, S.E. Crocker, S.R. Baker, «A primary method for the complex calibration of a hydrophone from 1 Hz to 2 kHz», Metrologia 55 (2018).

<sup>13</sup> J. F Zalesak, «Transfer coupler reciprocity: A new low-frequency coupler-reciprocity technique for the absolute calibration of field hydrophones under full environmental conditions», J.Acoust.Soc. Am., 105(4), 1999.

<sup>14</sup> Leah M. Varga et al. «Passive acoustic monitoring for marine mammals». Jacksonville Range complex

<sup>15</sup> Kathleen M. Dudzinski et al. «Communication in marine mammals». Encyclopedia of Marine Mammals (Second Edition), Academic Press, pp. 260-269, 2009





A pesar de que existen numerosas publicaciones y estándares sobre la calibración de hidrófonos en general<sup>16,17,18,19,20</sup>, estas son de difícil y/o costosa aplicación para el rango de baja frecuencias inferiores a 3 kHz, pues la mayoría proponen medir en condiciones de campo abierto<sup>21,22</sup> y en laboratorio. Además, para su aplicación, es necesario mantener los transductores correctamente alineados. Pequeñas variaciones en, por ejemplo, la distancia o la alineación, podrían producir reflexiones y realimentaciones que condujesen a un mal calibrado<sup>23,24</sup>. Esta condición de campo libre limita, en la práctica, el rango frecuencial de los hidrófonos que se quieran calibrar. Efectivamente, estas bajas frecuencias precisan de tiempos de vuelo sin reflexiones de varios milisegundos, lo que se traduce en grandes volúmenes de agua para la calibración.

Aun sí, a pesar de que no existe un estudio sistemático de la aplicabilidad de estas técnicas “no estándar” a la calibración de hidrófonos, mostramos algunos resultados de estudios propios del CTN y de otras instituciones que plantean la calibración en condiciones alternativas:

- La utilización de señales de banda ancha: estas señales (sweeps, mls, rikkers, etc.) que permiten, por una parte, acortar los tiempos de medida y, por ende, reducir el espacio en el que se realicen las medidas<sup>25</sup>. Estas técnicas muestran un avance, sobre todo en la detección de las señales con las que se calibra, pero manifiestan una mayor incertidumbre en los valores de amplitud finalmente obtenidos. No obstante, a partir de los estudios desarrollados en el proyecto “Nuevas Técnicas de Calibración en Baja Frecuencia (NTP-f)”, financiado por el INFO, el CTN ha estudiado técnicas de calibración de hidrófonos consistentes en la utilización de señales de banda ancha como sweeps para, por una parte, realizar mediante una única

<sup>16</sup> A.L.López, L.W.Schmerr, «Characterization of an ultrasonic nondestructive measurement system», Simposio de metrología, 2006.

<sup>17</sup> A.M.Enyakov, et al. «A Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods», Metrologia, 36, 297-303, 1999.

<sup>18</sup> H.R.S.Sastry «Calibration of Underwater Sound Transducers», Def.Sci.J., Vol. 33, No. 3, pp 237-245, July 1983.

<sup>19</sup> A.Lee van Buren, et al. «An international key comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 1 to 500 kHz», J.Acoust.Soc. Am., Vol. 120, No. 3, September 2006.

<sup>20</sup> UNE-EN 60565:2007 Acústica submarina. Hidrófonos. Calibración en el rango de frecuencias de 0,01 a 1 MHz (IEC 60565:2006).

<sup>21</sup> P. Levin, «Calibration of Hydrophones», Technical Review: To Advance Techniques in Acoustical, Electrical and Mechanical Measurement. Brüel & Kjaer, vol. 1, pp. 3-17, 1973.

<sup>22</sup> A. Isaev, et al., «Reduction of the Error of Hydrophone Calibration with Respect to the Field in a Hydroacoustic Tank by the Reciprocity Method», Acoustical Physics, vol. 50, nº 5, pp. 535-543, 2004.

<sup>23</sup> Acústica submarina. Hidrófonos. Calibración en el rango de frecuencias de 0,01 a 1 MHz (IEC 60565:2006). (Ratificada por AENOR en mayo de 2007).

<sup>24</sup> A. Enyakov y et al., «A Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods», Metrologia, vol. 36, pp. 297-303, 1999.

<sup>25</sup> K.G.Foote, D.R.I.Francis, P.R.Atkins «Calibration sphere for low-frequency parametric sonars», JASA, 121 (3), March 2007.



medida un barrido de las frecuencias de interés y, por otra, discriminar la señal directa y reflexión, así como reconstruir sus amplitudes<sup>26</sup>.

- Empleo de técnicas no lineales: mediante el efecto paramétrico es posible generar campos acústicos de baja frecuencia a partir de la emisión de haces de alta frecuencia, de modo que su directividad es tan estrecha como la inherente de la alta frecuencia. Este fenómeno ha sido ampliamente teniendo, considerando diferentes grados de complejidad (influencia de la absorción, de la difracción, etc.), así como experimentos que avalan la aplicabilidad de estas soluciones<sup>27,28,29,30</sup>. Así, al emplear haces más directivos, se reducen las reflexiones laterales y se tiene una mejor discriminación de la señal directa, que es la utilizada en la calibración.
- Técnica de calibración *in-situ*: existe muy poca literatura disponible, pues se trata de medir en un ambiente de condiciones variables e incontrolables que dificultan la calibración precisa de los hidrófonos. En esta línea, la incertidumbre es indudablemente mayor en comparación con la calibración en laboratorio. En los pocos estudios que hay, se ha encontrado que la fuente de incertidumbre más relevante es la incertidumbre ambiental, en la que se incluye la incertidumbre en las posiciones de los transductores (vía GPS) y en el índice de atenuación  $\alpha$  (expresada en dB/km) que, a su vez, dependerá de la incertidumbre en las medidas de la temperatura, pH, entre otros<sup>31</sup>. Según un estudio experimental reciente de los mismos autores<sup>32</sup>, la sensibilidad del hidrófono calibrado resultó ser, a 10 kHz de frecuencia, de  $-189.25 \pm 2.95$  dB @ 1 V/ $\mu$ Pa, con un error bastante por encima de lo obtenido típicamente en laboratorio. Con todo, estos resultados tienen margen de mejora, como sugieren los autores, por ejemplo, si se aumentara la amplitud de la señal generada.
- Medición en campo reverberante: mediante este método es posible caracterizar la potencia acústica de un transductor en un ambiente de campo reverberante generado en un tanque de características conocidas. No obstante, esta técnica presenta la desventaja de que no permite, en principio, hallar la directividad del transductor. Según

<sup>26</sup> I.Felis, et al. «Nuevas técnicas de calibración de hidrófonos en baja frecuencia con relación a la MSFD» (aceptado para presentación en XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIAACUSTICA'18-.

<sup>27</sup> H.O.Berkta y , D.J.Leahy, «Farfield performance of parametric transmitters», JASA 55(3), 1974.

<sup>28</sup> R.H.Mellen, M.B.Moffett, «Effective lengths of parametric acoustic source», JASA 70(5), 1981.

<sup>29</sup> J.S.Tjøtta, N.Tjøtta, «Interaction of sound waves. Part I Basic equations and plane waves», JASA 82(4), 1987.

<sup>30</sup> P.Cervenka, P.Alai, «Fourier formalism for describing nonlinear self-demodulation of a primary narrow ultrasonic beam», JASA 88(1), 1990.

<sup>31</sup> A. García-Benadí, et al., «Balance de incertidumbres en la calibración *in-situ* de in hidrófono», Congreso español de metrología, 2013.

<sup>32</sup> A. García-Benadí, et al., «Good Practice Guide for calibrating a hydrophoner *in-situ* with a non-omnidirectional source at 10 kHz», ACTA IMEKO, vol. 4, No. 1, 2015.





un estudio<sup>33</sup> del año 2000, se obtuvieron medidas para la potencia espectral de un transductor con incertidumbres de menos de 1.5 dB, para frecuencias de entre 1 kHz y 20 kHz. Otro estudio más reciente<sup>34</sup> desarrolla en detalle un posible método para obtener la potencia de fuentes acústicas desconocidas en ambientes imperfectos (sin paneles anecoicos), según técnicas tomadas de la acústica en aire, si bien los errores en los resultados obtenidos son muy significativos.

---

<sup>33</sup> N. Cochard, J-L Lacoume, «Underwater acoustic noise measurement in test tanks», IEEE Journal of Oceanic Engineering, 2000.

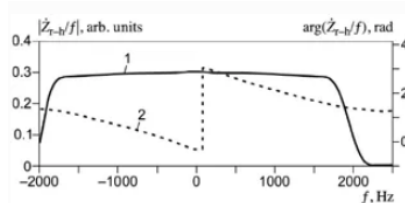
<sup>34</sup> K.L. Gemba, E-M. Nosal, «Source characterization using recordings made in a reverberant underwater channel», Applied Acoustics 105, 24-34, 2016.



## 5. Tendencias

### 5.1 Literatura científica

#### Laboratory Free-Field Calibration of a Hydroacoustic Receiver at Low Frequencies



**Autor:** Isaev, A. E., & Nikolaenko, A. S.

**Publicado en:** 2018.  
*TECNIACUSTICA '18.*

#### Abstract:

In order to meet with the requirements of Descriptor 11, regarding the quantification of underwater noise, of the marine strategy framework directive (MSFD), it is necessary to perform low frequency measurements below 10 kHz. Hydrophone calibration in this low frequency range according to international standards (IEC60565) it is required to use large installations, allowing times without very large echoes. In this presentation, the CTN proposes new techniques for calibrating hydrophones, beyond the standards, which allow calibrations at low frequencies in more moderate installations. Methods based on the emission of bandwidth signals (sweep) along with processing techniques that help spatial discrimination of signals (cross correlation) are the basis for the development of these new calibration techniques. In addition, the use of non-linear acoustic effects to focus acoustic emission has advantages for this purpose.



