

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



ESCUELA POLITECNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Calibración de un sistema
acústico pasivo para el
seguimiento del descriptor 11 de
la Directiva Europea de Estrategia
Marina”**

TESIS DE MASTER

Autor:

Rafael Arques Carbonell

Director/es:

D. Víctor Espinosa Roselló

D. Isabel Pérez Arjona

D. Ramón Miralles Rico

GANDIA, 2016

Resumen

La directiva de estrategia marina establece, mediante la decisión 2010/477/UE, que los estados miembros deben evaluar el buen estado ambiental de sus mares en base a once indicadores o descriptores, y que esa evaluación debe ser continua y operativa en 2020. El descriptor 11 evalúa que “La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino.” El Ministerio de Medio Ambiente ha transpuesto la norma estableciendo que debe implementarse un programa de seguimiento de ruido submarino (Programa RS), que tiene como objetivo evaluar el estado ambiental del medio marino en las cinco demarcaciones marinas españolas en relación al Descriptor 11. El presente TFM tiene como objeto la calibración de un sistema pasivo de escucha (Samaruc, diseñado por el profesor Ramón Miralles en la UPV) que permite el registro de eventos acústicos submarinos y su almacenamiento por un procesador DSP. El sistema fue originalmente diseñado sin una calibración absoluta y debe calibrarse toda la cadena electroacústica, incluido el hidrófono y el sistema de adquisición y procesado, para responder a la demanda de los indicadores 11.1.1 y 11.1.2.

Palabras clave: ruido submarino, estrategia marina, samaruc, calibración.

Abstract

The Marine Strategy requires, in the European Commission Decision 2010/477/UE, member states to evaluate the good environmental status of their seas based on eleven indicators or descriptors, and this evaluation should be continuous and operational in 2020. Descriptor 11 says that “Introduction of energy, including underwater noise, is at levels that do not adversely affect the marine environment.” The Ministry of Environment has transposed the norm requiring that submarine noise monitoring program (RS program) should be implemented in order to evaluate the environmental status of the marine environment in the five Spanish marine demarcations in relation to Descriptor 11. This TFM pretends to calibrate a passive acoustic monitoring device (Samaruc, designed by Professor Ramón Miralles in the UPV) that allows to recording acoustic underwater events and their storage by a DSP processor. The system was originally designed without absolute calibration and its electroacoustic line and acquisition subsystem must be calibrated to respond the demands of indicators 11.1.1 and 11.1.2.

Key words: underwater noise, marine strategy, samaruc, calibration.

Índice:

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 OBJETIVOS.....	5
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTOS TEÓRICOS Y MARCO LEGAL.....	6
2.1 PROBLEMÁTICA RUIDO SUBMARINO.....	6
2.1.1 <i>Tipos de ruido submarino</i>	7
2.1.2 <i>Fuentes de contaminación acústica marina</i>	8
2.1.2.1 Navegación, pesquerías de los puertos y marinas	8
2.1.2.2 Proyectos industriales.....	10
2.1.2.3 Exploración sísmica comercial y científica.....	10
2.1.2.4 Ejercicios militares	11
2.2 LEGISLACIÓN SOBRE RUIDO SUBMARINO	14
2.2.1 <i>Marco Internacional</i>	14
2.2.2 <i>Marco Comunitario</i>	15
2.2.3 <i>Marco Nacional</i>	17
2.2.3.1 Programa de Seguimiento RS	18
2.3 CALIBRACIÓN DE HIDRÓFONOS.....	21
2.4 SAMARUC, UN SISTEMA PASIVO DE ESCUCHA	26
CAPÍTULO 3: MATERIALES Y DESARROLLOS	31
3.1 LOCALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES	31
3.2 INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA	33
3.2.1 <i>Cámara Anecoica</i>	33
3.2.2 <i>Test de calibración en agua</i>	34
3.3 METODOLOGÍA.....	36
3.3.1 <i>Cámara anecoica</i>	36
3.3.2 <i>Test de calibración en agua</i>	38
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	42
4.1.1 <i>Calibración en aire</i>	42
4.1.2 <i>Test de calibración en agua</i>	48
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	56
CAPÍTULO 6: BIBLIOGRAFÍA.....	58
ANEXO 1 – INDICADORES DE RUIDO SUBMARINO	60
ANEXO 2 – PROGRAMAS MATLAB	66

Capítulo 1: Introducción

Se define ruido como todo lo molesto para el oído o, más exactamente, como todo sonido no deseado de carácter desagradable que además puede originar determinados efectos fisiológicos o psicológicos graves sobre la vida de las personas y animales. El ruido producido por las actividades humanas es un contaminante cuya emisión está regulada a nivel legal en España. La legislación nacional se ha aplicado en el medio terrestre, pero requiere de un desarrollo formal para el control real de la contaminación acústica en el medio marino.

Los aportes antropogénicos de energía con un potencial impacto en los ecosistemas marinos son muy variados. Entre ellos se pueden mencionar la energía térmica, los campos electromagnéticos, la luz, la energía radiactiva y las fuentes sonoras. De todas estas fuentes de energía, la más extendida e invasiva es el ruido subacuático, por lo que es prioritaria su evaluación y monitorización.

En el marco del Derecho Internacional, la contaminación acústica marina está contemplada tanto a través de instrumentos normativos como a través de resoluciones, procedentes de diferentes instituciones tales como las instituciones de la Unión Europea, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU-PNUMA), la Organización Marítima Internacional (OMI), así como numerosos convenios de gestión y conservación del medio marino, tales como OSPAR¹, ACCOBAMS², ASCOBANS³, etc. En estos textos y resoluciones se refleja una preocupación sobre el impacto no regulado de la contaminación acústica, y se invoca el principio de precaución y la puesta en marcha de medidas de mitigación de impacto. España es parte de la gran mayoría de estos convenios internacionales y como tal se le urge a actuar en consecuencia.

El retraso en la aplicación de las regulaciones existentes sobre el control de la contaminación acústica en los océanos, es consecuencia del desconocimiento tradicional acerca del uso del sonido por la fauna marina y de su papel fundamental en el ecosistema acuático. Los conocimientos actuales sobre los efectos del ruido sobre la fauna, incluyendo al ser humano, son incompletos, no concluyentes y en ocasiones contradictorios. Se han observado un gran rango de impactos del sonido sobre la vida marina, desde efectos insignificantes a trastornos del comportamiento e incluso, en algunos casos, varamientos y muertes de mamíferos marinos y otras especies.

A pesar de la incertidumbre científica, es evidente que el ruido antropogénico marino es una forma de contaminación, y por tanto es necesario controlar su emisión como la de cualquier otro contaminante. Una de las ventajas de este control es que el ruido no sufre bioacumulación, es decir, la contaminación acústica desaparece en cuanto se detiene la fuente de ruido, por lo que las medidas de mitigación a adoptar serán de efecto positivo inmediato.

¹ Convenio OSPAR para la protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste

² Acuerdo ACCOBAMS sobre la conservación de los cetáceos del mar Negro, el mar Mediterráneo y el Área Atlántica Vecina

³ Acuerdo ASCOBANS para la conservación de los pequeños cetáceos del mar Báltico, el Nordeste Atlántico, el mar de Irlanda y el mar del Norte

En general, existe el suficiente conocimiento científico como para establecer que la contaminación acústica puede llegar a tener un impacto significativo sobre la vida silvestre marina, y que es necesario aplicar de forma inmediata las medidas de mitigación ya existentes, en paralelo a la ampliación de conocimientos que nos permitan mejorarlas.

1.1 Objetivos

Existen ya numerosas medidas que se aplican en diverso grado en distintos países. En muchos países las medidas se aplican en forma de guías de conducta, mientras que en otros están reguladas legislativamente.

En el caso de la unión europea, la directiva de estrategia marina establece que los estados miembros deben evaluar el buen estado ambiental de sus mares en base a once indicadores o descriptores, y que esa evaluación debe ser continua y operativa en 2020. El descriptor 11 evalúa que “La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino.”

El ministerio de Medio Ambiente ha transpuesto la norma estableciendo que debe implementarse un programa de seguimiento de ruido submarino (Programa Rs), que tiene como objetivo evaluar el estado ambiental del medio marino en las cinco demarcaciones marinas españolas en relación al Descriptor 11. El programa permite la evaluación de los indicadores RS_IMP y RS_AMB que han sido definidos por el MAGRAMA para dar respuesta a su vez a los dos indicadores de la Decisión 2010/477/UE: la distribución temporal y espacial de ruido impulsivo (indicador 11.1.1) y el ruido ambiente (indicador 11.2.1).

El presente TFM tiene como objeto la calibración de un sistema pasivo de escucha diseñado por el profesor Ramón Miralles en la UPV, y que permite el registro de eventos acústicos submarinos y su clasificación automática por un procesador DSP. El sistema fue originalmente diseñado sin una calibración absoluta y debe calibrarse toda la cadena electroacústica, incluido el hidrófono y el sistema de adquisición y procesado para responder a la demanda de los indicadores 11.1.1 y 11.1.2. Para ello se realizará una calibración según la norma en cámara anecoica y una propuesta metodológica de aplicación en medio acuático.

Se esquematizarán estas medidas de mitigación de impacto así como una revisión de los documentos legales de aplicación para regular la estrategia de atenuación del ruido antropogénico submarino. Igualmente se describirán los pasos seguidos para lograr la calibración del sistema pasivo de escucha.

Capítulo 2: Fundamentos teóricos y marco legal

2.1 Problemática ruido submarino

Es extremadamente difícil hacer una evaluación de las respuestas al sonido antropogénico en el comportamiento de los mamíferos marinos. Para detectar cualquier cambio, es importante tener una comprensión suficientemente precisa de la "conducta normal" de los animales, que además viven la mayor parte de su tiempo sumergidos y no se pueden observar con facilidad. Y, un reto aún mayor, tratar de vincular el comportamiento animal a los efectos del sonido y otros factores en todas las situaciones y etapas de la vida.

Sin embargo, la falta de observación de tales efectos no necesariamente implica su ausencia. Es probable que los cetáceos muertos o heridos en alta mar, por ejemplo, permanezcan sin ser detectados, dado que las carcasas se hunden o son depredadas por carroñeros, de modo que los animales tenderán a encallar cuando resulten heridos cerca de la costa. Incluso con respecto a los ejemplares varados sometidos a necropsia, el examen patológico a menudo excluye el análisis necesario para determinar la existencia de un trauma acústico. Los indicadores de trauma acústico todavía están excluidos de muchos protocolos estándar de autopsia (IWC 2004, 2006 b), y son a menudo difíciles de detectar, por lo que se requiere personal cualificado para realizar el análisis patológico. Por lo tanto, los análisis normales pueden pasar por alto importantes indicaciones de los impactos negativos del sonido.

Para introducir la gravedad del problema se ha resumido en la **Tabla 1** un listado de varamientos masivos atípicos de cetáceos asociados al uso de sónares militares o explosiones durante ejercicios navales, así como a prospecciones sísmicas utilizando sistemas de pistolas de aire comprimido. Analizados los síntomas de los animales y las características de los eventos se ha concluido que existe una coincidencia evidente tanto en el tiempo como en las localizaciones de estos varamientos en relación a actividades humanas en curso. El listado completo se puede encontrar en el Anexo 5 (Tabla de Varamientos Masivos) del Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica submarina del MAGRAMA.

Año	Área	Descripción
2002	Canarias	Varamiento masivo de 14 zifios coincidiendo con maniobras navales. Exámenes patológicos mostraron embolias y hemorragias en riñones, pulmones, cráneo e oído interno.
2004	Hawai	3 de julio: Entre 150 y 200 orcas bastardas entraron en la bahía de Hanalei, Kauai, durante un importante ejercicio de

		sónar de la Armada de EE.UU. El único encallamiento en masa, 150 años antes, fueron obligadas por pescadores.
2005	Carolina del Norte (U.S.)	33 calderones, 2 cachalotes y 1 rorcual aliblanco encallaron coincidiendo con ejercicios de sonar en altamar. No se había registrado ningún varamiento en la región.

Tabla 1. Ejemplos de varamientos masivos atípicos de cetáceos. Fuente: MAGRAMA, 2012.

Diversas publicaciones científicas han analizado los síntomas que el impacto del sonido produce sobre la fauna marina. Estas afectaciones pueden ser de índole fisiológica, como cambios irrecuperables en el umbral de sensibilidad, daños graves en tejidos y estructuras auditivas o desorientación, los cuales pueden llegar a ser letales. También se han descrito daños perceptivos (solapamiento y enmascaramiento de sonidos biológicos), efectos comportamentales (cambios en rutas migratorias), estrés, reducción de la población de la especie afectada y, por lo tanto, pérdida de calidad del hábitat.

2.1.1 Tipos de ruido submarino

En acústica es importante la energía total emitida al medio, así como su temporalidad (un zumbido continuo de varias horas puede contener la misma energía total que un pulso sísmico < 1 segundo). Este criterio doble es el que sugiere la directiva de estrategia marina en la Decisión 2010/477/UE tal como veremos en el siguiente apartado, por ser más adecuado para evaluar el potencial de impacto tanto de los pulsos breves de alta presión, como de los pulsos de alta energía con menores presiones máximas. Estos criterios también pueden servir para definir dos tipos de ruido: impulsivo y continuo.

El **ruido impulsivo** es aquel ruido cuya intensidad aumenta bruscamente durante un impulso. La duración de este impulso es breve en comparación con el tiempo que transcurre entre un impulso y otro. Fuentes típicas de ruido submarino impulsivo serían las explosiones submarinas, pingers, ecosondas, obras de pilotaje para generadores eólicos y plataformas o barcos de recreo (cambios de marcha). Los sonidos pulsados e impulsivos pueden tener altos niveles máximos de presiones acústicas máximas, y aún así contener poca energía si son de escasa duración.

Cuando el ruido es de más larga duración se llama **ruido continuo** el cual permanece constante o presenta pequeñas fluctuaciones a lo largo del tiempo. Las fuentes antropogénicas de ruido continuo son la navegación, instalaciones para producción de energía, ruidos producidos por el dragado o instalación de pilotes.

En general se considera el ruido continuo como más dañino que el ruido impulsivo. Esto se debe a que las células del oído sensibles a la vibración perciben la onda de presión acústica de forma continua. Sin embargo, el tiempo de integración de la energía acústica durante el procesado neuronal tiene una duración variable dependiendo de la especie. Por ello, un sonido de alta intensidad instantáneo, de duración menor al tiempo de integración, puede no ser percibido en el cerebro con la sonoridad correspondiente a su nivel máximo, dado que se ha

promediado este nivel durante todo el tiempo de integración, y aún así este nivel máximo puede provocar daños auditivos.

2.1.2 Fuentes de contaminación acústica marina

En el océano hay una gran variedad de sonidos naturales, tanto procedentes de la biota como del medio. Entre estos últimos se pueden diferenciar los sonidos normales (olas, viento) y los producidos por eventos catastróficos, como movimientos sísmicos o volcanes submarinos, que evidentemente pueden causar impactos sobre la fauna. Dentro de los sonidos animales existen algunos de gran intensidad instantánea, como los chasquidos de los cachalotes, que constituyen una de las fuentes de sonido animal de mayor potencia. Sin embargo, estos chasquidos son muy cortos y los niveles de energía que acarrearán son mucho menores que los de los sónares humanos de alta intensidad, por lo que la comparación de ambas fuentes sonoras no es razonable (Madsen, 2005). Debe considerarse además que cada especie se ha adaptado, a lo largo de un periodo de tiempo evolutivo, a las condiciones acústicas de su medio, mientras que la contaminación acústica humana se ha extendido de forma significativa en los últimos 100 años, produciendo cambios de importancia en el ambiente acústico normal de amplias zonas marinas.

Las especies pueden reaccionar a sonidos que coincidan con las frecuencias a las que son sensibles e incluso pueden dar respuestas en forma de comportamiento y en algunos casos afecciones fisiológicas a la audición, con cambios en el umbral de sensibilidad temporales o permanentes. Así mismo, se pueden producir daños causados por altas presiones acústicas incluso a frecuencias a las que los animales no sean sensibles auditivamente.

2.1.2.1 Navegación, pesquerías de los puertos y marinas

La actividad comercial para el transporte de mercancías, la industria pesquera o el tráfico de ocio marino aumentan el ruido submarino en las zonas donde se produce esta actividad. Los barcos, en su navegación, tienden a producir sonido de baja frecuencia (entre 10 Hz y 1 kHz), que se propaga a través de enormes distancias y en todas las direcciones. La cavitación de la hélice es generalmente el origen predominante del sonido en todos los barcos. Las frecuencias altas serán absorbidas en el proceso de difusión de la energía acústica pero las frecuencias graves se extienden por los océanos a menos de 200-300 Hz. El efecto que provoca la navegación marítima, considerada en su conjunto, es el equivalente a una especie de "niebla" acústica permanente y en constante aumento.

Tráfico Marino de mercancías: Grandes buques.

La energía acústica que produce un buque aumenta en proporción a su tamaño, el desplazamiento, la velocidad y edad. El ruido generado por buques de gran tamaño en movimiento rápido es bastante intenso, y se concentra en los rangos de baja frecuencia (5-500 Hz):

- superpetroleros ≤ 195 dB re $1 \mu\text{Pa}^2/\text{Hz}$ a 1m (Hildebrandt, 2004)
- buques mercantes ≤ 220 dB re $1\mu\text{Pa}$ a 1 m (OSB 2003)

El impacto más extendido de la contaminación acústica del tráfico marítimo

es el incremento del ruido ambiente en los océanos, lo que produce un efecto de enmascaramiento de las señales acústicas utilizadas por la fauna marina. Esto presenta un impacto directo sobre las funciones biológicas usadas por estas señales, tales como la comunicación, localización de presas/depredadores o la navegación, tal como vemos en la **Figura 1**.



Figura 1. Rangos de frecuencias a los que emiten generalmente los barcos y ecosondas de navegación, y a los que son sensibles los cetáceos con barbas (misticetos) y dientes (odontocetos). Fuente: MAGRAMA, 2012

Como nota interesante, en esta web www.marinetraffic.com/es/ se puede observar de manera muy intuitiva el tráfico marino actual de forma instantánea. Es fácil darse cuenta de la gran cantidad de embarcaciones que aportan ruido submarino a los océanos. Cantidad que va en aumento con el paso del tiempo.

Barcos de media/pequeña eslora y recreo

Las embarcaciones rápidas y pequeñas tienden a crear sonido a frecuencias más altas, debido a las mayores velocidades de rotación de la hélice. Motores fuera borda grandes pueden producir niveles del orden de 175 dB re 1 μ Pa (Richardson et al., 1995), así que en algunas zonas de gran tráfico de ocio marino el nivel de ruido submarino puede ser también alto.

Ecosonda de Navegación

Las ecosondas contribuyen parte del ruido generado por el transporte marítimo, al producir sonido por medio de transductores para localizar la profundidad del fondo marino, o bancos de peces. Se utilizan en casi todos los buques de gran eslora y en muchos barcos menores, incluyendo la mayoría de los pesqueros y un gran número de embarcaciones de recreo.

Las ecosondas suelen tener un haz vertical centrado ($\sim 30^\circ - 60^\circ$) en un rango de frecuencia de 8-30 kHz para aguas profundas, sin embargo, las frecuencias altas 50-200 kHz proporcionan mejor resolución, con un nivel de fuente máximo de 220 dBpp re 1 μ Pa a 1m, una duración máxima de pulso de 10 ms, y un ciclo de trabajo máximo de 1% (Moustier, 2004). Su rango de frecuencias coincide

con el de muchos odontocetos, y el importante número de ecosondas de navegación en uso significa que esta fuente de sonido contribuye considerablemente al total de energía del ruido submarina antrópico.

