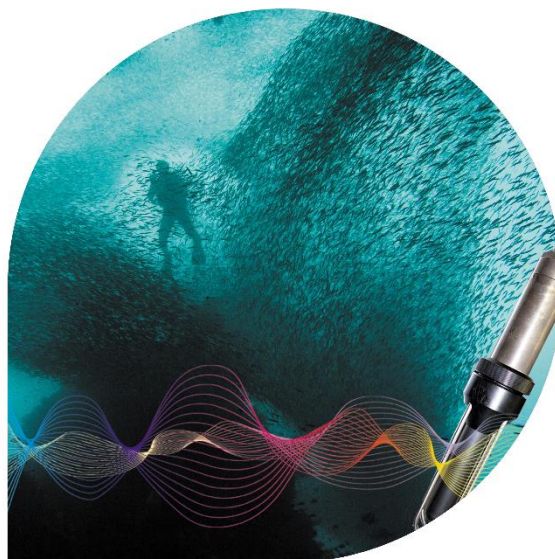




BLUE GROWTH

CALIBRACIÓN DE HIDRÓFONOS
PARA MEDICIÓN DE RUIDO SUBMARINO

INFORME DE VIGILANCIA TECNOLÓGICA
2018

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: Pablo Ruiz Molina, Iván Felis Enguix, Pablo Cervantes Fructuoso y M^a Ángeles García Albaladejo

Más info: www.ctnaval.com



"Una manera de hacer Europa"

© CTN, 2018

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	6
2. Metodología	7
3. Estrategia europea de Crecimiento Azul	10
3.1 Componentes de la Estrategia	10
4. Calibración de hidrófonos	12
4.1 Introducción	12
4.2 Métodos	14
4.2.1. Caracterización por compensación de piezoeléctrico	14
4.2.2. Caracterización en campo libre mediante reciprocidad en agua ..	15
4.2.3. Caracterización en campo libre por comparación en agua	16
4.2.4. Límite de frecuencias mínimas. Técnicas de pulsos en calibraciones de campo libre	17
4.3 Instituciones	20
4.3.1. Instituciones en España	20
4.3.2. Instituciones en el resto de Europa	22
4.3.3. Instituciones en el resto del Mundo	28
4.3.4. Tabla resumen:	34
4.4 Equipamiento	35
5. Legislación y normativa	38
5.1 La Directiva Marco sobre la Estrategia Marina - MSFD	38
5.1.1. El descriptor 11	38
5.2 Normativa, guías, recomendaciones y otros recursos	40
6. Tendencias	42
6.1 Literatura científica	42
6.2 Proyectos	53
6.3 Noticias	57
6.4 Eventos y fechas clave	61
7. Bibliografía	64

Índice de imágenes

Figura 1. Finalidad de la Vigilancia Tecnológica	7
Figura 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica	9
Figura 3. Esquemático del sistema de medidas por compensación	14
Figura 4. Esquemático del sistema de medidas por reciprocidad	15



Figura 5. Izquierda, modelo en 3D del tanque troncocónico de grandes dimensiones del CTN. Derecha, Instalaciones de tanque troncocónico en el CTN.	18
Figura 6. Balsa con posicionadores georreferenciados.....	20
Figura 7. Instalaciones de hidroacústica del CSIC.....	21
Figura 8. Instalaciones de hidroacústica del NPL.....	22
Figura 9. Instalaciones de hidroacústica de Neptune Sonar (I).....	23
Figura 10. Instalaciones de hidroacústica de Neptune Sonar (II).....	24
Figura 11. Boya de SINTEF.....	25
Figura 12. Instalaciones de hidroacústica del Laboratory of Underwater Acoustic Measurements.....	27
Figura 13. Hidrófonos de Ocean Sonics.....	29
Figura 14. Instalaciones de hidroacústica de DRDC Atlantic Acoustic Calibration Barge (I).....	30
Figura 15. Instalaciones de hidroacústica de DRDC Atlantic Acoustic Calibration Barge (II).....	30
Figura 16. Instalaciones de hidroacústica del National Institute of Ocean Technology.....	32
Figura 17. Tanque de hidroacústica de Defence Research & Development Organisation.....	33
Figura 18: Tipos de Hidrófonos (izquierda – Analógico; Derecha – Digital).....	35
Figura 19: Tipos de Preamplificadores (Izquierda - con ganancia ajustable y filtros incorporados, Derecha – ganancia fija y sin filtros).....	35
Figura 20: Sistema de adquisición de datos (Izquierda – específico para señales acústicas o de vibraciones; Derecha – Genérico modular).....	36
Figura 21: Proyector (Izquierda – piezoeléctrico; Derecha – Altavoz de membrana).....	36
Figura 22: Amplificador de potencia (Izquierda – frecuencias sónicas; Derecha – ultrasonidos).....	36
Figura 23: Transductor de referencia(Izquierda – Preamplificador incorporado; Derecha – Sin preamplificador incorporado)	37



Figura 24: Tanques de pruebas(Izquierda – abierto sin posibilidad de ajustar la presión hidroestática; Derecha – cerrado limitaciones en condiciones de campo libre) 37



1. Introducción

Este informe, elaborado por el equipo del Centro Tecnológico Naval y del Mar, presenta la situación actual de la calibración de hidrófonos para medición de ruido submarino. Su finalidad es ofrecer al tejido empresarial e institucional 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.

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 y el papel del ruido submarino en el marco de dicha estrategia, con el fin de dibujar un cuadro de referencia para la contextualización de los contenidos temáticos del informe. Seguidamente se realiza una introducción a la calibración de hidrófonos, los métodos de calibración de los equipos de monitorización de ruido submarino, instituciones relevantes, así como del equipamiento relacionado con esta tecnología.

En el capítulo 5 se analiza la dimensión legislativa europea y dentro de ella, el Descriptor 11 como elemento principal, y se introducen normas, guías, recomendaciones y otros recursos del ámbito social relacionados directamente con la calibración de hidrófonos.

Por último se resumen las tendencias representadas en el informe a través de una selección de publicaciones científico-tecnológicas, proyectos, noticias y eventos y se anexa el listado de la bibliografía utilizada para la elaboración 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:



Figura 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.





Figura 2. Fases de la Vigilancia Tecnológica

3. Estrategia europea de Crecimiento Azul

Blue Growth es la estrategia de la Unión Europea para apoyar la economía azul a largo plazo. Se trata de una iniciativa enfocada a aprovechar el potencial inexplorado que ofrecen los océanos, mares y costas de Europa para el crecimiento económico y la creación de empleo. Partiendo de la premisa de que los mares y los océanos son motores de la economía europea y un polo de innovación y crecimiento, tiene en cuenta tres factores adicionales (Europa, COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES - Crecimiento azul Oportunidades para un crecimiento marino y marítimo sostenible, 2012):

- Los avances tecnológicos aplicados a operaciones en aguas profundas, inviables hasta hace pocos años.
- La explotación sostenible de los recursos del océano como alternativa a los recursos finitos en tierra y agua dulce.
- La idoneidad del transporte marítimo frente al terrestre con relación al ahorro energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Este conjunto de consideraciones hace que la contribución de la estrategia Blue Growth a la consecución de los objetivos de la Estrategia Europa 2020 se considere clave para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

3.1 Componentes de la Estrategia

Medidas específicas de la Política Marítima Integrada:

- a. Conocimiento marino para mejorar el acceso a la información sobre el mar;
- b. Ordenación del espacio marítimo para garantizar una gestión eficaz y sostenible de las actividades en el mar;
- c. Vigilancia marítima integrada para que las autoridades tengan una mejor apreciación de lo que pasa en el mar.

Estrategias de cuenca marítima que garanticen la combinación de medidas más adecuada con el fin de fomentar el crecimiento sostenible



para tener en cuenta factores climáticos, oceanográficos, económicos, culturales y sociales de carácter local:

- a. Mar Adriático y Mar Jónico
- b. Océano Ártico
- c. Océano Atlántico
- d. Mar Báltico
- e. Mar Negro
- f. Mar Mediterráneo
- g. Mar del Norte

Actividades específicas:

- a. Acuicultura
- b. Turismo costero
- c. Biotecnología marina
- d. Energía oceánica
- e. Explotación minera de los fondos marinos

(Europea, Crecimiento Azul, s.f.)



4. Calibración de hidrófonos

4.1 Introducción

El hidrófono es el equipo esencial para la monitorización acústica submarina. Es un transductor capaz de transformar la energía acústica subacuática en energía eléctrica, de forma análoga a como lo hace un micrófono en el aire. Existen gran variedad de hidrófonos, con diferentes formatos, capacidades y funciones; diferenciados por tres características principales: el diagrama de radiación, el rango de frecuencias de trabajo y la sensibilidad.

Además de la complejidad que de por sí tienen este tipo de transductores, actualmente se está incorporando a los hidrófonos la digitalización de datos, lo que se conoce como hidrófono digital, hidrófono inteligente o registrador de ruido subacuáticos.

Estos equipos están compuestos por un transductor electro-acústico (o hidrófono analógico), un sistema electrónico para pre-amplificar y digitalizar la señal y un software de pre-procesado de señal para formatear y almacenar los datos convenientemente.

Hasta la fecha, no hay ningún estándar acerca de la fabricación o la calibración/caracterización de hidrófonos inteligentes, puesto que se diseñan prácticamente a medida según el objetivo de la monitorización, habiendo una gran disparidad en sus parámetros: rango de frecuencias de funcionamiento, sensibilidad, diagrama de radiación, profundidad de bit, pre-procesado, rango dinámico, ruido propio, etc.

Esta situación hace que las mediciones obtenidas con diferentes hidrófonos inteligentes sean difícilmente comparables. La solución a este inconveniente pasa por la realización de una calibración independiente de los hidrófonos inteligentes que permita referenciar los resultados obtenidos por cada equipo.

Una correcta calibración de un hidrófono digital debería contemplar todos los sistemas que, además del propio transductor acústico, van integrados en el equipo. Es decir, todo sistema que altere de alguna manera la onda acústica incidente debe calibrarse adecuadamente. Estos equipos por lo general son:



- Transductor electroacústico: Es la parte sensible acústica del hidrófono digital. El parámetro principal que lo caracteriza es la sensibilidad que relaciona la cantidad de energía acústica incidente y la energía eléctrica entregada por el sensor.
- Preamplificador: Es el encargado de preparar la señal eléctrica entregada por el transductor para su entrada en los siguientes equipos de la cadena, que pueden ser filtros, convertidores analógicos digitales, etc. El parámetro principal a caracterizar en este equipo es la función de transferencia del equipo que relaciona la amplitud y fase de una señal eléctrica (en lineal o en escala logarítmica), además del ruido propio expresado en dBV/Hz.
- Filtros: Se encarga de filtrar la señal para evitar el aliasing de señal. Su parámetro principal es la función de transferencia y la frecuencia de corte expresada en Hz.
- Convertidor Analógico-Digital: Es el encargado de muestrear la señal analógica y convertirla en formato digital. Sus parámetros principales son la profundidad de bit, el ruido propio, y la frecuencia de muestreo.
- Sistema de almacenaje de datos: Se encarga de albergar los datos digitales una vez estos son debidamente formateados en un sistema sin pérdidas como .RAW o .WAV. Su parámetro principal es la capacidad de almacenaje, expresada normalmente en GB.

