



FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

## CUANTIFICACIÓN DEL RUIDO ACÚSTICO RADIADO POR BUQUES A TRAVÉS DE SU CASCO

PACS: 43.40.Rj

Rodrigo Saura, F.J.<sup>1,2</sup>; Ramis Soriano, Jaime<sup>2</sup>; Poveda Martínez, Pedro<sup>2</sup>; Carbajo San Martín, Jesús<sup>2</sup>;

<sup>1</sup>Sociedad Anónima de Electrónica Submarina. Carretera Algameca, s/n, 30205, Cartagena, Murcia, España. f.rodrigo@electronica-submarina.com

<sup>2</sup>Universidad de Alicante. Carretera San Vicente del Raspeig, s/n, 03080, San Vicente del Raspeig, España. jramis@ua.es, jcarbajo@ua.es, pedro.poveda@ua.es

**Palabras Clave:** Vibraciones, ruido estructural, función de transferencia, contaminación acústica.

### ABSTRACT

The noise generated by the ships' machinery and transmitted through its structure constitutes one of the main sources of noise radiated by ships. The estimation of radiated noise, and with it the control of underwater acoustic pollution generated by ships, can be carried out by applying a function that relates it to the measurement of the vibrations in the hull. In this work the relationship between the vibration of the hull and the acoustic pressure radiated by it is presented, determining and analyzing the transfer function that relates them. In addition, methods of in situ measurement of this function are presented, as well as experimental measures carried out.

### RESUMEN

El ruido generado por la maquinaria de los buques y transmitido a través de su estructura constituye una de las principales fuentes de ruido radiado por buques. La estimación de ruido radiado, y con ello el control de la contaminación acústica submarina generada por buques, se puede realizar aplicando una función que lo relacione con la medida de las vibraciones en el casco. En este trabajo se presenta la relación entre la vibración del casco y la presión acústica radiada por éste, determinando y analizando la función de transferencia que los relaciona. Además, se presentan métodos de medida in situ de dicha función, así como medidas experimentales realizadas.

## 1. INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO

El control de ruido acústico submarino radiado por buques es crítico por dos motivos principales: reducción de la contaminación acústica y supervivencia de buques militares.

En el año 2008, la Unión Europea (UE) promulgó la Directiva Marco de Estrategia Marina (DMEM), dirigida a la preservación del entorno marino. En dicha Directiva, el Descriptor 11 incluye los indicadores que describen los niveles de energía acústica a evaluar. Debido a que los buques son las fuentes principales de contaminación acústica en el entorno marino, es necesario analizar y evaluar el ruido emitido por ellos con el objeto de entenderlo y así poder reducirlo, minimizando su impacto en la fauna y flora marina.

Por otro lado, indicar que el ruido submarino emitido por buques militares, además de permitir su detección mediante sensores acústicos, permite su clasificación. La capacidad de detección y clasificación de buques de superficie o submarinos determina su vulnerabilidad y con ello la supervivencia de dichos buques, siendo crítico el control de las emisiones de ruido acústico emitido.

El ruido radiado submarino se determina en el dominio espectral, y es en general de dos tipos [1]; ruido de banda ancha, el cual es ruido continuo en el espectro y banda estrecha, el cual contiene frecuencias discretas o líneas espectrales. Adicionalmente, la radiación acústica también se caracteriza como ruido transitorio e intermitente causado por impactos, cambios en el estado de los equipos y maquinaria. El ruido radiado total es usualmente una combinación de ruido de banda ancha y banda estrecha. Hay que considerar que la naturaleza del ruido radiado cambia cuando la velocidad de la plataforma aumenta. Así, a bajas velocidades el ruido está dominado por tonales, mientras que a altas velocidades está dominado por ruido de banda ancha.

Las fuentes principales del ruido radiado por una plataforma son: ruido de maquinaria (1), ruido de hélices/propulsión (2), ruido de resonancias globales del casco (3), ruido de flujo (4) y ruido de cavitación (5). Los tres primeros son las fuentes principales del ruido radiado de banda estrecha o tonal. Los dos últimos son las fuentes principales de ruido radiado de banda ancha. El ruido generado por la maquinaria, que se transmite a través de la estructura, llamado en inglés structure-borne noise, es la fuente principal de ruido radiado a velocidades muy bajas [2] siendo el objeto de interés en este trabajo.