Dispositivos de evitación acústica (pingers)

En muchas actividades pesqueras se realizan capturas accidentales de diversas especies no objetivo, incluyendo mamíferos marinos, tortugas, peces y aves. Estas capturas pueden llegar a representar una seria amenaza de conservación para algunas especies y en áreas concretas. Por otra parte, algunas especies de cetáceos y pinnípedos han aprendido a beneficiarse de ciertas pesquerías humanas, depredando sobre las capturas realizadas en redes y anzuelos, así como interfiriendo con las instalaciones de acuicultura marina.

Estos sistemas acústicos, de los que existen múltiples modelos, se han denominado generalmente pingers y pueden llegar a niveles de fuente de 130-150 dB re 1 μ Pa a 1m. (Dispositivos acústicos de disuasión -ADD) o 185 dB re 1 μ Pa a 1m. (Dispositivos de hostigamiento o acoso acústico - AHD).

Estos instrumentos constituyen indudablemente una fuente de contaminación sonora, sin embargo, en contextos en los que la conservación de una especie está amenazada por su captura accidental, la balanza se decanta a favor del uso.

2.1.2.2 Proyectos industriales

Instalación de pilotes

El hincado de pilotes para diversas infraestructuras, tales como muelles y pantalanes, puentes, aerogeneradores, plataformas de extracción de hidrocarburos, etc, produce sonidos de baja frecuencia. Se desarrolla sobre todo en zonas costeras y se está haciendo más frecuente también en zonas de mar adentro, para construir parques eólicos marinos y plataformas de hidrocarburos. Los sonidos del hincado mecánico se producen de forma omnidireccional y los niveles se encuentran normalmente en el rango de los 185-195 dBRMS re 1 μ Pa a 1 m.

Funcionamiento de los parques de energía eólica marinos

Estas estructuras son una fuente de sonido constante de baja frecuencia en el agua. El ruido que se produce al girar las aspas no penetra en el agua, por la reflexión que se produce por el cambio de medio. Sin embargo, las vibraciones se transmiten al pilote que sostiene a las aspas, y desde este, al agua en el que está sumergida su base produciendo niveles de presión sonora de 130 dB alrededor de los 50 Hz.

2.1.2.3 Exploración sísmica comercial y científica

La exploración sísmica recoge la obtención de información para fines o bien científicos o bien comerciales mediante el uso de cañones de aire comprimido y otros instrumentos acústicos. Esta información puede servir para:

- Elaborar Mapas batimétricos
- Conocer el relieve del lecho marino
- Entender la composición de del subsuelo
- Analizar las capas de sedimentos
- Localizar bancos de peces

Estas señales suelen ser multihaz emitidos perpendicular a la embarcación con niveles de pico nominal que pueden llegar a 239 dB re 1 μ Pa a 1m. dependiendo de la profundidad de muestreo (más profundidad implica menos pulsos y más largos). Sólo a partir de los años 2000, se han conseguido las evidencias patológicas que relacionan los varamientos con la actividad de sonares. Estas evidencias, sin haber estudios dedicados a ellos debería hacer que se comiencen a aplicar medidas de control desde el principio de precaución.

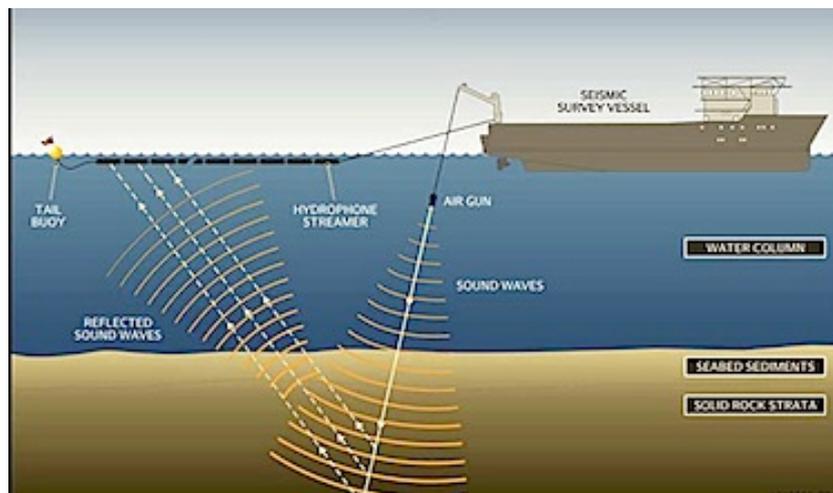


Figura 2. Sistema multi-haz de obtención de Información mediante 'backscatter'. Fuente: Fisheries and Oceans Website.

2.1.2.4 Ejercicios militares

Durante muchas décadas los ejércitos de distintos países han realizado explosiones submarinas de forma rutinaria, tanto en tiempos de guerra como en maniobras navales, incluyendo prácticas de tiro con munición real (minas, torpedos, bombas). Las detonaciones pueden ser de distinta magnitud, dependiendo del armamento testado y de los objetivos de las maniobras e incluir las fuentes más potentes de ruido antropogénico en el mar, llegando a utilizar hasta más de mil kilogramos de explosivos.

Cargas explosivas

Uno de los ejercicios que envuelven el uso de grandes cargas explosivas son los de hundimiento de barcos. Estas pruebas producen un sonido de baja frecuencia con un nivel de presión acústica máxima de hasta 299 dB re 1 μ Pa a 1m.

Sónares de detección de submarinos

Los sónares militares tácticos comenzaron a utilizarse de forma generalizada en los años sesenta para la detección de submarinos, emitiendo normalmente a

frecuencias medias, audibles para el ser humano. En las dos últimas décadas se han desarrollado sónares de baja frecuencia que pueden alcanzar distancias mucho mayores de detección, pues las frecuencias bajas sufren menos absorción por las moléculas de agua. Existen varios tipos de Sónares, pero las intensidades alcanzadas partirían de los 235 dB y llegarían hasta los 240 dBs.

Varamientos masivos

Uno de los problemas de conservación de los cetáceos que parece haber trascendido más a la opinión pública actualmente es el de los varamientos masivos coincidentes con maniobras militares. Varias investigaciones destacan que los zifios no suelen encallar en grupos de forma natural. Las actividades durante las maniobras militares de las que se tiene información tienen como factor común el uso de sónares de media frecuencia (2.8- 3.5 kHz) para la detección de submarinos. Sin embargo, en distintas maniobras se utilizaron otros sónares y no se descarta que los zifios presenten sensibilidad a otras frecuencias.

El primer caso conocido de un varamiento masivo de zifios simultáneo a ejercicios navales tuvo lugar en Italia en 1964 y desde entonces ha ocurrido en numerosas ocasiones en distintos sitios del mundo.

Para finalizar este capítulo se puede observar en la Tabla 2 un resumen de las principales fuentes antropogénicas de ruido submarino así como sus características frecuenciales, amplitud o tipo de ruido:

Fuente	Amplitud dB re. 1	Frecuencia	Observaciones	Tipo de ruido
Grandes buques	220 dB	Bajas	Buques mercantes	Continuo
Barcos recreo	175 dB	Bajas	Motor fuera borda	
	200 dB	Banda ancha	Cambios de marcha	Impulsivo
Ecosondas	220 dB	Altas 8-30kHz	Aguas profundas	Impulsivo
		Muy altas 50-200 kHz	Mejor resolución	
Pingers	140 dB	Medias / altas 20-160 kHz	Disuasión (ADD)	
	185 dB	Bajas / medias 5-30 kHz	Hostigamiento (AHD)	
Instalación de pilotes	195 dB	Bajas 40-2000 Hz	Hincado mecánico	Continuo
Dragados	180 dB	Banda ancha	Extracción rocas y sedimentos	

		A baja		
Explosiones	299 dB	Todas	Alternativa a maquinaria	Impulsivos
Parques eólicos marinos	130 dB	Bajas 50 Hz	Disuasión (ADD)	Continuo

Tabla 2. Resumen de las características de las fuentes de ruido. Fuente: MAGRAMA, 2012

2.2 Legislación sobre ruido submarino

Tal y como se ha explicado en diferentes partes de este documento, los trabajos científicos sobre el impacto del ruido en la biodiversidad marina son relativamente recientes, por lo que no sorprende que la legislación a todos los niveles (internacional, europeo, nacional) no recoja todavía de forma específica este problema y sólo algunos instrumentos internacionales estén comenzando ahora a plantearse la adopción de medidas legislativas específicas.

A continuación se realizará un repaso de la normativa jurídica internacional, haciendo hincapié en la directiva 2010/477/UE de la Unión Europea sobre los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, así como los 2 reportes creados por grupos de trabajo para favorecer la aplicación del descriptor 11 (*“La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino”*) de dicha directiva.

2.2.1 Marco Internacional

Para encontrar menciones al ruido submarino en diferentes normativas hay que remontarse a 1986 donde la **Comisión Ballenera Internacional (CBI)** resolvió identificar los impactos del ruido antropogénico como un tema prioritario de investigación. Se especifica además que determinadas fuentes de ruido como sónares militares, la exploración sísmica o la navegación suponen una amenaza significativa y creciente para los cetáceos, con consecuencias crónicas y severas, ofreciendo a los gobiernos una serie de recomendaciones para regular el ruido submarino.

En 2005 la **Organización Marítima Internacional (OMI)** en su Resolución A.982 (24) reconoce al ruido como uno de los vertidos, emitidos por los buques, que puede causar d". años al medio ambiente marino y a los recursos vivos del mar. En Julio de 2009 el citado grupo presentó en el MEPC 59/19 su primer informe sobre el tema titulado *“Noise from commercial shipping and its adverse impact on marine life”*. Esto produce una demanda de datos fiables sobre los ruidos submarinos que puso de manifiesto la necesidad de elaborar la definición de un método adecuado de medición del ruido submarino procedente de los buques.

Varias Resoluciones han sido aprobadas bajo el marco de **ACCOBAMS**. La más reciente es la Resolución 4.17 (2007) *“Directrices para tratar el impacto del Ruido Antropogénico sobre los Mamíferos Marinos en el área de ACCOBAMS”*, donde se pide a las partes:

- asumir el ruido submarino a la luz de la mejor información científica disponible.
- integrar las cuestiones asociadas al ruido submarino en los planes de gestión de las Áreas Marinas Protegidas.
- evitar o minimizar la producción de ruido en hábitats críticos.

Pero es sobre todo en el **Convenio de Barcelona para la protección del medio marino y de la región costera del Mediterráneo (2008)**, donde se empieza a gestar la normativa que rige actualmente en la Unión europea definiendo 11 objetivos ecológicos, **análogos a los 11 descriptores** definidos en la Directiva

Marco sobre la Estrategia Marina para la determinación del buen estado ambiental, para los cuales se establecen unos objetivos operacionales y unos indicadores que permitirán verificar el cumplimiento de dichos objetivos. Uno de los once objetivos ecológicos hace referencia a la introducción de energía en el medio marino, con especial atención al ruido subacuático espera que en los próximos años el proceso iniciado en 2008 continúe su trabajo, lo que permitirá establecer unas medidas concretas a nivel regional para el cumplimiento de los objetivos recientemente establecidos.

2.2.2 Marco Comunitario

En 2008 la Unión Europea dio a conocer la **Directiva marco sobre la Estrategia Marina (Directiva 2008/56/CE)** por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino. Mediante esta Directiva los Estados miembro quedan obligados a establecer las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado ambiental del medio marino a más tardar en el año 2020 (artículo 1).

Una Directiva es una disposición normativa de Derecho comunitario que vincula a los Estados de la Unión en la consecución de resultados u objetivos concretos en un plazo determinado, **dejando, sin embargo, la debida elección de la forma y los medios adecuados a tal fin, a las autoridades internas competentes**. La Directiva prevé la consecución de estos objetivos a través de la elaboración de Estrategias marinas con la definición de las autoridades competentes, los objetivos medioambientales concretos y los programas de medidas específicas. La cuestión del impacto del ruido en el medio marino tendrá que ser objeto de las medidas oportunas, especialmente de cara a los programas de medidas.

La CE, dentro de la **Decisión 2010/477/UE** de 1 de septiembre de 2010, sobre los criterios y normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, amplía la información y detalla algo más los objetivos a conseguir en forma de 11 descriptores que permiten evaluar el buen estado ambiental de sus mares. Dedicó al ruido submarino el descriptor 11 para el cual definió dos indicadores que permitieran evaluar el estado actual. Dichos indicadores son los siguientes:

- **Indicador 11.1.1** *Distribución temporal y espacial de los ruidos impulsivos de alta, baja y media frecuencia: proporción de días y su distribución a lo largo de un año natural en zonas de una determinada superficie, así como su distribución espacial, en los que las fuentes sonoras antropogénicas superen niveles que puedan producir en los animales marinos un significativo impacto, medidos en la banda de frecuencias de 10 Hz a 10 kHz como nivel de exposición sonora (en dB re 1 μ Pa 2 .s) o como nivel de presión acústica de pico (en dB re 1 μ Pa peak) a un metro.*
- **Indicador 11.2.1** *Ruido continuo de baja frecuencia: evolución del nivel de ruido ambiental en las bandas de 1/3 de octava 63 y 125 Hz (frecuencia central) (re 1 μ Pa RMS; nivel de ruido medio en estas bandas de octavas a lo largo de un año), medido por estaciones de observación o, si procediere, haciendo uso de algún modelo.*

Para llevar a cabo las tareas de implementación de la Directiva Marco de Estrategia Marina (DMEM) de una forma ordenada la Comisión Europea puso en marcha en 2009 una Estrategia Común de implementación organizada con el siguiente esquema que podemos ver en la Figura 3.



Figura 3. Planificación de la Estrategia Marina. Fuente: European Commission

El mencionado indicador 11.2.1 permitirá a los estados miembros cuantificar la presión sonora ambiental (expresada como nivel de ruido ambiente) así como las tendencias de los niveles de ruido en las dos bandas de frecuencia (63 y 125 Hz). Si bien que, dado que hay muy poca información disponible sobre los efectos del aumento del nivel de ruido ambiente, el TSG no puede dar consejos muy específicos sobre la interpretación de los resultados. Para describir de una forma completa el Buen Estado Medioambiental será necesario una combinación de medidas y modelado, junto a un amplio conocimiento de la zona estudiada que indiquen correctamente las causas del ruido ambiente.

En la Figura 4 vemos un ejemplo de señal medida. En la imagen superior se aprecia una estructura típica de ruido de fondo y ruido de barcos cuando pasan cerca del hidrófono. En la inferior se muestran tres tipos de promedio: la media aritmética, lo que refleja la presencia de transitorios de gran amplitud; la media geométrica y la mediana.

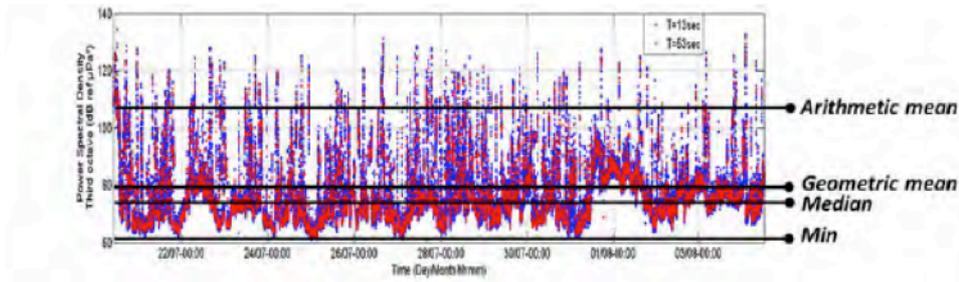


Figure 1: Example of approx. 14 days of continuous measurement in the 125 Hz third octave band made off Cork harbour (Ireland) entrance made during the STRIVE project (source: Quiet-Oceans).

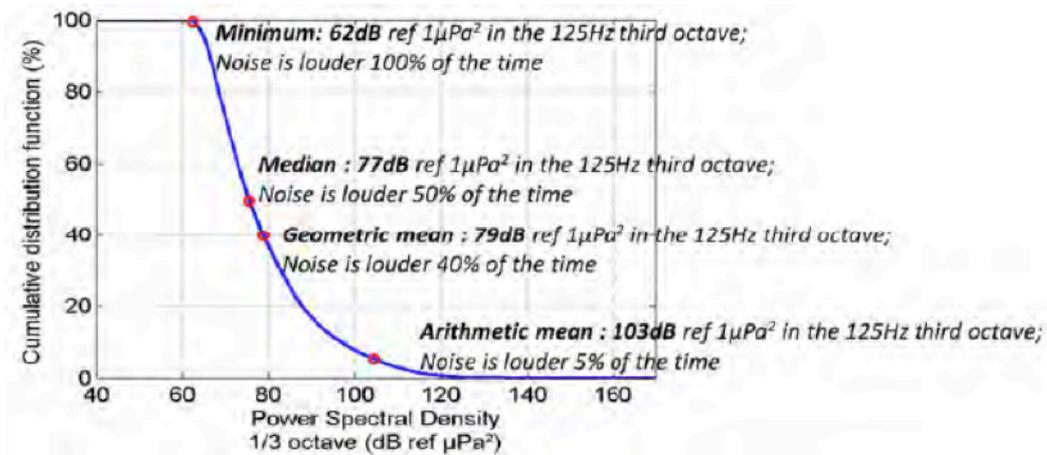


Figure 2: Statistical representation of the measured sound pressure level in the 125 Hz third octave band off Cork harbour as a cumulative distribution function, the exceedance¹².

Figura 4. Ejemplos de mediciones de ruido. Fuente: European Comission

2.2.3 Marco Nacional

La información contenida en las tres partes de la guía que acabamos de ver se ha transpuesto al marco nacional de cara a que el cumplimiento de la misma se haga efectivo dentro de las demarcaciones marítimas españolas. En la Figura 5 se observa el proceso de elaboración de las Estrategias marinas:

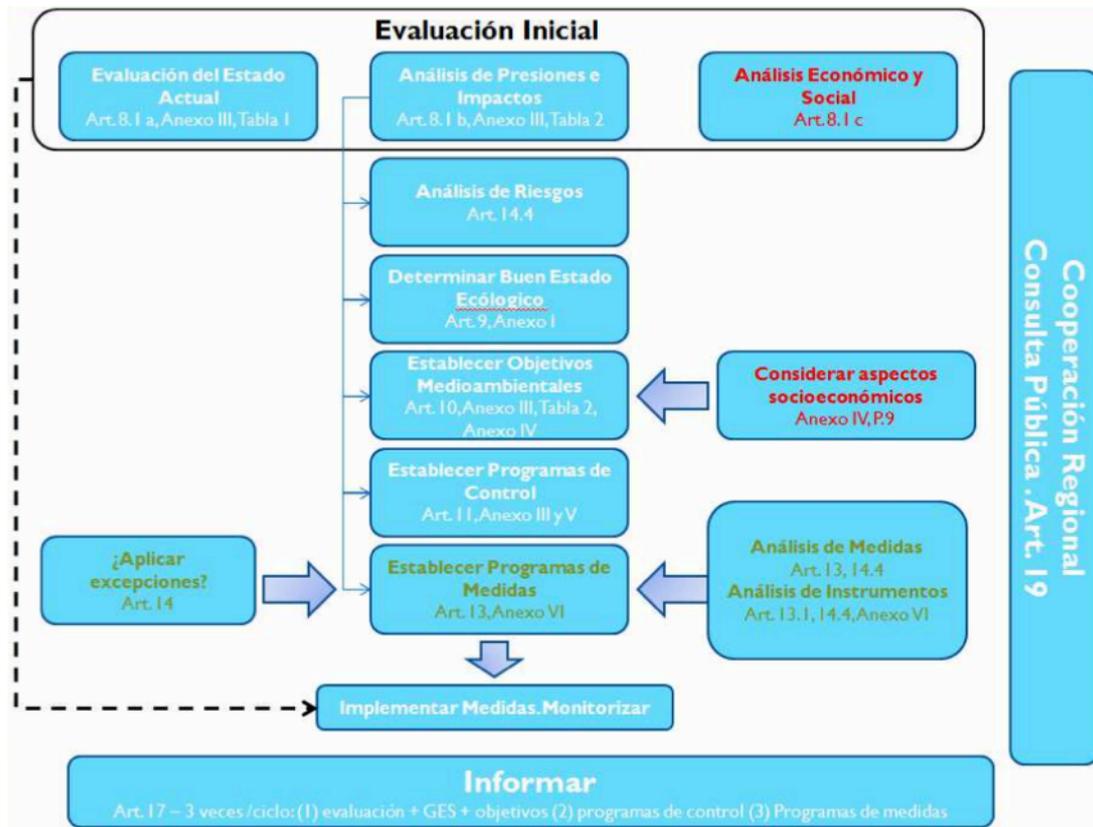


Figura 5. Transposición del GES por el MAGRAMA⁴

2.2.3.1 Programa de Seguimiento RS

La Comisión Europea estimó que era necesario desarrollar unas directrices para la aplicación de los indicadores, y para ello creó, tal como acabamos de comentar, el “Subgrupo Técnico Sobre Ruido” (SGTR). Entre sus objetivos más inmediatos se contemplaba la adopción de una terminología clara y sin ambigüedades para ambos indicadores. Para el sonido impulsivo había que precisar la descripción de las fuentes y niveles acústicos, la duración, el tamaño del área y los impactos significativos. Para el ruido continuo la discusión debía centrarse en el término “tendencia” y en aspectos técnicos y acústicos.