Así pues, la calibración de un hidrófono digital consta de la caracterización y calibración de cada uno de los elementos que conforman la cadena de medida. Se recomienda seguir normas y/o estándares internacionales, si existen, para la calibración de cualquier equipo, por ejemplo, para la calibración del transductor electroacústico se recomienda seguir la norma UNE-EN 60565:2007.

Una vez calibrados y caracterizados cada uno de los equipos se realiza la caracterización del hidrófono inteligente como equipo completo con el fin de referenciar los datos digitales almacenados en el equipo a los niveles de presión acústica recibida. La calibración de cualquier hidrófono, incluido los inteligentes, es fundamental para poder realizar una buena campaña de monitorización de ruido.



4.2 Métodos

4.2.1. Caracterización por compensación de piezoeléctrico

El hidrófono se caracteriza sin un transductor de referencia, en una cámara llena de agua y estanca, a frecuencias en las cuales la longitud de onda es más grande que la dimensión más grande de la cámara. Se introduce el hidrófono dentro de la cámara llena de agua y estanca, que contiene un proyector y un transductor de tipo nulo (ver Figura 3). A continuación, se debe medir la magnitud de la presión alterna producida por el proyector en la cámara usando el transductor de tipo nulo. La sensibilidad M_p del hidrófono H en términos de voltaje en circuito abierto viene dada por:

$$M_p = \frac{U}{p} \frac{\Delta U_c}{\rho g h_0}$$

Donde U es el voltaje de salida en circuito abierto del hidrófono H a una presión p dada, dependiente de la frecuencia.

Nota: el transductor tipo nulo consta de dos carcassas cilíndricas cerámicas piezoeléctricas montados coaxialmente. La cubierta interna actúa como transductor de la conducción, mientras que la capa exterior sirve como sensor de desplazamiento.

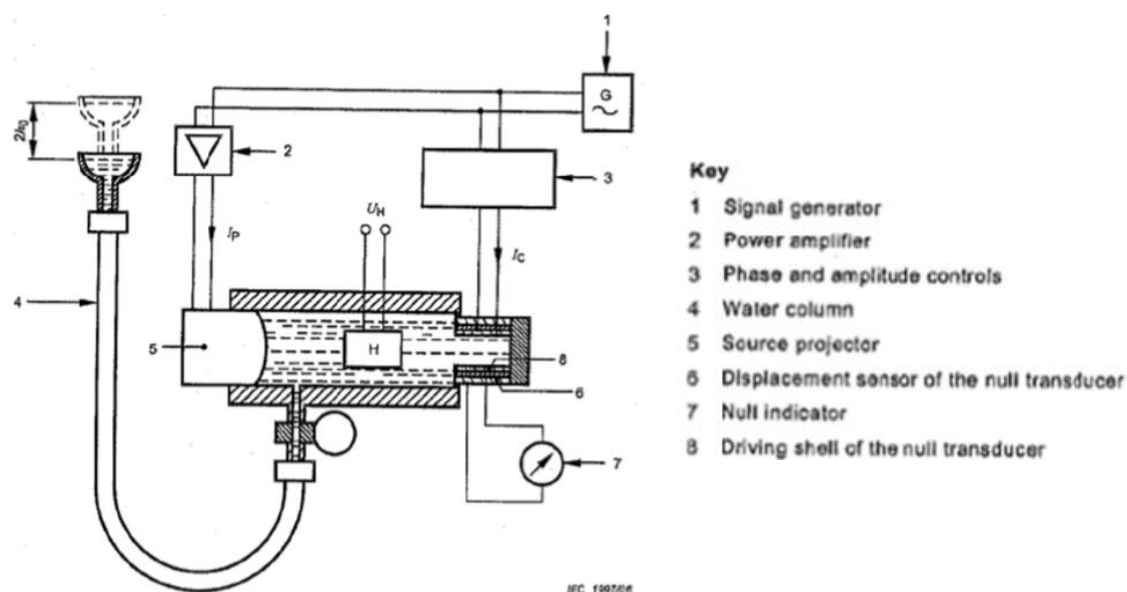


Figura 3. Esquemático del sistema de medidas por compensación.

4.2.2. Caracterización en campo libre mediante reciprocidad en agua

Este método se emplea para obtener la mínima incertidumbre y abarca un ancho de banda muy grande. Según la norma IEC 60565:2007 está restringido a frecuencias entre 1 kHz y 1 MHz. Se necesitan al menos tres transductores, de los cuales al menos uno ha de ser recíproco. Usando uno de ellos como proyector y otro como hidrófono, la impedancia eléctrica de transferencia debe ser determinada a un número de frecuencias dentro del rango de interés. Se colocan P , H y T como se ve en la Figura 4. Primero se usan P y H . Luego se quita H y se trabaja con P y T . Finalmente vuelve a colocarse H mirando a T . Así, se obtienen tres impedancias eléctricas de transferencia independientes. De esas cantidades se obtiene la sensibilidad en campo libre del hidrófono que está siendo calibrado y de todos los transductores recíprocos, así como la respuesta de transmisión a corriente de cada proyector y transductor recíproco, resultando así la obtención de las curvas de respuesta en frecuencia de todos los transductores involucrados.

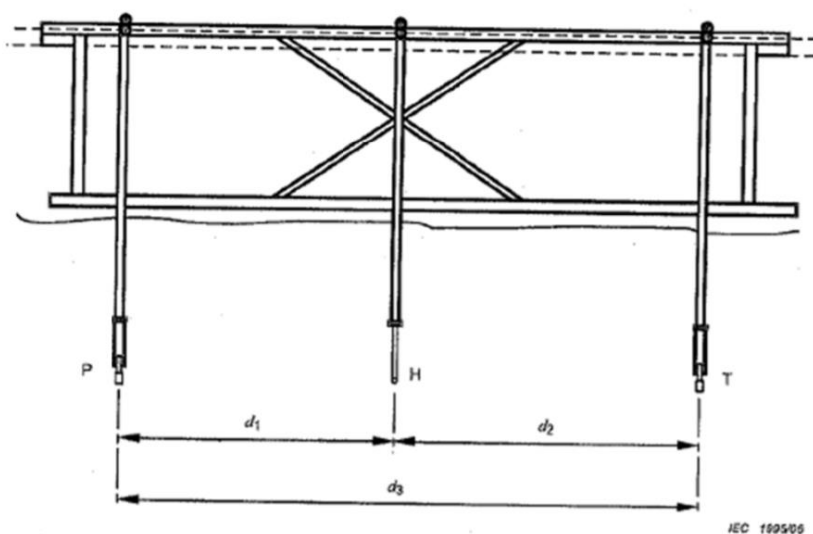


Figura 4. Esquemático del sistema de medidas por reciprocidad.

4.2.3. Caracterización en campo libre por comparación en agua

En este caso, la calibración se realiza por comparación con hidrófono estándar o con un proyector calibrado, en función de si el transductor que se desea calibrar es un emisor o un receptor (hidrófono). Según la norma IEC 60565:2007, el rango de frecuencia que permite este procedimiento es de 1 kHz a 1 MHz.

- 💧 Comparación con un hidrófono estándar: la presión en un punto del campo acústico generado por el proyector auxiliar se mide con un hidrófono estándar calibrado. Entonces, el hidrófono calibrado se reemplaza por el hidrófono desconocido. El cociente entre los voltajes de los circuitos de los dos hidrófonos es igual al cociente entre sus sensibilidades.
- 💧 Calibración con un proyector calibrado: la presión en un punto de campo acústico generado con un proyector calibrado se determina midiendo, o bien la corriente a través del proyector, o el voltaje a través del proyector y utilizando la corriente de transmisión o respuesta en voltaje respectivamente, y la distancia de prueba. La medida del voltaje del circuito abierto de un hidrófono cocado en campo acústico conocido determina la sensibilidad en campo libre de ese hidrófono.

Los requisitos de distancia de separación, profundidad, tiempo de señal, medidas, etc. son los mismos que en la caracterización por reciprocidad.



4.2.4. Límite de frecuencias mínimas. Técnicas de pulsos en calibraciones de campo libre

Para lograr un entorno de campo libre para la caracterización de hidrófonos, las medidas han de realizarse en ausencia de reflexiones acústicas en las fronteras. Para ello pueden emplearse instalaciones con un gran volumen de agua como un lago o estanque, o pruebas en el mar. No obstante, ahí aparecen inconvenientes como la falta de control del entorno, dificultades logísticas en el despliegue y un coste económico relativamente alto.

Estas desventajas han llevado al uso de tanques de laboratorio para la calibración, aunque ahí es preciso eliminar o limitar el efecto de los ecos. Una opción es usar materiales absorbentes, pero son muy deficientes a bajas frecuencias.

El método más común para lograr un entorno de campo libre para la calibración es el uso de técnicas de compuerta temporal para controlar las señales transmitidas y recibidas. La trayectoria directa debe ser aislada en el dominio del tiempo antes de la llegada de las reflexiones.

Típicamente se emplean ráfagas de señal a una frecuencia, mediante un oscilador sinusoidal y una unidad electrónica de compuerta de tiempo, o usando un generador de funciones que generará directamente una señal “tone-burst”.

Mediante consideraciones geométricas se calcula el tiempo de llegada de los ecos y, por consiguiente, la cantidad de señal en el dominio del tiempo disponible para un análisis antes de la llegada de los ecos, esto es, “el tiempo libre de ecos”. Este tiempo dependerá de la separación entre los transductores.

En general, si las medidas se realizan en agua con una velocidad de propagación c , de modo que la distancia entre el emisor y el receptor fuera d (la señal directa se obtendría en un tiempo $t_{dir} = d/c$) y se utilizara un burst de senos de duración τ , debe cumplirse que el tiempo de llegada t_{ref} de la primera reflexión cumpla: $t_{ref} > t_{dir} + \tau$.