## Design Considerations and Establishment of a Low Frequency Hydrophone Calibration Setup using the Principle of Vibrating Water Column

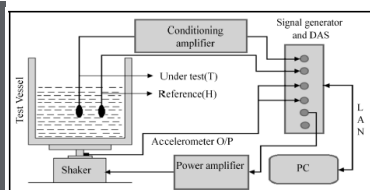


Figure 1. Measurement Schematic.

**Autor:** Malarkodi, A., Latha, G., Sridhar, P. S. S. R., & Bøgholm, N. V

**Publicado en:** 2018. *International Journal of Acoustics and Vibration*, 23(1), 44-48; doi:

10.20855/ijav.2018.23.11102

### Abstract:

This paper describes the design and implementation of a low frequency hydrophone calibration system, using a vibrating water column. The hydrophone to be calibrated is immersed in the water column and the position of the transducer is kept constant while a hydrodynamic pressure field is generated in the water column by means of a shaker (similar to what is described in IEC 60565). F. Schloss et al. used a vibrating water column for hydrophone calibration in the frequency range from 10 Hz to 700 Hz.(1) An interlaboratory comparison calibration was carried out by the Russian Metrological Institute of Technical Physics and Radio Engineering (VNIIFTRI) and Hangzhou Applied Acoustics Research Institute (HAARI) in the frequency range from 250 Hz to 1 kHz.(2) The dimensions of the test vessel are important for deciding the frequency range of operation. Simulations were carried out for the selection of vessel material and dimension. To overcome limitations in the frequency range caused by resonance in the water column, the principle of operation was modified from absolute calibration to calibration by comparison. By using a single cylindrical vessel, the frequency range is extended to cover frequencies from less than 100 Hz to 1 kHz. The calibrated reference hydrophone type Bruel & Kjaer (B&K) 8104 is used in this calibration. Some results obtained from the use of the calibration system are also presented in this paper.

## A primary method for the complex calibration of a hydrophone from 1 Hz to 2 kHz

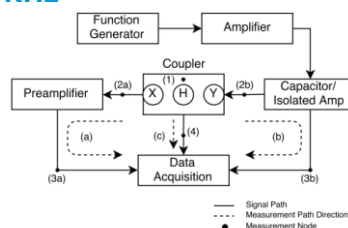


Figure 6. Coupler reciprocity system block diagram with measurement nodes indicated by black dots.

**Autor:** Slater, W. H., Crocker, S. E., & Baker, S. R.

**Publicado en:** 2017. *Metrologia*, 55(1), 84.; doi: 10.1088/1681-7575/aa87f7

### Abstract:

A primary calibration method is demonstrated to obtain the magnitude and phase of the complex sensitivity for a hydrophone at frequencies between 1 Hz and 2 kHz. The measurement is performed in a coupler reciprocity chamber ('coupler'); a closed test chamber where time harmonic oscillations in pressure can be achieved and the reciprocity conditions required for a primary calibration can be realized. Relevant theory is reviewed and the reciprocity parameter updated for the complex measurement. Systematic errors and corrections for magnitude are reviewed and more added for phase. The combined expanded uncertainties of the magnitude and phase of the complex sensitivity at 1 Hz were 0.1 dB re 1 V  $\mu$  Pa<sup>-1</sup> and  $\pm 1$  degrees, respectively. Complex sensitivity, sensitivity magnitude, and phase measurements are presented on an example primary reference hydrophone.

## Interlaboratory comparisons of hydrophone calibration in the 3–500 kHz frequency range

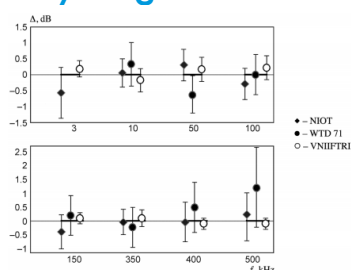


Fig. 1. Degrees of equivalence for frequencies 3, 10, 50, 100, 150, 350, 400, and 500 kHz.

**Autor:** Malarkodi, A., Latha, G., Atmanand, M. A., Isaev, A. E., Matveev, A. N., Shcherbliuk, N. G., ... & Milkert, D.

**Publicado en:** 2016. *Measurement Techniques*, 59(1), 99-103.; doi: 10.1007/s11018-016-0924-2

### Abstract:

A method and results are described for international interlaboratory comparisons of hydrophone calibration. The comparison was organized by the National Institute of Ocean Technology, India, with the participation of reference standards from Germany and Russia. Data are presented on

the reference standard installations of the comparison participants and the measurement methods used, and the impact of water temperature on comparison results during calibration is discussed.

### Calibration of marine autonomous acoustic recorders

**Autor:** Hayman, G., Robinson, S. P., Pangerc, T., Ablitt, J., & Theobald, P. D.

**Publicado en:** 2017. *OCEANS 2017-Aberdeen* (pp. 1-8). IEE.; doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084773

#### Abstract:

Absolute measurement of sound in the ocean is becoming increasingly ubiquitous, a common driver being the requirement for monitoring marine noise in support of regulation for the protection of the marine environment. In these measurements, the performance of the measurement system is a crucial factor governing the quality of the measured data. In recent years, there has been an increasing use of autonomous acoustic recorders for absolute in-situ measurement of sound in the marine environment. The technology has developed rapidly utilising recent improvements in mobile microprocessors and data acquisition systems, and currently there are a number of commercial off-the-shelf units available to the user. Whilst offering the enhanced ability to monitor acoustic signals autonomously for extended periods, such recorder units introduce a number of measurement and calibration challenges in addition to those associated with the calibration of individual hydrophones. These include the need to treat the autonomous acoustic recorder as a complete system, providing a traceable calibration which includes the hydrophone, hardware signal processing, the digital-to-analogue conversion, and software processing used to produce the sound data file. Because recorders often use archival storage of digital data, there is typically no access to "live" analogue electrical signals, requiring significant modifications to the standardised calibration procedures adopted for individual hydrophones. An additional problem can occur for recorders where the hydrophone is fixed rigidly to the end of the recorder body. In such cases, diffraction and scattering of the sound around the recorder body may influence the frequency response and directivity at kilohertz frequencies. At lower frequencies, the recorder performance



may also be influenced by resonances in the recorder body. Other key performance characteristics include the system self-noise (important for measurement of low-level signals such as may be present in ambient ocean noise), and the dynamic range (important for measurement of high-amplitude impulsive sound sources). In this paper, methodologies are presented for the calibration and characterisation of autonomous recorders to determine the key acoustic performance characteristics, including the absolute system sensitivity as a function of frequency and direction, and the self-noise of the hydrophone and system. Consideration is given to effects due to the proximity of the recorder body to the measuring hydrophone on the frequency and directional response of the overall system. Examples of the results obtained are given and a discussion is presented of the implications of system performance on the quality of the measured data. The work described here aims to provide the traceability for the absolute measurement of sound in the ocean using autonomous recorders so that noise monitoring strategies and in-situ source characterisations are underpinned by robust metrology. The need for enhanced traceability is particularly acute at frequencies below 1 kHz where high-amplitude anthropogenic sources of greatest concern radiate much of their sound energy, and NPL now offers a calibration service to provide traceability for users of marine acoustic recorders over this vital low frequency range. Finally, this paper provides a discussion of how the work described here feeds into a European initiative to provide improved traceability and more robust metrology infrastructure to catch up with the rapidly evolving legislative framework.



## Calibration standards for hydrophones and autonomous underwater noise recorders for frequencies below 1 kHz: current activities of EMPIR “UNAC-LOW” project

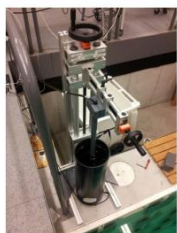


Figure 4. Overview of the setup for low frequency hydrophone calibration using the standing wave tube method.

**Autor:** Biber, A., Korakci, A. C., Golick, A., Robinson, S., Hayman, G., Ablitt, J., ... & Curcuruto, S.

**Publicado en:** 2018. *ACTA IMEKO*, 7(2), 32-38.;

doi: 10.21014/acta\_imeko.v7i2.542

### Abstract:

The project entitled “UNderwater Acoustic Calibration standards for frequencies beLOW 1 kHz” (“UNAC-LOW”), currently active within the European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR), is presented by describing its objectives and current activities. The project aims at developing the metrological capacity of the European Union (EU) for the calibration of hydrophones and autonomous recording systems for the frequency range between 20 Hz and 1 kHz, for which traceability is presently not fully available. In this way, EU metrological capacities for absolute measurement of underwater sound will be improved, with a direct effect on the implementation of regulation and EU Directives that require underwater acoustic measurements to be traceable. After having completed the initial project tasks regarding the review of existing methods and the design of the experimental setups, comparison measurements between the project partners are currently under way and their results will be validated and presented upon project end after first quarter of 2019. To ensure long-term operation of the calibration capabilities by each partner, a coherent EU metrology strategy for underwater acoustics will be developed as one of the main project outcomes. Current activities include the implementation of the calibration setups developed in earlier stages of the project for both hydrophones and autonomous recorders. The methods that shall be used for hydrophones are the pressure method in a closed chamber and the standing wave tube method. For autonomous recorders, in addition to the above methods, calibrations will be performed using free-field methods in different open-water test sites possessing suitable characteristics for low frequency measurements.