Con el objetivo último de garantizar una evaluación continuada del Buen Estado Ambiental (BEA), el Ministerio de Medio Ambiente ha establecido que debe implementarse un programa de seguimiento de ruido submarino (**Programa RS**), que tiene como objetivo evaluar el estado ambiental del medio marino en las cinco demarcaciones marinas españolas en relación al Descriptor 11: “La introducción de energía, incluido el ruido subacuático, se sitúa en niveles que no afectan de manera adversa al medio marino.”. El programa permite la evaluación de los **indicadores RS-IMP y RS-AMB** que han sido definidos por el MAGRAMA para dar respuesta a su vez a los dos indicadores de la Decisión 2010/477/UE: **la distribución temporal y espacial del ruido impulsivo (indicador 11.1.1) y el ruido ambiente (indicador 11.2.1), definidos en el apartado anterior.**

⁴ Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

El MAGRAMA somete a consulta pública los programas de seguimiento de las Estrategias marinas. En el año 2012 se completaron las primeras fases de las estrategias marinas, que contemplaron los siguientes documentos:

- Evaluación inicial, Marco General
- Evaluación inicial, Análisis de presiones e impactos
- Evaluación inicial, Análisis económico y social
- Descriptores del Buen estado ambiental (Definición del BEA)
- Establecimiento de los Objetivos Ambientales

En cuanto a la coordinación regional y puesta en común de datos, en el marco del Convenio para la Protección del Atlántico Nordeste o Convenio OSPAR la Guía metodológica desarrollada por el **TSG-Noise** ha sido adoptada como Directrices OSPAR, de modo que la monitorización del ruido a nivel regional que se desarrolle en el ámbito de este Convenio Marino Regional se basará en los mismos indicadores. El indicador sobre ruido impulsivo se ha acordado en 2014 como indicador común, lo que implica que comenzarán a recabarse datos previsiblemente en 2016, y el indicador sobre ruido ambiente se ha acordado como candidato priorizado, lo que significa que está en fase de desarrollo y tan pronto como tenga la suficiente definición será propuesto para ser acordado como común.

De este modo, los subprogramas específicos de seguimiento de ruido submarino son:

RS1. Distribución temporal y espacial de los ruidos impulsivos de baja y media frecuencia

El subprograma RS1 tiene por objeto obtener una visión global de la ocurrencia de actividades generadoras de ruido impulsivo a través del indicador RS-IMP. Este programa de seguimiento es similar en las 5 demarcaciones marinas. Se creará un registro de fuentes o actividades generadoras de ruido impulsivo que superen los umbrales establecidos en la Guía metodológica, donde se almacenarán sus características:

- Identificador de la actividad/evento.
- Datos de posición.
- Fecha de operación.
- Nivel de la fuente (o proxy)
- Espectro de la fuente (banda de frecuencia)
- Ciclo de trabajo - Duración de transmisión
- Directividad de la fuente
- Profundidad de la Fuente
- Velocidad de la plataforma.

El contenido y formato del registro se ajustará a lo que se acuerde en el marco del Convenio OSPAR con el fin de que pueda agregarse al registro común a nivel regional. Así mismo debe estar disponible la proporción de días y su distribución a lo largo del año en los que se hayan superado los niveles recomendados, así como un mapa de distribución espacial de dichos niveles. La resolución temporal y espacial de dicho mallado está todavía pendiente de determinar.

RS.2. Ruido continuo de baja frecuencia

El subprograma RS.2 tiene por objeto medir la evolución del ruido ambiente en la demarcación a través del indicador RS-AMB. Permitirá la construcción de un mapa de ruidos de cada demarcación a partir de datos procedentes de un modelo de propagación validado mediante mediciones reales tomadas en estaciones de observación. Los datos necesarios para la ejecución del modelo de propagación a partir del cual se generará el mapa de ruido son:

- Características del entorno: Parámetros del estado del mar (temperatura, presión y salinidad), batimetrías de las demarcaciones marinas, otras variables ambientales relevantes para la propagación acústica (por ejemplo, características de los fondos marinos).
- Características de las fuentes de ruido: Datos de posición o distribución de las fuentes de ruido (por ejemplo, AIS) y tipo (por ejemplo, tipo de buque), espectro de las fuentes de ruido (por ejemplo, de los diferentes tipos de buques), profundidad de la fuente (para el modelado del ruido de fuentes ajenas al tráfico marítimo, como por ejemplo estaciones eólicas offshore, o perforaciones), velocidad de la plataforma.

Los datos obtenidos como resultado del modelo se procesarán para obtener las tendencias en las bandas de 1/3 de octava de 63 y 125 Hz (frecuencias centrales) según las escalas espacial y temporal que se determinen, así como la función completa de distribución acumulada (%) a lo largo del tiempo que mostrará la proporción de tiempo que se alcanzan determinados niveles de referencia.

Estos subprogramas permitirán obtener el nivel de referencia de los dos indicadores, que en los dos casos estarán basados en la situación actual. Los resultados de ambos seguimientos no serán concluyentes en relación a si se cumple el Buen Estado Ambiental pero se considera que recogerán una información indispensable para mejorar el conocimiento en relación a las fuentes de ruido. Además será útil para la evaluación de los impactos del ruido en las poblaciones de especies más sensibles a esta presión y, como consecuencia, para definir de modo concreto el umbral entre el buen estado ambiental y el estado peor que bueno.

En el Anexo I se pueden observar unas tablas proporcionadas por el MAGRAMA con datos y una descripción más detallada de ambos indicadores, RS-IMP y RS-AMB.

Aunque el objeto de este estudio son los indicadores que se definen dentro de la problemática de la contaminación acústica, dentro del programa RS se integran otros subprogramas que además están muy relacionados con el ruido submarino ya que igualmente afectan a la biodiversidad:

- **RS.1.** Distribución temporal y espacial de los ruidos impulsivos de baja y media frecuencia. (RS-IMP)
- **RS.2.** Ruido continuo de baja frecuencia (RS-AMB)
- **MT.5.** Varamientos de cetáceos y reptiles (RS-impac)
- **ACT.5.** Navegación (ACT.5-1)
- **ACT.8.** Actividades de exploración y explotación de hidrocarburos (ACT.8-1, ACT.8-2, ACT.8-3)
- **OP.** Subprograma de indicadores operativos (OP8, OP2, OP11, OP12, OP16)

2.3 Calibración de hidrófonos

La calibración es un procedimiento que se ejecuta antes de cualquier investigación o experimento para asegurarnos que las medidas que se van a realizar son correctas. Además nos dará información de la incertidumbre de la medición así como su precisión o los niveles máximos y mínimos que es capaz de procesar.

Los hidrófonos son, básicamente, los transductores utilizados para la medición del sonido y fluctuaciones de presión bajo el agua. La mayoría de los hidrófonos son transductores piezoeléctricos que constan de uno o mas elementos piezoeléctricos. Este elemento convierte directamente una fluctuación de presión en una señal eléctrica. Esta clase de hidrófonos no necesitan ninguna fuente de alimentación, el transductor convierte una presión p en una carga q que causará una tensión eléctrica en bornes del transductor igual a $e = q/C$, donde C representa la suma de la capacitancia de cada elemento piezoeléctrico, la capacidad del cable y la capacidad de la etapa de entrada al sistema. Los hidrófonos piezoeléctricos ofrecen una excelente linealidad y estabilidad a lo largo del tiempo y un rango frecuencial desde 1Hz hasta el orden de los MHz.

Las técnicas para obtener la sensibilidad de un receptor se resumen en dos: técnicas absolutas que se basan en medir únicamente longitud, fuerza y tensión para cada frecuencia; y técnicas relativas que requieren saber a priori la sensibilidad de un transductor usado como calibrador.

La sensibilidad de un receptor se define como el cociente entre la tensión del receptor (cuando está en circuito abierto) y la presión que incide sobre él (en campo libre).

$$S = \left| \frac{V}{P} \right|$$

En la **Figura 6** vemos la curva de la respuesta en frecuencia de hidrófonos típicos de calibración. Se midieron en un tanque de agua en condiciones de campo libre y mediante la técnica de pulsos en frecuencia.

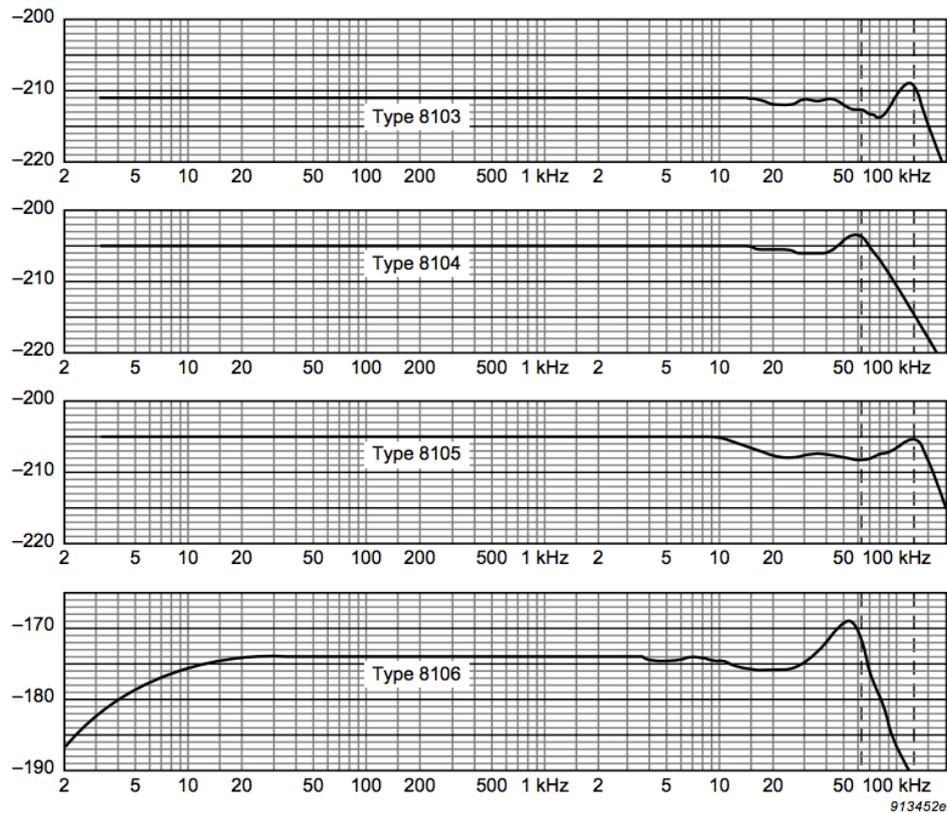


Figura 6. Típica respuesta en frecuencia en recepción de los hidrófonos de Brël & Kjær 8103, 8104, 8105 y 8106 (dB re 1 V/μPa)

Calibración diferencial o por comparación directa

Si por un lado tenemos un receptor de sensibilidad conocida podemos calibrar otro receptor por comparación directa. En este método un transmisor produce una señal de audio en un ambiente anecoico. Este ambiente anecoico no es necesario a bajas frecuencias pero se vuelve un requisito importante a las frecuencias cuya longitud de onda es comparable o menor que las dimensiones del receptor, ya que para estas longitudes de onda la orientación del receptor respecto a la onda de sonido debe ser conocida. El receptor A de sensibilidad conocida S_{oA} (en recepción) está situado en el campo de sonido y en su salida se obtiene una tensión V_A que es registrada en función de la frecuencia.

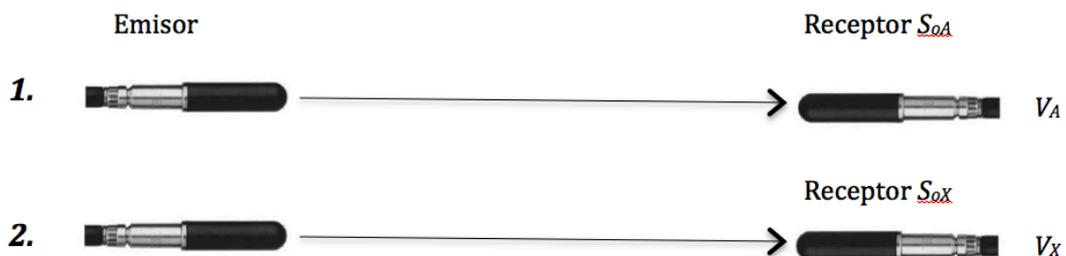


Figura 7. Esquema del montaje de la calibración diferencial

Una vez obtenidos los datos se quita el receptor A y se coloca exactamente en la misma posición y orientación el hidrófono receptor X de sensibilidad desconocida S_{oX} , tal como se muestra en la Figura 7. Para las mismas frecuencias que se acaban de medir, registramos ahora el voltaje de salida V_x , obteniendo la sensibilidad del receptor X para cada frecuencia de la siguiente manera:

$$S_{oX} = S_{oA} V_x / V_A$$

Calibración por reciprocidad

La ventaja de este método es que es independiente de los hidrófonos utilizados en las medidas y por tanto no se necesitan conocer las características de los mismos ni las medidas de las presiones acústicas emitidas. Está basado en el teorema de reciprocidad que se expresa de la siguiente manera: *“En todo sistema compuesto por impedancias lineales, si se aplica una tensión V entre dos terminales cualesquiera y se mide la corriente I debida a la tensión V en una rama, su relación (llamada impedancia de transferencia) es igual a la relación que se obtiene intercambiando las posiciones de V e I ”.*

Se realizan tres medidas con dos hidrófonos distintos y situados siempre a igual distancia y orientación con el fin de no variar las condiciones de propagación, tal como se ilustra en la Figura 8. Sólo se requiere el uso de un amperímetro, voltímetro y dos transductores emisores sin que sea necesarias sus especificaciones.

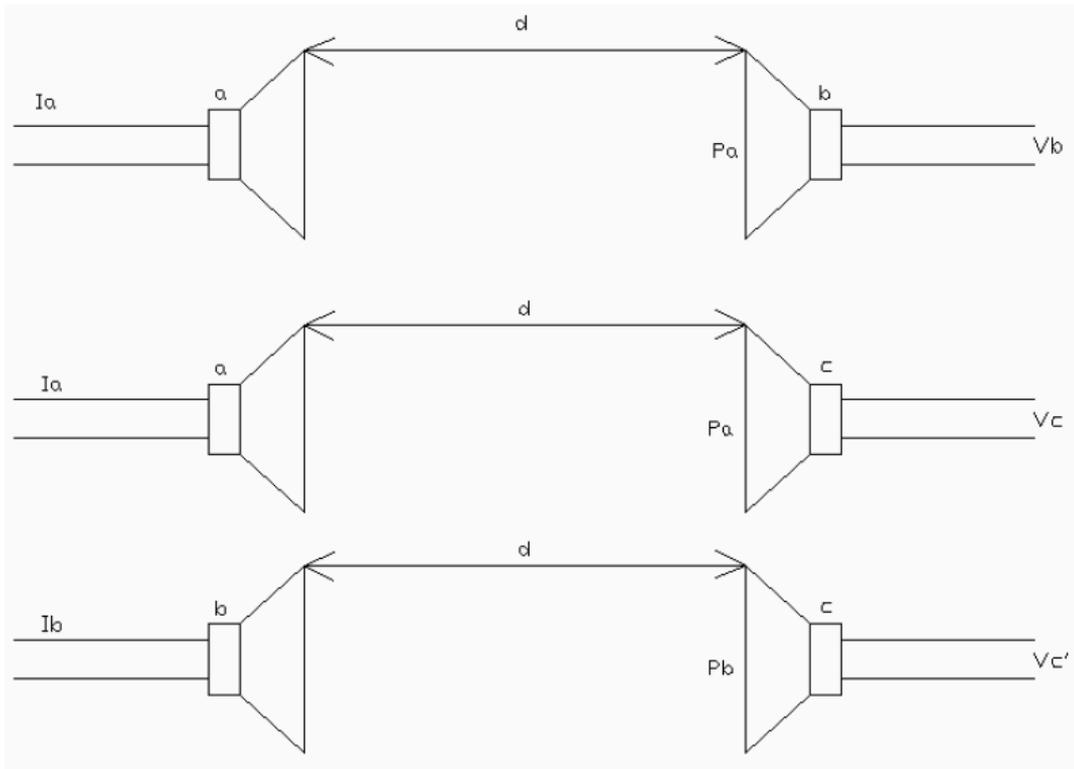


Figura 8. Montaje de los hidrófonos para realizar la calibración por reciprocidad

En este ejemplo es el receptor c el hidrófono cuya sensibilidad S_M se va a calibrar. Las medidas son las siguientes:

1. Emitimos una presión P_a y medimos la tensión V_b en bornes del transductor b , lo que puede expresarse en función de su sensibilidad:

$$|V_b| = S_{Mb} |P_a|$$

2. En la segunda medida se sustituye el transductor b por el receptor c , a calibrar y medimos la tensión en bornes de c :

$$|V_c| = S_M |P_a| = S_M \frac{|V_b|}{S_{Mb}}$$

3. La tercera medida se realiza con el transductor b como emisor, ubicado en el mismo punto donde estaba el a y manteniendo el receptor c a calibrar. Se mide la tensión V_c' que aparece cuando se excita el transductor b con una corriente I_b (que se puede medir con un amperímetro, o en bornes de una resistencia colocada en serie con b). De esta manera tendremos que:

$$|V_c'| = S_M |P_b| \text{ donde } |P_b| = S_{Ab} |I_b|$$

Multiplicando las expresiones de los puntos 2 y 3 obtenemos finalmente la sensibilidad del receptor:

$$|S_M| = \sqrt{\frac{2\lambda d |V_c| |V_c'|}{\rho_0 c |V_b| |I_b'|}}$$

La curva de la sensibilidad se traza punto a punto en función de la frecuencia siendo válida para valores de $K \cdot r$ menores que 0.5, siendo $K = \frac{S_M}{S_A}$ y r el radio del altavoz o el del cristal piezoeléctrico de b .

Debemos mencionar que dicho procedimiento se aplica en el caso de recibir datos en forma de Voltios directamente desde el hidrófono (leyéndolos por ejemplo con un osciloscopio). En nuestro caso no será así, ya que se trata de un sistema pasivo de escucha y almacenamiento digital de datos, por lo que la información que obtendremos será en forma de cuentas digitales proporcionadas por el conversor analógico-digital.