El ruido radiado al agua generado por vibraciones del casco de un buque se puede estimar midiendo los niveles de aceleración estructural del casco y aplicando la función que relaciona los niveles de aceleración medidos y la presión acústica en el fluido. Dicha función es conocida como la función de transferencia.

El presente trabajo resume los esfuerzos realizados para determinar y analizar la función de transferencia, es decir, partiendo de la velocidad estructural del casco, determinar la presión sonora que dicha vibración genera en el agua, por lo que el interés se centra en el método estadístico haciendo uso de modelos de eficiencia de radiación.

Si se dispone de herramientas para determinar la función de transferencia, conociendo las vibraciones generadas por el casco del buque y aplicando dicha función se puede estimar el ruido acústico radiado. Para un control completo de la situación se debe disponer de un array de acelerómetros. En la Figura 1 se muestra un diagrama de bloque esquemático.

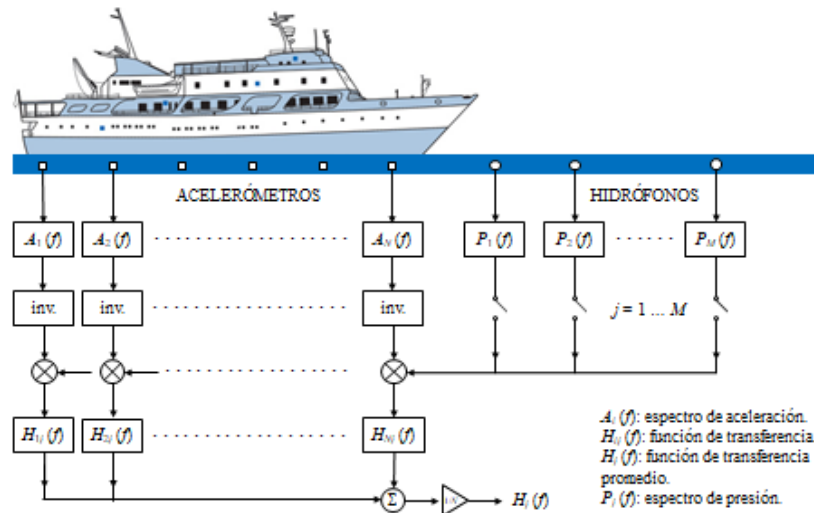


Figura 1. Diagrama de bloques esquemático de la configuración para la estimación de ruido radiado a partir de la medida de vibraciones del casco y aplicando la función de transferencia.

## 2. MÉTODOS PARA EL CÁLCULO DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

La determinación del nivel de presión sonora radiado por un buque implica el conocimiento de los datos relevantes en tres pasos principales, partiendo de una fuerza aplicada en un punto y concluyendo en la presión sonora que genera la vibración del casco por dicha fuerza:

- **Excitación y transmisión:** Describir y cuantificar la estructura fuente sonora en términos de potencia. Los ruidos de vibración se propagan al entrar en contacto un elemento en vibración con cualquier otro elemento, con lo cual este entra en vibración transmitiéndola a cualquier otro en contacto con él y produciendo a su vez una radiación de ondas sonoras. Estos ruidos se transmiten con mucha facilidad y hasta puntos muy lejanos del elemento que los origina, sin apenas atenuación.
- **Propagación:** Después de que la potencia vibracional se transmita a la estructura, las ondas comenzarán a propagarse y transportar energía a través del buque. Será necesario tener cuantificado el flujo de potencias entre las distintas estructuras. Esta distribución de energía y disipación por varios mecanismos puede ser cuantificada utilizando el método SEA (Statistical Energy Analysis) [3] o el Método de Elementos Finitos (MEF) [4].
- **Radiación:** La parte sumergida del buque radiará sonido al agua. Este proceso se realiza por un complejo mecanismo de interacción entre estructuras vibrantes y el fluido que lo rodea. Los problemas de interacción fluido-estructura necesitan estudios interdisciplinarios que involucran mecánica de sólidos y fluidos, análisis matemático de problemas de ecuaciones de derivadas parciales, análisis numérico, etc.

La función de transferencia es la relación entre la entrada y la salida de un sistema en el dominio frecuencial. Determina el comportamiento en frecuencia del sistema, de manera que a partir de su descripción analítica se puede determinar la salida producida con una entrada al sistema conocida.

