



FIA 2018

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

## COMPORTAMIENTO VIBROACÚSTICO DE CONTENEDORES CILÍNDRICOS EN AGUA

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, radiación en aire, radiación en agua, contenedores cilíndricos, respuesta en frecuencia.

### ABSTRACT

This work describes the experimental procedure carried out to study the radiant behaviour in water of the surface of the base of semi-cylindrical structures of 50 cm in diameter and a lateral surface of 15 cm in height when they are excited by an actuator in the centre of the base. The vibration level is measured by means three accelerometers and the pressure level in the fluid using an hydrophone that travels a grid of points on a horizontal surface of 1mx1m at different distances. In addition to comparing the results of different materials (steel and aluminium), the influence of the bonding condition between the surface of the base and the lateral surface of the structure is studied.

### RESUMEN

Este trabajo describe un procedimiento experimental llevado a cabo para estudiar el comportamiento radiante en agua de la superficie de la base de estructuras con forma de semicilindros de 50 cm de diámetro cuando son excitados mediante un actuador en el centro. El nivel de vibración se mide con tres acelerómetros y el nivel de presión en el fluido mediante un hidrófono que recorre una malla de puntos en una superficie horizontal de 1mx1m a diferentes distancias. Además de comparar los resultados de distintos materiales (acero y aluminio), se estudia la influencia de la condición de unión entre la superficie de la base y la superficie lateral de la estructura.

## 1. INTRODUCCION Y PLANTEAMIENTO

La estimación del ruido acústico submarino radiado por buques debido a las vibraciones de su casco se puede realizar aplicando diferentes técnicas, tal y como se describen en [1], donde se incluye una descripción general de métodos numéricos y experimentales para la estimación de la función de transferencia que relaciona las vibraciones estructurales con el ruido acústico radiado al agua.

El principal problema reside en que los buques son estructuras muy complejas, en las que es necesario sumar la contribución de cada elemento estructural. Por otra parte, es importante disponer de datos experimentales para poder ajustar los modelos numéricos, cada vez más accesibles. Así, es necesario realizar estudios experimentales de estructuras simples que permitan evaluar la influencia en la función de transferencia del tipo de material de la estructura radiante, su espesor y las condiciones de contorno.

En el presente trabajo se ha estudiado el comportamiento vibroacústico de estructuras simples en forma de semicilindro de distintos materiales y espesores en los que la forma de pegar la superficie de la base (de la que se estudia la radiación) a la superficie lateral del cilindro es distinta. En [2] se muestra el procedimiento experimental llevado a cabo para estudiar el comportamiento radiante de la superficie de la base de estructuras en forma de semicilindro de 50 cm de diámetro y una superficie lateral de 15 cm de altura cuando son excitados mediante un actuador en el centro de la base radiando en aire. En este trabajo se extiende el estudio presentado en [2] para el caso de radiación de la base de los semicilindros en agua. Al igual que en [2], en este trabajo se incide en cuantificar la influencia del tipo de unión (rígida o blanda) entre la superficie de la base y la superficie lateral de la estructura.

## 2. MATERIAL Y MÉTODO

En este apartado se describen las estructuras bajo estudio, el setup experimental utilizado y el procedimiento seguido.

### 2.1. Descripción de las estructuras bajo estudio.

Las estructuras utilizadas son tres semicilindros de 50 cm de diámetro de base y paredes laterales de 15 cm de altura. Dos estructuras están fabricadas de acero de 2 mm de espesor y la tercera de aluminio. En una de las muestras de acero la unión de la base con la superficie lateral se realiza con soldadura, mientras que en una de acero la unión se realiza intercalando una junta tórica. En la Figura 1 se muestra las estructuras de las que se presentarán resultados. Se pueden apreciar los puntos de medida de vibración. La excitación se ha realizado en el centro geométrico de la superficie de la base.



Figura 1. Estructuras bajo estudio. Izquierda: acero con junta tórica entre la superficie de la base y la superficie lateral. Centro: Idem sin junta tórica. Derecha: con junta tórica.

## 2.2. Setup experimental.

Se ha aplicado una metodología experimental basada en la utilización de señales pseudoaleatorias tipo MLS (Maximum Length Sequence). La técnica MLS es esencialmente una técnica de medida de la respuesta impulsiva de un sistema lineal. A partir de esta medida es capaz de derivar muchas características de un sistema acústico, mediante post-procesado, como la función de transferencia, respuesta en frecuencia, respuesta de fase, retardo de grupo, etc.). A diferencia del ruido blanco, una secuencia MLS es determinista y periódica, aunque retiene muchas de las propiedades del ruido blanco.

La técnica MLS se ha utilizado en diferentes aplicaciones de acústica submarina como por ejemplo las mostradas en las referencias [3], [4] y [5], aunque no se ha encontrado que esta técnica esté extendida para la estimación de la función de transferencia de estructuras radiando en agua. Así, uno de las principales aportaciones de este trabajo es el uso de esta técnica y los resultados obtenidos para la determinación de la función de transferencia de estructuras radiando en agua.