Por último, en nuestro caso y debido a los requerimientos de las medidas, es fundamental calibrar correctamente el hidrófono a baja frecuencia. Para ello necesitamos un transductor capaz de emitir y recibir correctamente a frecuencias de 63Hz, lo que resulta bastante complicado y hace que el método de calibración por reciprocidad no sea la mejor opción. Como veremos en sucesivos capítulos se realizaron diversos intentos pero finalmente se optó por el método de calibración por referencia.

2.4 SAMARUC, un sistema pasivo de escucha

El Samaruc es un sistema de monitorización acústica pasiva del mundo submarino (PAM⁵). Esta técnica no intrusiva puede ser utilizada para detectar y clasificar los mamíferos marinos, además de supervisar patrones de migración e incluso estimar la densidad de población de diferentes especies, lo cual en los últimos años ha ganado popularidad entre biólogos marinos y otros científicos.

Normalmente un sistema PAM implica un dispositivo de grabación y algoritmo, además de un hidrófono. Han sido usados en grandes buques durante mucho tiempo, aunque generalmente, en estos casos, son sistemas caros y de arquitectura interna desconocida. También son empleados por biólogos, aunque versiones mucho más simples, caseras o adquiridas en compañías especializadas. La mayoría de los PAM calculan la representación en tiempo-frecuencia de las grabaciones acústicas. En la Tabla 3 se observa una comparativa entre las características técnicas de los dispositivos PAM más usados y el Samaruc.

PAM devices	System frequency range	Hydrophone frequency range/ sensibility	Continuous recording/ Predetermined on/off schedule	Max. Deployment depth	System autonomy	Storage memory	Possibility of including automatic detection algorithms
EAR - Oceanwide Science Inst. Hawaii	20Hz -30kHz	1Hz -28kHz (+/- 1.5 dB)	Predetermined on/off schedule	500m	Variable	160Gb	No
Pop-up MARU - USA Cornell University	Up to 200kHz	-	Continuous	6000m	90 days	120Gb	No
HARP	2KHz-200 KHz	10 Hz - 100 kHz	Both	N/A	54 days	16 x 120 GB (IDE)	No
AURAL-Canada Multi-Electronique	10 Hz - 16384 kHz	2 Hz - 30 kHz	Both	300m	162-208 days	64MB Flash card 320GB Hard Disk	No
SM2M - USA Wildlife Acoustics	4Hz-96 kHz	2-40kHz (+/- 1dB)	Both	150m.	62 days -Alkaline 104 days - Lithium	512GB SDXC card.	No
SM2M Ultrasonic Wildlife Acoustics	4Hz-384 kHz	2-40kHz (+/- 1dB)	Both	150m.	25 days -Alkaline 42 days- Lithium	512GB SDXC card.	No
mRADAR USA Cetacean Research	20 Hz - 96 kHz	20 Hz- 50KHz	Continuous	100m.	2-3 days	16 Gb	No
C-POD Chelonia ltd. United Kingdom	20-160 kHz	20 Hz-160 kHz	Not raw audio, only events are available.	> 100m.	4 months D type Alkaline bat.	SD Card	Yes (only detects echolocation sounds from toothed cetaceans)
SAMARUC	20 Hz -96kHz	16Hz - 44KHz (+/- 3dB)	Both	1000m.	1 month D type Alkaline bat.	SD Card	Yes. Entirely programmable

Tabla 3. Comparativa de las especificaciones de los principales dispositivos PAM

El Samaruc es un nuevo sistema PAM capaz de registrar y procesar sonidos in-situ. Puede ejecutar algoritmos de procesamiento de señal en tiempo real para la detección y clasificación de los sonidos acuáticos. La ventaja principal del sistema es el ultra-bajo consumo del DSP⁶. El DMA⁷ de la tarjeta está configurado en modo Ping-Pong para que los algoritmos de procesamiento de señal se puedan ejecutar mientras el sistema continúa registrando información acústica sin perder muestras de entrada. En la Figura 9 podemos ver un esquema del funcionamiento general del dispositivo.

⁵ Passive Acoustic Monitoring

⁶ Digital Signal Processing

⁷ Direct Memory Access

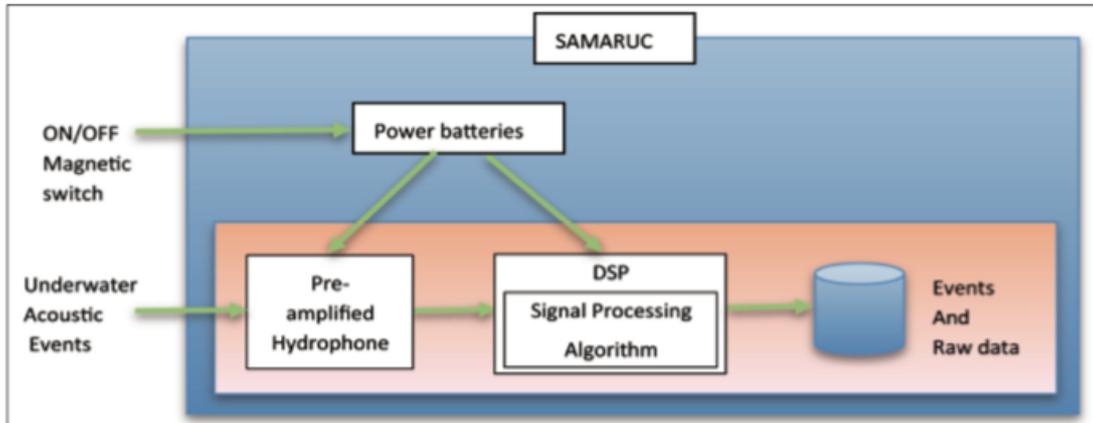


Figura 9. Diagrama de bloques del Samaruc

La electrónica del Samaruc se puede activar por medio de un interruptor magnético de manera que no se produzca consumo de energía mientras el sistema está siendo transportado al destino. Además este interruptor magnético sirve para iniciar la grabación y el procesamiento de los datos. El bloque de baterías proporciona más de 30 días de autonomía para el hidrófono pre-amplificado y para la tarjeta del DSP, para lo cual se usa un convertor DC-DC de alta eficiencia. El subsistema de adquisición se compone de un hidrófono con la electrónica específica para adecuarse a la entrada del convertor analógico-digital de la placa DSP. En la **Figura 10** se observan los componentes hardware del sistema.

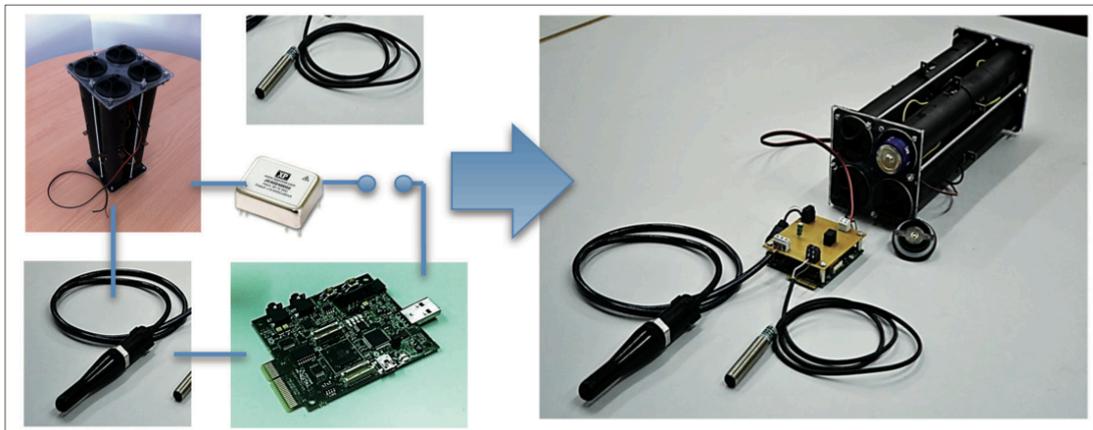


Figura 10. Componentes Hardware del Samaruc

Todos los componentes mostrados en la **Figura 10** se colocan dentro de una carcasa con conectores resistentes al agua. El sistema fue concebido para ser capaz de operar a una profundidad de 1000 metros, para lo cual la carcasa del Samaruc es de acero inoxidable. En la Figura 11 vemos la carcasa y el sistema completamente montado.

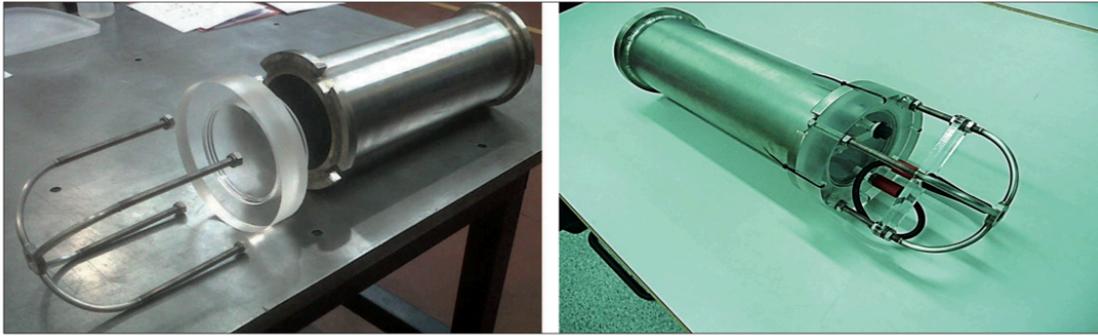


Figura 11. Carcasa del Samaruc (izquierda). Prototipo completo (derecha)

El chip DSP empleado proporciona potencia de cálculo suficiente para ejecutar en tiempo real la mayoría de los algoritmos empleados actualmente en los dispositivos PAM y descritos en la Tabla 3. En el caso del Samaruc estos algoritmos pueden ser programados por el usuario mediante el time-slot mostrado en la . La configuración Ping-Pong es adecuada para procesar algoritmos de procesamiento de señal, clasificar sonidos subacuáticos y escribir eventos en memoria simultáneamente, tal como vemos en la Figura 12. La posibilidad de programar la automatización de los procesos de detección que se ejecutan, otorga al sistema una gran utilidad y usabilidad.

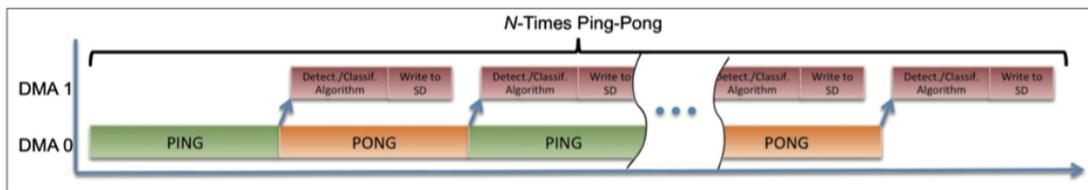


Figura 12. Cronograma de la configuración Ping-Pong del DMA

El funcionamiento habitual del Samaruc se ilustra en la Figura 13. El sistema es transportado a la ubicación en la que va a ser desplegado y donde se deja caer al fondo marino. Éste permanece firmemente anclado al fondo debido a un peso al que va sujeto por su parte inferior, el cual está equipado con un transpondedor de liberación acústica. En su parte superior el Samaruc va anclado a una bolla de flotación con el objetivo de mantener al dispositivo vertical durante su funcionamiento. El sistema estará en el fondo por un periodo de tiempo, registrando y procesando todos los sonidos que se produzcan. En la fase de recuperación del dispositivo, la estación de control emite un comando acústico para liberar al Samaruc del peso que lo tiene anclado al fondo. La estación de control puede ser un barco o un buzo operando por control remoto. El Samaruc llega de nuevo a la superficie debido al dispositivo de flotación, donde será recuperado.

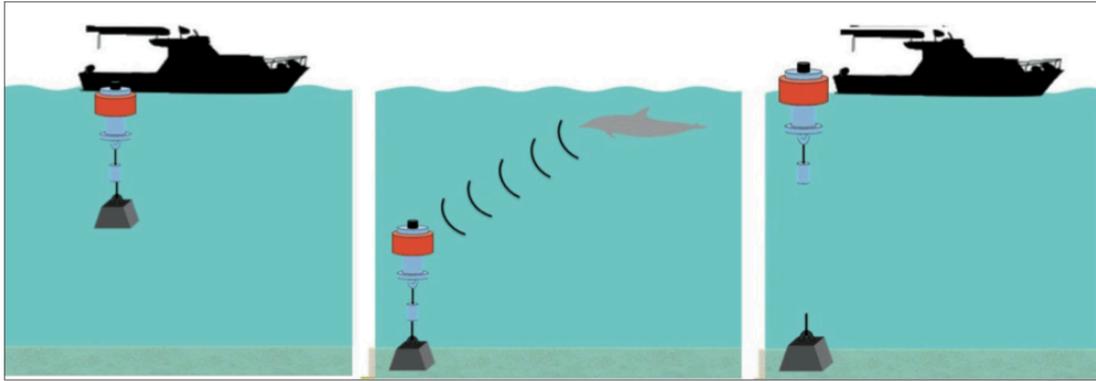


Figura 13. a) El sistema se hunde debido al peso al que va anclado, b) el sistema permanece en el fondo grabando y procesando la información acústica, c) un comando acústico libera el Samaruc para que vuelva a la superficie junto con el dispositivo de flotación.

En cuanto al tratamiento de la señal acústica, la onda de presión llega en forma de milivoltios al convertor analógico-digital para posteriormente ser amplificada y procesada en el DSP. Éste convertor es de vital importancia para el tratamiento de los datos y se ha comprobado en laboratorio que posee un comportamiento muy lineal en función del voltaje de entrada tal como se ilustra en la **Error! Reference source not found.**

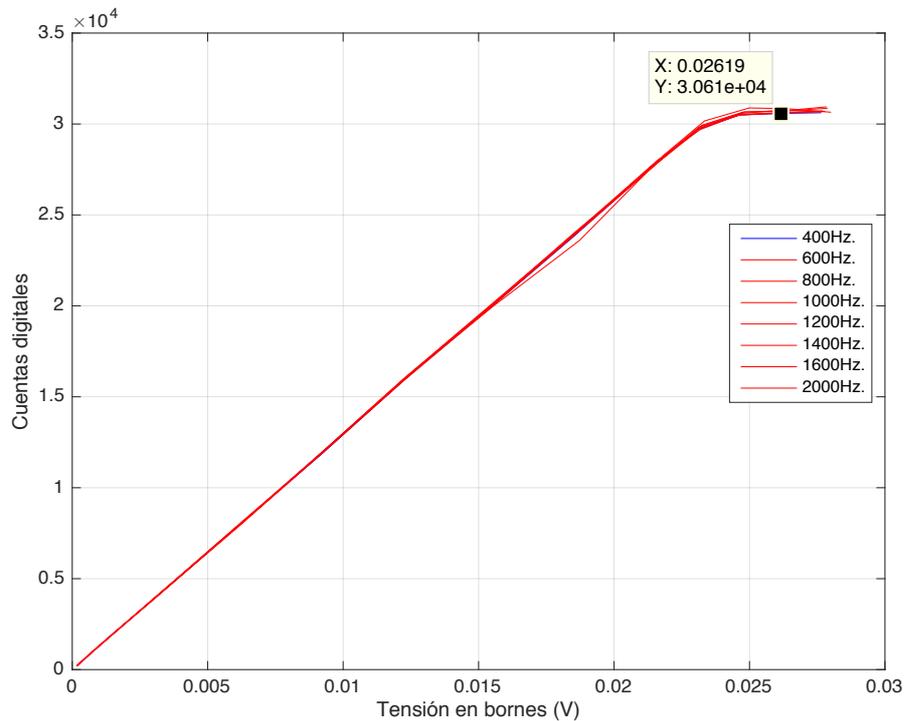


Figura 14. Curva de conversión del ADC del DSP del Samaruc

Dicha curva permite pasar de cuentas digitales del Samaruc a Voltios y se ha obtenido midiendo la tensión en bornes del DSP.

Según las medidas obtenidas el ADC satura a +23mV aproximadamente proporcionando un valor codificado de +30600 para esa tensión. Por otro lado, aunque no se vea en la Figura 14, la curva por abajo debe ser parecida a la parte superior (simétrica). Comprobando grabaciones anteriores del dispositivo a noventa metros de profundidad se observan regiones muy silenciosas en los que los valores que devuelve el conversor A/D no superan los ± 50 (0,05mV aproximadamente), lo que podría equivaler al ruido propio del dispositivo.

Capítulo 3: Materiales y Desarrollos

En el presente capítulo se pretende explicar las diferentes localizaciones, dispositivos y montajes que se han utilizado a lo largo de las medidas, sus características y las diversas fases por las que ha atravesado el presente proyecto. A grandes rasgos podemos dividir el proyectos en dos fases: una primera configuración de toma de medidas en la cámara anecoica de la UPV de Gandía y, posteriormente se describirá una propuesta metodológica con el fin de calibrar el dispositivo en medio subacuático.

3.1 Localización de las mediciones

Las mediciones para la calibración del Samaruc fueron realizadas en primera instancia en la cámara anecoica de la UPV de Gandía, la cual vemos en la Figura 15. Dicha cámara es un recinto totalmente libre de reflexiones acústicas. Cualquier sonido emitido dentro del recinto es completamente absorbido en cualquier rango frecuencial, en este sentido el receptor captará únicamente la onda emitida por la fuente sonora.

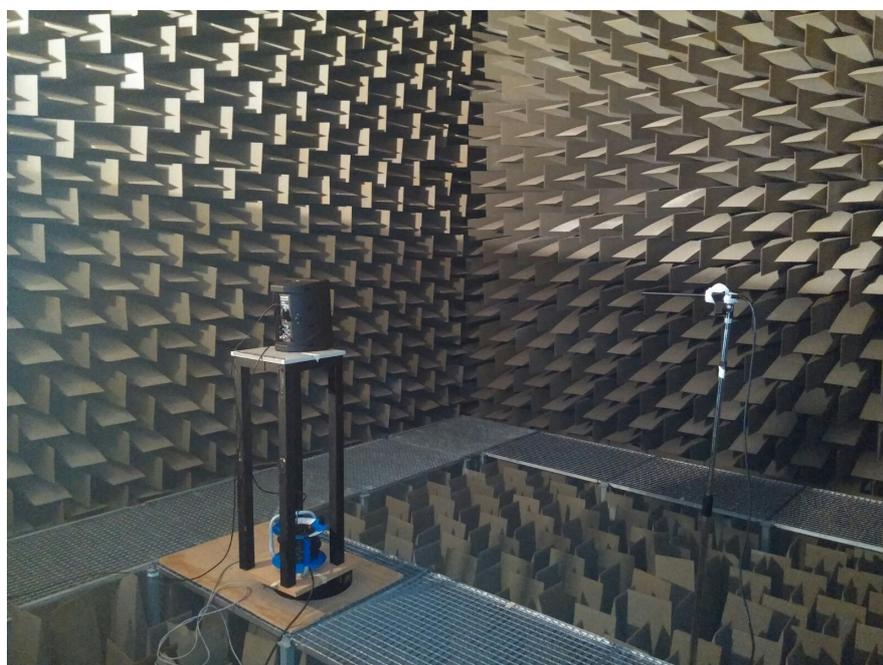


Figura 15. Cámara anecoica de la UPV de Gandía

Las pruebas para la calibración del Samaruc en agua fueron realizadas en los tinglados del Puerto de Gandía, donde se encuentra la instalación de calibraciones acústicas de la unidad mixta de investigación IEO⁸-UPV denominada UTEM (Unidad e Tecnología para Estudios Marinos). En la Figura 16 se puede apreciar su localización.