La mayoría de las instalaciones para la calibración de hidrófonos consiste en una piscina de forma paralelepípedo en la que los transductores se posicionan convenientemente para evitar las reflexiones. En un recinto paralelepípedo con ancho L y profundidad H , situando los transductores alineados en el centro, las reflexiones pueden producirse por: las superficies horizontales superior e inferior, por las laterales, y por las superficies de los propios transductores. Las expresiones de los tiempos de llegada de estas tres reflexiones son (Levin, 1973):

$$t_{ref1} = \frac{\sqrt{d^2 + H^2}}{c} \quad t_{ref2} = \left(\left(\frac{L}{2} + \frac{d}{2} \right) + \left(\frac{L}{2} - \frac{d}{2} \right) \right) / c = L/c \quad t_{ref3} = 2d/c$$

Por su parte, el CTN dispone de una balsa de calibración de hidrófonos de grandes dimensiones que, además, presenta una forma troncocónica que permite desviar las reflexiones laterales, de modo que, en las medidas, únicamente influye la superficie del agua. Con ello, se consigue una frecuencia inferior de trabajo, para calibraciones con burst de 5 ciclos de señal, de 5 kHz. La Figura 5 muestra, a la izquierda, la geometría de la balsa del CTN y, a la derecha, una gráfica con los volúmenes de agua útil y la frecuencia mínima de calibración, en función de la distancia entre los transductores. Las curvas teóricas se obtienen aplicando las ecuaciones anteriores mientras que los puntos corresponden a distintas instalaciones existentes de calibración de hidrófonos.

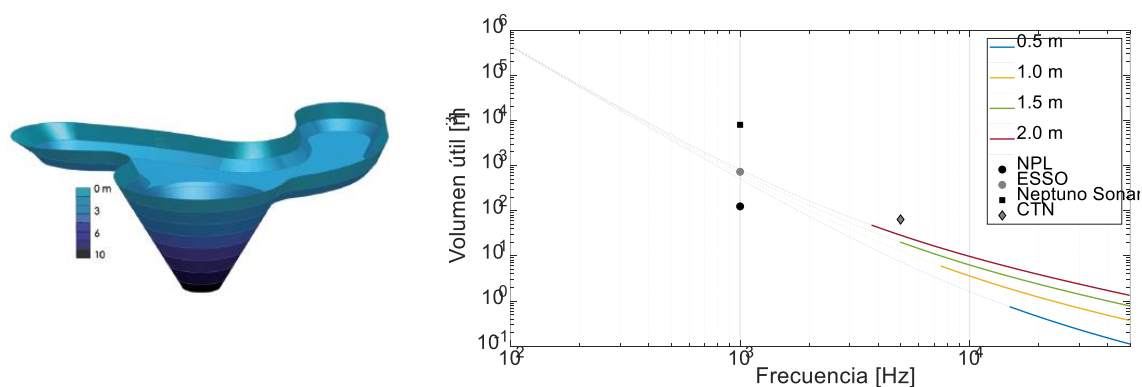


Figura 5. Izquierda, modelo en 3D del tanque troncocónico de grandes dimensiones del CTN. Derecha, Instalaciones de tanque troncocónico en el CTN.



Estos son los límites a los que pueden llegar estas instalaciones. En este texto se muestran los primeros estudios realizados para poder realizar medidas con frecuencias más bajas.



4.3 Instituciones

A continuación se incluyen datos de instituciones que cuentan con instalaciones de acústica submarina y ofrecen servicios de calibración de hidrófonos.¹

4.3.1. Instituciones en España

4.3.1.1 Centro Tecnológico Naval y del Mar

El laboratorio de hidroacústica del CTN(LHA) da apoyo en proyectos de I+D y en la caracterización acústica de todo tipo de equipos submarinos.

El laboratorio cuenta con una balsa de 20 metros de diámetro y 10 metros de profundidad con posicionadores georreferenciados. Su forma troncocónica permite la simulación de mediciones en campo abierto desde frecuencias de 3 kHz lo que evita la necesidad de mediciones en mar abierto ofreciendo un entorno controlado a un menor coste que el despliegue de equipos en mar. Dispone de equipamiento para automatizar la generación de señales, la adquisición de datos y el procesamiento de señal.



Figura 6. Balsa con posicionadores georreferenciados.

¹ Los datos y descripciones de las instituciones se han cogido de sus páginas web



El laboratorio ofrece servicios de caracterización de transductores electro-acústicos submarinos, tanto analógicos como digitales, según la norma IEC60565 en rangos de frecuencia de 3 kHz a 1 MHz en campo libre así como la caracterización en frecuencias sónicas en aire utilizando micrófonos de referencia.

En el LHA también se realizan mediciones de parámetros descriptivos del comportamiento acústico de materiales bajo el agua como el Echo reduction e Insertion Loss.

[+ INFO](#)

4.3.1.2 CSIC

La instalación hidroacústica usada por el Instituto de Acústica, CSIC, desde 1970, consiste en un tanque de experimentación cuyas dimensiones son 7.5m x 4.5m x 4.5m. El laboratorio de Hidroacústica, ha sido desarrollado funciones de calibración y evaluación, sobre todo. Las tendencias y necesidades actuales, el



Figura 7. Instalaciones de hidroacústica del CSIC.

nuevo tipo de hardware y software experimental, han llevado a la reorganización de las instalaciones. Este nuevo marco, controlado por el operario mediante un ordenador estándar, permite colocar los sensores en cualquier punto, ángulo incluido, así como controlar la trayectoria preprogramada. La adquisición simultánea de señales permite llevar a cabo labores de calibración, reduciendo la complejidad en la estimación de las posiciones relativas de los sensores. Otro avance es la posibilidad de crear páginas específicas para almacenar las sesiones de trabajo, y lo que es más importante, el tanque puede ser manejado con control remoto.

[+ INFO](#)



4.3.2. Instituciones en el resto de Europa

4.3.2.1 National Physics Laboratory NPL (GB)

NPL proporciona un servicio de calibración de campo libre para hidrófonos y transductores que está acreditado según la norma ISO 17025 por UKAS en el rango de frecuencia de 1 kHz a 20 MHz.

Para la determinación de la respuesta de la directividad del transductor [gráficos de haz], NPL ofrece un servicio que también está acreditado según la ISO17025 por UKAS. El rango de frecuencia de este servicio es de 1 kHz a 1 MHz.

Actualmente, NPL proporciona los siguientes servicios de calibración de acústica submarina acreditados según ISO17025 por el Servicio de Acreditación del Reino Unido (UKAS):

- Calibración en campo libre de hidrófonos y proyectores por el método de reciprocidad en la instalación de tanques abiertos de NPL desde 1 kHz hasta 500 kHz.
- Calibración en campo libre de hidrófonos de medición de referencia mediante un método de comparación en la instalación de tanque abierto de NPL desde 1 kHz a 1 MHz.
- Calibración en campo libre de hidrófonos ultrasónicos en miniatura mediante un método de comparación de 1 MHz a 20 MHz.
- Calibración de pistones de aire de hidrófonos de medición de referencia mediante el método de comparación de 25 Hz a 400 Hz.
- Medición de respuesta direccional de hidrófonos y transductores en el rango de frecuencia de 1 kHz a 1 MHz en 360 grados de



Figura 8. Instalaciones de hidroacústica del NPL.



rotación en el plano horizontal y vertical en la instalación de tanque abierto de NPL.

Otras mediciones incluyen, por ejemplo, la impedancia / admitancia eléctrica del transductor en el rango de frecuencia de 1 Hz a 20 MHz, la directividad / los patrones de haz de los transductores y la eficiencia del transductor.

+ INFO

4.3.2.2 Neptune Sonar (GB)

Neptune Sonar cuenta con un laboratorio de calibración acústica de aguas abiertas de tercera generación en sus instalaciones de Kelk Lake en East Yorkshire.

Se trata del laboratorio privado más grande de este tipo en el Reino Unido, y está equipado con el software y la instrumentación más avanzados técnicamente, lo que proporciona a los ingenieros y científicos la capacidad de realizar mediciones subacuáticas precisas en una amplia gama de equipos acústicos subacuáticos.



Figura 9. Instalaciones de hidroacústica de Neptune Sonar (I).

El laboratorio tiene la certificación ISO 9001-2008. Todos los Estándares de Referencia se calibran regularmente en la empresa utilizando el método Reciprocidad / Trimétrica y se certifican según los Estándares Nacionales. Esta calibración se lleva a cabo en varias ocasiones a lo largo del año para compensar las variaciones de temperatura del agua. Todos los

cálculos de incertidumbre se realizan mediante el software a medida del laboratorio para cada frecuencia discreta.



Figura 10. Instalaciones de hidroacústica de Neptune Sonar (II).

+ INFO

4.3.2.3 Precision Acoustics (GB)

Precision Acoustics ofrece acceso a una amplia gama de servicios de medición acústica para transductores de ultrasonidos médicos y no médicos.

Cuenta con tanques de prueba totalmente automatizados que le permiten medir los parámetros requeridos por las normas de seguridad internacionales y las organizaciones regulatorias en el rango de frecuencia de 0.5-20MHz.

Precision Acoustics puede realizar mediciones de acuerdo con las normas internacionales relevantes para evaluar el perfil del haz y calcular el ancho del haz para transductores de prueba no destructivos.

También disponen de la capacidad de caracterizar las propiedades acústicas de una amplia gama de fluidos, geles y materiales sólidos en el rango de frecuencia de 0.5-10MHz.

+ INFO

4.3.2.4 SINTEF (NO)

Cuenta con gran tanque de agua en Trondheim para experimentos ultrasónicos, experimentos submarinos a pequeña escala, y para la prueba y calibración de transductores que se utilizarán en pruebas a gran escala en el fiordo o en el océano.

También usan el fiordo de Trondheim como un laboratorio para acústica submarina. Un ejemplo es el enlace de comunicación acústica de 2 km entre la Estación Biológica Trondhjem (NTNU) y la instalación de Sjøbadet en el puerto de Brattøra. También usan regularmente el buque de investigación Gunnerus de NTNU. Además, disponen de una gran boya controlable a distancia con un módem acústico submarino, radio VHF y comunicación por satélite Iridium. Incluye un registrador de datos integrado, un hidrófono, un paquete de baterías recargables, células solares, un transpondedor AIS, un reflector de radar activo, una luz de navegación y un sensor de hidrógeno para la seguridad de la batería.