La técnica MLS requiere de un excitador que genere las vibraciones en la estructura, unos acelerómetros que midan los niveles de aceleración estructural y un hidrófono que mida los niveles de presión sonora en el agua. Con estas medidas se está en disposición de calcular tanto la respuesta en frecuencia como la función de transferencia de las estructuras.

Para la adquisición de la presión sonora se ha utilizado el hidrófono de Bruel&Kjael 8104. Las señales acústicas medidas son amplificadas por el amplificador Bruel&Kjael 2610. Las señales de vibración son medidas con tres acelerómetros piezoeléctricos modelo tipo 4514-B-002 de Bruel&Kjael. Las señales de los acelerómetros son acondicionadas con el amplificador de Bruel&Kjael Nexus. Finalmente, todas las señales son adquiridas con la tarjeta multifunción de National Instruments modelo NI-PCI 6120.

La excitación se realiza mediante un actuador HIAX25C10-8HS de tipo electrodinámico, que genera la señal MLS inyectada por la misma tarjeta multifunción National Instruments modelo NI-PCI 6120.

La aplicación software utilizada para el control y gestión de todas las señales es el mismo que el descrito en [2]. El análisis de las medidas se ha realizado en MATLAB®.

## 2.3. Procedimiento.

Las medidas se han realizado en las instalaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el instituto Leonardo Torres Quevedo. Las instalaciones del CSIC cuentan con una piscina 7,5 metros de largo y 4,5 metros de profundidad. Hay dos posicionadores. Un posicionador configurado como emisor (posicionador 1) y otro como receptor (posicionador 2). El hidrófono de medida Bruel&Kjael 8104 se instaló en el posicionador 2. Con el objeto de evitar problemas de difracción acústica, se separó el hidrófono lo suficiente del posicionador usando una varilla metálica de longitud superior a 2 metros. En la Figura 2 se muestra los dos posicionadores y el hidrófono instalado en el posicionador 2. El posicionador 1 no se utilizó durante los ensayos.

Los semicilindros se posicionaron en el centro de la piscina, sujetos mediante cuerdas con el objeto de no insertar en el experimento elementos susceptibles de modificar la respuesta en frecuencia de dichas estructuras bajo medida. Para la fijación de las estructuras se consideró que la tensión de las cuerdas debía ser lo suficiente para que no se moviera la estructura garantizando que la base estuviera en contacto con el agua. En la Figura 3 se muestra un semicilindro fijado y el hidrófono posicionado bajo él para la medida de la presión acústica.

FIA 2018

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

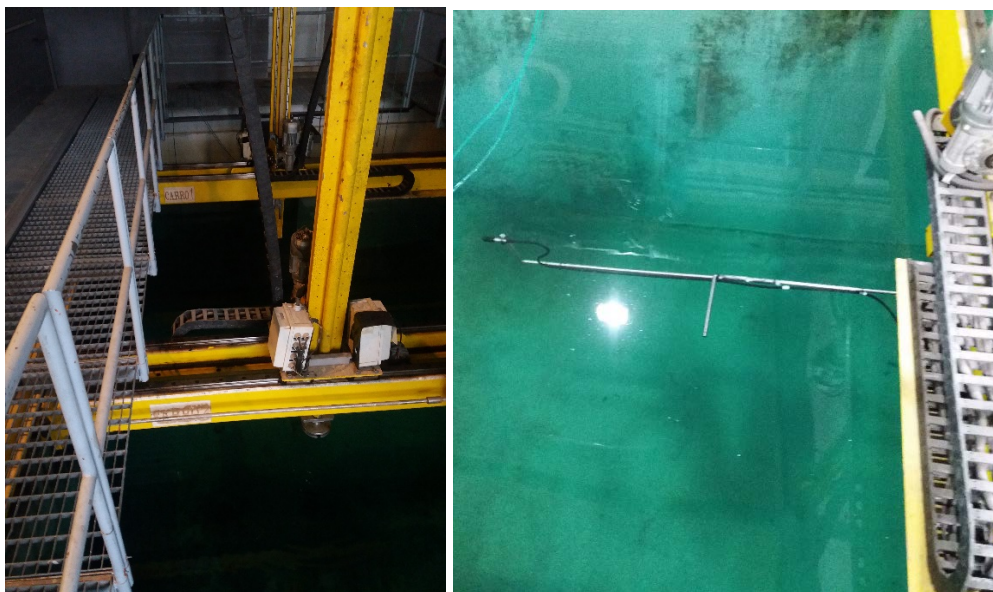


Figura 2. Posicionadores de las instalaciones del CSIC (izquierda) e hidrófono instalado con una varilla en el posicionador 2 (derecha).