⁸ Instituto Español de Oceanografía



Figura 16. Tinglados del Puerto de Gandía

La unidad mixta junto con el departamento de acústica submarina y ultrasonidos de la UPV de Gandía, disponen de la instrumentación necesaria para la calibración automatizada de hidrófonos y transductores en general. Dichas instalaciones contienen un tanque de agua equipado con dos posicionadores de alta precisión para equipamiento hidroacústico y un sistema de procesamiento automático de señales con las siguientes características y el cual podemos ver en la Figura 17:

- Tanque rectangular de 10 m de largo, 5 m de ancho y 1,5 m de profundidad.
- Dos sistemas de posicionamiento de alta precisión con 4 grados de libertad: X,Z, elevación y azimut.
- Sistema de control y adquisición de datos a través del cual controlar los sistemas de posicionamiento y sincronizar con equipos externos.

La mayor limitación de una piscina con estas dimensiones es la profundidad (1,5 m en este caso) ya que en baja frecuencia se trata de una situación reverberante. Para minimizar este efecto emisor y transmisor estarán siempre en la misma posición para así tener en cuenta las reflexiones que puedan darse en baja frecuencia.



Figura 17. Tanque de agua y sistema de posicionamiento

3.2 Instrumentación utilizada

Calibrar el Samaruc al completo, implica tener en cuenta, además del propio hidrófono, la electrónica interna del dispositivo así como su carcasa exterior. Además hay que resaltar la importancia de calibrar el hidrófono en baja frecuencia ya que como detalla el descriptor 11 hay que evaluar la tendencia del ruido submarino en las bandas de 1/3 de octava de 63 y 125 Hz. Esto, como veremos, supone un problema a la hora de emitir y capturar señales a frecuencias tan bajas.

Pasaremos por tanto a describir la instrumentación utilizada en la cámara anecoica así como parte de la instrumentación utilizada en las pruebas realizadas en la piscina con la intención de calibrar el dispositivo también en agua (aunque finalmente no se llegó a tener un resultado final, como se explicará posteriormente).

3.2.1 Cámara Anecoica

Para la proceder con la calibración en aire en la cámara anecoica se usó una fuente sonora calibrada como emisor y el sonómetro Brüel-Kjaer 2250 de clase 1 calibrado como transductor de referencia. Los datos han sido digitalizados por sendas tarjeta de adquisición (del sonómetro y el DSP del Samaruc) y los cálculos y gráficas se han realizado con Matlab, cuyos scripts se aportan al final de este trabajo, en los anexos. En la Figura 20 se muestra una imagen de los dispositivos utilizados la adquisición de los datos.

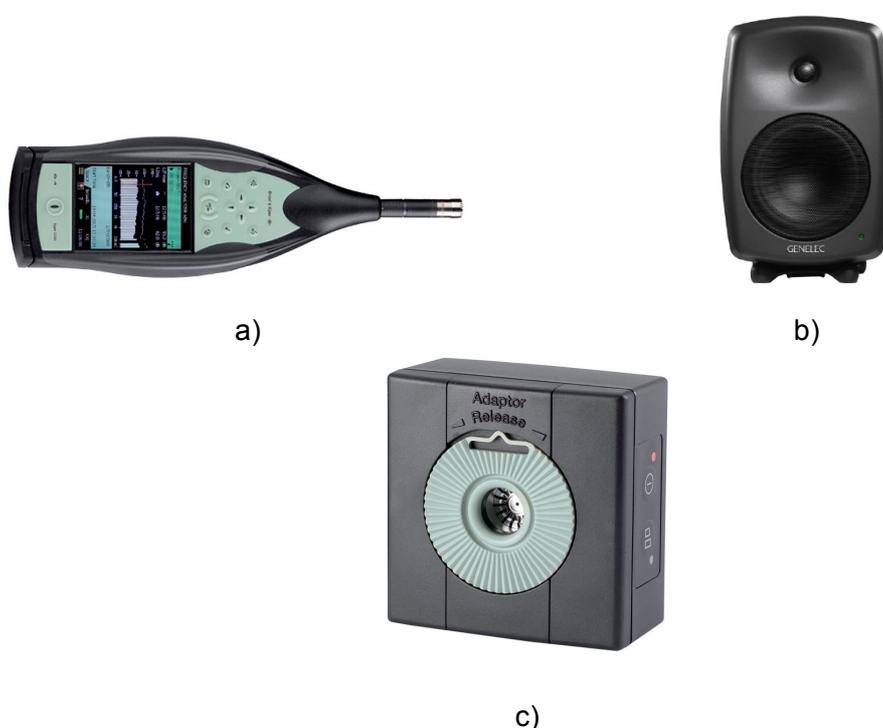


Figura 18. a) Brüel-Kjaer 2250. b) Genelec 8040-A. c) Calibrador Brüel & Kjaer 4231 de Clase 1

Por otro lado el Samaruc actuando como receptor está compuesto por un Hidrófono C57 de Cetacean Research y un DSP 5535 de Spectrum Digital que lleva el conversor analógico-digital TLV320AIC3204 de Texas Instruments.

Así mismo, a la hora de realizar las mediciones hemos contado con un segundo prototipo del Samaruc que, frente a la primera versión construida en 2013, destaca por ser más preciso, fácil de usar por parte de los operadores y científicos y mayor duración de las baterías. Además se le puede incorporar diferentes sensores, lo que aumenta las prestaciones y el potencial del dispositivo. Por otro lado ha cambiado la orientación del hidrófono, siendo en este caso perpendicular a la carcasa como vemos en la Figura 19.



Figura 19. Prototipo del Samaruc con el que se hicieron las medidas

3.2.2 Test de calibración en agua

Durante estas pruebas se quiso evaluar el comportamiento del Samaruc, aunque no se tuviesen en cuenta las bajas frecuencias. Se hicieron varios intentos modificando los transductores y el amplificador, así como la configuración del propio Samaruc y el tipo de señal de emisión. Así mismo, finalmente se optó por abandonar la calibración por reciprocidad para abordar una simulación de calibración por referencia. El material utilizado en primera instancia para hacer las medidas se muestra en la Figura 20 y se enumera a continuación:

- La tarjeta de adquisición de datos RedPitaya a través de la cual se controlan los motores de posicionamiento, se envía la señal a transmitir por el hidrófono emisor y se capturan los datos recibidos por el hidrófono receptor. Se comunica con los hidrófonos a través del protocolo TCP/IP.
- Amplificador de ultrasonidos 1040L. Se utilizó para amplificar la señal proveniente de la tarjeta de adquisición de datos. A pesar de que su frecuencia mínima de trabajo son los 10kHz, conseguía aportar ganancia desde los 2kHz aproximadamente.
- Hidrófono de referencia Brüel & Kjær 8103. Es un micrófono omnidireccional apropiado para calibraciones cuyo rango frecuencial va desde los 0.1Hz hasta los 180kHz. Al saber su sensibilidad (**Figura 6**) podremos conocer la presión de entrada a raíz de su tensión en bornes.
- Hidrófono emisor Reson TC4034. Transductor omnidireccional con un rango frecuencial que va desde 5kHz hasta 500kHz. Lo usaremos como emisor.

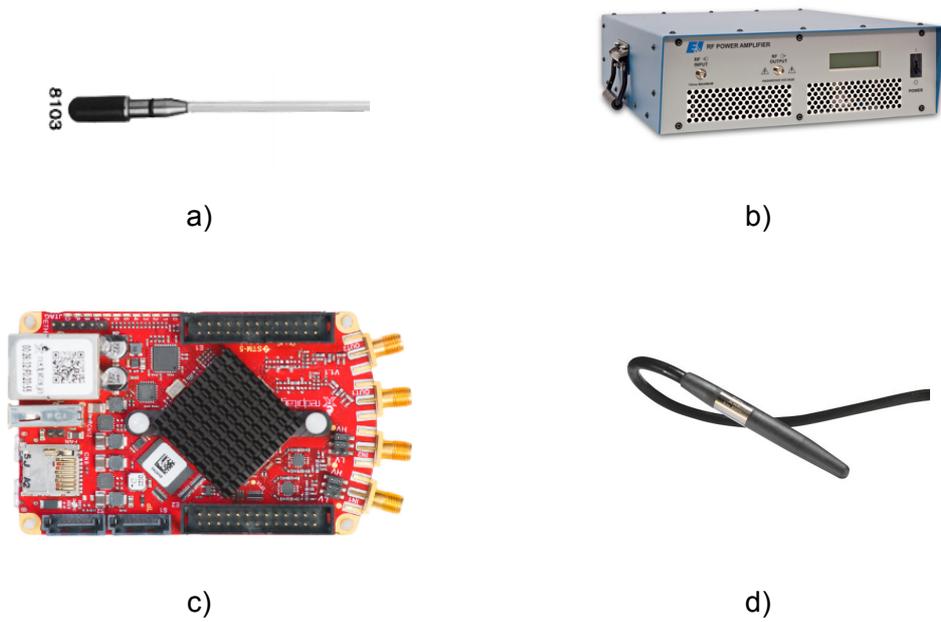


Figura 20. **a)** Brël & Kjaer 8103 usado como micrófono de referencia. **b)** Amplificador de ultrasonidos 1040L. **c)** Tarjeta de adquisición de datos REDPITAYA. **d)** Reson TC40340 usado como emisor

Posteriormente con el objetivo de emitir señal a baja frecuencia se sustituyó el amplificador y el hidrófono Reson por un altavoz submarino Beyma, el cual se puede ver en la figura Figura 21. Se trata de un prototipo de emisor a baja frecuencia basado en un altavoz dinámico de suspensión rígida y cono de fibra de carbono, el cual se encuentra metido dentro de un cilindro con dos oberturas en su extremo.



Figura 21. Altavoz submarino Beyma

3.3 Metodología

Para la calibración por referencia es necesario exponer ambos hidrófonos a la misma presión acústica, en nuestro caso el Samaruc es el dispositivo bajo test y el sonómetro Brüel-Kjaer 2250 será la referencia en la cámara anecoica mientras que el hidrófono Brüel 8103 será el receptor de referencia en los tests bajo el agua. El hidrófono de referencia nos dará el valor de la presión que será el mismo que a la entrada del Samaruc, siempre que las condiciones de contorno son iguales. Sabiendo esa presión a la entrada del hidrófono del Samaruc y evaluando la tensión registrada de salida en forma de cuentas digitales podremos obtener el valor de la sensibilidad que estamos buscando. Este concepto se ilustra en la Figura 22. Las medidas se realizan en múltiples frecuencias que abarcan el rango de operación del hidrófono. En nuestro caso cobran vital importancia las frecuencias de 63 Hz y 125 Hz descritas en el programa de seguimiento del MAGRAMA.

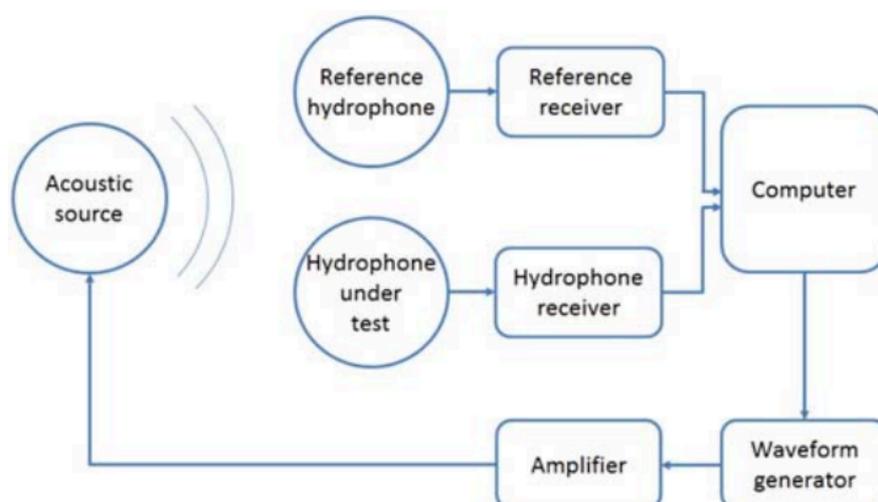


Figura 22. Esquema de la calibración por referencia

3.3.1 Cámara anecoica

Como se ha comentado previamente, se opta por medir en el aire mediante calibración directa, con una fuente de presión sonora conocida medida en primera instancia con un sonómetro calibrado y, posteriormente midiendo los datos que registra el Samaruc en la tarjeta SD. La fuente emitirá tonos con frecuencias centrales comprendidas entre 50 Hz y 8kHz aproximadamente. Además se harán realizarán pruebas con 4 ganancias de amplificador diferentes (-12, -4, 0 y 4 dB) con el objetivo de no saturar el hidrófono o el ADC y además poder tener una aproximación de la relación señal a ruido del dispositivo. Es importante recalcar que este número no es significativo, es decir, no corresponde con la ganancia aplicada, sino con el valor que el amplificador le otorga.

Una vez la onda sonora llega al hidrófono del Samaruc, la señal eléctrica se procesa dentro del DSP, cuyo conversor analógico digital será el encargado de convertir la señal a muestras digitales, las cuales posteriormente podremos procesar.

En la Figura 23 se puede apreciar el montaje:



Figura 23. Montaje configuración 2 en la cámara anecoica

La calibración se emplea para determinar la relación existente entre la presión sonora que detecta el hidrófono con la medida eléctrica tomada en bornes del transductor. También nos servirá para ver cómo afecta la armadura y la electrónica del dispositivo a la percepción de las señales de audio. Como se ha comentado en la introducción teórica la sensibilidad de un transductor viene dada por:

$$S(f)_{\text{lineal}} = \frac{V_{\text{rms}}(\text{V})}{P(\mu\text{Pa})} \quad (1)$$

$$S(f)_{\text{dB}} = 20\log(S(f)_{\text{lineal}}) \quad (2)$$

En nuestro caso la calibración se realiza por referencia de un sonómetro, ya que sabremos que para una determinada frecuencia y presión sonora corresponderá un determinado voltaje y viceversa. La presión P (en función de la frecuencia) de la ecuación (1) la obtendremos con el sonómetro, el cual recibirá las señales emitidas por la fuente sonora. El voltaje V lo obtendremos del ADC del Samaruc en forma de cuentas digitales.

En este punto, con los datos de Presión del sonómetro y las cuentas digitales (tensión) registradas por el Samaruc tendríamos la calibración del sistema entero, es decir: hidrófono, electrónica asociada y DSP. Para obtener la calibración sólo del hidrófono (y su electrónica asociada) partimos de la curva de conversión del DSP (Figura 14) con la cual podemos convertir las cuentas digitales en los voltios recibidos por el hidrófono. En la Figura 24 observamos la interpolación que se ha realizado de la curva, obteniendo la siguiente expresión que nos permite pasar de cuentas digitales del Samaruc a Voltios:

$$\text{Valor analógico}(V) = \text{Cuentas digitales} \cdot \frac{1}{\text{Gain}} \quad (3)$$

Donde $\text{Gain} = 1,22962 \cdot 10^6$

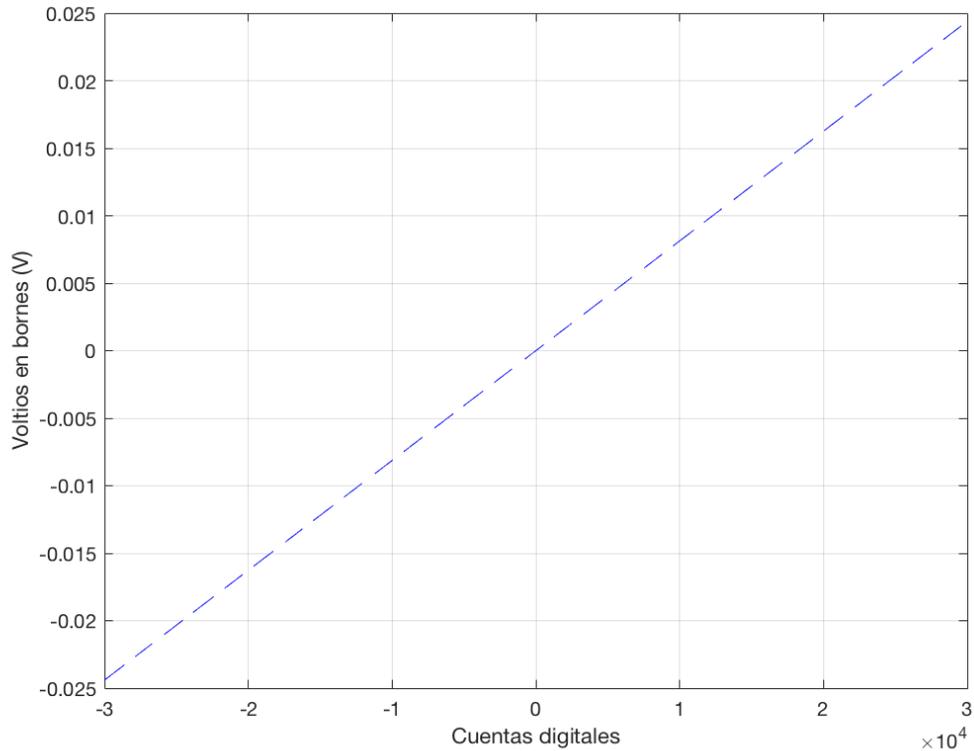


Figura 24. Interpolación de la curva de conversión del ADC

3.3.2 Test de calibración en agua

A pesar de que finalmente no se obtuvo una calibración formal en medio acuático, durante la fase de test se probó a calibrar inicialmente en frecuencias de 3kHz a 15kHz, dada la dificultad de tener disponible material para emitir a baja frecuencia. Para esta primera parte se usó el material descrito en el apartado anterior y el montaje se ilustra en la Figura 25, donde tanto la fuente sonora como el hidrófono de referencia y el Samaruc estaban sumergidos en la piscina del puerto de Gandía.

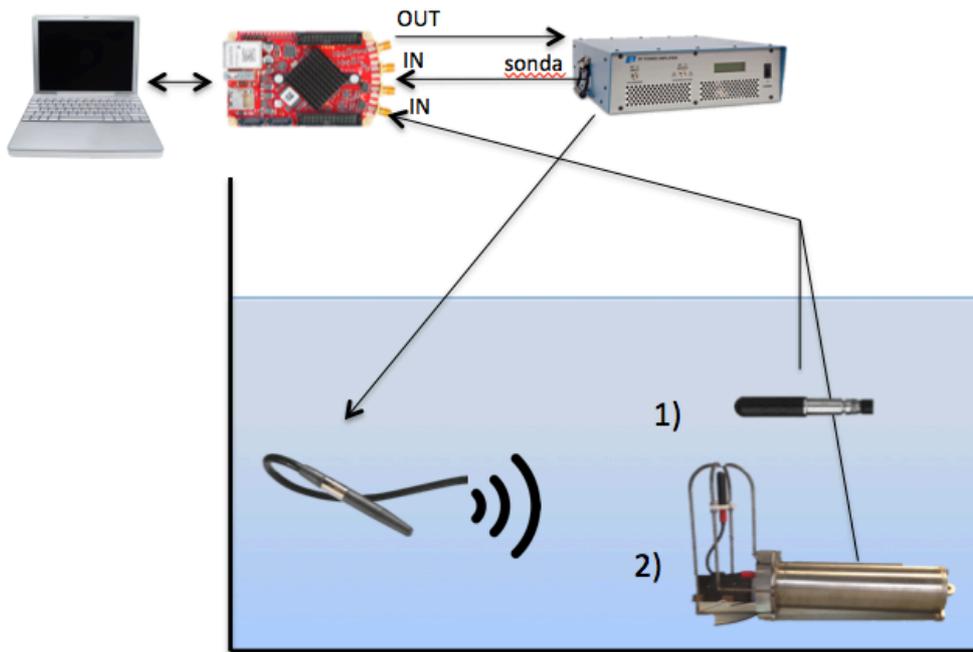


Figura 25. Montaje de la fase de test

En el amplificador se colocó una sonda para poder tener una referencia de lo que se estaba emitiendo desde el mismo. En primer lugar se debería haber medido con el Bruel, pero hubo problemas con la alimentación del mismo y medimos directamente lo que captaba el Samaruc.