De manera simplificada, se puede decir que existen dos enfoques principales para el cálculo de la función de transferencia para la estimación del ruido radiado por un buque: el método determinístico y el método estadístico. En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques simplificado de cada uno de ellos.

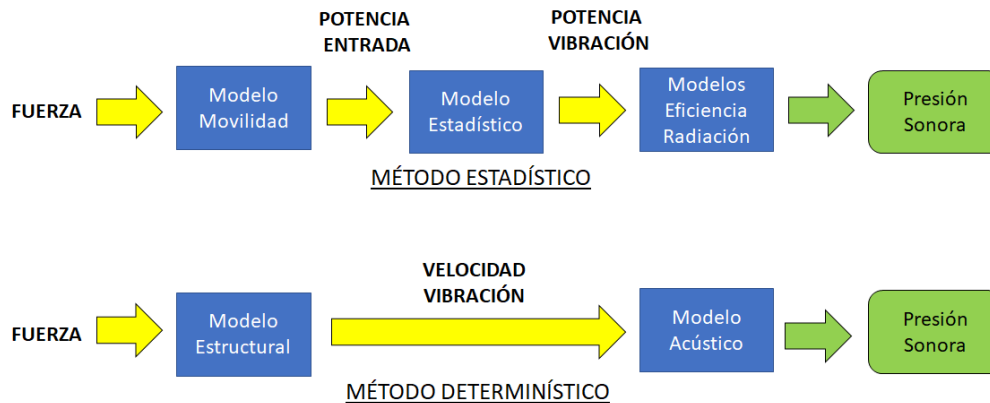


Figura 2. Métodos para obtener la función de transferencia de un sistema mecano-acústico.

## 2.1. Enfoque determinístico

Se utiliza para realizar una aproximación numérica del ruido radiado por las vibraciones estructurales. Normalmente se utilizan los métodos de análisis numérico MEF y Método de Elementos de Contorno (MEC). En la mayoría de los casos a la hora de resolver el problema acoplado se recurre a aplicar el método MEC para modelizar las ecuaciones en el fluido y el método MEF para las ecuaciones elastodinámicas, aunque también se puede utilizar el método MEC en ambos casos.

El método determinístico se utiliza para bajas frecuencias y elementos pequeños debido a que su simulación tiene una gran carga computacional.

A partir de la fuerza vibrátil se obtiene la velocidad de vibración de la estructura con el modelo estructural. Normalmente este modelo se realiza utilizando el método MEF. La velocidad de la estructura obtenida se utiliza para obtener la presión sonora a partir de un modelo acústico. Este modelo se realiza tanto con el método MEF como con el método MEC.

## 2.2. Enfoque estadístico

Se utiliza principalmente para altas frecuencias. La aproximación estadística no requiere los mismos detalles del montaje ya que se busca el ruido promedio dentro de un ancho de banda dado. Estamos hablando del así llamado Statistical Energy Analysis (SEA) [5-6]. Este método que encuentra su máxima utilidad en grandes estructuras. El método SEA, básicamente funciona dividiendo la estructura en subsistemas obteniendo el balance de energía para cada subsistema.

El método SEA requiere de la potencia de entrada a la estructura que es distribuida entre todos los subsistemas. Esta potencia de entrada se obtiene a partir de un método analítico como el modelo de movilidad.

La potencia sonora radiada de la estructura completa se obtiene a partir de la eficiencia de radiación de cada subestructura. Este cálculo se realiza con un método de eficiencia de radiación.

En la actualidad existe todo un campo de investigación de vibraciones y ruido estructural. Así, por ejemplo, en [7] se utiliza un modelo acoplado MEF/MEC para resolver la interacción fluido - estructura.

### 3. MODELOS DE EFICIENCIA DE RADIACIÓN

El objetivo es determinar la función de transferencia que relaciona el ruido estructural y el ruido radiado submarino que de manera muy simplificada podemos definir como [2]:

$$TF = L_p - L_a \quad [W] \quad (1)$$

donde, TF es la función de transferencia,  $L_p$  es el nivel de ruido radiado URN (Underwater, Radiated Noise, dB referenciados a 1  $\mu$ Pa, 1m, 1 Hz) y  $L_a$  es el nivel de aceleración en tercios de octava (dB referenciado a  $10^{-5}$  m/s<sup>2</sup>). La presión radiada a 1 metro de la fuente bajo las suposiciones de propagación esférica y directividad omnidireccional se define como:

$$L_p = L_W - 10\log(\Delta f) + 54 \text{ dB ref } 1 \mu\text{Pa @ } 1 \text{ m, } 1 \text{ Hz} \quad (2)$$

donde,  $L_w$  es el nivel de potencia Acústica (dB referenciados a  $10^{-12}$  W) y  $\Delta f$  es el ancho de banda.