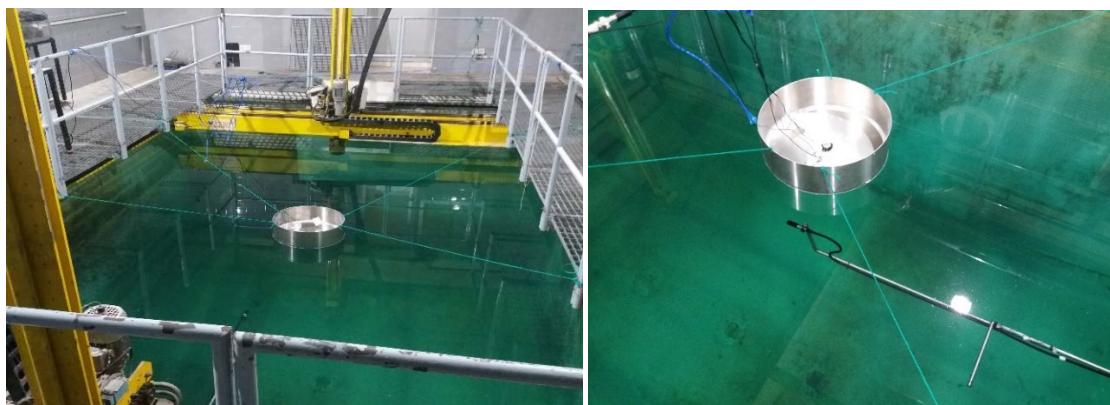


Figura 3. Fijación de la estructura en el centro de la piscina y posicionamiento del hidrófono bajo ella.

El posicionador 2 se movía automáticamente a la posición deseada utilizando un software propietario del CSIC.

En el interior de los semicilindros se instalaron los tres acelerómetros, en diferentes posiciones, y en el centro de su base el excitador.

Para evaluar la radiación en agua de las muestras se realizan medidas en un plano vertical y en un plano horizontal. En la Figuras 4 se muestra la matriz de puntos medidos en el plano vertical, siendo un total de 31 x 31, es decir, 30 x 30 tramos cubriendo un área de 100 cm x 100 cm.

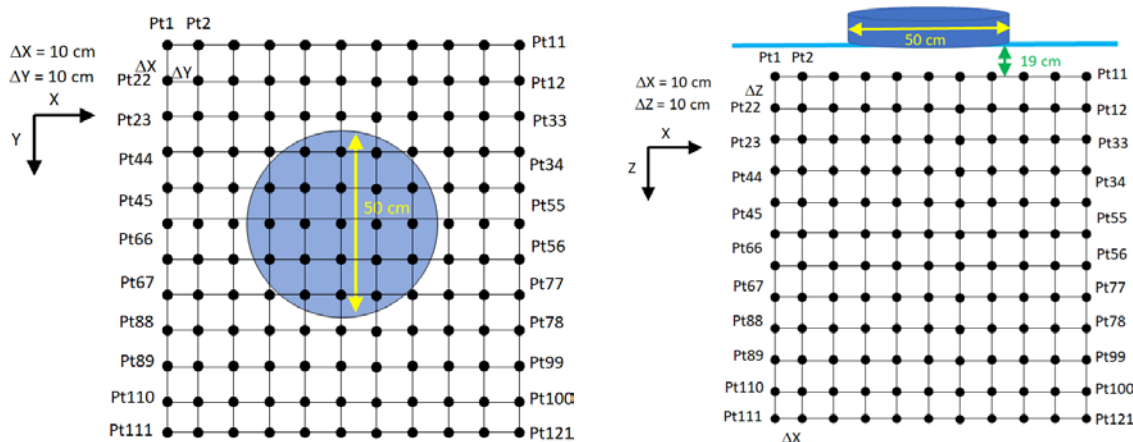


Figura 4. Descripción de los puntos de medida en el plano horizontal (izquierda) y vertical (derecha) medidas de la respuesta en frecuencia en aire de las muestras.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1. Vibraciones en la base y presión acústica radiada.

En este apartado se muestran gráficamente las medidas de aceleración de la base de los semicilindros y el nivel de presión acústica radiada al agua.

En la Figura 5 se muestra las medidas de aceleración en la base de los semicilindros de acero con junta tórica y sin junta tórica y de aluminio con junta tórica. La media de la aceleración medida se muestra resaltada en color rojo.

En la Figura 6 se muestra las medidas de presión acústica radiada al agua de los semicilindros de acero con junta tórica y sin junta tórica y de aluminio con junta tórica. La media de la presión acústica radiada se muestra resaltada en color rojo.

En la Figura 7 se muestra la aceleración media de cada semicilindro frente a la presión acústica radiada media.