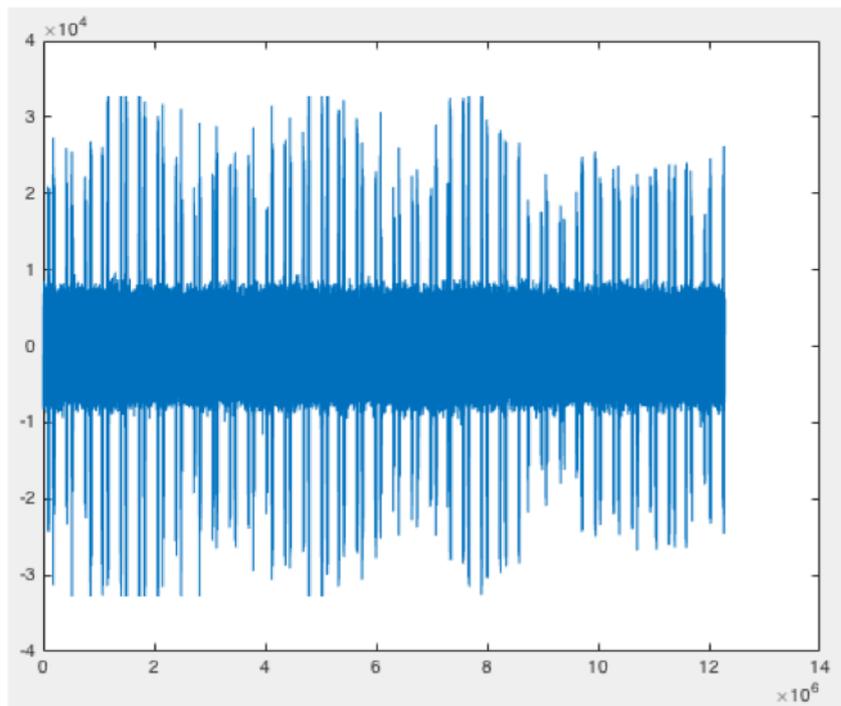


Figura 26. Archivo DAT registrado por el Samaruc

Debemos tener en cuenta que el emisor está emitiendo tonos de 0,3s de duración aproximadamente cada 2s. Estos tonos empiezan en 10 Hz y llegan a 15kHz en pasos de 20Hz. Y por otro lado el Samaruc estaba configurado para grabar 5 minutos seguidos y descansar un minuto. De esta forma cada archivo .DAT que registra está compuesto por 12285952 muestras, unos 4,3 minutos. En la Figura 26 vemos un archivo típico compuesto por 74 picos pero que corresponden a 37 frecuencias diferentes ya que los tonos se emitieron por duplicado. El eje x está en muestras temporales mientras que el eje y da los valores digitales del conversor AD. Este archivo en concreto corresponde al tramo que va desde 3810Hz hasta 4550 Hz, tal como se aprecia en el espectrograma de la Figura 27. Como se ha comentado antes, aunque el hidrófono emisor (en este caso el Reson) sea capaz de emitir a frecuencias de 10 Hz, el amplificador no lo es por tratarse de un amplificador de ultrasonidos, por lo que por debajo de 3kHz apenas era capaz de aportar ganancia a la señal proveniente del ordenador.

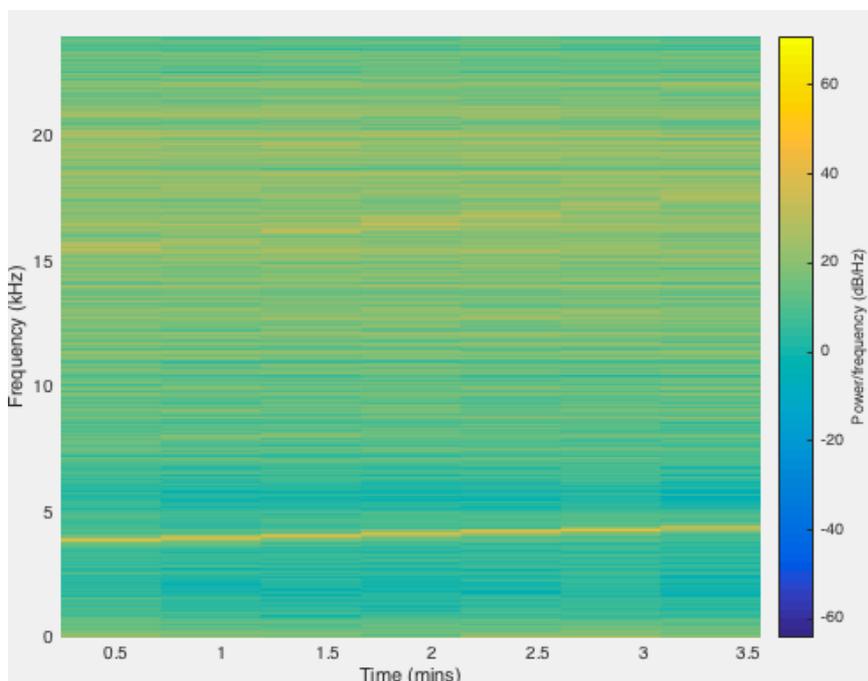


Figura 27. Espectrograma de uno de los archivos capturados por el Samaruc

Además del problema del amplificador, nos encontramos con el problema de la saturación. Se hicieron dos pruebas con diferentes ganancias de amplificador, pero ambas saturaban, por lo que esas medidas quedan descartadas al ser fundamental la amplitud del tono para los cálculos. Por otro lado el ruido de fondo también fue muy alto, lo que nos limitaba mucho el margen dinámico medible. Además del ruido ambiental propio de las instalaciones portuarias, es muy posible que el amplificador aportase bastante ruido a las medidas del Samaruc. Como ya se ha comentado se produjeron problemas con la alimentación del transductor Brüel de referencia, que para posteriores pruebas ya se solucionarían. Y por último deberíamos afrontar la calibración en baja frecuencia, que resolveríamos usando un altavoz submarino como fuente sonora.

El montaje correspondiente a la calibración en baja frecuencia se muestra en la Figura 28. En ella la fuente sonora es un altavoz submarino y el hidrófono de

referencia es el Bruel 8130. Previamente a las medidas hubo que calibrar la fuente sonora ya que la amplitud no era constante con la frecuencia. Mediante la red Pitaya se implementó una corrección de la tensión de salida de la fuente de manera que fuese constante con la frecuencia. En el capítulo de resultados se muestran tanto los resultados de la calibración de la fuente sonora como del Samaruc.

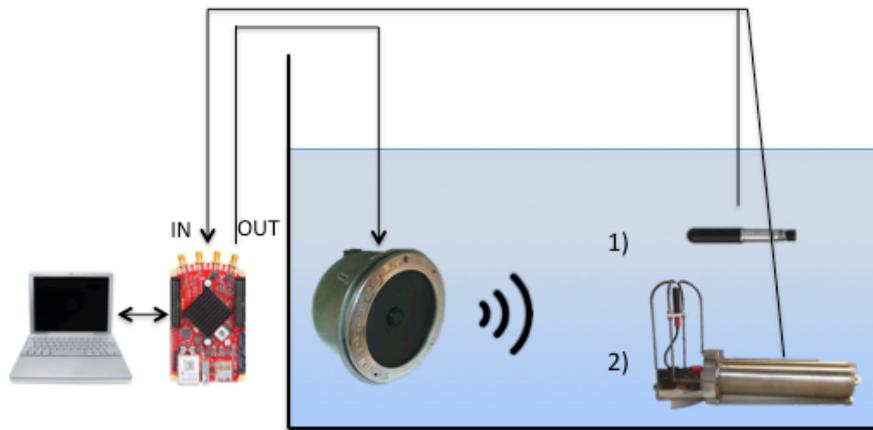


Figura 28. Montaje Configuración 1 - Piscina

De esta manera se procedió a emitir tonos frecuenciales desde 40 Hz hasta 420 Hz con una amplitud constante. Tal como indica el método de calibración por referencia, primero se midió con el Bruel (hidrófono calibrado) y en segundo lugar con el Samaruc. Por lo tanto con el dato de la presión sonora recibida en función de la frecuencia proporcionado por el Bruel y el dato del voltaje recibido proporcionado por el Samruc y el conversor analógico-digital podremos obtener el valor de la sensibilidad en función de la frecuencia tal como expresa la ecuación (1).

Capítulo 4: Resultados

4.1.1 Calibración en aire

En el montaje realizado en la cámara anecoica la fuente sonora emitirá señales que compondrán de 21 tonos comprendidos entre los 50 Hz y los 8kHz. En la Figura 29 mostramos dicha presión P en dBLs ($P_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$) en función de la frecuencia de los tonos emitidos por el altavoz. Dicha presión fue medida por el sonómetro calibrado Bruel 2250.

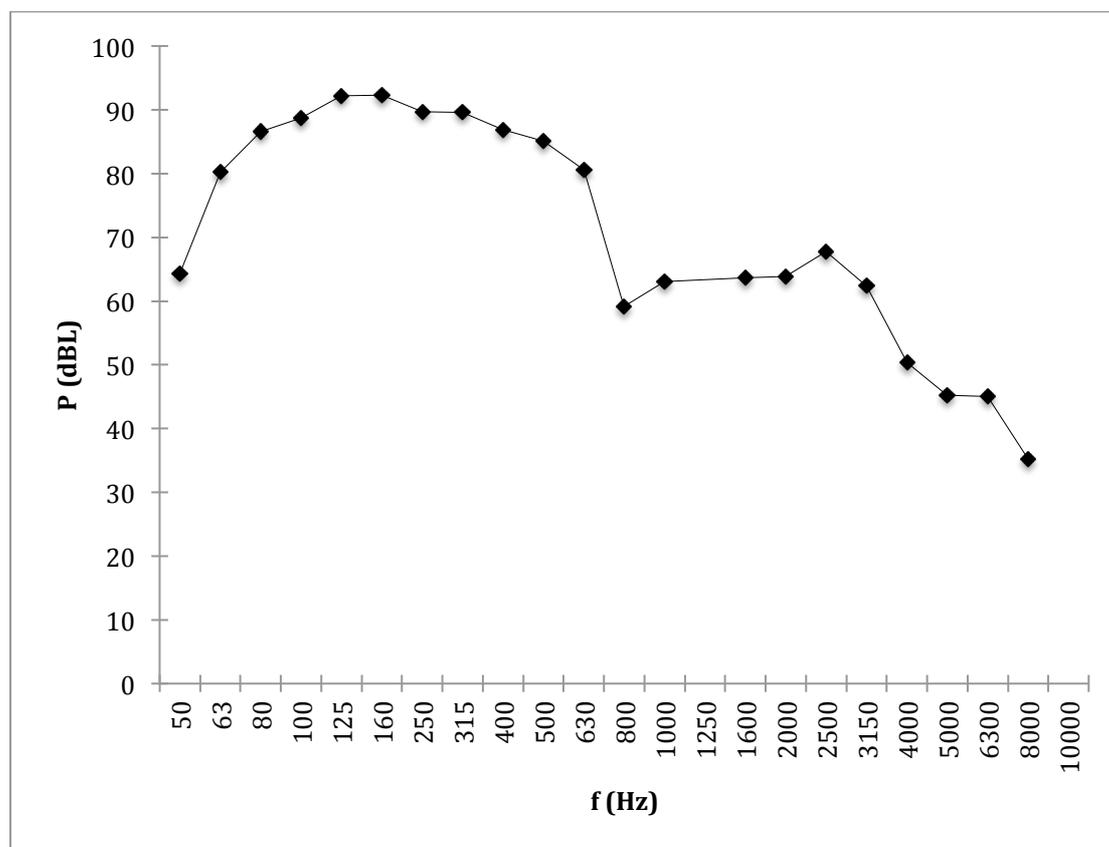


Figura 29. SPL medido por el sonómetro de referencia.

En segundo lugar, para obtener la tensión en bornes del hidrófono del Samaruc, V_{rms} de la ecuación (1), deberemos de leer los archivos .DAT que se guardan en la tarjeta SD del mismo. En dichos archivos obtendremos cuentas digitales que el Samaruc registra en cada grabación. Se realizaron cuatro conjuntos de medidas, cada uno de ellos a una potencia de fuente diferente, tal como se ha explicado, aunque finalmente nos quedaremos sólo con las de máxima ganancia del amplificador por ser las que mejor SNR tienen. El DSP del Samaruc grabó en la tarjeta SD un archivo .DAT diferente para cada frecuencia, de forma que cada archivo contenía el audio correspondiente un tono frecuencial emitido por el altavoz: “50.DAT”, “63.DAT”, “80.DAT” y así sucesivamente hasta “10000.DAT” .

En la Figura 30 se ha graficado uno de estos archivos, en concreto el tono de frecuencia 1kHz y 4dB de potencia de fuente. El eje y se ha dejado en cuentas digitales y el eje x se muestra en segundos. Se debe tener en cuenta que dichas cuentas digitales son los valores de salida del ADC, después de procesar la señal analógica proveniente del hidrófono.

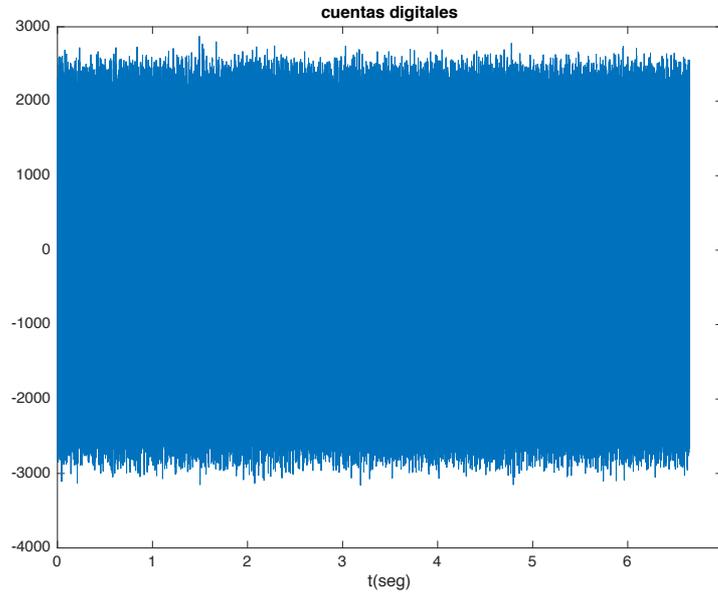


Figura 30. Gráfica de uno de los archivos .DAT creados por el Samaruc

El siguiente paso consiste en filtrar paso banda la frecuencia emitida, quitar la posible señal de continua y calcular la amplitud media de la señal, tal como se muestra en la Figura 31 para la frecuencia de 1 kHz.

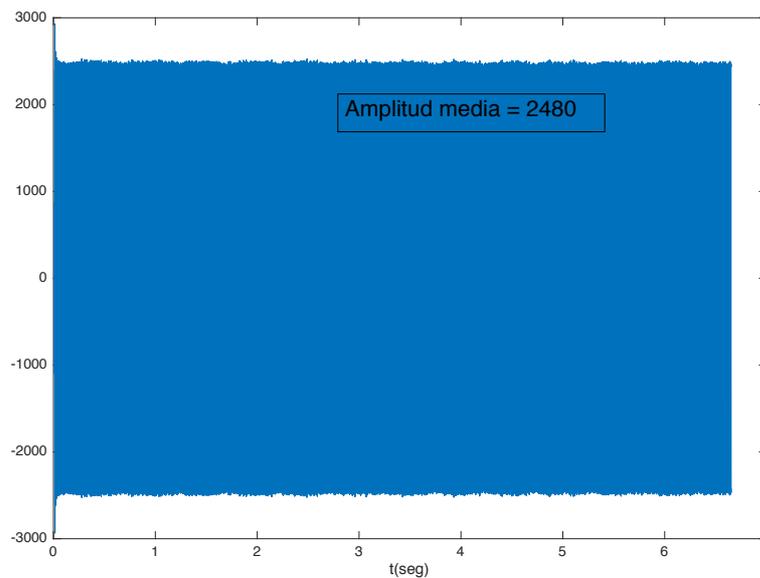


Figura 31. Amplitud media de la señal de 1 kHz filtrada

Debido a la gran cantidad de datos, frecuencias y archivos diferentes, se creó un script en Matlab para automatizar los cálculos, de manera que pudimos obtener las amplitud media de las señales procesadas por el DSP del Samaruc de manera más eficiente. Dicho script se encuentra en el Anexo 2, script 1. En la Figura 32 se ha graficado la señal recibida por el Samaruc para una amplitud de fuente de 4 dB. El valor de la señal se da en cuentas digitales del ADC a falta de convertir este valor a voltios.

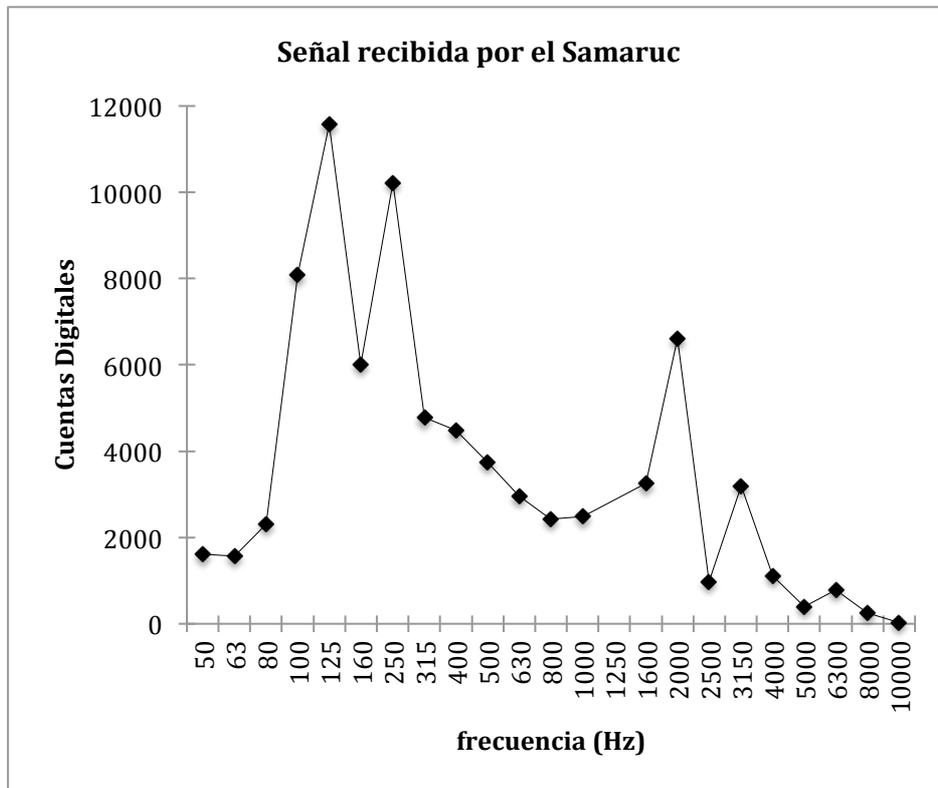


Figura 32. Señal recibida por el Samaruc

En este momento se procede al cálculo de la Sensibilidad mediante la ecuación (1) y (3) con los siguientes valores:

f (Hz)	Cuentas Digitales	Valor analógico [mV]	Presión recibida [μ P]	S lineal	S [dB]
50	1610	1,31	3,25E+04	5,69E-08	-50,92
63	1563	1,27	2,05E+05	8,78E-09	-67,15
80	2302	1,87	4,28E+05	6,18E-09	-70,20
100	8078	6,57	5,45E+05	1,71E-08	-61,38
125	11573	9,41	8,12E+05	1,64E-08	-61,73
160	6012	4,89	8,29E+05	8,34E-09	-67,60
250	10231	8,32	6,08E+05	1,93E-08	-60,29
315	4777	3,89	6,07E+05	9,04E-09	-66,89
400	4480	3,64	4,45E+05	1,16E-08	-64,74
500	3748	3,05	3,59E+05	1,20E-08	-64,44

En la Figura 33 se muestra la Sensibilidad lineal en cuentas digitales referenciadas a 20 μPa entre 50 y 500 Hz.