Si la estructura radiante está formada por N superficies de área  $A_i$ , la potencia acústica radiada al agua está dada por:

$$W = \rho_0 c_0 \sum_{i=1}^N \sigma_{rad,i} A_i \langle v^2 \rangle_i \quad [W] \quad (3)$$

En la ecuación (3),  $\rho_0$  y  $c_0$  son las propiedades del agua del medio al que se radia, esto es densidad y velocidad del sonido,  $\sigma_{rad,i}$  es la eficiencia de radiación de la placa  $i$  y  $\langle v^2 \rangle_i$  es la velocidad al cuadrado promediada en el espacio y tiempo de la placa  $i$ .

Así, la función de transferencia depende de la eficiencia de radiación pudiéndose determinar que es un problema de radiación.

Existen en la bibliografía diferentes modelos para el cálculo de la eficiencia de radiación. Así, por ejemplo, en [8] se realiza un análisis de las ecuaciones analíticas para el cálculo analítico de la eficiencia de radiación de Maidanik [9] y Uchida [10]. En [11] Thompson especifica el modelo de eficiencia de radiación para frecuencias inferiores a la frecuencia crítica en función de la primera frecuencia de resonancia de la placa y la frecuencia para la que se acaba la región controlada por modos tipos corner. En [12] Cheng, estudió la eficiencia de radiación media de una placa rectangular sumergida en un fluido y excitada de forma puntual por medio de los dos métodos descritos anteriormente: método determinístico y método estadístico incluyendo el caso para cuando se usa un número de barras 'T' como elemento rigidizador.

Finalmente, en [13] se realiza una revisión sobre algunos métodos y técnicas experimentales para determinar la eficiencia de radiación donde se incluyen los modelos de Maidanik, Uchida, Thompson y Cheng comentados anteriormente.

El problema práctico cuando se aplica un método de eficiencia de radiación al casco de un buque reside en que son estructuras muy complejas, con diferentes tipos de placas que de acuerdo a su forma se pueden aproximar a placas cuadradas, cilíndricas, etc. En base a su distribución a lo largo de la eslora del buque se puede considerar periodicidad o no, se pueden considerar placas ortotrópicas, es decir que tiene una direccionalidad de acuerdo a la rigidez flexural, además hay que considerar el tipo de soporte de las placas y el factor de amortiguamiento. Debido a todas estas consideraciones, efectivamente el casco de un buque es considerado una estructura compleja, de manera que para el cálculo de la eficiencia de radiación es probable que haya que considerar varios modelos de manera simultánea dependiendo de la sección o compartimento del buque bajo análisis.

## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

### 4. MEDIDA DE LA FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

Como se ha comentado anteriormente, el objeto del presente trabajo es controlar el ruido radiado por el casco de un buque. Las medidas in situ son muy costosas en tiempo y dinero por lo que no es viable realizar de manera periódica medidas acústicas de buques in situ. Así, una manera de monitorizar el ruido radiado por las vibraciones del casco de un buque es medir de manera permanente las vibraciones del casco y mediante la aplicación de la función de transferencia estimar el ruido radiado.

La función de transferencia se puede determinar mediante cálculos numéricos o medidas experimentales. Los resultados obtenidos mediante cálculos numéricos deben ser validados con medidas experimentales. En cuanto a las medidas experimentales, indicar que se pueden realizar de modelos a escala cuyos resultados sean extrapolables a modelos reales, medidas de estructuras simples y medidas de buques reales.

En el presente trabajo se han realizado medidas de contenedores cilíndricos, consideradas como estructuras simples, y medidas de buques reales en puerto.

Las medidas de los contenedores cilíndricos se realizan para evaluar la radiación en aire y agua en función del material, espesor y método de fijar las paredes laterales con la base del cilindro mediante soldadura o intercalando una junta tórica. En concreto, se han fabricado dos muestras de aluminio con y sin junta tórica de espesor 2 mm y 5 mm y dos muestras de acero con y sin junta tórica de espesor 2 mm. En la Figura 3 se muestra los cuerpos cilíndricos fabricados de aluminio.