Figura 11. Boya de SINTEF

A continuación se muestra el equipamiento más destacable con el que cuenta:

- Tanque de agua grande, con dimensiones 4.30 x 1.50 x 2.00 m³
- Instalaciones de tanques más pequeños (acuario), con dimensiones de 0,80 x 0,50 x 0,40 m³.
- Transductores
- Hidrófonos
- Amplificadores de potencia
- Preamplificadores
- Generadores / transmisores
- Osciloscopio avanzado
- Filtros
- Receptor multicanal de muestreo hasta 200 kHz.
- Boya grande de control remoto
- Módem acústico submarino autónomo adaptado a la boya

+ INFO

4.3.2.5 Physikalisch-Technische Bundesanstalt (DE)

Disponen de un laboratorio de calibración en el que es posible llevar a cabo las mediciones que se requieren para la descripción del campo de sonido de acuerdo con IEC 61157 (dispositivos de diagnóstico) y IEC 61689 (equipo de terapia).

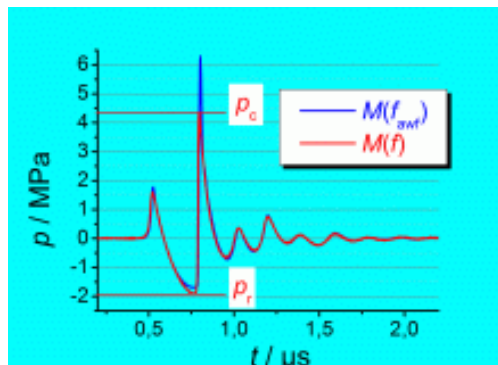
También pueden realizar mediciones acústicas de acuerdo con IEC 60601-2-37 y FDA 510 (k).

Más en detalle, las capacidades que ofrecen son:

- Calibración de hidrófonos, 0.5 MHz - 50 MHz.



- Mediciones de potencia de ultrasonido (balance de fuerza de radiación), 1 MHz - 21 MHz
- Calibración de vatímetros.
- Mediciones de presión de sonido (mediciones de campo de hidrófonos), 1 MHz - 15 MHz.
- Medición de la intensidad local derivada (mediciones de campo de hidrófonos), 1 MHz - 15 MHz.
- Determinación de las dimensiones del haz de ultrasonido (mediciones de campo de hidrófonos), 1 MHz - 15 MHz.
- Cálculo de parámetros de campo sonoro adicionales.
- Mediciones de potencia de campos de ultrasonidos terapéuticos de alta intensidad (HITU), hasta 500 W, 0,75 MHz - 5 MHz.



+ INFO

4.3.2.6 Laboratory of Underwater Acoustic Measurements (GR)

Disponen de un Laboratorio de Mediciones Acústicas Subacuáticas en el que tienen la capacidad de:

- Realizar experimentos de alta calidad, ya sea en su tanque experimental o en mar abierto.
- Apoyar el grupo de propagación de olas con experimentos de laboratorio.
- Ampliar las áreas de interés del Instituto a otras aplicaciones de mediciones de ultrasonido.
- Brindar servicios a grupos, agencias y empresas interesadas.



Figura 12. Instalaciones de hidroacústica del Laboratory of Underwater Acoustic Measurements.

+ INFO

4.3.3. Instituciones en el resto del Mundo

4.3.3.1 TÜBİTAK (TR)

El Laboratorio Acústico Subacuático (UAL) de Tübitak es una infraestructura única en Turquía para llevar a cabo actividades de Investigación y Desarrollo, Pruebas y Calibración en el campo de los transductores electroacústicos submarinos. El UAL ha sido acreditado por la Agencia de Acreditación de Alemania (DAP - Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen GMBH) en 2009 y por TURKAK (Agencia de Acreditación de Turquía), en 2014.

La infraestructura principal es el Tanque acústico aislado de ensayo de dimensiones 15m x 10m x 7,5m. El tanque tiene un sistema de posicionamiento de alta precisión para posicionar los diversos de hasta 3000 kg de peso. La calibración a nivel primario y secundario de transductores electroacústicos en el rango de frecuencia de 2 a 120 kHz en tanque abierto está acreditada según ISO 17025. El laboratorio está extendiendo las capacidades de calibración hasta aproximadamente 1MHz (la validación se completa hasta aproximadamente 500 kHz). El laboratorio lleva a cabo proyectos de investigación para modelar, diseñar, prototipo y caracterizar varios transductores y matrices electroacústicas subacuáticas.

[+ INFO](#)

4.3.3.2 Odin Metrology Inc. (US)

Se trata de un laboratorio de calibración con certificación ISO 9001 para instrumentos de sonido y vibración.

Están especializados en la calibración de instrumentos y productos de sonido y vibración de Bruel & Kjaer y de otros fabricantes, incluidos GRAS, CEL, ACO, Cirrus, Larson Davis, Quest, PCB, Kistler, Endevco y Dytran.

También ofrecen alquileres de instrumentos pre-calibrados Bruel y Kjaer, incluidos medidores de nivel de sonido, medidores de vibración, calibradores y dosímetros de ruido.

[+ INFO](#)

4.3.3.3 OceanSonics (CA)

Cuentan con un laboratorio con un gran tanque de prueba con espacio para adaptarse a múltiples hidrófonos inteligentes icListen y un proyector inteligente icTalk como fuente de sonido. Cada hidrófono icListen viene con un certificado de calibración que indica cuándo se probó y el resultado. Ocean Sonics recomienda devolver la unidad de hidrófono para recalibración cada dos años.

El objetivo del laboratorio de calibración es elevar los estándares de calibración y la mejora continua del producto. A medida que los hidrófonos digitales se vuelven más comunes, Ocean Sonics dará la bienvenida a los nuevos estándares de calibración a medida que se desarrollen, y, de hecho, la compañía espera ser parte del desarrollo de estándares para estos instrumentos.



Figura 13. Hidrófonos de Ocean Sonics.

+ INFO

4.3.3.4 DRDC (CA)

El DRDC Atlantic Acoustic Calibration Barge se encuentra en Bedford Basin, a unos 5 km por agua de DRDC Atlantic. El laboratorio cuenta con una barcaza cuya función principal es la de realizar calibraciones acústicas de transductores de sonar, como hidrófonos y proyectores, en un entorno de agua salada de campo libre. También se utiliza para probar y evaluar muchos otros tipos de aparatos científicos marinos y equipos militares. Los principales clientes son los científicos de defensa de DRDC Atlantic, las fuerzas canadienses, otros departamentos gubernamentales y la industria canadiense.





Figura 14. Instalaciones de hidroacústica de DRDC Atlantic Acoustic Calibration Barge (I).

Está equipado como un laboratorio y taller flotante combinado. La barcaza de 300 toneladas tiene 36 metros de largo por 17 metros de ancho. El área de trabajo principal está cubierta por una caseta de 30 metros por 13 metros, que permite realizar calibraciones durante todo el año. La barcaza está amarrada a 1 kilómetro de la orilla más cercana en una profundidad de agua de 42 metros. Tiene una grúa de 10 toneladas en la cubierta exterior para descargar el equipo y una grúa de 5 toneladas para colocar los aparatos sobre el pozo. Las estaciones giratorias con capacidades de hasta 7 toneladas están disponibles para colocar los transductores de sonar en cualquier orientación y profundidad requeridas.



Figura 15. Instalaciones de hidroacústica de DRDC Atlantic Acoustic Calibration Barge (II).

Algunas de las empresas más importantes en la materia situadas en Canadá usan estas instalaciones. Es el caso de GeoSpectrum Technologies, por ejemplo.

[+ INFO](#)

4.3.3.5 National Metrology Centre (SG)

Disponen de un Laboratorio de Acústica y Vibración que desarrolla, mantiene y difunde estándares de medición nacionales relacionados con la acústica, el ultrasonido y la vibración en Singapur.

Entre sus servicios incluyen acústica en el aire (20 Hz a 20 kHz), potencia de ultrasonido médico (100 mW a 1 W) y vibración (0,1 Hz a 350 kHz). Más allá de la difusión de la trazabilidad de la medición, estos estándares de medición abren oportunidades para que los desarrolladores y fabricantes de instrumentos de detección locales y extranjeros comprendan el rendimiento de sus dispositivos a través de una caracterización completa.

También llevan a cabo actividades de I + D para la industria y otras partes interesadas para desarrollar y aplicar técnicas de medición de acústica y vibración para diversas aplicaciones.

Más concretamente, el estándar de calibración de hidrófonos bajo el agua que utilizan es según la Sección 14 de IEC 60565: 2006 utilizando una columna de agua vibrante. La calibración del hidrófono se realiza mediante comparación con un hidrófono de referencia en el que ambas unidades están sujetas al mismo campo de presión hidrodinámica en la columna de agua.

Los servicios que prestan en este sentido son:

- Calibración submarina de hidrófonos en el rango de frecuencia de 30 Hz a 2000 Hz.
- Calibración aerotransportada de hidrófonos a la frecuencia de 250 Hz para modelos seleccionados.

[+ INFO](#)

4.3.3.6 National Institute of Ocean Technology (NIOT)

Cuentan con una instalación de pruebas acústicas que proporciona una gama única de instalaciones y servicios de medición para satisfacer las necesidades de medición individuales del cliente.

Esta instalación está acreditada para la calibración y prueba de transductores acústicos submarinos por la Junta Nacional de Acreditación para Laboratorios de Pruebas y Calibración (NABL) según ISO / IEC 17025: 2005. Las mediciones se realizan de acuerdo con IEC 60565-2006 y ANSI / ASA S1.20-2012 en el rango de frecuencia de 100Hz a 500 kHz.



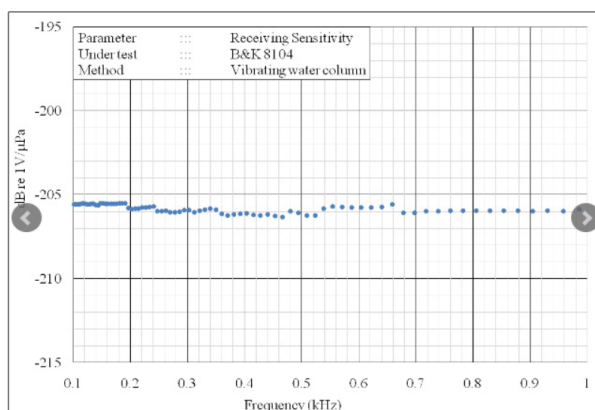
Figura 16. Instalaciones de hidroacústica del National Institute of Ocean Technology.

NIOT actualmente proporciona los siguientes servicios de calibración y prueba de acústica submarina:

- Calibración en campo libre de hidrófonos por el método de calibración de reciprocidad hasta 100 kHz.
- Calibración en campo libre de transductores acústicos submarinos e hidrófonos mediante un método de comparación de hasta 100 kHz.