## Calibration of a Digital Hydrophone Line Array at Low Frequency

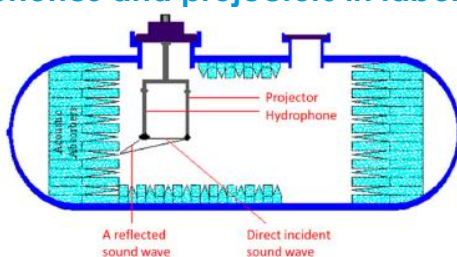
**Autor:** Crocker, S. E., & Smalley, R. R.

**Publicado en:** 2016. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 41(4), 1020-1027.; doi: 10.1109/JOE.2016.2527118

### Abstract:

The challenges of comparison calibrations of hydrophones in linear arrays at low frequencies are inherent in the length of the array, number of hydrophones, difficulty in achieving free-field conditions, and lack of a suitable low-frequency projector. These challenges were addressed by the development of complementary methods to simultaneously measure the complex sensitivity in the acoustic data channels of hydrophone line arrays with digital telemetry systems. The voltage sensitivities and RC time constants of the array data channels were then estimated by nonlinear regression of calibration data to a simplified model of the acoustic data channel. The methods are demonstrated by the simultaneous calibration of 200 data channels of a digital hydrophone line array at 1/3 octave band center frequencies ranging from 1.2 to 400 Hz. The 95% confidence interval of the voltage sensitivity estimates was not more than 1 dB.

## Signal-modelling methods applied to the free-field calibration of hydrophones and projectors in laboratory test tanks



**Autor:** Robinson, S. P., Hayman, G., Harris, P. M., & Beamiss, G. A.

**Publicado en:** 2018. *Measurement Science and Technology*, 29(8), 085001; doi: 10.1088/1361-6501/aac752

### Abstract:

In reverberant laboratory tanks, free-field acoustic calibrations using hydrophones and projectors are limited by the arrival of boundary reflections, and by start-up transients caused by the resonant behaviour of the transducers. This paper describes the application of a signal modelling method which enables measurements to be undertaken at acoustic frequencies below the limits imposed by the echo-free time of the test tank. In the approach, the signals obtained during calibration are modelled,

initially by a simple model for the steady-state transducer response, and then by an extended model consisting of terms that are used to describe both the steady-state and resonant behaviours of the device(s). This model may be further extended to include terms that describe the response both to the direct signal and to reflections of the signal from the tank boundaries. A non-linear least-squares problem involving data for all discrete frequencies of measurement is then solved to provide improved estimates of the model parameters and echo arrival times. The method is applied to the calibration of low Q-factor transducers such as hydrophones in the frequency range 250 Hz-1 kHz, and to high Q-factor source transducers in the frequency range 1 kHz-5 kHz, using measurements undertaken in a modest-sized tank where the echo-free time does not allow steady-state conditions to be reached. The calibrations were validated by comparison with both pressure calibrations in a small coupler, and free-field calibrations at an open water facility, with the agreement obtained of better than 1 dB, well within expanded uncertainties (which range between 0.5 and 1.2 dB).

#### COOMET.AUV.W-S1 supplementary comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 250 Hz to 8 kHz

**Autor:** Isaev, A. E., Yi, C., Mateev, A. N., & Zihong, P.

**Publicado en:** 2015. *Metrologia*, 52(1A), 09001; doi: 10.1088/0026-1394/52/1A/09001

#### **Abstract:**

A description is given of COOMET.AUV.W-S1 supplementary comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 250 Hz to 8 kHz between Hangzhou Applied Acoustics Research Institute-a pilot and Russian National Research Institute for Physicotechnical and Radio Engineering Measurements. Two standard hydrophones of TC 4033 and GI 55 were calibrated in this comparison. Reciprocity method, comparison methods, and their facilities were used to assess the current state of free-field hydrophone calibration in the frequency range 250 Hz to 8 kHz of China and Russia. The consistency of calibration results between two participants was confirmed, and the maximum deviation observed was 0.59 dB at frequency 400 Hz.

## Evaluation of uncertainty in the free-field calibration of hydrophones by the three-transducer spherical wave reciprocity method

**Autor:** Robinson, S., Hayman, G., & Ablitt, J.

**Publicado en:** 2016. *NTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings* (Vol. 253, No. 2, pp. 6332-6341). *Institute of Noise Control Engineering*.

### Abstract:

The primary method adopted for free-field calibration of underwater acoustic transducers in the frequency range 250 Hz to 500 kHz by the UK National Physical Laboratory is the method of three-transducer spherical wave reciprocity. This paper describes the evaluation of measurement uncertainty associated with estimates of the transducer transmitting and receiving sensitivities provided by NPL's implementation of this calibration method. Consideration is given to formulating the problem of uncertainty evaluation in terms of a measurement model, which is developed from a sequence of sub-models that describe different aspects of the measurement and the available information about the input quantities. A comparison is made of the results obtained using conventional 'uncertainty propagation' and a Monte Carlo method as approaches to solving the formulated problem. The sensitivity of the results obtained to assumptions about the correlations associated with influence quantities in the calibration and the reliability of the available information about those quantities is investigated.

## Transfer coupler reciprocity: A new low-frequency coupler-reciprocity technique for the absolute calibration of field hydrophones under full environmental conditions

**Autor:** Zalesak, J. F.

**Publicado en:** 1999. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 105(4), 2342-2349.; doi: 10.1121/1.426840

### Abstract:

The reciprocity coupler system in the Low-Frequency Facility (LOFAC) at the Underwater Sound Reference Division (USRD) of the Naval Undersea Warfare Center is a closed-chamber environmentally controlled system for the absolute calibration of standard hydrophones at low frequencies. There is a need to



extend this capability to field hydrophones that are not specifically designed for use in a reciprocity coupler. The transfer reciprocity method described here is an answer to this need. An error analysis is presented indicating the current state of the existing reciprocity coupler including the transfer reciprocity method. The analysis shows that there is a systematic error which can be eliminated by correcting the sensitivities obtained using the transfer reciprocity method. This correction has a frequency independent component of 0.31 dB and a frequency dependent component of 0.1 dB at 700 Hz and 1.0 dB at 2000 Hz. After correction for the systematic error, the uncertainty in sensitivity is  $\pm 0.25$  dB for frequencies below 1000 Hz, growing to  $\pm 0.35$  dB for frequencies near 2000 Hz.

### Hydrophone Calibration at Very Low Frequencies

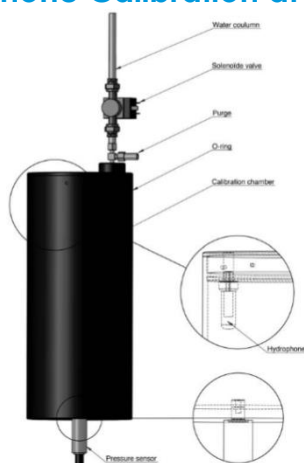


Figure 3. Mechanical setup of the calibration method. The upper and lower enlargements show the hydrophone and the second pressure sensor assemblies, respectively.

**Autor:** Joubert, C., Nolet, G., Sukhovich, A., Oge, A., Argentino, J. F., & Hello, Y.

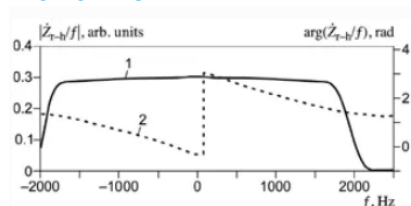
**Publicado en:** 2015. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 105(3), 1797-1802.; doi: 10.1785/0120140265

#### Abstract:

We propose a new method to study the response of a hydrophone at very low frequencies. In our method, the hydrophone is placed in a calibration chamber filled with water and, by instantaneously changing the water height, an abrupt pressure increase of about 1000 Pa is produced. The pressure variation mathematically corresponds to an input signal close to a step function. The response is recorded after filtering and digitizing so that we obtain the response of the complete system.

We also report on the development of an automatic method to determine the number of poles and zeros and their values that describe the observed response. We apply our method to the RAFOS II hydrophone, used on the Mobile Earthquake Recorder in Marine Areas by Independent Divers (MERMAID) floats. As an illustration of the method, an instrumental response in terms of poles and zeros is used to correct seismograms from the 7 April 2014 (M-w 4.8) Barcelonnette earthquake, recorded by three MERMAIDs deployed in the Mediterranean Sea, and to express the observed signals in pascals.

## Nuevas técnicas de calibración de hidrófonos en baja frecuencia con relación a la MSFD



**Autor:** Felis, I., Cervantes, P., Ruiz, P., Martínez, R., & Er-rachdi, H.

**Publicado en:** 2018. *Measurement Techniques*, 61(1), 72-78.; doi: 10.1007/s11018-018-1390-9

### Abstract:

Para cumplir con parte de los requisitos del Descriptor 11, referente a la cuantificación de ruido subacuático, de la directiva marco de estrategia marina (MSFD), resulta necesario realizar mediciones por debajo de 10 kHz. Para la calibración de hidrófonos en este rango de frecuencias según los estándares internacionales (IEC60565), se requiere emplear instalaciones de grandes dimensiones, que permitan contar con tiempos sin ecos muy grandes. En esta presentación, el CTN plantea nuevas técnicas de calibración de hidrófonos, más allá de los estándares, que permiten realizar calibraciones en bajas frecuencias en instalaciones con dimensiones más moderadas. Los métodos basados en la emisión de señales de ancho (sweep) de banda junto con técnicas de procesamiento de señal que ayuden a la discriminación espacial de señales (correlación cruzada) son la base para el desarrollo de estas nuevas técnicas de calibración.