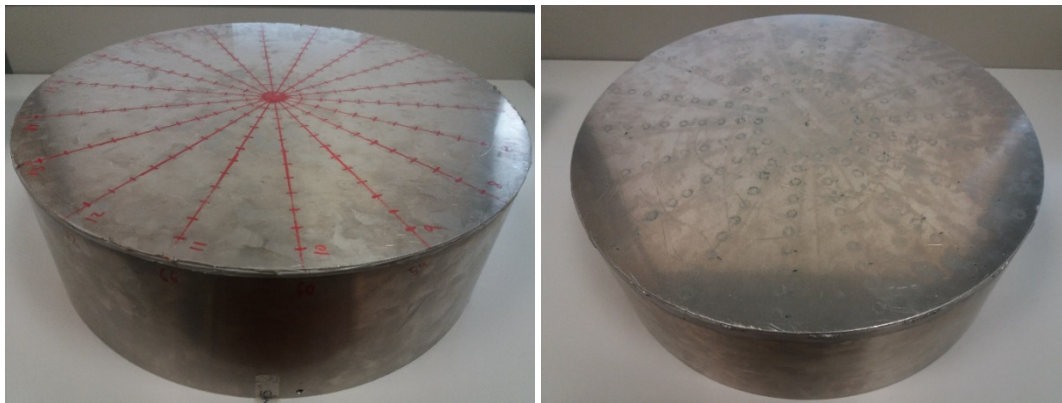


Figura 3. Contenedor cilíndrico de aluminio con elemento flexible entre la base y pared lateral de espesor 2 mm (izquierda) y con soldadura entre la base y pared lateral de espesor 5 mm (derecha).

Se han realizado medidas de modos propios de vibración, radiación en aire y radiación en agua de los cuerpos cilíndricos. En [14] se presenta la función de transferencia obtenida cuando los cuerpos radian en aire y en [15] cuando los cuerpos se encuentran radiando en agua.

En cuanto a medidas de la función de transferencia de buques reales en puerto, en este trabajo, se han utilizado dos métodos: medida directa y medida basada en el principio de reciprocidad.

#### Método de la medida directa

En este caso se instalan acelerómetros en el interior del casco para la medida de las vibraciones del mismo. En el exterior del casco y a una distancia determinada se despliega un

FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

hidrófono o conjunto de ellos, calados a diferentes profundidades y distancias, para la medida de la presión acústica. Como fuente de excitación del casco se suele utilizar:

- Elementos propios del buque como el motor principal, motor auxiliar, etc.
- Fuentes externas al buque como máquina de impactos, martillos o excitadores instalados en el casco. Las señales que se inyectan en los excitadores pueden ser varias, pero en concreto, en este trabajo se están utilizando señales del tipo MLS (Maximum Length Sequence).

En [16] se presenta la medida de la función de transferencia en un buque de casco de GRP (Glass Reinforced Plastic). Como fuente de excitación, se utilizó el motor principal. En estas medidas es crítico asegurar que la fuente excitadora del panel bajo medida es capaz de excitar dicho panel con amplitudes superiores al nivel de ruido ambiente en la banda de interés. Así, por ejemplo, en la Figura 4 se muestra la relación señal/ruido obtenida utilizando como fuente excitadora el motor principal.