FIA 2018

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

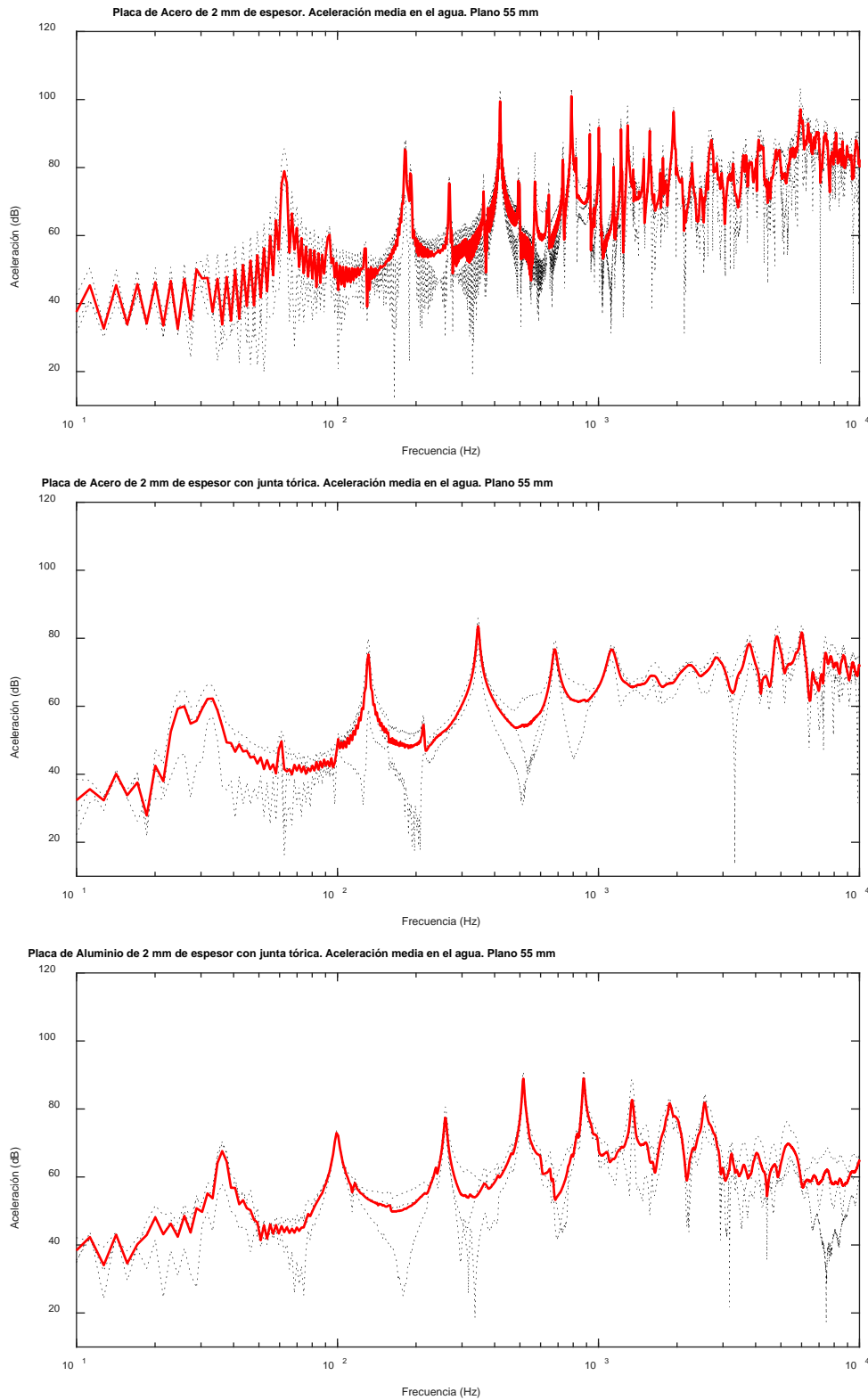


Figura 5. Aceleración medida en la base del semicilindro de acero sin junta tórica (arriba), acero con junta tórica (centro) y aluminio con junta tórica (abajo). En rojo la aceleración media medida.