## Source characterization using recordings made in a reverberant underwater channel

**Autor:** Gemba, K. L., & Nosal, E. M.

**Publicado en:** 2016. *Applied Acoustics*, 105, 24-34.; doi: 10.1016/j.apacoust.2015.11.008

### Abstract:

The ability to accurately characterize an underwater sound source is an important prerequisite for many applications including detection, classification, monitoring and mitigation. Unfortunately, anechoic underwater recording environments required to make ideal recordings are generally not available. This paper presents a practical approach to source characterization when working in an imperfect recording environment; the source spectrum is obtained by equalizing the

recording with the inverse of the channel's impulse response (IR). An experiment was conducted in a diving well (depth of 5.18 m) using a logarithmic chirp to obtain the IR. IR length is estimated using methods borrowed from room acoustics and inversion of non-minimum phase IR is accomplished separately in the time and frequency domain to allow for a direct comparison. Results indicate that the energy of controlled sources can be recovered with root-mean-square error of -70 dB (10-70 kHz band). Two equations, one coherent and the other incoherent, are presented to calculate source spectral levels of an unknown source in a reverberant environment. This paper introduces a practical procedure outlining steps to obtain an anechoic estimate of an unknown source using equipment generally available in an acoustic laboratory.

## 5.2 Patentes

En relación a la calibración de hidrófonos se han identificado algo más de 100 patentes, que se distribuyen geográficamente según el mapa a continuación. El listado completo puede consultarse en el Anexo I.

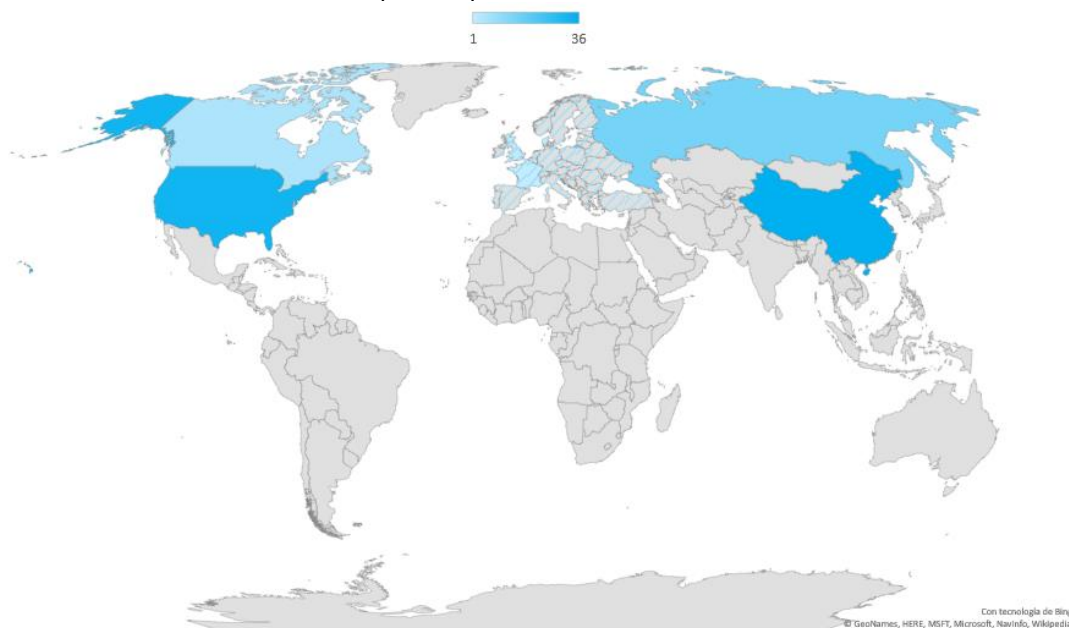


Ilustración 3. Distribución por oficinas de patentes de calibración de hidrófonos

El siguiente gráfico muestra los principales solicitantes.



## Principales solicitantes

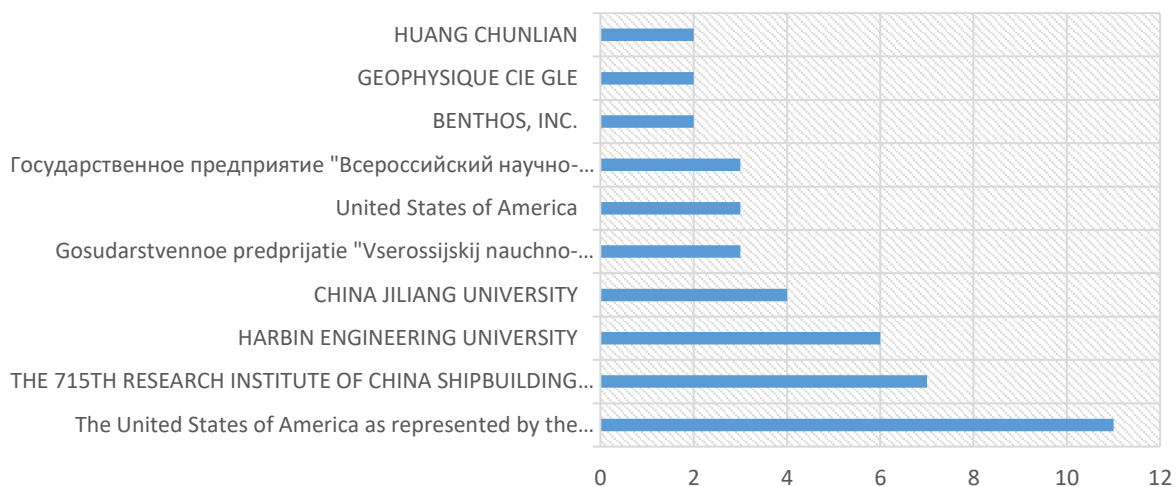


Ilustración 4. Principales solicitantes de patentes de calibración de hidrófonos

Por último, la siguiente gráfica muestra la evolución cronológica de las solicitudes de patentes de calibración de hidrófonos.

## Evolución cronológica

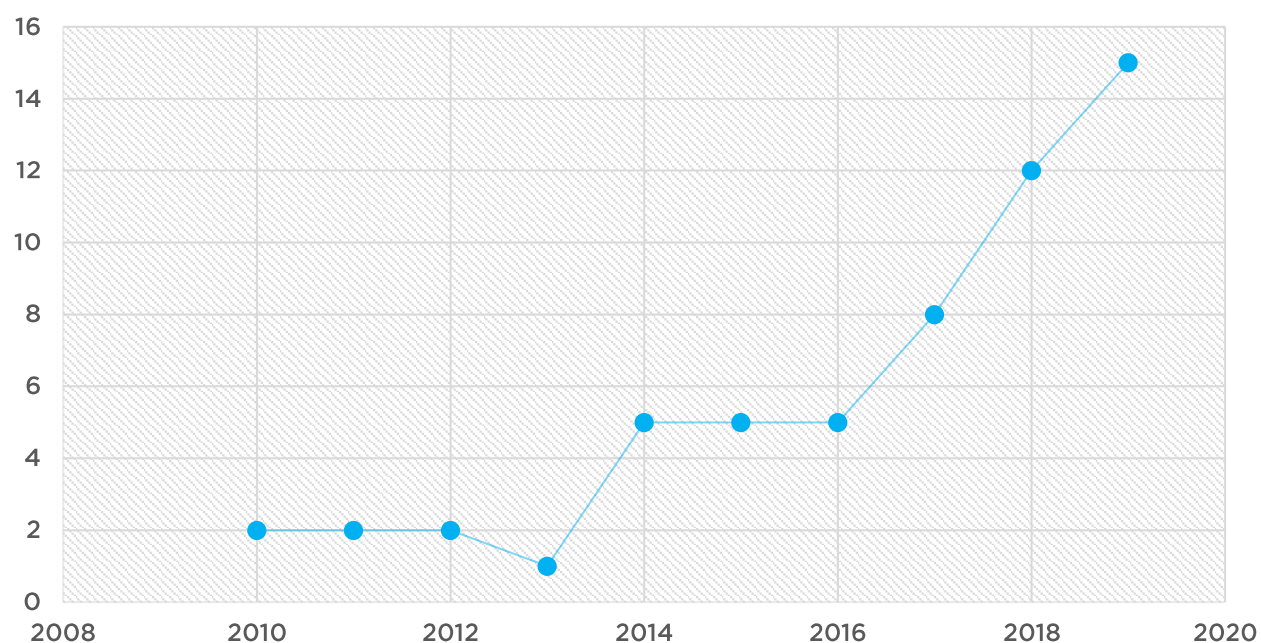


Ilustración 5. Evolución cronológica de las patentes de calibración de hidrófonos





## 5.3 Proyectos

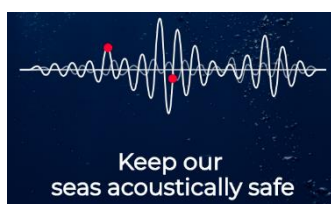
### UNAC-LOW: UNderwater Acoustic Calibration standards for frequencies beLOW 1 kHz

**Financiado por:** European Metrology Programme for Innovation and Research (EMPIR)

**Periodo de financiación:** Junio 2016 –

+ INFO

#### Resumen:



The Space@Sea project aims to develop multi-use platforms with the objective to develop safe and cost efficient deck space at sea. Due to the increasing population and scarce usable space on land, there is an increasing need for sustainable food and renewable energy from the ocean. In the future these will be supplied more and more by fish- and seaweed farms and ocean energy(floating) wind turbines. There are also geographical locations where additional housing or logistic hubs are needed. All these developments need a flexible and scalable concept that can support a multitude of activities at sea.

Space@Sea consists of a group of companies, research institutes and universities that will develop a modular concept for multi-use platforms. Standardised floaters that can be produced at low cost will form the basis. The approach will reduce the cost through standardisation in a similar way that containers reduced the cost of transport in the past.

Each floater can support a different function, such as: housing, renewable energy hub, aquafarming (seaweed, algae and fish farms) and logistics equipment. By combining the applications in different ways, Space@Sea will form islands according to the specifications for the location and function at hand. Three specific islands will be validated and demonstrated as part of Space@Sea: An energy hub in the North Sea, aquaculture in the Mediterranean and a floating logistics hub in the Black Sea.