- Medición de respuesta direccional de hidrófonos y transductores en el rango de frecuencia hasta 100 kHz en 360 grados de rotación.
- Impedancia / admitancia eléctrica del transductor en el rango de frecuencia de 100Hz a 1MHz.
- Medición del nivel de potencia / fuente de los transductores.
- Medición del nivel de presión sonora y análisis de frecuencia.



+ INFO

4.3.3.7 Defence Research & Development Organisation (IN)

Cuentan con un tanque acústico de 50 m de largo, 20 m de ancho y 18 m de profundidad, y pueden realizar pruebas y calibraciones de transductores de sonar e instrumentación acústica mediante la estimación de propiedades acústicas subacuáticas como reflexión, absorción, transmisión, pérdida de inserción e impedancia acústica. El tanque está equipado con una grúa EOT con control remoto y 2 plataformas móviles con giradiscos, que ayudan a alcanzar una precisión posicional de 1 cm en las 3 direcciones. También se pueden realizar mediciones de baja frecuencia y alta potencia de conjuntos de transductores más grandes.

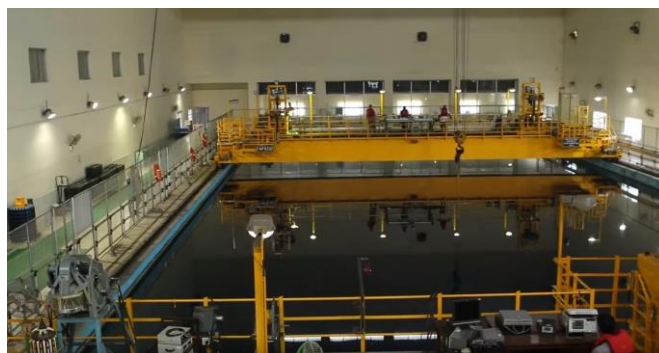


Figura 17. Tanque de hidroacústica de Defence Research & Development Organisation.

+ INFO

4.3.4. Tabla resumen

INSTITUCIÓN	Dimensiones (m)	Profundidad (m)	Rango
CTN (ES)	20 ø	10	3 kHz - 1 MHz
CSIC (ES)	7,5x4,5	4,5	
NPL (UK)	5 v	5,5	1kHz - 20Mhz
Neptune Sonar (UK)	Lago		<1kHz - 1Mhz
Precision Acoustics (UK)			<30kHz - 50Mhz
SINTEF (NO)	4,3 ø	2	
PTB (DE)			
Lab. of Underwater Acoustic Measurements (GR)	2,5 ø	1,5	
TÜBİTAK (TU)	15x10	7,5	2kHz - 500 kHz
Odin Metrology Inc. (USA)			
Ocean Sonics (CAN)			
DRDC (CAN)			
National Metrology Centre (SG)			30Hz - 2kHz
National Institute of Ocean Technology (IN)			100Hz - 500 kHz
Defence Research & Develop. Organisation (IN)	50 ø	20	

Tabla 1. Resumen-comparativa de instituciones

Datos no disponibles

4.4 Equipamiento

El equipamiento necesario para la realización de una calibración depende directamente del método utilizado. A continuación se detallarán brevemente los equipos imprescindibles para la calibración de transductores según los métodos descritos en la sección Métodos 4.2

1. Hidrófono: Transductor acústico – eléctrico que convierte la presión sonora recibida en una señal eléctrica.



Figura 18: Tipos de Hidrófonos (izquierda – Analógico; Derecha – Digital)

2. Preamplificador: Sistema capaz de aplicar una ganancia a una señal eléctrica con el fin de adecuar el nivel de señal a la entrada de otros sistemas, por lo general un sistema de adquisición de datos.



Figura 19: Tipos de Preamplificadores (Izquierda - con ganancia ajustable y filtros incorporados, Derecha – ganancia fija y sin filtros)

3. Sistema de adquisición de datos: Sistema convertidor analógico digital para la adquisición y grabación de señales eléctricas. Capacidad de recuperación posterior de dichas grabaciones para

el análisis de dichas señales y extracción de parámetros necesarios para el cálculo de la sensibilidad.



Figura 20: Sistema de adquisición de datos (Izquierda – específico para señales acústicas o de vibraciones; Derecha – Genérico modular)

4. Proyector: transductor eléctrico-acústico capaz de convertir una señal eléctrica en una onda acústica.



Figura 21: Proyector (Izquierda – piezoeléctrico; Derecha – Altavoz de membrana)

5. Amplificador de potencia: Sistema de aplicar una ganancia a una señal eléctrica para adecuarla a la entrada de otro sistema, normalmente un proyector.



Figura 22: Amplificador de potencia (Izquierda – frecuencias sónicas; Derecha – ultrasonidos)



6. Transductor de referencia: Hidrófono/proyector cuya sensibilidad es conocida previamente a una calibración. Éste es utilizado para la obtención de la sensibilidad de otro hidrófono/proyector por comparación.



Figura 23: Transductor de referencia (Izquierda – Preamplificador incorporado; Derecha – Sin preamplificador incorporado)

7. Tanque de agua/Piscina: Recinto con agua para la realización de mediciones de los transductores involucrados en la calibración. Cabe destacar que sus dimensiones limitarán las condiciones de campo abierto para frecuencias bajas y las condiciones de campo lejano para frecuencias altas. En ambos casos se debe de tener en cuenta para la elección del método. Idealmente esta instalación debe de ir acompañada de un sistema de posicionamiento automatizado para el control de las posiciones relativas de los hidrófonos/proyectores.



Figura 24: Tanques de pruebas (Izquierda – abierto sin posibilidad de ajustar la presión hidrostática; Derecha – cerrado limitaciones en condiciones de campo libre)

5. Legislación y normativa

5.1 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)".

5.1.1. El descriptor 11

El Descriptor 11 se define como "La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino". Por su relevancia, en esta fase de implementación de la Directiva se le ha dado prioridad al ruido submarino frente a otras fuentes de energía.

Para abordar este descriptor la Decisión (UE) 2017/848 de la Comisión establece dos criterios resumidos en la siguiente tabla:

Elementos de los criterios		Criterios	Normas metodológicas
Sonido impulsivo antropogénico en el agua.		D11C1 — Primario: La distribución espacial, la extensión temporal y los niveles de las fuentes de sonido impulsivo antropogénico no superan los niveles que puedan afectar adversamente a	<i>Escala de evaluación</i> Región, subregión o subdivisiones. <i>Uso de los criterios:</i>



Elementos de los criterios	Criterios	Normas metodológicas
	las poblaciones de animales marinos.	La medida en que se haya logrado el buen estado medioambiental se expresará para cada zona evaluada de la siguiente forma:
	Los Estados miembros establecerán los valores umbral correspondientes a estos niveles mediante la cooperación al nivel de la Unión, atendiendo a las especificidades regionales o subregionales.	a) para el criterio D11C1, la duración por año civil de las fuentes de sonido impulsivo, su distribución a lo largo del año y espacialmente en el área de evaluación, y si se han alcanzado los valores umbral fijados;
Sonido continuo antropogénico de baja frecuencia en el agua	D11C2 — Primario: La distribución espacial, la extensión temporal y los niveles de sonido continuo antropogénico de baja frecuencia no superan los niveles que puedan afectar adversamente a las poblaciones de animales marinos.	b) para el criterio D11C2, la media anual del nivel de sonido, u otra métrica temporal adecuada acordada al nivel regional o subregional, por unidad de superficie y su distribución espacial en el área de evaluación, así como la extensión (% km ²) del área de evaluación en la que se han superado los valores umbral fijados.
	Los Estados miembros establecerán los valores umbral correspondientes a estos niveles mediante la cooperación al nivel de la Unión, atendiendo a las especificidades regionales o subregionales.	El uso de los criterios D11C1, D11C2 en la evaluación del buen estado medioambiental en relación con el descriptor 11 deberá acordarse al nivel de la Unión.
		Los resultados de estos criterios contribuirán asimismo a las evaluaciones en el ámbito del descriptor 1.

Tabla 2. Especificaciones y métodos normalizados para el seguimiento y la evaluación

1. Para el seguimiento relativo al criterio D11C1:

- Resolución espacial: ubicaciones geográficas cuya forma y superficie deberán determinarse al nivel regional o subregional atendiendo, por ejemplo, a las actividades enumeradas en el anexo III de la Directiva 2008/56/CE.
- El sonido impulsivo descrito como nivel sonoro de la fuente de energía monopolar en unidades de dB re 1μPa (1) s, o como



variación del nivel sonoro desde cero hasta el nivel máximo de la fuente monopolar en unidades de dB re 1μPa m, ambos por encima de la banda de frecuencias de 10 Hz a 10 kHz. Los Estados miembros podrán tener en cuenta otras fuentes específicas con bandas de frecuencias más elevadas si los efectos a larga distancia se consideran relevantes.

2. Para el seguimiento relativo al criterio D11C2: La media anual, u otra métrica adecuada acordada al nivel regional o subregional, de la presión sonora al cuadrado en cada una de dos bandas de tercio de octava, una centrada en 63 Hz y la otra en 125 Hz, expresadas como nivel sonoro en decibelios, en unidades de dB re 1μPa, con una resolución espacial adecuada en relación con la presión. Este valor se podrá medir directamente, o bien deducirse de un modelo utilizado para interpolar entre mediciones, o por extrapolación de las mediciones. Los Estados miembros podrán decidir, asimismo, al nivel regional o subregional, hacer un seguimiento de otras bandas de frecuencias.

5.2 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.)

<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0038762#.WjPVvN9kaUk>

- 💧 **Underwater acoustics – Hydrophones.** Procedures For Calibration of Underwaater Electroacoustic Transducers (ANSI/ASA S1.20-2012)

<https://webstore.ansi.org/standards/asa/ansiasas1202012>

- 💧 **Underwater acoustics – Echosounders.** Calibration of acoustic instruments (ICES)

<http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Cooperative%20Research%20Report%20%28CRR%29/crr326/CRR326.pdf>



- 💧 **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).
<http://www.quietmed-project.eu/>
- 💧 **Laboratorio de hidroacústica** para apoyo en proyectos de I+D y caracterización acústica de todo tipo de equipos submarinos.
<http://www.ctninnova.com/hidroacustica/>
- 💧 **NPL:** Portal web sobre acústica submarina del National Physical Laboratory.
<http://www.npl.co.uk/ultrasound-and-underwater-acoustics/underwater-acoustics/>

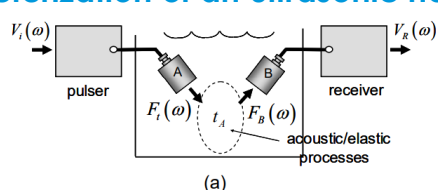


6. Tendencias

A continuación, se incluyen listados de publicaciones científicas, proyectos, noticias y eventos que permiten identificar las principales tendencias de la calibración de hidrófonos para medición de ruido submarino.