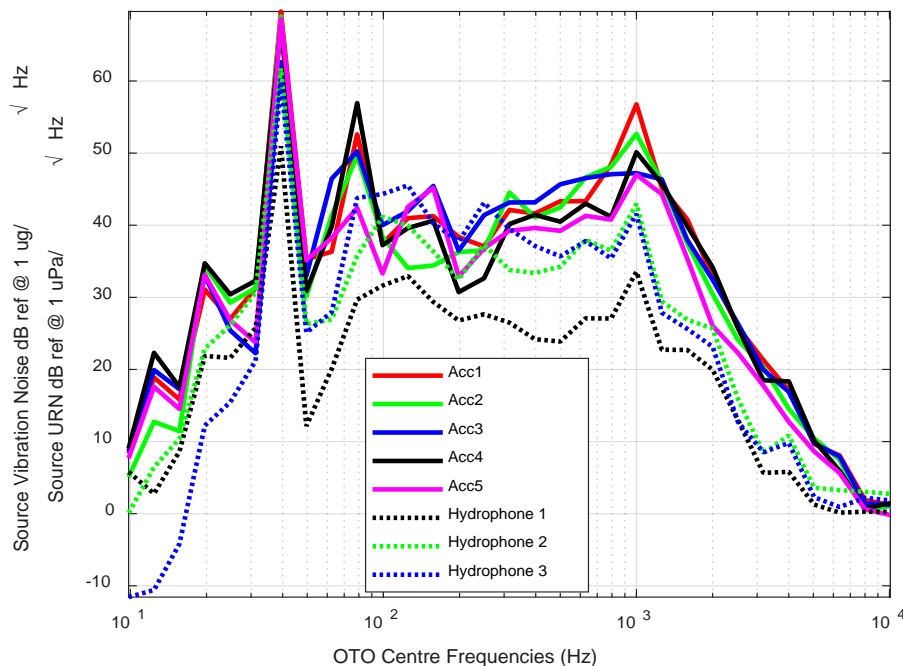


Figura 4. Relación señal/ruido de la aceleración y presión acústica medidas durante la campaña de medidas descrita en [16].

Otro proceso necesario para determinar de manera experimental la función de transferencia es realizar un análisis de repetibilidad de las medidas, esto es, cuanto se parecen las medidas entre sí cuando se está en las mismas condiciones de ruido y de fuente excitadora. Una vez determinado que la relación señal ruido es mayor que cero y que las medidas son aplicables al cálculo de la función de transferencia, se calcula ésta tanto en banda ancha como en banda estrecha, aunque preferiblemente en banda estrecha pues a partir de ésta se puede calcular en banda ancha. Se recomienda evaluar la función de transferencia calculada realizando estimaciones de ruido radiado a partir de las medidas de vibraciones realizadas y comparando dicha estimación con la medida real. En la Figura 5 se muestra la comparación de predicciones y medidas reales del nivel de ruido radiado en los tres hidrófonos desplegados durante la campaña de medidas de [16].

En [17] se presenta la campaña de medidas realizadas con el método de medida directa de un buque con casco construido con GRP y otro buque de casco construido con acero. El objeto de este trabajo es mostrar la dependencia de la eficiencia de radiación con el tipo de material del casco. En esta campaña de medidas se utilizaron diferentes fuentes de excitación como el motor principal y motor auxiliar propios del buque y otras fuentes externas como una máquina de impactos y un martillo.

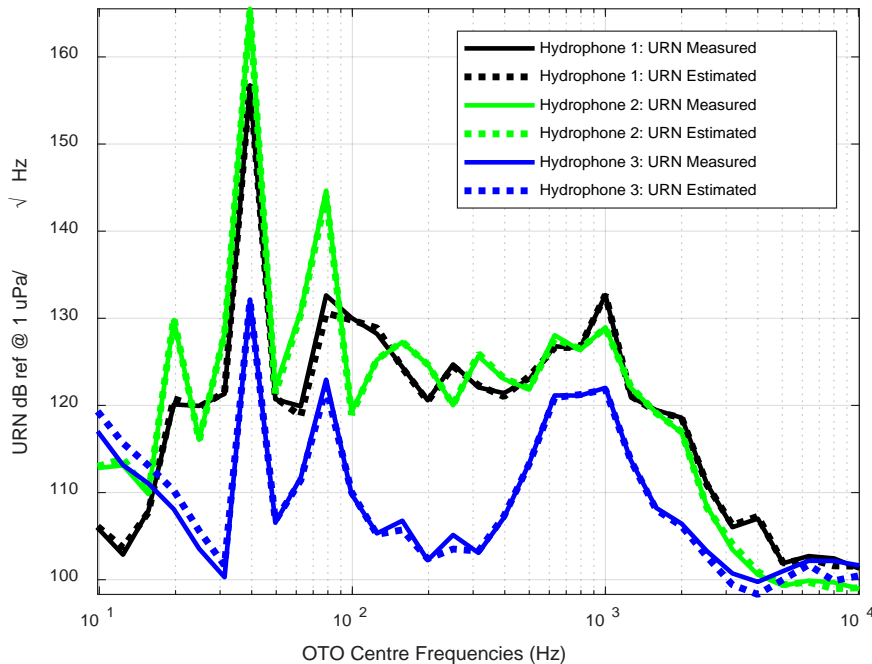


Figura 5. Nivel de ruido medido y estimado haciendo uso de la función de transferencia medida durante la campaña de medidas descrita en [16].