To develop a safe and economically viable floating island, a floater need to be developed that can meet the requirements of the various applications and environmental conditions. At the same time these requirements will be brought together into a standardized design. Technology developments are required for

the floater, the shared mooring system, coupling between the floaters and application specific developments.  
The Space@Sea consortium aims to overcome these challenges for a sustainable and cost efficient development of our oceans.

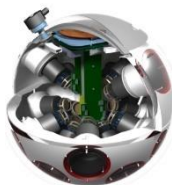
### KM3NeT: Hydrophone Calibration of the SMO acoustic antenna

**Financiado por:** KM3NeT

**Periodo de financiación:** marzo 2013 – agosto 2014

+ INFO

#### Resumen:



Within the activities of KM3NeT Italia, a prototype neutrino detector was deployed the 23rd March 2013 and operated until August 2014. The prototype is a three dimensional “tower-like” mechanical structure, made of 8 stories (8 m horizontal length) interconnected by ropes, anchored on the sea bed (3500 m depth) and kept in tension by appropriate buoy, reaching a vertical extension of about 500 m above the seabed. The prototype tower hosts 4 optical modules and 2 hydrophones at each storey, two CTDs and one Doppler current sensor. All sensors are digitized underwater and data are sent continuously to shore via a vertical backbone and a 100 km-long electro optical cable, used also to provide power to the detector from the shore laboratory, in the harbour of Capo Passero (South East Sicily).

The hydrophones form an acoustic antenna designed, built and installed within the SMO (Submarine Multidisciplinary Observatory) project. Innovative readout electronics was developed to obtain underwater GPS time stamping of hydrophone data with accuracy better than 1 $\mu$ s. The SMO hydrophones fulfill three tasks: provide acoustic positioning to the detector, monitor the acoustic noise in the aim of searching for acoustic neutrino signals and detect biological signals of cetaceans. In this contribution, we present the calibrations of these acoustic sensors made through calibrated emitters.

## Bilateral comparison in hydrophone calibration up to 50 MHz

**Financiado por:** Euramet

**Periodo de financiación:** enero 2009 – abril 2014

**+ INFO**

### Resumen:

Hydrophones are an indispensable part of procedures for the determination of output parameters of ultrasound machines for any diagnostic, therapeutic or technical application. Following the current trend of increasing application frequencies in ultrasound NPL and PTB extended the frequency range of their primary calibration facilities to and beyond 50 MHz. Although both laboratories already offer quality management assisted and/or accredited measurement services at higher frequencies, an evaluation of the calibration results on an international level is still missing.

In this project a key comparison on hydrophone calibration will be carried out in a frequency range between 1 MHz and 50 MHz. Both laboratories will use their primary interferometric techniques for the determination of the frequency response of two hydrophones. Two hydrophones, one provided by each laboratory, will be used during the comparison. They will be chosen to provide different performance characteristics. Several parameters, such as the spot geometry and diameter, layer thickness and manufacturing process will be varied. This is important to clarify possible differences or inconsistencies of measurement results. A final report will summarize all results. The rules of bilateral comparisons for RMO or BIPM key comparisons will be applied..



## An Intercomparison to Validate Calibration Methods for Hydrophones in the Frequency range 10-315 kHz

**Financiado por:** FP3-MAST 2

**Periodo de financiación:** noviembre 1994 – octubre 1996

+ INFO

### Resumen:



The aim of the project is to carry out a European intercomparison of hydrophone calibrations in the frequency range 10-315 kHz in order to validate existing standards and methods and to identify areas where improvements are required.

The project is organised on a concerted action basis, with a total of 12 participants from 7 European countries (Belgium, Denmark, France, Germany, Italy, Sweden and the UK). The intercomparison is organised in a "radial" fashion, with each participant calibrating three hydrophones over the above frequency range and submitting the results to the coordinator for compilation.

The project is coordinated by the National Physical Laboratory (NPL) in the UK. In addition to project management, NPL's responsibility is to purchase the hydrophones, prepare a procedure document, carry out reference calibrations of the hydrophones at the start and the end of the intercomparison, circulate the hydrophones to the participants, carry out interparticipant checks on the hydrophones, and analyze the results and prepare a synthesis report.

The results of the project will provide an assessment of the quality of hydrophone calibrations within Europe in this frequency range and provide a first step toward the harmonization of calibrations for underwater acoustic transducers.

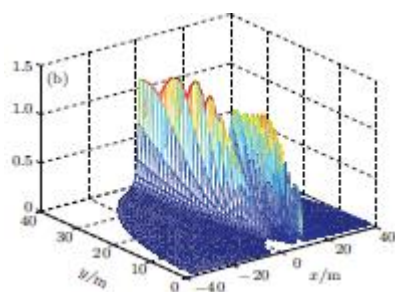


## A geometric calibration method of hydrophone array with known sources in near field under strong multipath

**Financiado por:** National High Technology Research and Development Program of China (Grant No. 2013AA09A503), the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 51279043, 61201411), and the Navy Equipment Pre-Research Foundation, China (Grant No. 1011204030104)

+ INFO

### Resumen:



In order to meet the demand of underwater acoustic array calibration in near field with strong reflection, a high-precision geometric calibration method with known sources is proposed. Colligating the principles of non-plane wave model of point source and the Taylor approximation, a two-dimensional geometry error model for near field is established. And then the line mapping relationship is obtained between geometric error of sensors and signal eigen vector. Cramer-Rao bound (CRB) of this mode is deduced and analyzed. The influence of multipath on geometric calibration is studied. The strong reflections are compared to the coherent sources at a known position, and the compensation strategy is realized. The results from theory and simulation show that the precision of geometry calibration technique with accessorial sources in near field is high and it is close to the CRB in the case of low SNR. The method has a certain tolerance for the position error of accessorial sources. And it is applicable for multipath. Pool test results further verify the correctness of these results.

## 5.4 Noticias

### Gas Bubble Forensics Team Surveils the New Zealand Ocean

**Publicado en:** Earth & Space Science News

**Fecha:** 26/09/2019

Synthetic image of the Calypso hydrothermal vent field showing sites where streams of gas bubbles rise from the seafloor. The intensity of a bubble's acoustic signal and whether it generates an echo on a ship's sonar screen is related to the bubble's acoustic scattering cross section, which quantifies the ability of a bubble to reflect the acoustic energy of an incoming acoustic wave back to the echo sounder.

These requirements include calibration of the acoustic devices used to study the bubbles, multifrequency measurements of the backscatter strength of individual bubbles within a plume and how the frequency response of a bubble changes with the sonification angle, and visual observations for ground truthing. A robust and complete calibration of all systems was conducted at the start of the survey to enable cross correlation between the multiple echo sounder systems.

The swath echograms revealed the presence of multiple acoustic flares, and the map of the sum of all echoes within the water column projected on the seafloor highlighted the importance of both the geometry and intensity of the flares and the spatial distribution of the vents on the seafloor.

[Ver noticia](#)

### New Acoustic Test Facility at COVE in Nova Scotia

**Publicado en:** Marine Technology News

**Fecha:** 19/09/2019

SensorTech has announced the acquisition of an acoustic test tank that will serve as the primary test facility for prototype acoustic evaluation of underwater devices. The facility will be located at our hydrophone and transducer manufacturing facility at COVE, in Nova Scotia.

[Ver noticia](#)



### Underwater soundscapes reveal differences in marine environments

**Publicado en:** Science Daily

**Fecha:** 04/09/2019

Storms, boat traffic, animal noises and more contribute to the underwater sound environment in the ocean, even in areas considered protected, a new study from Oregon State University shows.

Passive acoustic monitoring is seen as a cost-effective and low-impact method for monitoring the marine environment. The researchers' goal was to test how effective acoustic monitoring would be for long-term assessment of underwater conditions.

The researchers collected low frequency, passive acoustic recordings from each of the locations between 2014 and 2018. They compared ambient sounds as well as sounds of humpback whales, a species commonly found in all four locations.

[Ver noticia](#)

### Feds announce noise-monitoring project to protect endangered whales

**Publicado en:** The Star Vancouver

**Fecha:** 22/10/2018

The federal government and the Vancouver Fraser Port Authority have installed a hydrophone in Boundary Pass to gauge noise pollution created by marine vessels as part of efforts to protect endangered orcas in the Salish Sea...

[Ver noticia](#)



## 6. Legislación y normativa

Indicad si este apartado procede o no. En caso de que proceda, si conocéis normativa que pueda aplicar, añadir.

### 6.1 La Directiva Marco sobre la Estrategia Marina – MSFD

Aunque no hay una legislación específica sobre calibración de hidrófonos, en la MSFD se definen criterios como el D11C1 (ruido impulsivo) y el D11C2 (ruido ambiente).

Esta Directiva Marco (Marine Strategy Framework Directive-MSFD) es el principal marco legislativo sobre el medio ambiente marino para todos los Estados Miembros de la Unión Europea. Se publicó en 2008 y tiene como principal objetivo que los mares y océanos alcancen o mantengan un Buen Estado Ambiental (BEA) para el año 2020.

La Directiva Marina es un marco de acción común para mantener la biodiversidad y preservar la diversidad y el dinamismo de unos océanos y mares que sean limpios, sanos y productivos, cuyo aprovechamiento sea sostenible. En ella se establecen once descriptores cualitativos para determinar el buen estado ambiental entre los que se encuentra el “Descriptor 11(D11)”.