FIA 2018

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

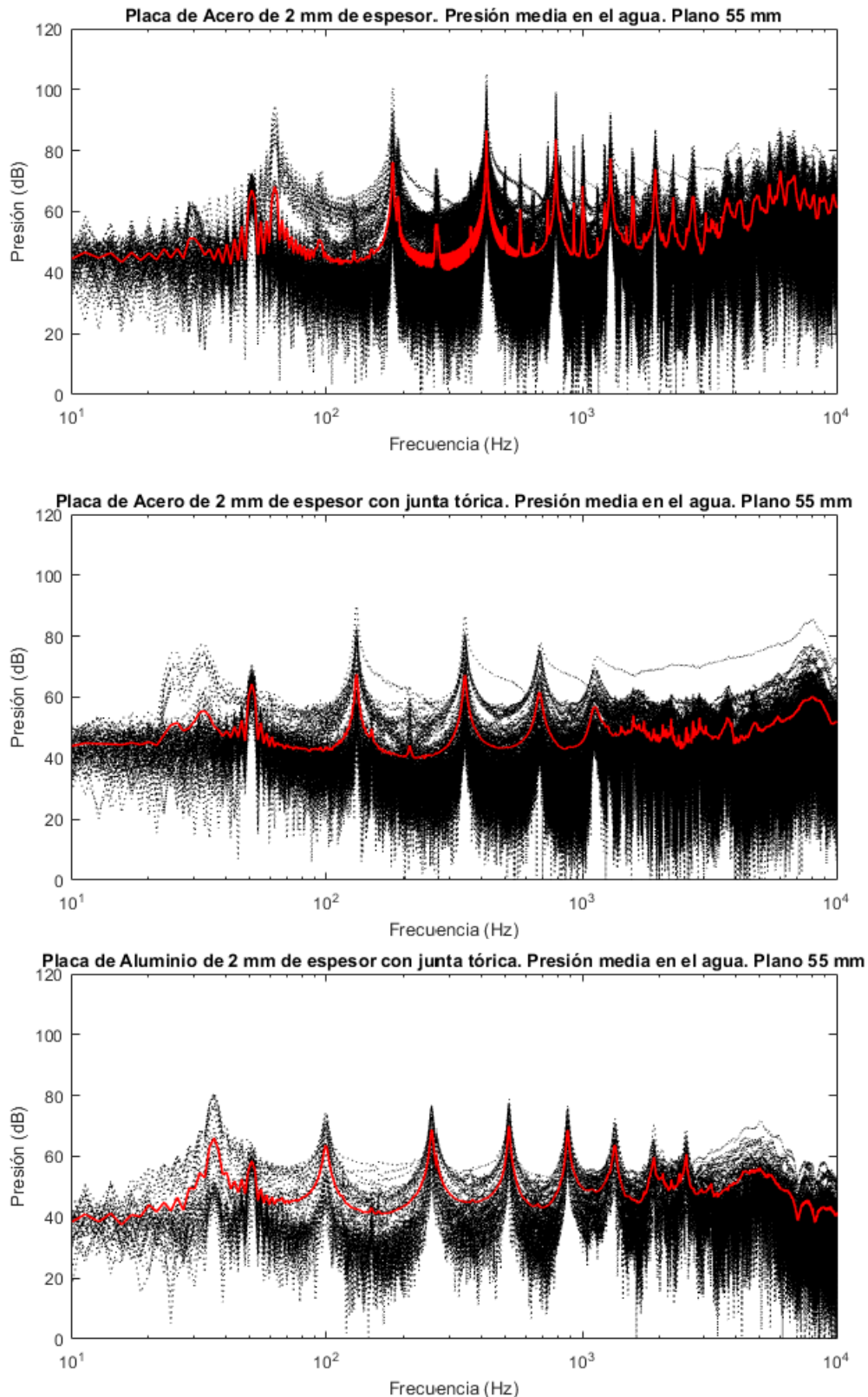


Figura 6. Presión acústica radiada al agua del semicilindro de acero sin junta tórica (arriba), acero con junta tórica (centro) y aluminio con junta tórica (abajo). En rojo la media de la presión acústica medida.