6.1 Literatura científica

Characterization of an ultrasonic nondestructive measurement system



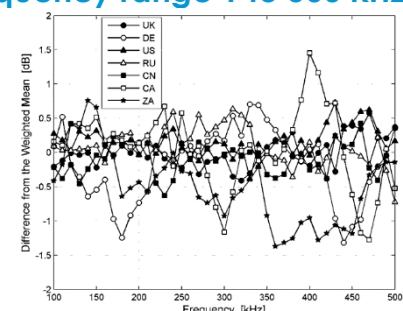
Autor: SÁNCHEZ, Ana L. López;
SCHMERR JR, Lester W.

Publicado en:
Simposio de metrología, 2006

Abstract:

The Electroacoustic Measurement Model (EAM model) is an explicit model of an ultrasonic measurement system. This model is used to quantitatively examine the combined effect of the pulser/receiver, cabling, and transducers by grouping them in a single term called system transfer function. It is shown that the system function obtained in this fashion agrees with the same function as measured in a calibration setup. It is demonstrated that by using the EAM model one can accurately simulate the output signal in an ultrasonic measurement system.

An international key comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 1 to 500 kHz



Autor: Robinson, S. P., Harris, P. M., Ablitt, J., Hayman, G., Thompson, A., van Buren, A. L., ... & Purcell, C.

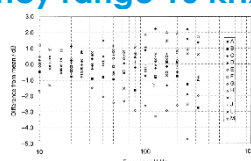
Publicado en: *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2006, vol. 120, no 3, p. 1366-1373; doi: 10.1121/1.2228790

Abstract:

A description is given of the results of a Key Comparison of primary free-field standards for underwater acoustics at frequencies from 1 to 500kHz. This is the first such Key Comparison

exercise in the field of underwater acoustic calibration and measurement. Laboratories from UK, Germany, USA, Russia, China, Canada, and South Africa participated by calibrating three reference hydrophones, with project coordination provided by the National Physical Laboratory, UK. The agreement between the results obtained from the comparison was generally encouraging, with the calibration values reported by the laboratories agreeing within quoted uncertainties over the majority of the frequency range, and the results generally lying within a ± 0.5 -dB band for frequencies up to 300kHz. A discussion is given of the general sources of uncertainties in the calibrations, in particular those which are thought to have contributed to the differences in the results between laboratories. The results of the participants have been used to estimate the equivalence of national measurement standards within this field.

International comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 10 kHz to 315 kHz



Autor: S P Robinson, G J Green, R C Preston, L Peirlinckx, L Kofoed, C Skodborg, A Roy, Y Mori, A Brenner, D Krüger, S Buogo, G Cannelli, L Troiano, C Runborg and G Gooch.

Publicado en:

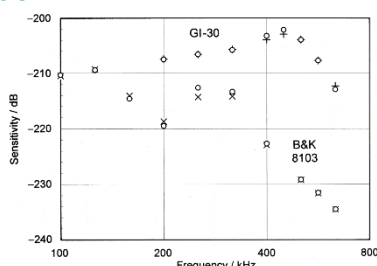
Metrología, 1999, vol. 36, no 4, p. 287; doi: 10.1088/0026-1394/36/4/7

Abstract:

This paper describes a European comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 10 kHz to 315 kHz. A total of twelve participants from seven European countries took part by calibrating three reference hydrophones, with project coordination provided by the National Physical Laboratory (NPL), UK. The agreement between the results was generally encouraging, with a majority of the results lying within 1 dB of the grand mean. However, some large variations were observed, and the uncertainties in the calibrations were typically underestimated by the participants, with the maximum differences from the grand means almost invariably exceeding the quoted overall uncertainties. A discussion is given of possible reasons for the disagreement, and of useful further work identified as a result of this comparison.



A Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods



Autor: Enyakov, A. M., Likhatchev, S. M., Platonov, V. A., Yuan, W. J., Wang, Y. B., & Li, J. Q.

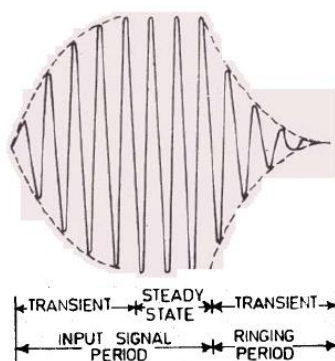
Publicado en:

Metrologia, 1999, vol. 36, no 4, p. 297;
doi: 10.1088/0026-1394/36/4/8

Abstract:

This is the final report of a Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods conducted by exchanging hydrophones between the Hangzhou Applied Acoustics Research Institute (HAARI) and the All-Russian Scientific and Research Institute for Physical-technical and Radio-technical Measurements (VNIIFTRI). The comparison was organized in 1997/98 in order to assess the current state of the art for hydrophone calibration in the Russian Federation and China. Six hydrophones of different types were calibrated using the Russian and Chinese Underwater Pressure National Standards in the frequency range 1 Hz to 630 kHz. The following methods and facilities for hydrophone calibration were used during the comparison: piezoelectric compensation in a closed chamber, vibrating column in an open chamber, and free-field reciprocity in the laboratory tanks. Some features and nuances of these facilities are considered. The agreement of 140 calibration data was checked for six hydrophones. The mean and maximum differences between the participants' results were 0.24 dB and 1.6 dB, respectively.

Calibration of Underwater Sound Transducers



Autor: Sastry, H. R. S.

Publicado en:

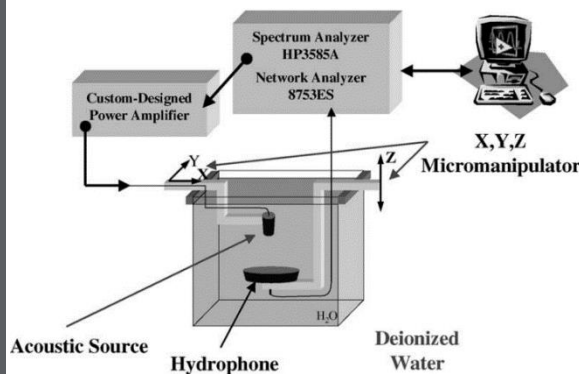
Defence Science Journal, 1983, vol. 33, no 3, p. 237-24; doi: 10.14429/dsj.33.6178

Abstract:

The techniques of calibration of underwater sound transducers for farfield, near-field and closed

environment conditions are reviewed in this paper .The design of acoustic calibration tank is mentioned. The facilities available at Naval Physical & Oceanographic Laboratory, Cochin for calibration of transducers are also listed.

Calibration of ultrasonic hydrophone probes up to 100 MHz using time gating frequency analysis and finite amplitude waves



Autor: Radulescu, E.G.,
Lewin, P.A., Wójcik, J.,
Nowicki, A.

Publicado en:
Ultrasonics, June 2003,
vol. 41, Issue 4; doi:
10.1016/S0041-
624X(03)00123-9

Abstract:

A number of ultrasound imaging systems employs harmonic imaging to optimize the trade off between resolution and penetration depth and center frequencies as high as 15 MHz are now used in clinical practice. However, currently available measurement tools are not fully adequate to characterize the acoustic output of such nonlinear systems primarily due to the limited knowledge of the frequency responses beyond 20 MHz of the available piezoelectric hydrophone probes. In addition, ultrasound hydrophone probes need to be calibrated to eight times the center frequency of the imaging transducer. Time delay spectrometry (TDS) is capable of providing transduction factor of the probes beyond 20 MHz, however its use is in practice limited to 40 MHz. This paper describes a novel approach termed time gating frequency analysis (TGFA) that provides the transduction factor of the hydrophone probes in the frequency domain and significantly extends the quasi-continuous calibration of the probes up to 60 MHz. The verification of the TGFA data was performed using TDS calibration technique (up to 40 MHz) and a nonlinear calibration method (up to 100 MHz). The nonlinear technique was based on a novel wave propagation model capable of predicting the true pressure-time waveforms at virtually any point in the field. The spatial averaging effects introduced by the finite aperture hydrophones were also accounted for. TGFA calibration results were obtained

for different PVDF probes, including needle and membrane designs with nominal diameters from 50 to 500 μm . The results were compared with discrete calibration data obtained from an independent national laboratory and the overall uncertainty was determined to be ± 1.5 dB in the frequency range 40–60 MHz and less than ± 1 dB below 40 MHz.

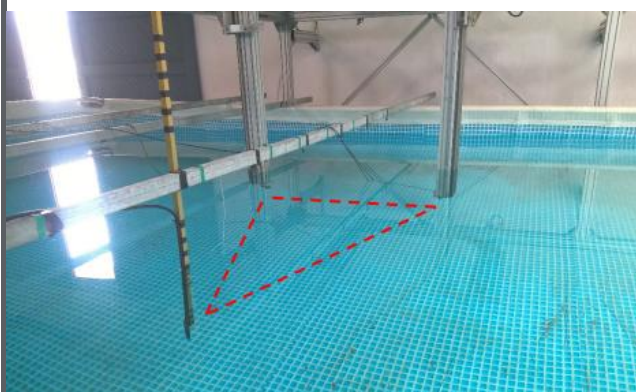
Estudio de la calibración de sensores acústicos por el método de reciprocidad para diferentes geometrías. Aplicación a la evolución temporal de la sensibilidad de los hidrófonos en instalaciones in situ

Autor: Magenti, P. G.

Publicado en:

2016. Tesis Doctoral.

Abstract:

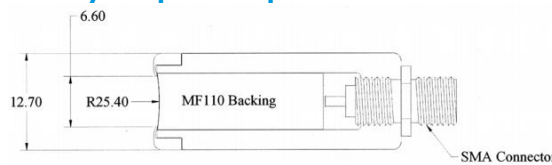


Este proyecto consiste en un estudio de los dos principales métodos empleados para calibrar transductores acústicos: el método de comparación directa y el método de reciprocidad.

El primero presenta la desventaja de que requiere que al menos uno de los dos transductores empleados esté previamente calibrado, pero cuenta con la ventaja de que precisa de menor equipamiento y la toma de medidas es más simple. El método de reciprocidad necesita de tres transductores, pero ofrece la ventaja de que es posible realizar calibraciones sin la necesidad de tener ningún transductor de referencia. En las calibraciones realizadas habitualmente, en laboratorio, los transductores a calibrar son situados enfrentados entre sí al aplicar el método de comparación directa, y en los vértices de un triángulo equilátero al utilizar el método de reciprocidad. Existen, sin embargo, instalaciones de sensores como los telescopios submarinos de neutrinos ANTARES o KM3NeT, situadas a gran profundidad bajo el mar, donde debido a la difícil accesibilidad no es posible situar los transductores de acuerdo a la geometría de un triángulo equilátero. El método de reciprocidad también

permite trabajar con geometrías asimétricas, y esta posibilidad, junto con la ventaja de no utilizar transductores de referencia, convierte a este método en el método de calibración más interesante para llevar a cabo calibraciones in situ en instalaciones o redes de sensores.