### Método de la medida basada en el principio de reciprocidad

Para realizar las medidas de la función de transferencia basadas en este método, se utiliza una fuente excitadora externa en el agua, es decir, un productor de ruidos submarino. Además, se instalan acelerómetros en el interior del casco para la medida de las vibraciones del mismo. El productor de ruidos puede ser excitado con una señal determinada, pero al igual que antes, en este trabajo se está utilizando la señal MLS como señal excitadora.

En realidad, este método no utiliza estrictamente el principio de reciprocidad, ya que se utiliza un productor de ruidos como fuente excitadora y no un hidrófono, pero conceptualmente sí está basado en dicho principio ya que la excitación se produce en el agua (entrada al sistema) y se mide la vibración en la parte interior del casco, considerada como salida del sistema.

En la actualidad se disponen de medidas de aceleración y presión sonora para el cálculo de la función de transferencia utilizando tanto en el método directo, empleando una señal MLS como fuente de excitación en un excitador instalado en el interior del casco del mismo buque bajo medida que el empleado en [16], como en el método basado en el principio de reciprocidad la misma señal MLS como excitación en el productor submarino. Esta campaña de medidas está bajo análisis. En la Figura 6 se muestra el despliegue realizado durante la campaña de medidas.



## FIA 2018

XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre

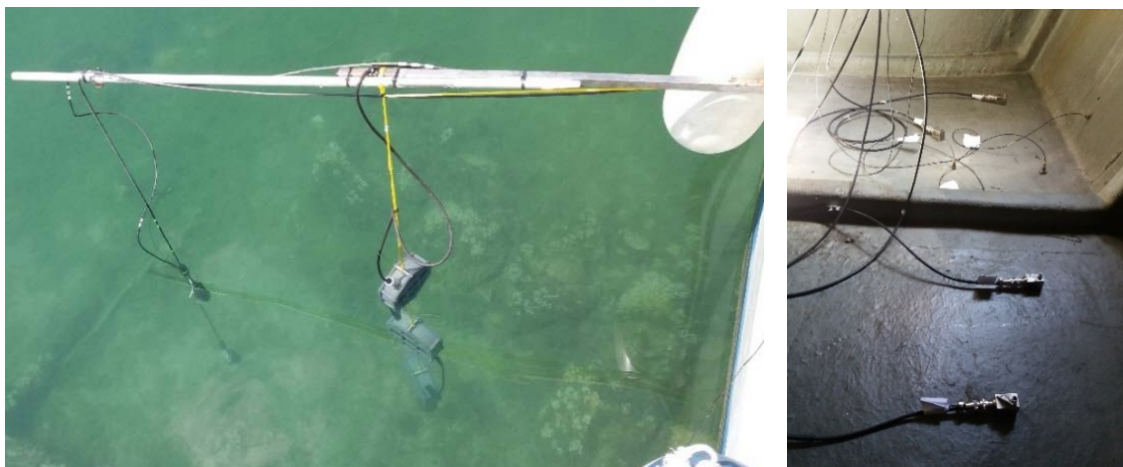


Figura 6. Despliegue de sensores y proyector para la medida de la función de transferencia mediante el método directo y el método basado en el principio de reciprocidad. A la izquierda despliegue del proyector submarino e hidrófonos de monitorización y a la derecha instalación de acelerómetros en el casco del buque.

## 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha descrito la necesidad del control del ruido acústico submarino radiado por buques a través de su casco. El ruido debido a las vibraciones estructurales del casco constituye la fuente principal de ruido acústico a bajas velocidades, lo que hace que su control sea crítico.

Se ha revisado de manera general los métodos para el cálculo de la presión sonora a partir de la fuerza aplicada a la estructura incidiendo en los métodos estadísticos usados y en concreto los métodos de eficiencia de radiación. El casco de un buque es una estructura muy compleja de manera que aplicar un único método de eficiencia de radiación para determinar la presión sonora no es posible.

Se han descrito los métodos y medidas experimentales de la función de transferencia en buques reales y estructuras simples como contenedores cilíndricos que se han realizado en este trabajo describiendo los diferentes métodos utilizados.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se desarrolló en el marco del proyecto de colaboración entre la empresa Sociedad Anónima de Electrónica Submarina (SAES) y el Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal de la Universidad de Alicante, como parte del doctorado de Francisco Javier Rodrigo Saura.