FIA 2018

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

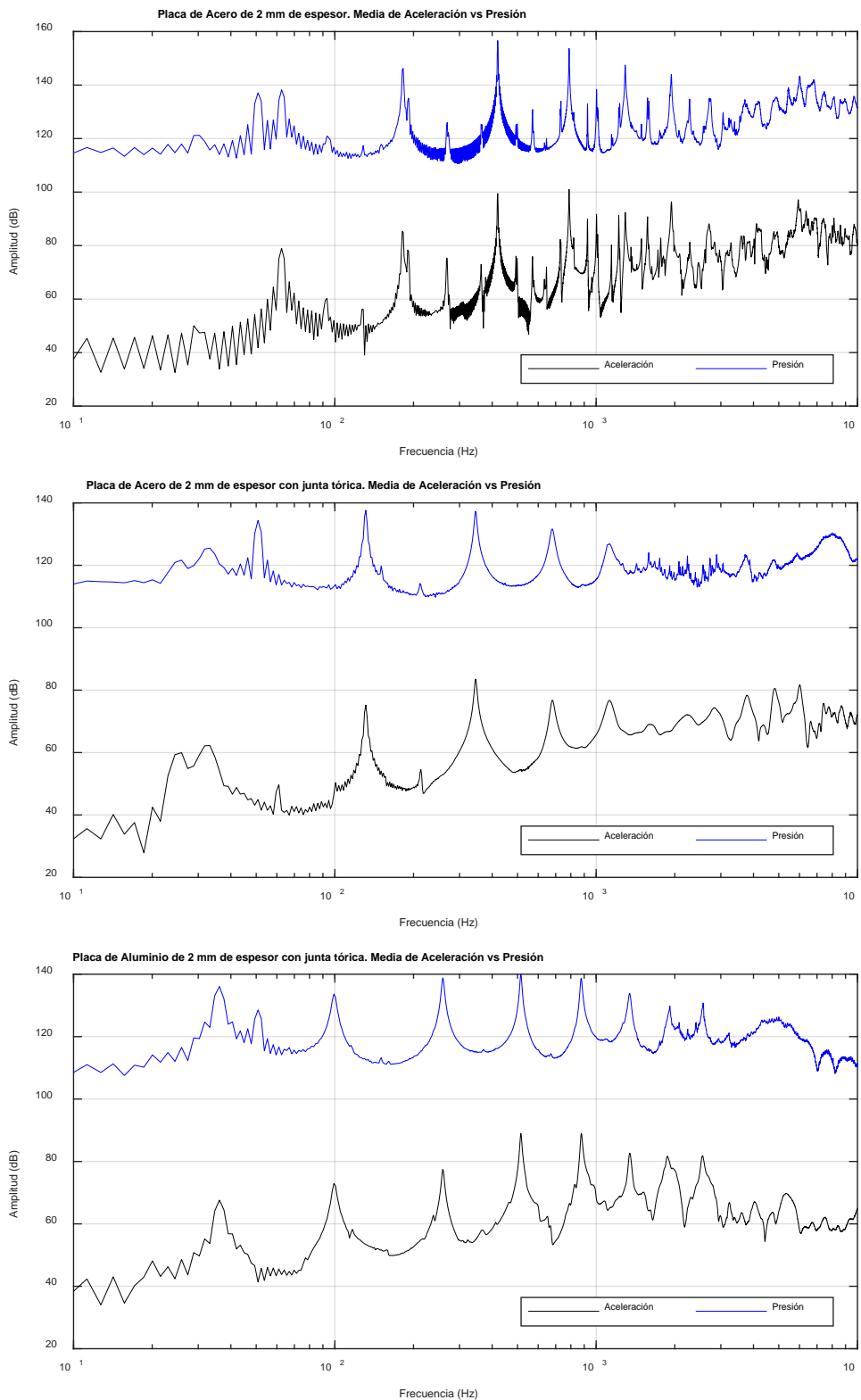


Figura 7. Aceleración media versus Presión acústica radiada al agua media del semicilindro de acero sin junta tórica (arriba), acero con junta tórica (centro) y aluminio con junta tórica (abajo).



FIA 2018

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

3.2. Función de transferencia. Presión Acústica radiada versus Aceleración.

En este apartado se muestra la función de transferencia que relaciona la vibración con la presión acústica radiada para cada semicilindro. En la Figura 8 se muestra la función de transferencia obtenida para cada semicilindro.