Wideband spherically focused PVDF acoustic sources for calibration of ultrasound hydrophone probes



Autor: Selfridge, A., Lewin, P.A.

Publicado en:

IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 47, no. 6, pp. 1372-1376, Nov. 2000.; doi: 10.1109/58.883526

Abstract:

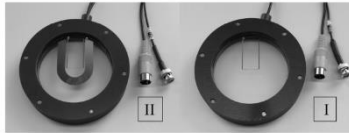
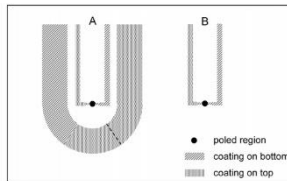
Several broadband sources have been developed for the purpose of calibrating hydrophones. The specific configuration described is intended for the calibration of hydrophones in a frequency range of 1 to 40 MHz. All devices used 25 μm film of PVDF bonded to a matched backing. Two had radii of curvatures (ROC) of 25.4 and 127 mm with f numbers of 3.8 and 19, respectively. Their active element diameter was 0.28 in (6.60 mm). The active diameter of the third source used was 25 mm, and it had an ROC of 254 mm and an f number of 10. The use of a focused element minimized frequency-dependent diffraction effects, resulting in a smooth variation of acoustic pressure at the focus from 1 to 40 MHz. Also, using a focused PVDF source permitted calibrations above 20 MHz without resorting to harmonic generation via nonlinear propagation.

Broadband PVDF Membrane Hydrophone for Comparisons of Hydrophone Calibration Methods up to 140 MHz

Autor: V. Wilkens and W. Molkenstruck

Publicado en:

IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, vol. 54, no. 9, pp. 1784-1791, September 2007; doi: 10.1109/TUFFC.2007.462

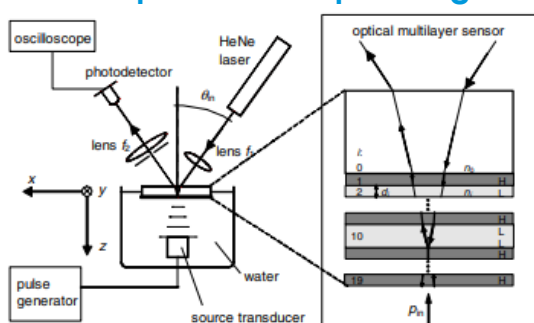


Abstract:

A PVDF membrane hydrophone has been constructed in particular for comparisons of broadband ultrasound hydrophone calibration methods and of the results obtained by different laboratories. Intercomparisons have to accompany the efforts currently undertaken to enhance the calibration frequency ranges and to implement the extension from the determination of amplitude-only to complex-valued calibration data. It can be expected that such hydrophone data will be used much more frequently in the future for exposure measurements on medical ultrasound equipment, in particular for the detection of non-linearly distorted waveforms. The hydrophone design chosen has a foil thickness of 9 μm and an electrode diameter of 210 μm . A broadband differential preamplifier (-3 dB roll-off frequency: 95 MHz) is integrated to achieve a high signal-to-noise ratio over a broad frequency range (e.g., 26 dB-30 dB in the range 50 MHz to 140 MHz for measurements of nonlinearly distorted pulses). The hydrophone response was characterized by means of a primary interferometric calibration technique, by substitution calibration using time-delay spectrometry, and by complex broadband pulse calibration using nonlinear sound propagation. The results show a flat frequency response up to 40 MHz (maximum variations below ± 0.6 dB) and a thickness mode resonance at about 105 MHz. They indicate a useable bandwidth up to 140 MHz. The effective diameter as derived from directional response measurements is 240 μm at frequencies beyond 15 MHz.



Phase calibration of hydrophones: heterodyne time-delay spectrometry and broadband pulse technique using an optical reference hydrophone



Autor: Ch. Koch and V. Wilkens

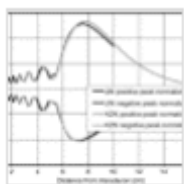
Publicado en:

Journal of Physics: Conference Series, 2004, vol. 1.; doi: 10.1088/1742-6596/1/1/006

Abstract:

Two hydrophone calibration techniques are presented which provide amplitude and phase of hydrophone sensitivity. Heterodyne time-delay spectrometry can be applied in the frequency range from 0.5 to 50 MHz to all common hydrophones but needs a standard to obtain absolute values. A pulse technique between 1 and 70 MHz allows exploiting of an optical multilayer hydrophone as a phase standard. In combination with HTDS, a calibration service is established that covers the complete spectrum of common piezoelectric and optical hydrophones for absolute amplitude and phase calibration. The measured complex frequency responses form the basis of deconvolution procedures suitable for the correction of measurements of, for example, the output of ultrasound diagnostic machines.

Nonlinear propagation model for ultrasound hydrophones calibration in the frequency range up to 100 MHz



Autor: Radulescu, E. G., Wojcik, J., Lewin, P. A., & Nowicki, A.

Publicado en:

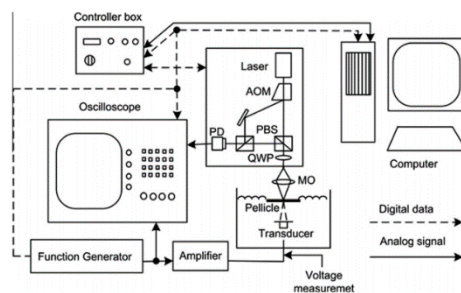
Ultrasonics, 2003, vol. 41, no 4, p. 239-245; doi: 10.1016/S0041-624X(03)00124-0

Abstract:

To facilitate the implementation and verification of the new ultrasound hydrophone calibration techniques described in the companion paper (somewhere in this issue) a nonlinear propagation model was developed. A brief outline of the theoretical considerations is presented and the model's

advantages and disadvantages are discussed. The results of simulations yielding spatial and temporal acoustic pressure amplitude are also presented and compared with those obtained using KZK and Field II models. Excellent agreement between all models is evidenced. The applicability of the model in discrete wideband calibration of hydrophones is documented in the companion paper somewhere in this volume.

Calibration of high-frequency hydrophone up to 40 MHz by heterodyne interferometer



Autor: Yang, P., Xing, G., & He, L.

Publicado en:

Ultrasonics, 2014, vol. 54, no 1, p. 402-407; doi:

10.1016/j.ultras.2013.07.013

Abstract:

A calibration technique for high-frequency hydrophone utilizing a heterodyne interferometer is presented in this article. The calibration system is mainly composed of optical and signal processing modules. In the displacement measurement, a pellicle is mounted at the surface of water to avoid acousto-optical interaction. The phase modulated carrier signal is digitized and transferred to the computer, then processed by digital phase demodulation. A phase unwrapping algorithm is employed to remove ambiguity of the arctangent function and has proven effective in large displacement measurements. Pellicle displacement and voltage output of the hydrophone in focused ultrasonic field are processed by DFT to determine the amplitudes of the fundamental and harmonic components. Experiments show that the heterodyne technique can provide hydrophone calibration up to 40 MHz, with a slightly smaller sensitivity compared with the National Physical Laboratory (NPL) calibration results for most frequency ranges. Since the heterodyne technique is independent on assumptions about the geometry of the ultrasonic field and the performance of the transducer, it can be easily extended to high frequency and high power ultrasound measurement applications.

Improvement of hydrophone measurements on diagnostic ultrasound machines using broadband complex-valued calibration data

Autor: Wilkens, V., & Koch, C.

Publicado en:

Journal of Physics:

Conference Series. IOP

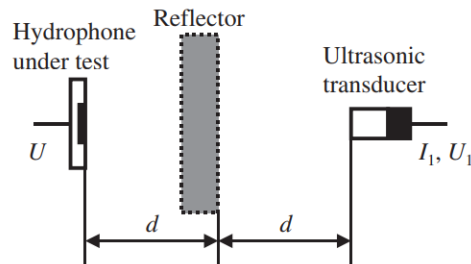
Publishing, 2004. p. 50.; doi:

10.1088/1742-6596/1/1/012

Abstract:

Non-ideal hydrophone frequency responses may impede correct acoustic output measurements on medical ultrasound equipment, in particular when high frequency or nonlinearly distorted waveforms have to be detected. It is shown that correct pressure waveforms $p(t)$ and the associated standard pulse parameters such as positive peak pressure p_+ and rarefactional peak pressure p_- can be obtained by impulse deconvolution if the non-ideal frequency response of the hydrophone $M(f)$ is provided with high frequency resolution both in amplitude and phase in a broad frequency range. The complex-valued calibration data required can be obtained by a secondary hydrophone calibration technique which was recently developed and uses broadband, nonlinearly distorted, focused ultrasound pulses and an optical multilayer hydrophone as reference. The results obtained for a membrane and a needle-type hydrophone are applied to improve exposure measurements on a commercial diagnostic ultrasound machine. This is shown for different operation modes and parameter settings of the diagnostic machine by comparison of the pressure pulse waveforms and pulse parameters obtained by the commonly applied evaluation method using the voltage-to-pressure transfer factor at the acoustic working frequency $M(f_{awf})$ with those obtained by pulse deconvolution using the complete broadband complex-valued transfer function $M(f)$.

Influence of ultrasonic nonlinear propagation on hydrophone calibration using two-transducer reciprocity method



Autor: Yoshioka, M., Sato, S., Kikuchi, T., & Matsuda, Y.

Publicado en:

Japanese journal of applied physics, 2006, vol. 45, no 5S, p. 4547; doi: 10.1143/JJAP.45.4547

Abstract:

In this study, the influence of ultrasonic nonlinear propagation on hydrophone calibration by the two-transducer reciprocity method is investigated quantitatively using the Khokhlov–Zabolotskaya–Kuznetsov (KZK) equation. It is proposed that the correction for the diffraction and attenuation of ultrasonic waves used in two-transducer reciprocity calibration can be derived using the KZK equation to remove the influence of nonlinear propagation. The validity of the correction is confirmed by comparing the sensitivities calibrated by the two-transducer reciprocity method and laser interferometry.

6.2 Proyectos

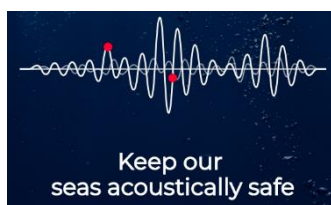
UNAC-LOW: UNderwater Acoustic Calibration standards for frequencies beLOW 1 kHz

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.