## REFERENCIAS

- [1] Submarine Acoustic Signature- A platform perspective. Chris Norwood and Yan Tso. Maritime Platforms Division (AMRL).
- [2] J.S. Kim, H.S. Kim, H.J Kang and S.R. Kim. Transfer Function of Structure-borne Noise to Underwater Radiated Noise. Autumn Conference of KSNVE in 2001, pp. 138-142.
- [3] Oppenheimer, C.H., Dubowsky, S. A methodology for predicting impact-induced acoustic noise in machine systems. Journal of sound and vibration. 2001.
- [4] Wei-Hui Wang, Jia-Hong Liou, Robert Sutton, Ben Dobson. Machine vibration induced underwater acoustic radiation. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 8, No. 1, pp. 30-40 (2000).



**FIA 2018**

**XI Congreso Iberoamericano de Acústica; X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica -TECNIACUSTICA'18-  
24 al 26 de octubre**

- [5] R. H. Lyon. Statistical Energy Analysis of Dynamical Systems: Theory and Applications. M.I.T. Press, 1st edition, 1975.
- [6] R. H. Lyon. Theory and Application of Statistical Energy Analysis. Butterworth-Heinemann, 2nd edition, 1995.
- [7] I. Harari, K. Grosh, T.J.R. Hughes, M. Malhotra, P.M. Pinsky, J.R. Stewart. Recent developments in Finite Element Methods for structural acoustics. Journal of Computational methods in engineering. Vol. 3, 2 y 3, 131-311. 1996.
- [8] Hyung-Suk Han and Kyung-Hyun Lee. Specification of the hull vibration to control underwater radiated noise by estimation with modified experimental sound radiation efficiency. Journal of Mechanical Science and Technology. 28 (9) 3425~3432, 2014.
- [9] G. Maidanik. Response of ribbed panels to reverberant acoustic fields. The Journal of Acoustical Society of America. 34 (1962) 809-829.
- [10] S. Uchida, Y. Yamanaka, K. Ikeuchi, K. Hattori and K. Nakamachi, Prediction of underwater noise radiated from ship's hull. Bulletin of the Society of Naval Architectures of Japan. 686 (1986) 36-45.
- [11] Xie G, Thompson DJ, Jones CJC. The radiation efficiency of baffled plates and strips. J Sound Vib 2005;280:181-209.
- [12] Z. Cheng, J. Fan, B. Wang and W. Tang, Radiation efficiency of submerged rectangular plates, Applied Acoustics, Vol. 73, 150-157, 2012.
- [13] Rodrigo-Saura, F. J.; Carbajo-San Martín, Jesús; Poveda-Martínez, Pedro; Ramis-Soriano, Jaime. Revisión de métodos de cálculo de la eficiencia de radiación aplicados en acústica submarina. 48º Congreso español de acústica. Tecniacústica. A Coruña 2017.
- [14] Rodrigo Saura, F.J.; Poveda Martínez, Pedro; Carbajo San Martín, Jesús; Requena Plens, Jose M, Ramis Soriano, Jaime; Comportamiento vibroacústico de contenedores cilíndricos en aire. FIA 2018. X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica. Octubre 2018. Cádiz
- [15] Rodrigo Saura, F.J.; Ramis Soriano, Jaime; Poveda Martínez, Pedro; Carbajo San Martín, Jesús; Comportamiento vibroacústico de contenedores cilíndricos en agua. FIA 2018. X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica. Octubre 2018. Cádiz.
- [16] F. Javier Rodrigo-Saura, Jaime Ramis-Soriano, Joaquín Fernández-Perles, Jesús Carbajo-San Martín, Pedro Poveda-Martínez. Estimation of the acoustic noise radiated by vessels from the measurement of the vibration of the hull. Underwater Acoustic Conference and Exhibition UACE 2017. 3-7 Septiembre 2017. Skiathos, Grecia.
- [17] Rodrigo-Saura, F. Javier; Ramis-Soriano, Jaime; Fernández-Perles, Joaquín; Carbajo-San Martín, Jesús; Poveda-Martínez, Pedro; Segovia-Eulogio, E. G. Transfer Function of the structure-borne noise to underwater radiated noise for ships with hull of different material. European Symposium of Underwater Acoustic Applications (ESUAA). 48º Congreso español de acústica y encuentro ibérico de acústica Tecniacústica. 3 de octubre 2017. La Coruña, España.