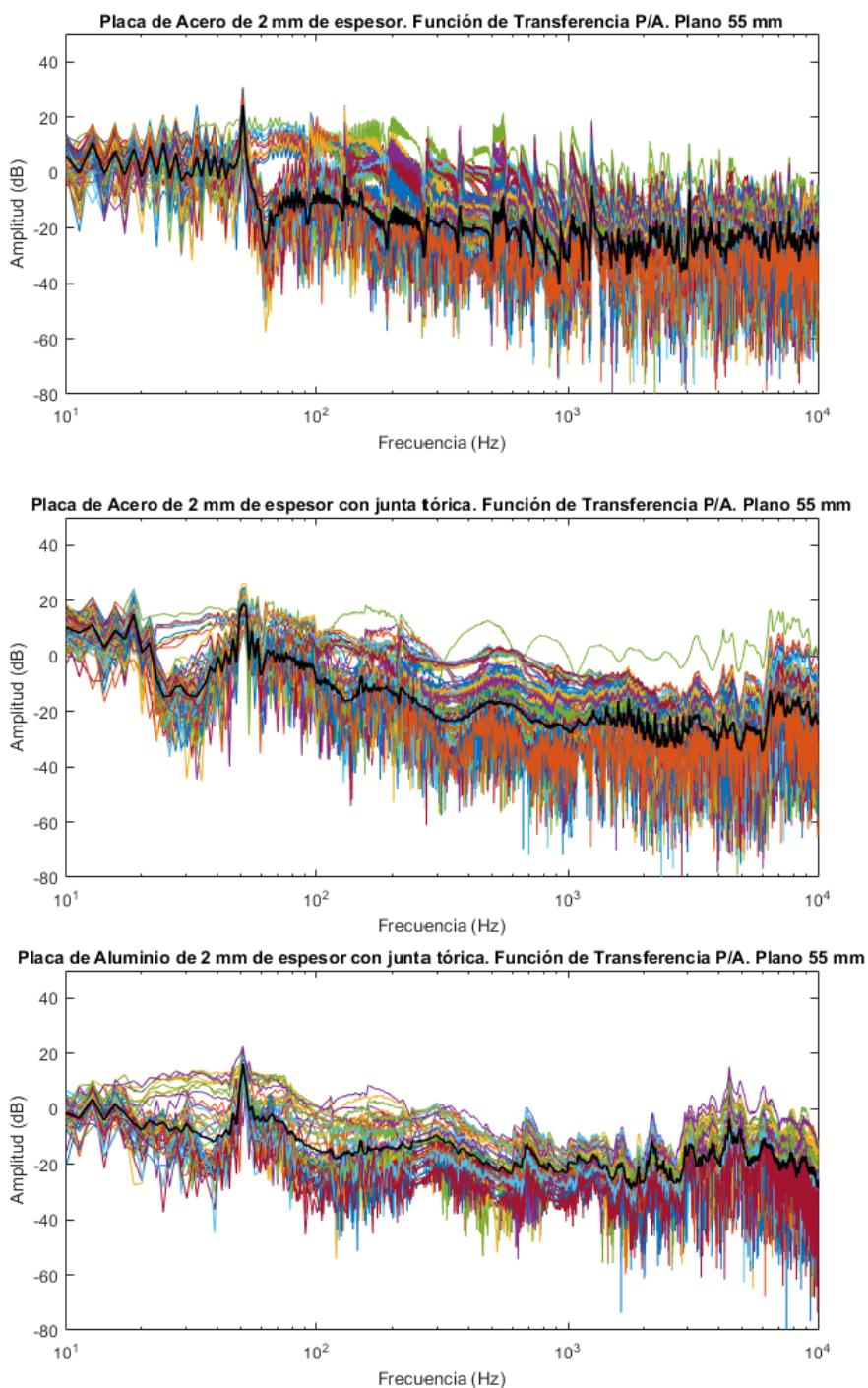


Figura 8. Función de transferencia obtenida del semicilindro de acero sin junta tórica (arriba), acero con junta tórica (centro) y aluminio con junta tórica (abajo).

FIA 2018

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

Con el objeto de comparar gráficamente los resultados obtenidos, en la Figura 9 se muestra la función de transferencia de cada semicilindro en banda estrecha y banda ancha, es decir, tercios de octava.

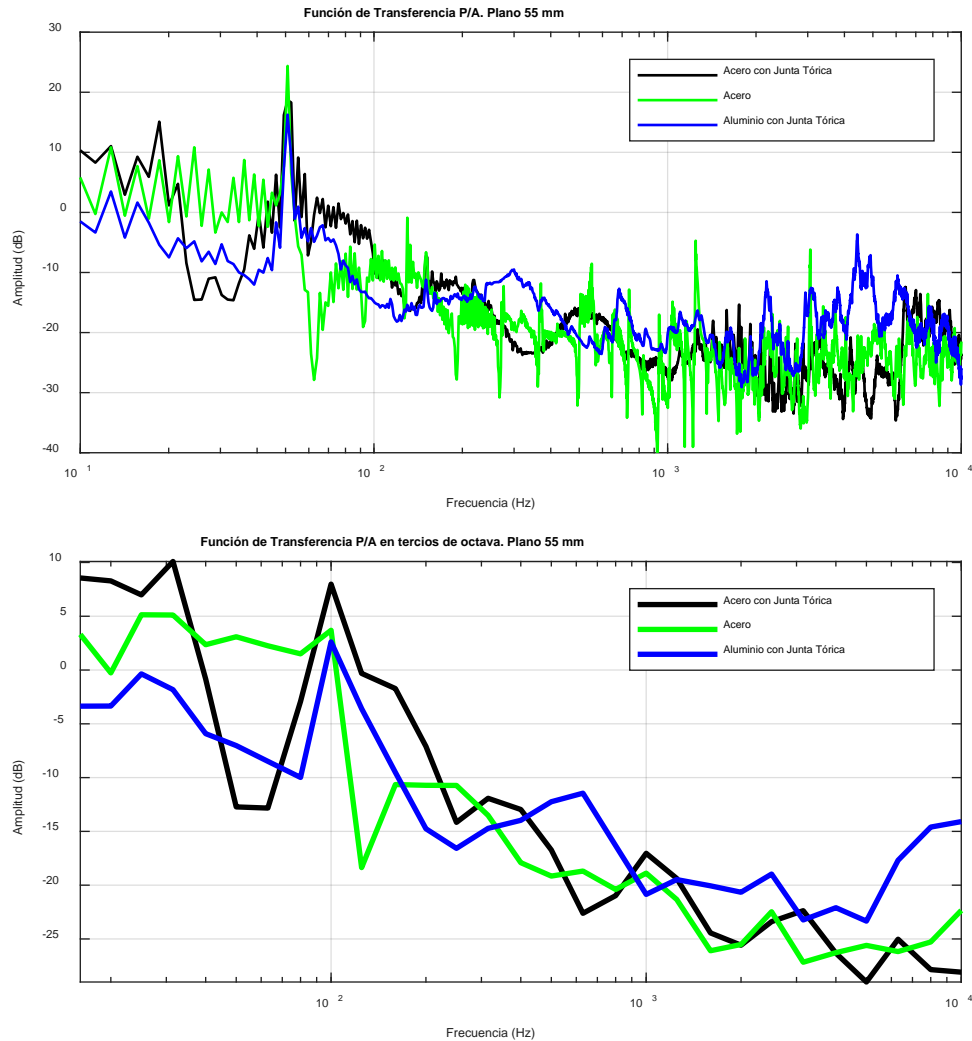


Figura 9. Función de transferencia obtenida de cada semicilindro en banda estrecha (arriba) y banda ancha (abajo).