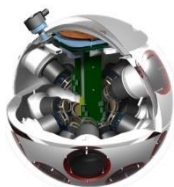
KM3NeT: Hydrophone Calibration of the SMO acoustic antenna

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 μ 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.

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.

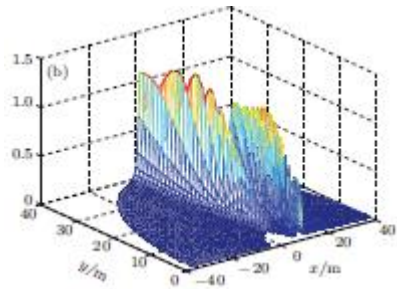
A geometric calibration method of hydrophone array with known sources in near field under strong multipath

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.

6.3 Noticias

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](#)

Fugro resumes acquisition of data for Norway's Mareano seabed mapping program

Publicado en: World Oil

Fecha: 08/10/2018

Fugro has been awarded a hydrographic survey contract, valued at NOK 44.7 million (approximately €4.7 million), by the Norwegian Hydrographic Service. The survey is part of the Mareano seabed mapping program, which is financed by Norway's Ministry of Trade, Industry and Fisheries, and the Ministry of Climate and Environment...

[Ver noticia](#)

Is this the new wave of submerged communications?

Publicado en: C4ISRNET

Fecha: 08/2018

The ocean hides what it contains, and it is in that hiding that submarines have their power. Lurking under seas, at first with just enough capability for an attack run and now with the ability to lurk for months at a time, submarines remain power out of reach, unseen until engaged in combat or resupplying in a friendly port. That stealth comes at a cost, however, besides the simple perils of existing underwater...

[Ver noticia](#)



New Acoustic Technology Aids Fisheries Management

Publicado en: Marine Technology News

Fecha: 30/05/2018

It's common to click ignore when our electronic devices offer update notifications. But when it comes to accurately tracking torpedoes and warships, it helps to have the latest software. Defence Research and Development Canada has been using the same acoustic calibration software system for its underwater equipment for nearly 20 years....

[Ver noticia](#)

Ciencia puntera en defensa del fondo del mar

Publicado en: La verdad

Fecha: 17/05/2018



El Centro Tecnológico Naval y la Universidad Politécnica de Cartagena desarrollan diferentes proyectos en base al sonido bajo el agua con el fin de proteger el entorno marino de acuerdo con las normas europeas...

[Ver noticia](#)

iXblue Equips Manned Submersible for Titanic Mission

Publicado en: Marine Technology News

Fecha: 23/04/2018

OceanGate, Inc., a provider of manned submersible services, and iXblue, a global company that provides innovative solutions for navigation, positioning and underwater imaging, are combining forces to conduct the first manned submersible expedition to the wreck of the RMS Titanic since 2005...

[Ver noticia](#)



Focus: Aquatic Eavesdropping**Publicado en:** Physics**Fecha:** 26/01/2018

A structured membrane enhances sound transmission across a water-air boundary, allowing underwater sounds to be heard in the air above. Sound waves mostly reflect back from any water-air boundary, making it nearly impossible to hear underwater sounds from above. But now physicists have devised a structure that, when placed in contact with the surface, can enhance sound transmission up to 160 times, allowing 30% of the sound energy through. The technology could be used to help communications with people underwater or in monitoring ocean environments. With further development, the sound-transmitting materials could lead to more sensitive underwater sound detection....

[Ver noticia](#)**Researchers immobilize underwater bubbles****Publicado en:** Phys.org**Fecha:** 09/08/2016

Controlling bubbles is a difficult process and one that many of us experienced in a simplistic form as young children wielding a bubble wand, trying to create bigger bubbles without popping them. A research team in CINaM-CNRS Aix-Marseille Université in France has turned child's play into serious business...

[Ver noticia](#)

Bedford Basin acoustic barge requires software upgrade, says navy

Publicado en: CBC Canadá

Fecha: 14/06/2016

It's common to click ignore when our electronic devices offer update notifications. But when it comes to accurately tracking torpedoes and warships, it helps to have the latest software. Defence Research and Development Canada has been using the same acoustic calibration software system for its underwater equipment for nearly 20 years....

[Ver noticia](#)

Prototype Equipment Design takes ONC innovation from concept to reality

Publicado en: Ocean Networks Canada

Fecha: 28/05/2015

Ocean Networks Canada (ONC) and Prototype Equipment Design (PED) recently collaborated to design and build the world's first low frequency calibration system for digital and analog hydrophones. The calibration system was designed to calibrate the most sensitive low frequency hydrophones on the market, Canada's icListen LF smart hydrophones. These ultra sensitive acoustic sensors detect sounds that are below the range of existing calibration systems: earthquakes, underwater landslides, large baleen whales and the rapidly growing undersea shipping noise that can impact marine ecosystems and environments...

[Ver noticia](#)



6.4 Eventos y fechas clave

UK/US Underwater Acoustics Conference



Lugar: Oxford, UK

Fecha: 04/12/2018

[+ INFO](#)

MARTECH18: 8th International Workshop on Marine Technology



Lugar: Oxford, UK

Fecha: 04/12/2018

[+ INFO](#)

ICUAM 2019: 21st International Conference on Underwater Acoustics and Measurements



Lugar: París, Francia

Fecha: 21-22/02/2019

[+ INFO](#)

DAGA 2019: 45th Annual Conference on Acoustics



Lugar: Rostock, Alemania

Fecha: 18-21/03/2019

[+ INFO](#)

177th Meeting of the Acoustical Society of America



Lugar: Kentucky, EEUU

Fecha: 13-17/05/2019

[+ INFO](#)

IFA2019: International Symposium on Fluid Acoustics



Lugar: Sopot, Polonia

Fecha: 13-17/05/2019

[+ INFO](#)

Inter-Noise 2019



Lugar: Madrid, España

Fecha: 16--19/06/2019

[+ INFO](#)

UACE 2019: Underwater Acoustics Conference & Exhibition



Lugar: Creta, Grecia

Fecha: 30/06/2019 – 05/07/2019

[+ INFO](#)

ICSV26: 26th International Congress on Sound and Vibration



Lugar: Montreal, Canadá

Fecha: 07--11/07/2019

[+ INFO](#)

ICA 2019: 23RD International Congress on Acoustics



Lugar: Aachen, Alemania

Fecha: 09 – 13/09/2019

[+ INFO](#)



IEEE SENSORS 2019**Lugar:** Montreal, Canadá**Fecha:** 27-30/10/2019[+ INFO](#)**FIA 2020: XII Congresso Iberoamericano de Acústica****FIA 2020**

XII CONGRESSO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA
XXIX ENCONTRO DA SOBRAC
20 a 23 de setembro de 2020 / Florianópolis-SC

Lugar: Florianópolis, Brasil**Fecha:** 20-23/09/2020[+ INFO](#)

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.
- Enyakov, A., Likhatchev, S., Platonov, V., Yuan, W., Wang, Y., & Li, J. (1999). A Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods. *Metrologia*, 36(4), 297.
- 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.
- Europea, C. (2012). *COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES - Crecimiento azul Oportunidades para un crecimiento marino y marítimo sostenible*. Obtenido de <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52012DC0494&from=EN&lang3=choose&lang2=choose&lang1=ES>
- Europea, C. (s.f.). *Crecimiento Azul*. Obtenido de https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/blue_growth_es
- F. Palop, J. V. (Febrero de 1995). Vigilancia Tecnológica e Inteligencia Competitiva. *Estudios Cotec*, nº 15. Cotec.
- Koch, C., & Wilkens, V. (2004). Phase calibration of hydrophones: heterodyne time-delay spectrometry and broadband pulse technique using an optical reference hydrophone. *Journal of Physics: Conference Series*, 1(1), 14.



- Levin, P. (1973). *Calibration of Hydrophones*. Bruël and Kjaer.
- MAGENTI, P. G. (2016). Estudio de la calibración de sensores acústicos por el método de reciprocidad para diferentes geometrías. Aplicación a la evolución temporal de la sensibilidad de los hidrófonos en instalaciones in situ. *Tesis Doctoral*.
- Radulescu, E. G., Lewin, P. A., Wojcik, J., & Nowicki, A. (2003). Calibration of ultrasonic hydrophone probes up to 100 MHz using time gating frequency analysis and finite amplitude waves. *Ultrasonics*, 41(4), 247-254.
- Radulescu, E. G., Wojcik, J., Lewin, P. A., & Nowicki, A. (2003). Nonlinear propagation model for ultrasound hydrophones calibration in the frequency range up to 100 MHz. *Ultrasonics*, 41(4), 239-245.
- Robinson, S., Green, G., Preston, R., Peirlinckx, L., Kofoed, L., Skodborg, C., . . . Gooch, G. (1999). International comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 10 kHz to 315 kHz. *Metrologia*, 36(4), 287.
- Robinson, S., Harris, P., Ablitt, J., Hayman, G., Thompson, A., van Buren, A., & Purcell, C. (2006). An international key comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 1 to 500 kHz. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120(3), 1366-1373.
- SÁNCHEZ, Ana L. López; SCHMERR JR, Lester W. (2006). Characterization of an ultrasonic nondestructive measurement system.
- Sastry, H. R. (1983). Calibration of Underwater Sound Transducers. *Defence Science Journal*, 33(3), 237-245.
- SELFIDGE, A., & LEWIN, P. A. (2000). Wideband spherically focused PVDF acoustic sources for calibration of ultrasound hydrophone probes. *ieee transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 47(6), 1372-1376.
- WILKENS, V., & MOLKENSTRUCK, W. (2007). Broadband PVDF membrane hydrophone for comparisons of hydrophone calibration methods up to 140 MHz. *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 54(9).
- Wilkens, Volke & Koch, Christian. (2004). Improvement of hydrophone measurements on diagnostic ultrasound machines using

broadband complex-valued calibration data. (I. Publishing, Ed.)
Journal of Physics: Conference Series, 1(1), 50.

YANG, Ping; XING, Guangzhen; HE, Longbiao. (2014). Calibration of high-frequency hydrophone up to 40 MHz by heterodyne interferometer. *Ultrasonics*, 54(1), 402-407.

Yoshioka, M., Sato, S., Kikuchi, T., & Matsuda, Y. (2006). Influence of ultrasonic nonlinear propagation on hydrophone calibration using two-transducer reciprocity method. *Japanese journal of applied physics*, 45(5S), 4547.





centro
tecnológico
naval y del mar

marine
technology
centre

www.ctnaval.com