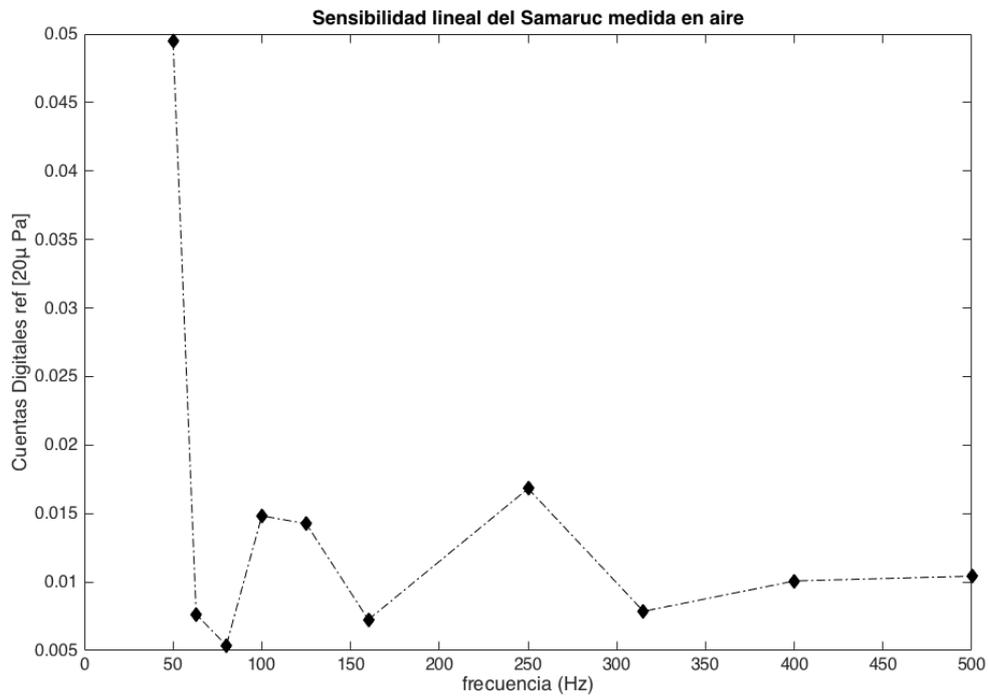


Figura 33. Sensibilidad lineal calculada en la cámara anecoica

Para obtener el valor de la sensibilidad en dBs del Samaruc convertimos las cuentas digitales en voltios, referenciando en este caso a una presión de 20 μPa por encontrarnos en el aire y recordando que se trata de voltios rms:

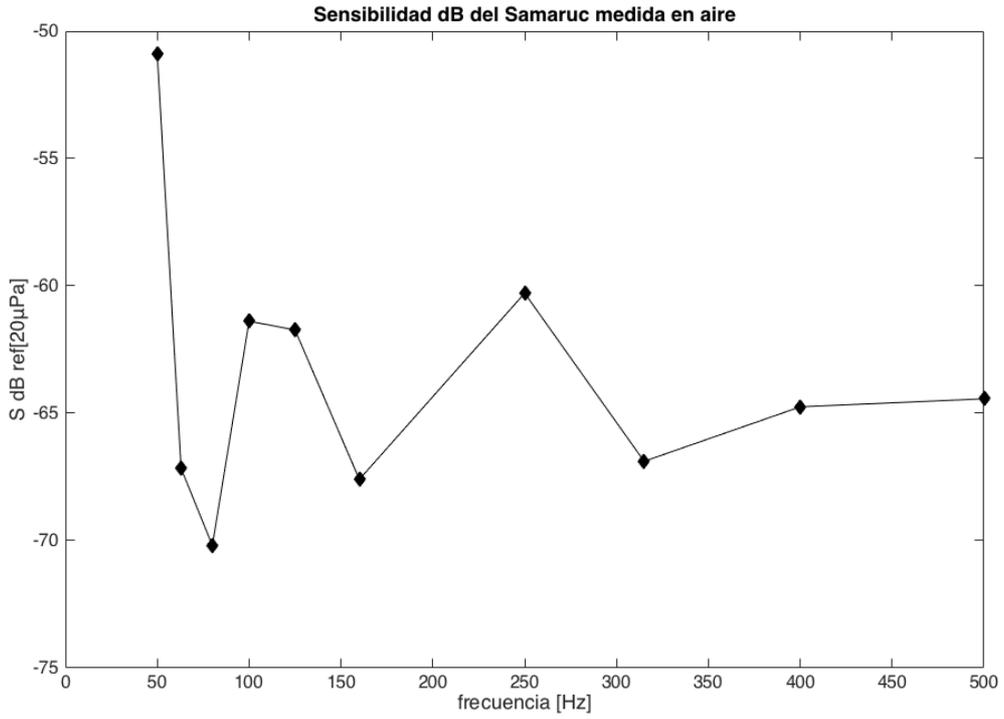


Figura 34. Sensibilidad en dBs del Samaruc medida en la cámara anecoica

Y se muestra también la sensibilidad lineal:

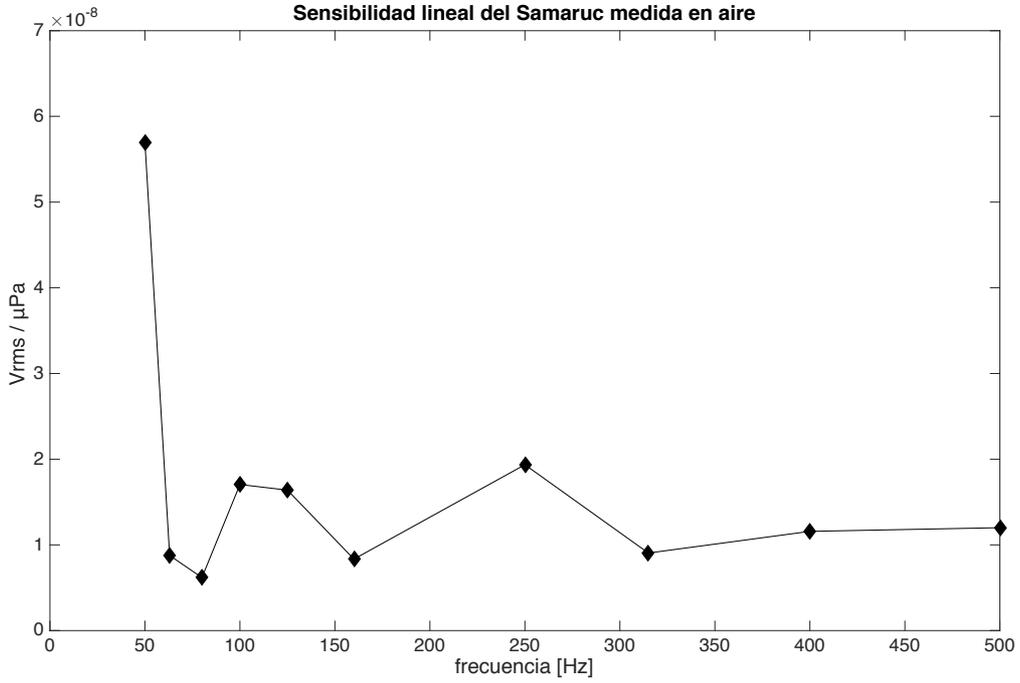


Figura 35. Sensibilidad lineal del Samaruc medida en cámara anecoica

Por último como información adicional, en la Figura 36 se muestra una gráfica comparativa para las 4 presiones de fuente diferentes medidas por el Samaruc según la ganancia que se le dio al amplificador. La sensibilidad viene calculada mediante la ecuación (1), pero introduciendo cuentas digitales del conversor en vez de voltios rms del hidrófono. Para calcular los valores de presión simplemente se ha pasado de la presión en dBL captada por el micrófono de referencia a μPa usando como presión de referencia $20 \mu\text{Pa}$.

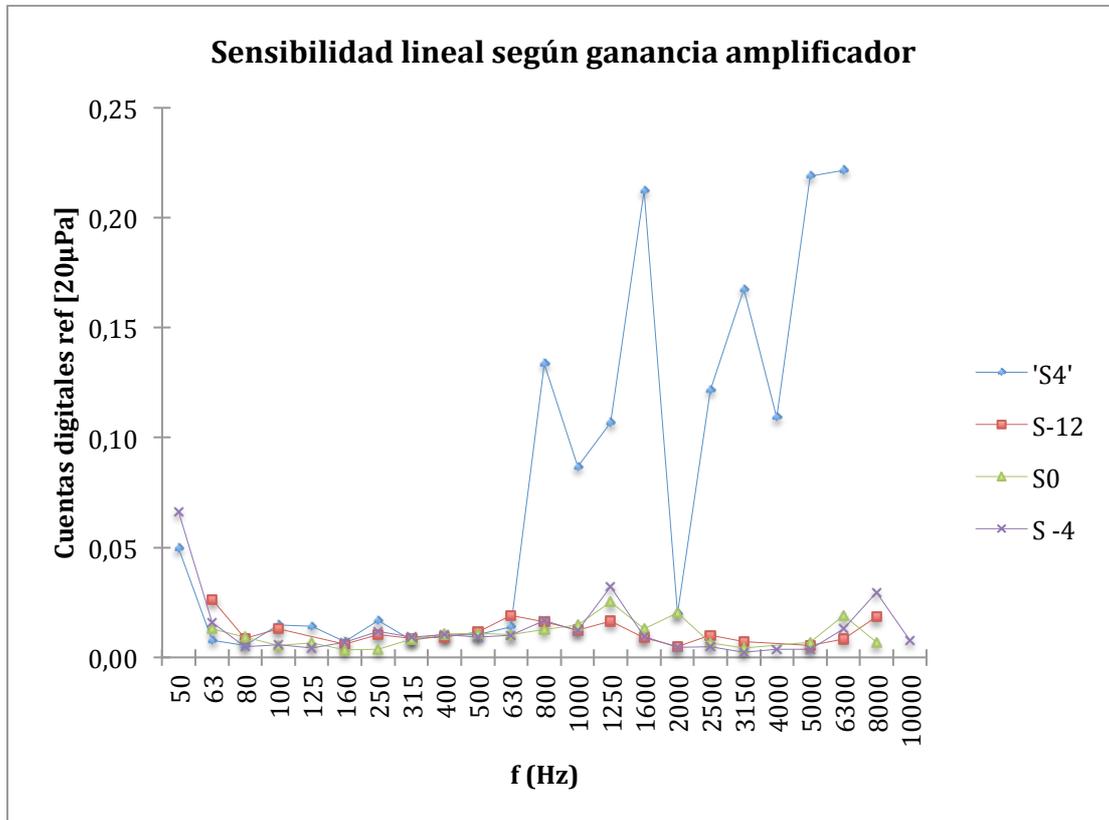
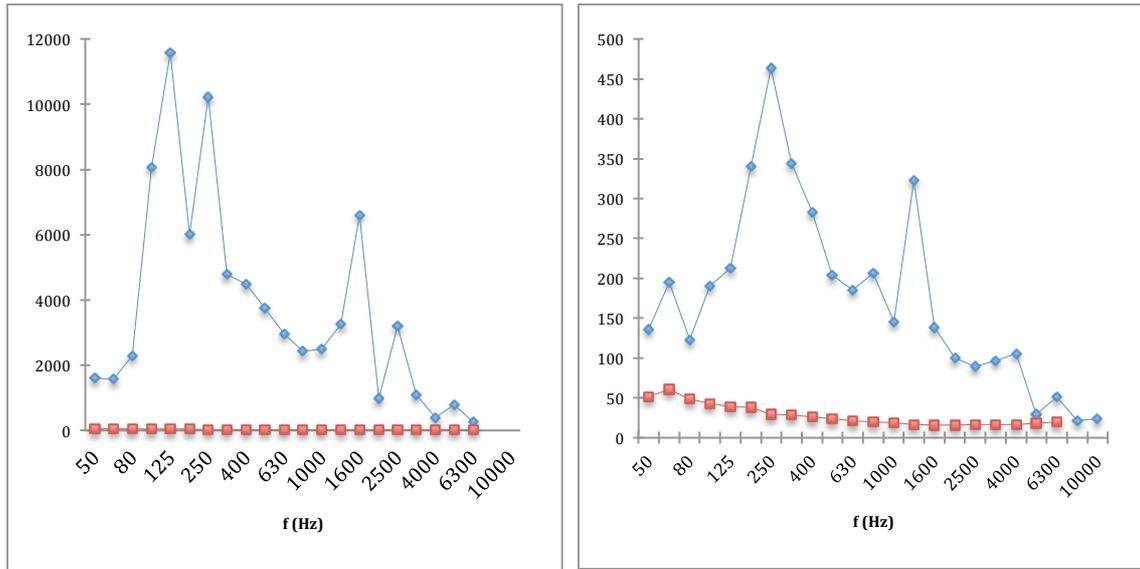


Figura 36. Gráfica comparativa de las 4 medidas de Sensibilidad según la ganancia del amplificador.

Debido a la gran diferencia entre amplitudes de señal, el siguiente paso fue evaluar la relación señal a ruido de las diferentes amplitudes de fuente. Este dato nos serviría también para tener una idea del ruido propio del sistema. Para ello analizamos una región de silencio del Samaruc, la cual procesamos igual que la señal con contenido frecuencial. En la Figura 37 se muestra una comparación entre las amplitudes de fuente de -4 dBs y 4 dBs. A partir de aquí se decidió continuar sólo con la amplitud máxima (4 dBs).



a)

b)

Figura 37. Señal vs Silencio (ambas en cuentas digitales) para ganancias del amplificador de a) 4 dBs y b) -4 dBs

4.1.2 Test de calibración en agua

Antes de comenzar se debe recalcar que los resultados obtenidos en agua finalmente no se contemplaron como válidos debido a la no disponibilidad de ciertos elementos. A pesar de que la calibración preliminar del emisor acústico es correcta, así como los valores registrados por el Samaruc, se hace necesario obtener los valores correctos de referencia captados por el hidrófono Brüel de manera que se mantenga siempre la misma distancia en todas las medidas y las señales emitidas sean lo suficientemente largas en el tiempo con el fin de conseguir una presión estable en un medio reverberante como es la piscina.

En primer lugar, ofrecemos los datos de calibración del emisor acústico submarino de baja frecuencia, ya que como se ha comentado antes, el voltaje en bornes de la fuente no es constante con la frecuencia. Para ello se ha usado el Brüel 8103 con el módulo Nexus como sistema de recepción a 1 metro de la fuente.

1) Inicialmente medimos el voltaje en bornes de la fuente, medido con el osciloscopio a la salida del amplificador de audio (Al amplificador de audio se le fija el Volumen en 2 unidades). En la Figura 38 se puede observar la gráfica resultante y cómo el voltaje varía con la frecuencia

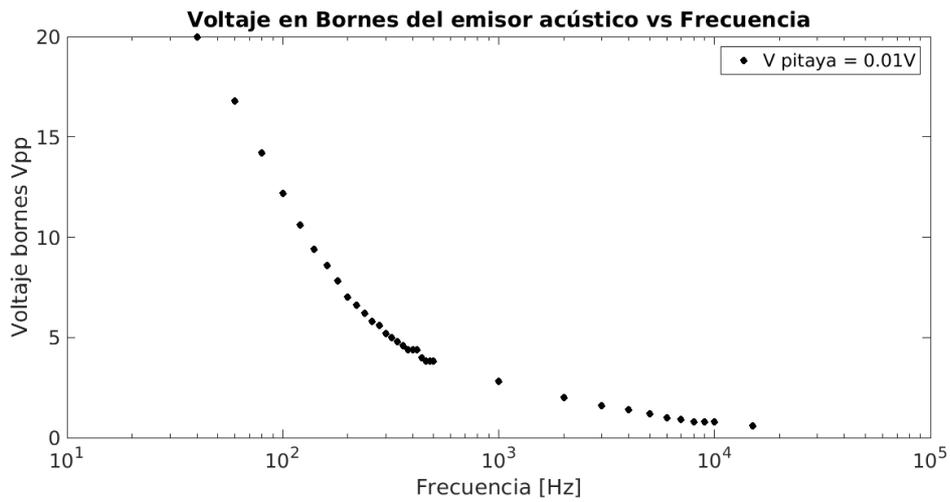


Figura 38. Voltaje en Bornes del emisor acústico en función de la frecuencia

Con el objetivo de poder tener el mismo voltaje en bornes del emisor acústico se ha calibrado el voltaje que suministra la red pitaya para emitir un voltaje constante. De esta manera se ha calculado para el rango de frecuencias 40Hz – 500Hz y 1kHz – 10kHz. Por otro lado, el voltaje fijado en bornes del emisor acústico ha sido de 15Vpp. En la Figura 39 se observa el voltaje compensatorio de la red pitaya.

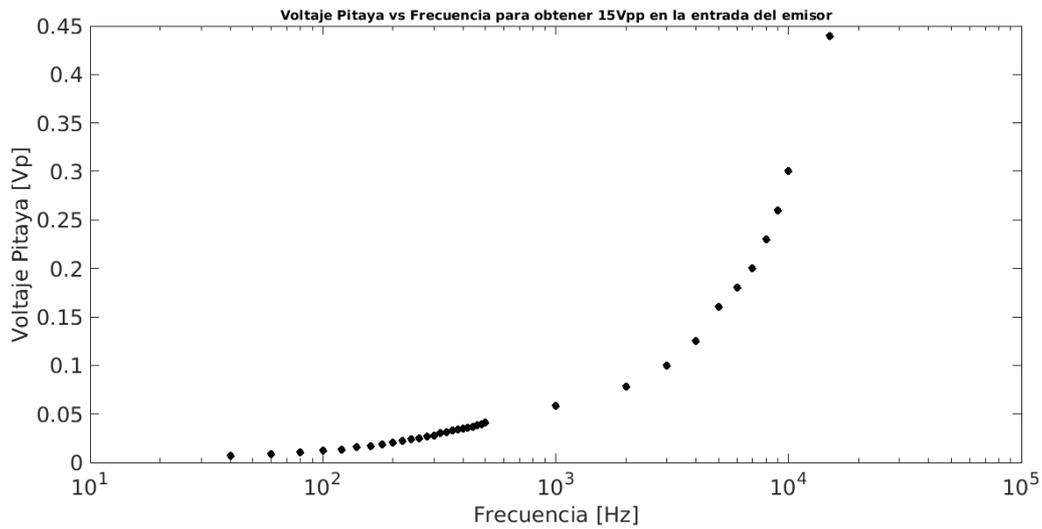


Figura 39. Voltaje de la Pitaya para compensar la fuente sonora

2) En segundo lugar calculamos la sensibilidad del emisor acústico submarino. Para calcular la sensibilidad del emisor acústico se ha utilizado un sistema receptor compuesto por hidrófono Bruel + Nexus. Se han emitido tonos cubriendo dos rangos de frecuencia:

- [40Hz 500Hz] con pasos de 20Hz
- [1kHz 10kHz] con pasos de 1kHz

Se ha calculado la presión recibida por el hidrófono, para ello se ha utilizado las relaciones que vienen dadas en el manual del propio hidrófono:

```

Sva = 12,6;%mV/Pa [Voltage sensitivity indicated at NEXUS]
Me = 12.6/1000;%mV/Pa [Voltage sensitivity transducer Calibration Chart]
Vu = 100;%mV/Pa [Amplifier config]
V_measured = V_measured*1000;%Peak Voltage measured by Hydrophone [mV]
k = Sva/(Me*Vu);
L = V_measured*k; %Calculation of Pressure [Pa]
SPL = 20*log10(L*1000000);

```

De esta manera obtenemos la presión recibida en el hidrófono emitiendo en el rango de frecuencias [1kHz – 10kHz] emitiendo a **15 Vpp** de amplitud en bornes del emisor acústico mostrada en la Figura 40.