En la Figura 10 se muestra la diferencia de la función de transferencia obtenida en banda ancha del semicilindro de acero con junta tórica y sin junta tórica y la obtenida del semicilindro de acero y aluminio, ambos con junta tórica.

FIA 2018

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

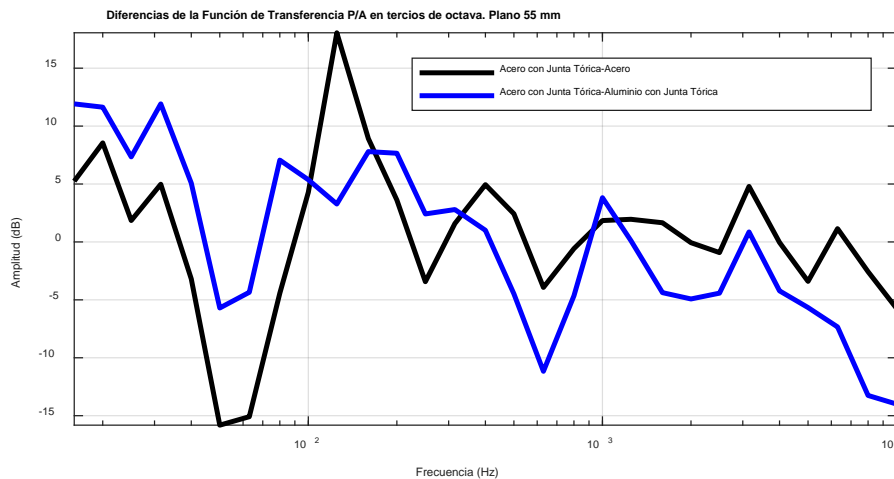


Figura 10. Diferencia de la Función de transferencia obtenida del semicilindro de acero con junta tórica y sin junta tórica y la función de transferencia del semicilindro de acero y aluminio, ambos con junta tórica

#### 4. CONCLUSIONES

Se ha presentado el procedimiento seguido para el estudio del comportamiento vibroacústico de contenedores semicilíndricos radiando en agua. Para la obtención de la función de transferencia se ha utilizado la técnica MLS. Esta técnica ha sido ensayada en muchas aplicaciones de vibroacústica y para determinados ensayos en acústica submarina, aunque no se ha utilizado ampliamente para el cálculo de la función de transferencia de estructuras radiando al agua. Así, podemos concluir, de acuerdo a los resultados obtenidos, que el método MLS es aplicable para determinar la función de transferencia de estructuras que radian en el agua.

En cuanto al comportamiento de cada uno de los semicilindros, se puede concluir que la función de transferencia del semicilindro de acero con junta tórica es mayor que la función de transferencia del semicilindro de acero sin junta tórica. Este resultado era esperado, pues la junta tórica reduce la rigidez de la estructura radiante. En cuanto al análisis de la función de transferencia de estructuras de distinto material, se han comparado los resultados obtenidos en banda ancha para los semicilindros de acero y aluminio con junta tórica. Se ha comprobado que la función de transferencia del semicilindro de aluminio es mayor que la del semicilindro de acero a partir de la banda de 400 Hz. Para frecuencias inferiores, la función de transferencia del acero es mayor. Se puede considerar que el aluminio es un material más eficiente a partir de la banda de 400 Hz y el acero más eficiente a frecuencias bajas, por debajo de la banda de 400 Hz.

#### AGRADECIMIENTOS

Las medidas de radiación en agua se han realizado en las instalaciones de Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) del Instituto Torres Quevedo. Agradecemos a la institución su disponibilidad y la colaboración desinteresada del D. Francisco Simón Hidalgo en la realización de las medidas.

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.



**FIA 2018**

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

## REFERENCIAS

- [1] Rodrigo Saura, F.J.; Ramis Soriano, Jaime; Poveda Martínez, Pedro; Carbajo San Martín, Jesús. Cuantificación del ruido radiado por buques a través de su casco. FIA 2018. X Congreso Ibérico de Acústica; 49º Congreso Español de Acústica. Tecniacústica. Octubre 2018. Cádiz.
- [2] 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.
- [3] Ning Xiang. Reciprocal maximum length sequence pairs for acoustical dual source measurements. Acoustical Society of America. November. 2002.
- [4] David C. Waddington, Jaime A.S. Angus. A spread spectrum technique for the study of out door noise propagation. Acoustical Society of America. August 2007.
- [5] Ning Xiang, Dezhang Chu. Fast M-sequence transform for Quasi-Backscatter Sonar in fisheries and Zooplanton survey applications. ICSP'04 Proceedings.