### 6.2 Normativa, guías, recomendaciones y otros recursos

- 💧 **Underwater acoustics - Hydrophones.** Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz (IEC 60565:2006). (Endorsed by AENOR in May of 2007.)
- 💧 **Underwater acoustics – Hydrophones.** Procedures For Calibration of Underwaater Electroacoustic Transducers (ANSI/ASA S1.20-2012)
- 💧 **Underwater acoustics – Echosounders.** Calibration of acoustic instruments (ICES)
- 💧 **MSFD: Recomendaciones del TGNOISE** para campañas de medición:
  - Part I - [Executive Summary](#).
  - Part II: [Monitoring Guidance Specifications](#).
  - Part III: [Background Information and Annexes](#).



- **Guía sobre la calibración de hidrófonos** para la realización de campañas de monitorización de ruido en el Mediterráneo. Proyecto QuietMED. (Fecha prevista de publicación: 2018).
- **Laboratorio de hidroacústica** para apoyo en proyectos de I+D y caracterización acústica de todo tipo de equipos submarinos.
- **NPL**: Portal web sobre acústica submarina del National Physical Laboratory.



## 7. Bibliografía

- AENOR. (2011). Gestión de la I+D+i: Sistema de vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. *UNE 166000 EX, UNE 166001 EX, UNE 166002 EX*. Madrid: AENOR.
- CETISME, P. (2003). *Inteligencia Económica y Tecnológica. Guía para principiantes y profesionales*. Comunidades Europeas.
- Degoul, P. (1992). *Le pouvoir de l'information avancée face au règne de la complexité*. Annales de Mines.
- Escorsa, P. R. (2001). *De la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva*. Pearson Educación.
- Escorsa, Pere, Pilar Lázaro Martínez, Círculo de Innovación en Biotecnología. (2007). *Intec: la inteligencia competitiva, factor clave para la toma de decisiones estratégicas en las organizaciones*. Colección *mi+d*. Fundación Madri+d para el Conocimiento.
- F. Palop, J. V. (Febrero de 1995). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. *Estudios Cotec*, nº 15. Cotec.
- Isaev, A., & Nikolaenko, A. (2018). Laboratory Free-Field Calibration of a Hydroacoustic Receiver at Low Frequencies. *TECNIACUSTICA'18*.
- Malarkodi, A., Latha, G., Sridhar, P., & Bøgholm, N. (2018). Design Considerations and Establishment of a Low Frequency Hydrophone Calibration Setup using the Principle of Vibrating Water Column. *International Journal of Acoustics and Vibration*, 23(1), 44-48. doi:10.20855/ijav.2018.23.11102
- Slater, W., Crocker, S., & Baker, S. (2017). A primary method for the complex calibration of a hydrophone from 1 Hz to 2 kHz. *Metrologia*, 55(1), 84. doi:10.1088/1681-7575/aa87f7



## Anexo I. Patentes

| Application Id               | Application Date | Publication Number | Publication Date | Country | Title                                                                                                                                                                            | Applicants                                                      |
|------------------------------|------------------|--------------------|------------------|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| <a href="#">US38544895</a>   | 05.12.1994       | 5530678            | 25.06.1996       | US      | Real-time calibration acoustic array                                                                                                                                             | Alliant Techsystems Inc.                                        |
| <a href="#">CA94642042</a>   | 25.09.1992       | 2079179            | 28.03.1993       | CA      | METHOD FOR CORRECTING IMPULSE RESPONSE DIFFERENCES OF HYDROPHONES AND GEOPHONES AS WELL AS GEOPHONE COUPLING TO THE WATER-BOTTOM IN DUAL-SENSOR, BOTTOM-CABLE SEISMIC OPERATIONS | BARR, FREDERICK J.; SANDERS, JOE I.                             |
| <a href="#">CN85294288</a>   | 23.05.2012       | 102662007          | 12.09.2012       | CN      | Phased array ultrasonic transducer sound field scanning method                                                                                                                   | Beijing Institute of Technology                                 |
| <a href="#">WO2001065278</a> | 29.01.2001       | WO/2001/065278     | 07.09.2001       | WO      | PRESSURE-SENSITIVE SWITCH, ITS METHOD OF CALIBRATION AND USE IN A HYDROPHONE ARRAY                                                                                               | BENTHOS, INC.                                                   |
| <a href="#">CA94006374</a>   | 29.01.2001       | 2401008            | 07.09.2001       | CA      | PRESSURE-SENSITIVE SWITCH, ITS METHOD OF CALIBRATION AND USE IN A HYDROPHONE ARRAY                                                                                               | BENTHOS, INC.                                                   |
| <a href="#">US37624635</a>   | 17.10.1984       | 4648078            | 03.03.1987       | US      | Remote calibration of acoustic transducer array                                                                                                                                  | Britoil Public Ltd. Co.; Standard Telephone and Cables Ltd. Co. |
| <a href="#">GB137542690</a>  | 22.02.2012       | 2488425            | 04.04.2012       | GB      | Method for PZ summation of 3-dimensional wide                                                                                                                                    | CGGVERITAS SERVICES SA                                          |



|                             |            |           |            |    |                                                                                                                                                     |                                   |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|
|                             |            |           |            |    | azimuth receiver gathers and device                                                                                                                 |                                   |
| <a href="#">CN209362593</a> | 10.08.2017 | 107479029 | 15.12.2017 | CN | Umbrella type underwater acoustic source detection device and calibration and detection method thereof                                              | CHINA JILIANG UNIVERSITY          |
| <a href="#">CN198383377</a> | 21.10.2016 | 106646433 | 10.05.2017 | CN | Discrete array for measuring sound field characteristic of underground sound source                                                                 | CHINA JILIANG UNIVERSITY          |
| <a href="#">CN198569460</a> | 21.11.2016 | 206161143 | 10.05.2017 | CN | Portable supersound power detection device based on near field measurement                                                                          | CHINA JILIANG UNIVERSITY          |
| <a href="#">US37432731</a>  | 19.08.1982 | 4486862   | 04.12.1984 | US | Determination of system response                                                                                                                    | Commonwealth of Australia         |
| <a href="#">US38791531</a>  | 22.01.1997 | 5757720   | 26.05.1998 | US | Processing method for calibrating a hydrophone-geophone sensor pair, and a seismic prospecting method implementing the processing                   | Compagnie General de Geophysique  |
| <a href="#">CA93759971</a>  | 20.01.1997 | 2195496   | 24.07.1997 | CA | PROCEDE DE TRAITEMENT DE CALIBRATION D'UNE PAIRE DE CAPTEURS HYDROPHONE/GEOPHONE ET PROCEDE DE PROSPECTION SISMIQUE METTANT EN OEUVRE CE TRAITEMENT | COMPAGNIE GENERALE DE GEOPHYSIQUE |
| <a href="#">EP250368794</a> | 31.07.2017 | 3523682   | 14.08.2019 | EP | CALIBRATION OF GEOPHONE AND HYDROPHONE PAIRS                                                                                                        | FAIRFIELD IND INC                 |



|                              |            |                |            |    |                                                                                                                                                     |                                                                   |
|------------------------------|------------|----------------|------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">US250360416</a>  | 24.04.2019 | 20190250306    | 15.08.2019 | US | CALIBRATION OF GEOPHONE AND HYDROPHONE PAIRS                                                                                                        | Fairfield Industries Incorporated d/b/a Fairfield Geotechnologies |
| <a href="#">US214330494</a>  | 04.10.2016 | 20180095189    | 05.04.2018 | US | Calibration of geophone and hydrophone pairs                                                                                                        | Fairfield Industries Incorporated; Fairfield Geotechnologies      |
| <a href="#">WO2018067223</a> | 31.07.2017 | WO/2018/067223 | 12.04.2018 | WO | CALIBRATION OF GEOPHONE AND HYDROPHONE PAIRS                                                                                                        | FAIRFIELD INDUSTRIES, INC.                                        |
| <a href="#">US36093643</a>   | 15.07.1963 | 3224246        | 21.12.1965 | US | Low frequency hydrophone calibration                                                                                                                | FRED SCHLOSS; MURRAY STRASBERG                                    |
| <a href="#">US38196666</a>   | 13.05.1992 | 5210718        | 11.05.1993 | US | Calibration of seismic streamers in a Helmholtz resonator                                                                                           | Geco A.S.                                                         |
| <a href="#">EP12885203</a>   | 22.01.1997 | 0786670        | 30.07.1997 | EP | Procedure for calibration processing of a hydrophone/geophone sensor pair and procedure for seismic prospection implementing this processing        | GÉOPHYSIQUE CIE GLE                                               |
| <a href="#">FR187563351</a>  | 23.01.1996 | 2743896        | 25.07.1997 | FR | PROCEDE DE TRAITEMENT DE CALIBRATION D'UNE PAIRE DE CAPTEURS HYDROPHONE/GEOPHONE ET PROCEDE DE PROSPECTION SISMIQUE METTANT EN OEUVRE CE TRAITEMENT | GÉOPHYSIQUE CIE GLE                                               |



|                            |            |          |            |    |                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|------------|----------|------------|----|---------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">RU29351402</a> | 05.06.1995 | 02141742 | 20.11.1999 | RU | METHOD FOR CALIBRATION OF HYDROPHONES | Gosudarstvennoe predpriyatie "Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut fiziko-tekhnicheskikh i radiotekhnicheskikh izmerenij";<br>Государственное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений" |
| <a href="#">RU29277708</a> | 05.06.1995 | 95109282 | 27.04.1997 | RU | PROCESS OF CALIBRATION OF HYDROPHONES | Gosudarstvennoe predpriyatie "Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut fiziko-tekhnicheskikh i radiotekhnicheskikh izmerenij";<br>Государственное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений" |





|                            |            |          |            |    |                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|----------------------------|------------|----------|------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">RU29352833</a> | 05.06.1995 | 02144284 | 10.01.2000 | RU | METHOD FOR CALIBRATION OF REVERSIBLE PIEZOELECTRIC TRANSDUCER AND DEVICE WHICH IMPLEMENTS SAID METHOD                                                                            | Gosudarstvennoe predpriyatie "Vserossijskij nauchno-issledovatel'skij institut fiziko-tekhnicheskikh i radiotekhnicheskikh izmerenij";<br>Государственное предприятие "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений" |
| <a href="#">RU29329038</a> | 17.04.1997 | 02119728 | 27.09.1998 | RU | METHOD FOR MEASURING HYDROPHONE SENSITIVITY IN SEA                                                                                                                               | Gosudarstvennoe predpriyatie Konstruktorskoe bjuro "Spetsvuzavtomatika";<br>Государственное предприятие Конструкторское бюро "Спецвузавтоматика"                                                                                                                        |
| <a href="#">US38186567</a> | 27.09.1991 | 5163028  | 10.11.1992 | US | Method for correcting impulse response differences of hydrophones and geophones as well as geophone coupling to the water-bottom in dual-sensor, bottom-cable seismic operations | Halliburton Geophysical Services, Inc.                                                                                                                                                                                                                                  |
| <a href="#">US38274197</a> | 10.03.1992 | 5235554  | 10.08.1993 | US | Method for correcting impulse response differences of hydrophones and geophones as well as geophone coupling to the                                                              | Halliburton Geophysical Services, Inc.                                                                                                                                                                                                                                  |



|                             |            |           |            |    |                                                                                                                                |                               |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
|                             |            |           |            |    | water-bottom in dual-sensor, bottom-cable seismic operations                                                                   |                               |
| <a href="#">CN197120365</a> | 03.08.2016 | 106124025 | 16.11.2016 | CN | Calibration device and calibration method for equivalent self noise acceleration spectrum level of low-noise vector hydrophone | HARBIN ENGINEERING UNIVERSITY |
| <a href="#">CN225672170</a> | 28.02.2018 | 108469298 | 31.08.2018 | CN | Standing wave tube vector hydrophone calibration low frequency correction method                                               | Harbin Engineering University |
| <a href="#">CN84824732</a>  | 17.05.2011 | 102252744 | 23.11.2011 | CN | Real-time calibration device suitable for co-vibrating type vector hydrophone                                                  | Harbin Engineering University |
| <a href="#">CN237941865</a> | 01.09.2018 | 109324320 | 12.02.2019 | CN | Method for batch calibration of hydrophones by using reverberation pool                                                        | Harbin Engineering University |
| <a href="#">CN243764210</a> | 08.03.2019 | 109839627 | 04.06.2019 | CN | Sonar detection distance measurement value metering and calibration system and method under pool condition                     | Harbin Engineering University |
| <a href="#">CN194484762</a> | 09.11.2016 | 106501795 | 15.03.2017 | CN | Method of using reverberation pool to carry out reciprocity calibration of underwater acoustic transducer                      | Harbin Engineering University |



|                             |            |           |            |    |                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|----|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">CN231665300</a> | 21.03.2018 | 108594238 | 28.09.2018 | CN | Hydroacoustic transducer electroacoustic performance calibration device and calibration method based on transient signal | Harbin Engineering University                                                                                                                                                                              |
| <a href="#">CN131757980</a> | 02.12.2014 | 104407340 | 11.03.2015 | CN | Device and method for calibrating lineup of dragging linear array                                                        | HOHAI UNIVERSITY, CHANGZHOU                                                                                                                                                                                |
| <a href="#">US37673324</a>  | 13.08.1986 | 4693336   | 15.09.1987 | US | Underwater seismic testing                                                                                               | Horizon Exploration Limited                                                                                                                                                                                |
| <a href="#">CN197577625</a> | 05.06.2016 | 205664930 | 26.10.2016 | CN | Vector hydrophone calibration system                                                                                     | HUANG CHUNLIAN                                                                                                                                                                                             |
| <a href="#">CN197577530</a> | 03.06.2016 | 205664929 | 26.10.2016 | CN | Level sensor automatic correcting device vows in pond                                                                    | HUANG CHUNLIAN                                                                                                                                                                                             |
| <a href="#">CN228743891</a> | 29.03.2018 | 108519146 | 11.09.2018 | CN | Optical fiber vector hydrophone demodulation system based on ZYNQ series FPGA                                            | NATIONAL UNIVERSITY OF DEFENSE TECHNOLOGY OF PLA                                                                                                                                                           |
| <a href="#">SU28280130</a>  | 04.04.1991 | 01775875  | 15.11.1992 | SU | PIEZOELECTRIC COMPENSATION METHOD OF HYDROPHONE CALIBRATION AND A CALIBRATING DEVICE                                     | NAUCHNO-<br>ISSLEDOVATELSKIJ INSTITUT<br>"SHTIL"; НАУЧНО-<br>ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ<br>ИНСТИТУТ "ШТИЛЬ"                                                                                                         |
| <a href="#">RU29299578</a>  | 19.05.1993 | 02090984  | 20.09.1997 | RU | HYDROPHONE SENSITIVITY MEASUREMENTS ON BOARD SEA-GOING SHIPS BY METHOD OF COMPARISON IN LOW-FREQUENCY RANGE              | Nauchno-<br>proizvodstvennoe<br>ob"edinenie "Vserossijskij<br>nauchno-issledovatel'skij<br>institut fiziko-tekhicheskikh i<br>radiotekhnicheskij<br>izmerenij"; Научно-<br>производственное<br>объединение |



|                             |            |               |            |    |                                                                                                   |                                                                                                   |
|-----------------------------|------------|---------------|------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                             |            |               |            |    |                                                                                                   | "Всероссийский научно-исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений" |
| <a href="#">CN9769368Z</a>  | 11.12.2013 | 103822697     | 28.05.2014 | CN | Intelligent hydrophone with self-calibration function                                             | NO.705 RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION                              |
| <a href="#">CN241611799</a> | 10.01.2019 | 109632070     | 16.04.2019 | CN | Digital array time domain quasi-synchronization calibration method based on Newton interpolation  | NORTHEASTERN UNIVERSITY;                                                                          |
| <a href="#">CN223071190</a> | 28.12.2017 | 108225536     | 29.06.2018 | CN | Robust self-adaptive beam forming method based on hydrophone amplitude and phase self-calibration | NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY                                                             |
| <a href="#">CN241039473</a> | 19.11.2018 | 109541573     | 29.03.2019 | CN | Array element position calibration method of bent hydrophone array                                | NORTHWESTERN POLYTECHNICAL UNIVERSITY                                                             |
| <a href="#">GB173380671</a> | 26.03.2014 | 2523206       | 19.08.2015 | GB | Hydrophone calibration system                                                                     | Ocean Networks Canada Society                                                                     |
| <a href="#">CA151610060</a> |            | 2847558       | 14.08.2015 | CA | HYDROPHONE CALIBRATION SYSTEM                                                                     | Ocean Networks Canada Society                                                                     |
| <a href="#">US151424466</a> | 14.02.2014 | 20150234089   | 20.08.2015 | US | Hydrophone calibration system                                                                     | Ocean Networks Canada Society                                                                     |
| <a href="#">MY276123227</a> | 02.05.2018 | PI 2018701726 | 02.11.2019 | MY | CALIBRATION OF COMBINED ACCELERATION AND PRESSURE SENSORS                                         | PGS GEOPHYSICAL AS                                                                                |
| <a href="#">EP232831900</a> | 03.05.2018 | 3399347       | 07.11.2018 | EP | CALIBRATION OF COMBINED ACCELERATION AND PRESSURE SENSORS                                         | PGS Geophysical AS                                                                                |



|                             |            |             |            |    |                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------|------------|-------------|------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">US232822517</a> | 24.04.2018 | 20180321419 | 08.11.2018 | US | CALIBRATION OF COMBINED ACCELERATION AND PRESSURE SENSORS                                                                                                            | PGS Geophysical AS                                                                                                                                                |
| <a href="#">SU28775041</a>  | 19.08.1976 | 00651504    | 05.03.1979 | SU | HYDROPHONE CALIBRATION DEVICE                                                                                                                                        | PREDPRIYATIE P/YA                                                                                                                                                 |
| <a href="#">SU28025147</a>  | 21.05.1980 | 00945673    | 23.07.1982 | SU | METHOD OF ABSOLUTE CALIBRATION OF INFRASOUND HYDROPHONE IN PENDULUM CHAMBERS                                                                                         | PREDPRIYATIE P/YA                                                                                                                                                 |
| <a href="#">SU28775040</a>  | 06.08.1976 | 00651503    | 05.03.1979 | SU | HYDROPHONE CALIBRATION DEVICE                                                                                                                                        | ROSTOVSKIY ORDENA TRUDOVOGO KRASNOGO ZNAMENI<br>GOSUDARSTVENNYJ UNIVERSITET; РОСТОВСКИЙ<br>ОРДЕНА ТРУДОВОГО<br>КРАСНОГО ЗНАМЕНИ<br>ГОСУДАРСТВЕННЫЙ<br>УНИВЕРСИТЕТ |
| <a href="#">CN91936815</a>  | 14.03.2013 | 103163502   | 19.06.2013 | CN | Large hole diameter underwater sound flexible-array array form self-calibration device and method                                                                    | Southeast University                                                                                                                                              |
| <a href="#">CN242427483</a> | 17.12.2018 | 109737956   | 10.05.2019 | CN | Strapdown inertial navigation system (SINS)/ultra short base line (USBL) phase difference tightly integrated navigation locating method based on double transponders | Southeast University                                                                                                                                              |



|                             |            |             |            |    |                                                                                                    |                                                                               |
|-----------------------------|------------|-------------|------------|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">CN251084194</a> | 27.05.2019 | 110132308   | 16.08.2019 | CN | Method for calibrating installation error angle of USBL based on attitude determination            | Southeast University                                                          |
| <a href="#">US191615816</a> | 25.03.2015 | 09551811    | 24.01.2017 | US | Measurement of complex sensitivity of data channels in hydrophone line array at very low frequency | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy      |
| <a href="#">US160608719</a> | 25.09.2014 | 20160091361 | 31.03.2016 | US | System and method for the calibration of a hydrophone line array                                   | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy      |
| <a href="#">JP65952465</a>  | 21.10.1997 | 11125667    | 11.05.1999 | JP | BUOY TYPE ACOUSTIC POSITION MEASURING DEVICE                                                       | TECH RES & DEV INST OF JAPAN DEF AGENCY; 防衛庁技術研究本部長; MITSUBISHI HEAVY IND LTD |
| <a href="#">CN191963295</a> | 11.08.2016 | 106338331   | 18.01.2017 | CN | Ultrasonic hydrophone sensitivity multi-frequency point absolute calibration method                | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION       |
| <a href="#">CN242943828</a> | 28.01.2019 | 109764950   | 17.05.2019 | CN | Absolute calibration method of resonant vector hydrophone based on accelerometer                   | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION       |
| <a href="#">CN249745571</a> | 25.03.2019 | 110006516   | 12.07.2019 | CN | Rapid sensitivity calibration device and method of fibre optic hydrophone array                    | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION       |
| <a href="#">CN83866539</a>  | 28.09.2009 | 101672691   | 17.03.2010 | CN | Hydrophone phase low-frequency calibration tube                                                    | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION       |



|                             |            |             |            |    |                                                                                                     |                                                                          |
|-----------------------------|------------|-------------|------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">CN219487058</a> | 11.10.2017 | 108037496   | 15.05.2018 | CN | Free field hydrophone plural sensitivity accurate measurement method                                | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION  |
| <a href="#">CN239480202</a> | 13.09.2018 | 109443515   | 08.03.2019 | CN | Small size hydrophone sensitivity testing system and method in air                                  | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION  |
| <a href="#">CN84646239</a>  | 06.12.2010 | 102072761   | 25.05.2011 | CN | General calibration system and method of phase shift sensitivity based on optical phase demodulator | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION  |
| <a href="#">CN239480184</a> | 13.09.2018 | 109443514   | 08.03.2019 | CN | Sound pressure sensitivity calibration cavity and testing method thereof                            | THE 715TH RESEARCH INSTITUTE OF CHINA SHIPBUILDING INDUSTRY CORPORATION  |
| <a href="#">EP11378458</a>  | 23.08.1982 | 0074204     | 16.03.1983 | EP | DETERMINATION OF SYSTEM RESPONSE                                                                    | THE COMMONWEALTH OF AUSTRALIA                                            |
| <a href="#">US37146807</a>  | 20.11.1978 | 4213099     | 15.07.1980 | US | Hydrophone preamplifier and calibration circuit                                                     | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US37668661</a>  | 28.03.1986 | 4689578     | 25.08.1987 | US | Hydrophone pre-amplifier with self-calibration                                                      | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US37140059</a>  | 03.11.1978 | 4205394     | 27.05.1980 | US | Sealed cavity hydrophone array calibration                                                          | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US39110129</a>  | 02.02.1999 | 6147930     | 14.11.2000 | US | Optical hydrophone with digital signal demodulation                                                 | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US40048290</a>  | 10.10.2001 | 20030067841 | 10.04.2003 | US | Digital signal demodulator calibration system and method for optical hydrophones                    | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |





|                             |            |           |            |    |                                                                                   |                                                                          |
|-----------------------------|------------|-----------|------------|----|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">US37411776</a>  | 29.06.1982 | 4468760   | 28.08.1984 | US | Directional line-hydrophone array calibrator                                      | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US37377259</a>  | 17.03.1982 | 4441173   | 03.04.1984 | US | Very low frequency hydrophone calibration                                         | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US37523796</a>  | 01.04.1983 | 4563756   | 07.01.1986 | US | Pseudo-random noise generator calibration for acoustic hydrophones                | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US38464243</a>  | 14.03.1994 | 5473578   | 05.12.1995 | US | Sonar and calibration utilizing non-linear acoustic reradiation                   | The United States of America as represented by the Secretary of the Navy |
| <a href="#">US36264484</a>  | 21.05.1965 | 3352144   | 14.11.1967 | US | Hydrophone dynamic calibration system                                             | THOMAS MCMILLIAN;<br>THOMPSON LAWRENCE C                                 |
| <a href="#">CN205472535</a> | 08.06.2017 | 107255511 | 17.10.2017 | CN | Fiber sensor detection sensitivity disturbance-free calibrating device and method | TONGJI UNIVERSITY                                                        |
| <a href="#">US38651379</a>  | 24.02.1995 | H0001528  | 07.05.1996 | US | Hydrophone preamplifier control unit                                              | United States of America                                                 |
| <a href="#">US38611366</a>  | 21.04.1995 | H0001619  | 03.12.1996 | US | Frequency-modulated monitor hydrophone system                                     | United States of America                                                 |
| <a href="#">US38651377</a>  | 21.04.1995 | H0001526  | 02.04.1996 | US | Hydrophone preamplifier                                                           | United States of America                                                 |
| <a href="#">US36800138</a>  | 23.01.1974 | 3859620   | 07.01.1975 | US | HYDROPHONE LINE ARRAY CALIBRATION UNIT                                            | United States of America                                                 |
| <a href="#">US36816623</a>  | 01.03.1974 | 3875548   | 01.04.1975 | US | CALIBRATOR PLUG-IN MODULE FOR SONOBUOY                                            | United States of America                                                 |
| <a href="#">DK191469694</a> | 11.09.1992 | 0534648   | 11.03.1996 | DK | Fremgangsmåde til seismisk undersøgelse til søs                                   | WESTERN ATLAS INT INC                                                    |
| <a href="#">EP12373679</a>  | 11.09.1992 | 0534648   | 31.03.1993 | EP | Method of marine seismic exploration                                              | WESTERN ATLAS INT INC                                                    |

|                             |            |             |            |    |                                                                                                             |                                                                      |
|-----------------------------|------------|-------------|------------|----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| <a href="#">EP154195004</a> | 14.03.2006 | 2960683     | 30.12.2015 | EP | CALIBRATION OF PRESSURE GRADIENT RECORDINGS                                                                 | WESTERNGECO SEISMIC HOLDINGS                                         |
| <a href="#">US40377794</a>  | 23.05.2003 | 20040108858 | 10.06.2004 | US | Vector sensor device and calibration method                                                                 | Wilcoxon Research, Inc.                                              |
| <a href="#">US36601068</a>  | 25.09.1969 | 3659255     | 25.04.1972 | US | HYDROPHONE CALIBRATOR                                                                                       | WINFIELD JAMES TROTT                                                 |
| <a href="#">CN242432849</a> | 16.01.2019 | 109737872   | 10.05.2019 | CN | Three-dimensional coordinate calibration system of hydrophone array                                         | WUHAN PUHUI OCEAN PHOTOELECTRIC TECHNOLOGY CO., LTD.; 武汉普惠海洋光电技术有限公司 |
| <a href="#">CN96860022</a>  | 22.11.2013 | 103575468   | 12.02.2014 | CN | Dynamic phase demodulation and calibration method for high-reflectance optical fiber F-P chamber hydrophone | WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY                                       |
| <a href="#">CN251461745</a> | 08.05.2019 | 110186546   | 30.08.2019 | CN | Broadband calibration method for sensitivity free field of hydrophone based on pink noise                   | ZHEJIANG UNIVERSITY; 浙江大学                                            |
| <a href="#">KR131030759</a> | 28.11.2013 | 101452853*  | 14.10.2014 | KR | CALIBRATION DEVICE OF UNDERWATER HYDROPHONE ARRAY LOCATION USING TRANSDUCER                                 |                                                                      |
| <a href="#">RU96356533</a>  | 16.10.2012 | 0002509441  | 10.03.2014 | RU | METHOD OF DETERMINING PHASE ANGLE OF COMPLEX SENSITIVITY OF HYDROPHONE BY RECIPROCITY METHOD                |                                                                      |
| <a href="#">RU232182222</a> | 12.09.2017 | 0002668363  | 28.09.2018 | RU | DEVICE AND METHOD OF CONTROL AND ADJUSTMENT OF FLOATING                                                     |                                                                      |



|                             |            |            |            |    |                                                                                                                              |  |
|-----------------------------|------------|------------|------------|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|                             |            |            |            |    | OF SEISMIC CABLE<br>HYDROPHONE MODULE                                                                                        |  |
| <a href="#">RU29542631</a>  | 02.04.2009 | 02390968   | 27.05.2010 | RU | METHOD OF CALIBRATING<br>HYDROPHONES IN FIELD<br>WITH CONTINUOUS SIGNAL<br>RADIATION IN<br>REVERBERATING<br>MEASUREMENT POOL |  |
| <a href="#">RU199676794</a> | 01.08.2016 | 0002620772 | 29.05.2017 | RU | METHOD OF<br>HYDROPHONES<br>GRADUATION BY THE<br>REFERENCE RADIATOR<br>METHOD                                                |  |
| <a href="#">CA93598595</a>  | 20.08.1982 | 1198805    | 31.12.1985 | CA | DETERMINATION OF SYSTEM<br>RESPONSE                                                                                          |  |
| <a href="#">RU175877436</a> | 08.06.2015 | 0002593444 | 10.08.2016 | RU | METHOD AND DEVICE FOR<br>MEASURING VIBRATIONS<br>PARAMETERS OF<br>ULTRASONIC WAVEGUIDE<br>TIP                                |  |





centro  
tecnológico  
naval y del mar

marine  
technology  
centre

[www.ctnaval.com](http://www.ctnaval.com)