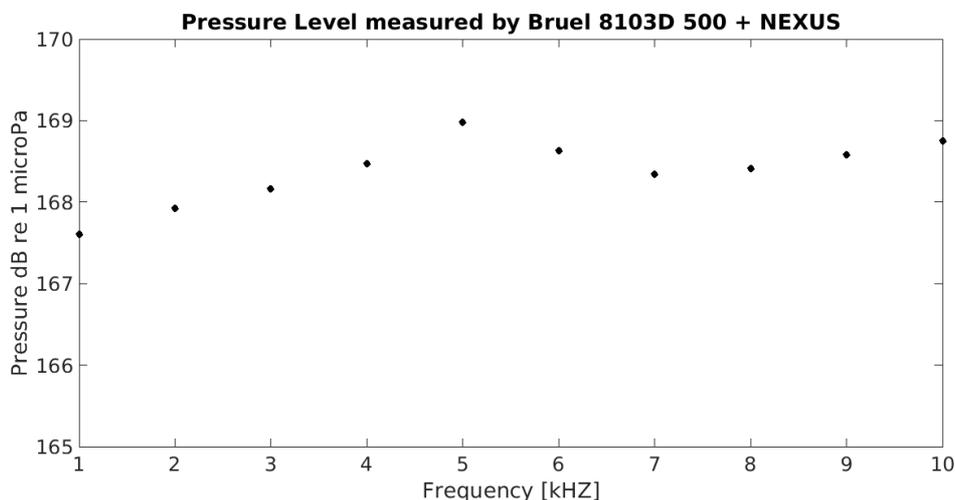


Figura 40. Nivel de presión medido por el Bruel (1-10k)

Trasladando este resultado junto con el resultado obtenido en la banda de frecuencia de [40Hz – 500Hz], el cual se muestra en la Figura 41, se obtiene la sensibilidad del emisor acústico, mostrado en la Figura 42.

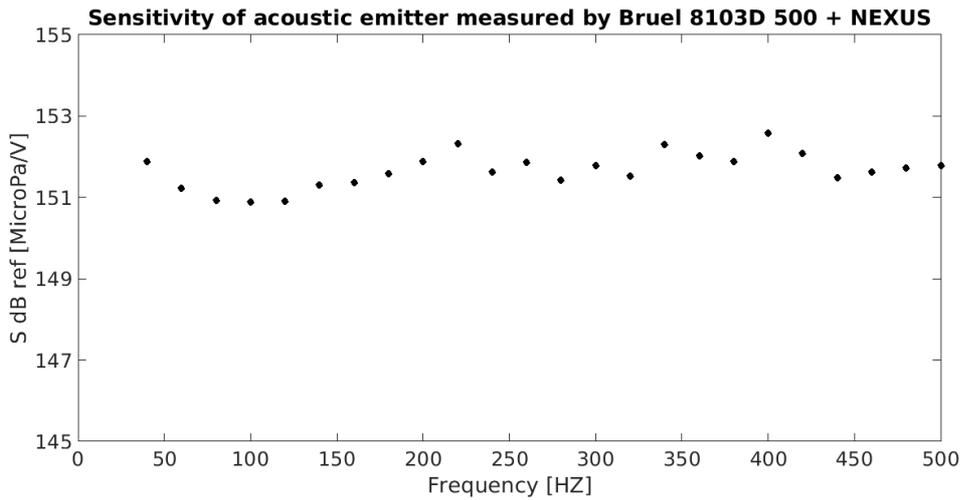


Figura 41. Nivel de presión medido por el Bruel (40-500Hz)

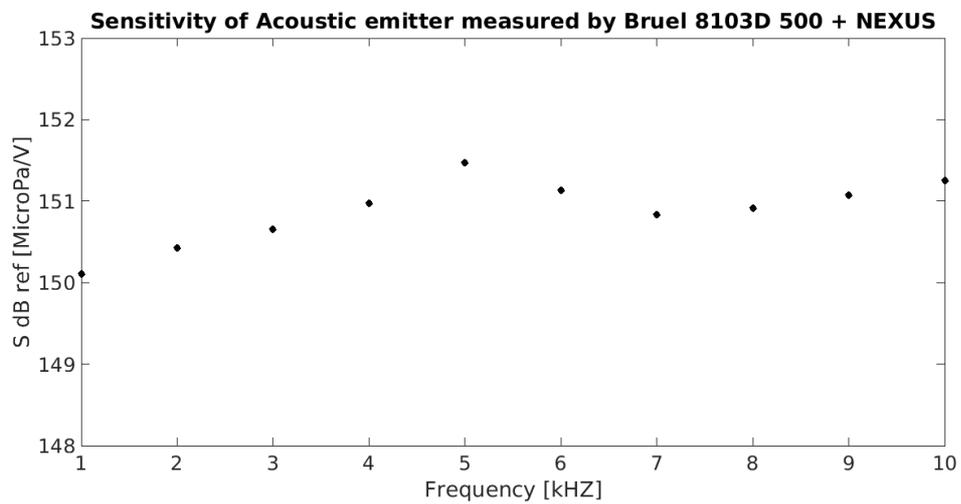


Figura 42. Sensibilidad del emisor acústico

3) Una vez tenemos el emisor calibrado nos proponemos calibrar el Samaruc entre 40 y 420 Hz. Para ello aplicaremos la ecuación (1) junto con los datos de la sensibilidad del emisor y los datos capturados por el Samruruc, los cuales se muestran en la Figura 43.

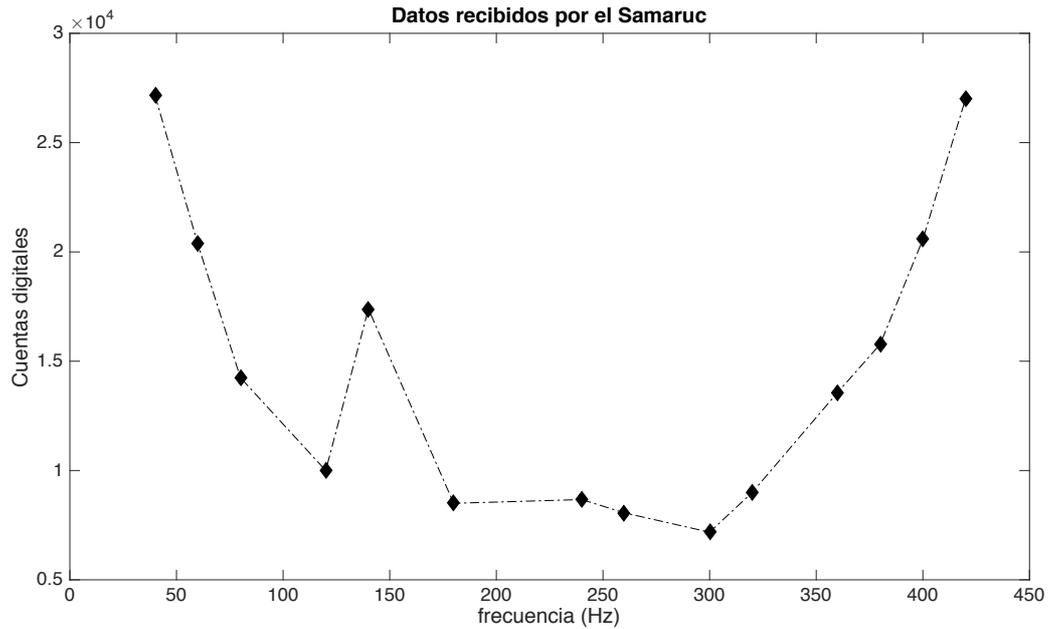


Figura 43. Datos en cuentas digitales recibidos por el Samaruc

Mediante las siguientes expresiones llegamos al cálculo de la sensibilidad del Samaruc:

Frecuencias: $f(\text{Hz}) = [40\ 60\ 80\ 120\ 140\ 180\ 240\ 260\ 300\ 320\ 360\ 380\ 400\ 420]$;

Conocemos la sensibilidad del emisor: $Sens_{dB} [dB\ ref\ 1\ \mu Pa]$

Conocemos el voltaje recibido por el Samaruc: $V'(f)_{cuentas\ digitales}$

Pasamos la sensibilidad del emisor a lineal: $Sens(f)_{lin} = 10^{Sens(f)_{dB}/20}$

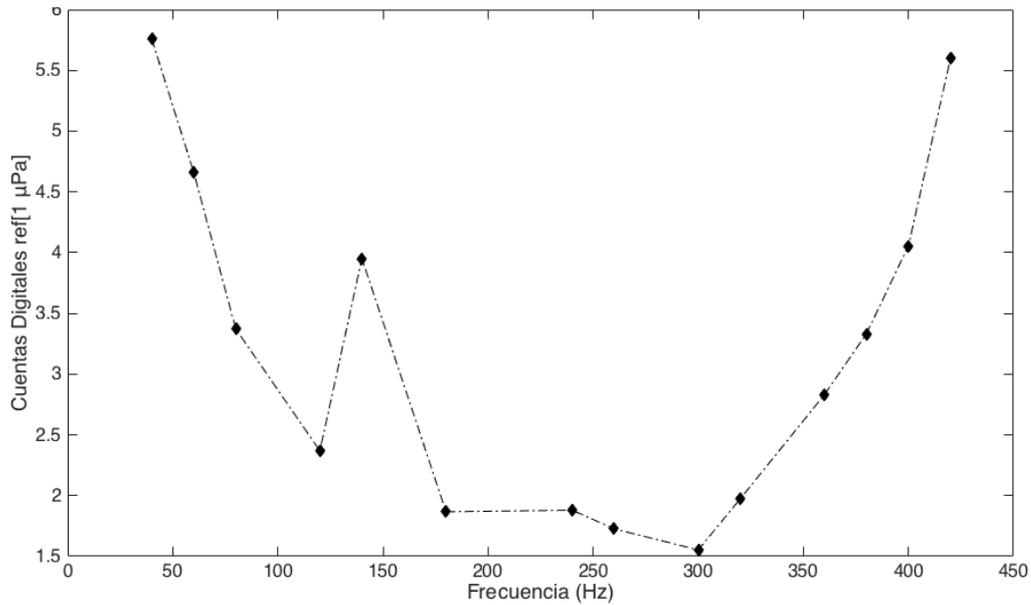
Calculamos la presión emitida $P(f)_{\mu Pa} = 12V \cdot Sens(f)_{lin}$

Y finalmente la Sensibilidad del Samaruc en cuentas digitales referenciado a

$$1\ \mu Pa: Sens_Samaruc(f)_{lineal} = \frac{V'(f)_{cuentas\ digitales}}{P(f)_{\mu Pa}}$$

El resultado de estos cálculos se muestra en la Figura 44. El script de Matlab utilizado se puede encontrar en el apartado 2) del Anexo 2.

Figura 44. Sensibilidad del Samaruc



4)

Aplicando la ecuación de conversión del ADC (3) obtenemos la Tabla 4 donde se muestran los valores recibidos por el Samaruc según la frecuencia. Además se ha añadido una columna más con los datos de la presión emitida por el altavoz submarino, que será igual a la recibida por el hidrófono del Samaruc y prácticamente constante con la frecuencia debido a la calibración previa que se acaba de explicar.

f (Hz)	Cuentas Digitales	Valor analógico (mV)	Presión recibida (μPa)
40	27144	22,07	4,71E+08
60	20361	16,56	4,37E+08
80	14245	11,58	4,23E+08
120	10000	8,13	4,22E+08
140	17393	14,14	4,40E+08
180	8500	6,91	4,55E+08
240	8672	7,05	4,61E+08
260	8065	6,56	4,67E+08
300	7180	5,84	4,62E+08
320	9000	7,32	4,56E+08
360	13570	11,04	4,79E+08
380	15778	12,83	4,74E+08
400	20578	16,73	5,07E+08
420	27000	21,96	4,82E+08

Tabla 4. Valores recibidos por el hidrófono del Samaruc y digitalizados por el ADC

Y por último, una vez obtenidos los valores analógicos en voltios capturados por el hidrófono, ahora sí, podemos calcular la sensibilidad del mismo según la ecuación (1) y (2) desde 40 a 450 Hz. En este caso, ya que se trata de un medio acuático, la presión de referencia es 1 μPa.

```
Vrms=V*sqrt(2); %Pasamos de Vpico a Vrms
Sens_Samaruc_lin=Vrms./P;
Sens_Samaruc_db=20*log10(Sens_Samaruc_lin./1e-6);
```

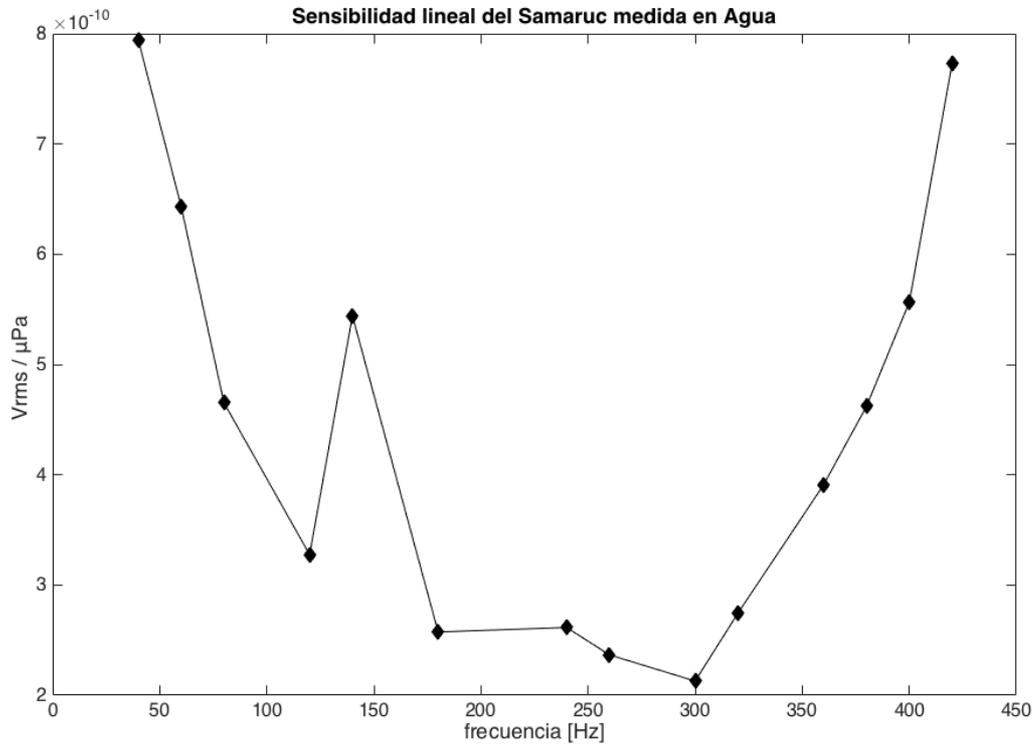


Figura 45. Sensibilidad lineal medida en Agua

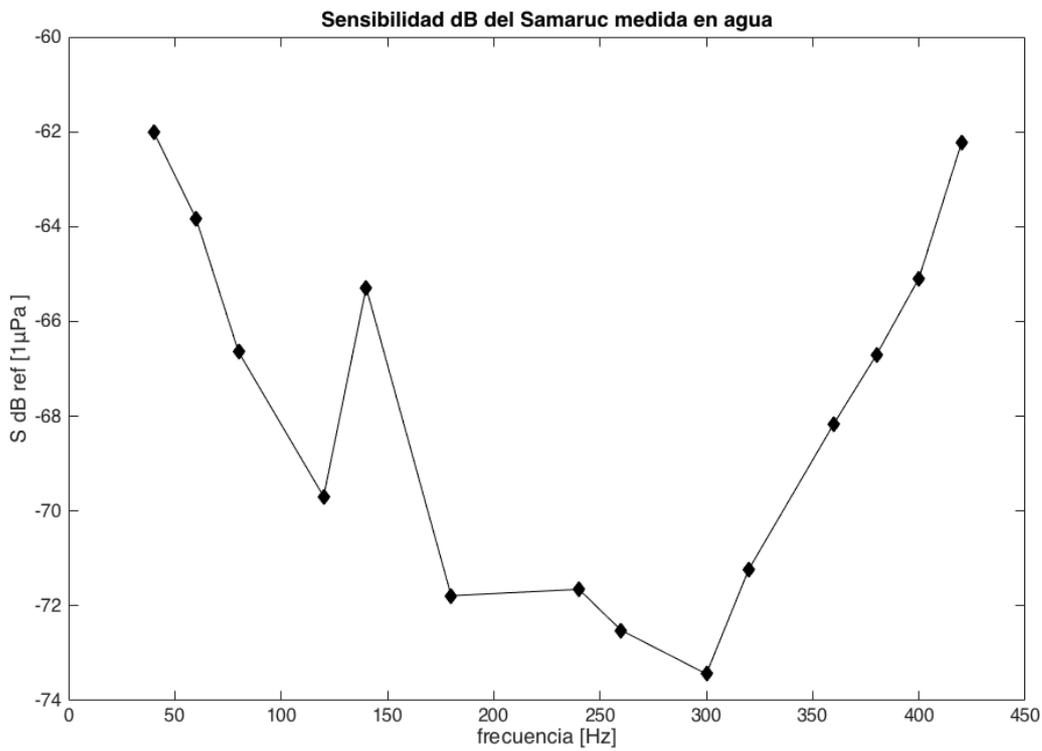


Figura 46. Sensibilidad en dBs medida en agua

Capítulo 5: Discusión y Conclusiones

Nuestro principal objetivo ha sido calibrar el Samaruc, un sistema pasivo de escucha y que permite el registro de eventos acústicos submarinos. Dicho sistema fue originalmente diseñado sin una calibración absoluta y debe calibrarse toda su cadena electroacústica, desde el hidrófono hasta el sistema de adquisición y procesado. Además, los Samarucs han estado fondeados en las islas Columbretes, cabo de la Nao o Cabrera obteniendo datos de ruido submarino durante varios meses seguidos. Esta calibración podrá convertir estos datos en información válida para responder a la demanda de los indicadores RS_IMP y RS_AMB.

Debido precisamente la ocupación de los Samarucs, el proceso de calibración se ha extendido quizá más de lo necesario. Además han surgido complicaciones debidas a la dificultad de calibrar un sistema en baja frecuencia, lo que nos obligó a desechar la idea inicial de calibrar por reciprocidad y referencia para tener información más robusta. Si bien, el hecho de poder realizar mediciones tanto en aire como en agua nos ha aportado información interesante y robustez a las medidas. Por otro lado, era importante calibrar el sistema en su totalidad, es decir hidrófono, carcasa y sistema de adquisición, ya que es así como va a funcionar a la hora de tomar medidas a pesar de que esto aumentaba la complejidad de las medidas.

Así mismo hemos conseguido profundizar en el manejo del Samaruc y cómo puede potenciar el cumplimiento del programa de ruido submarino, el cual tiene como objetivo evaluar el estado ambiental de las cinco demarcaciones marinas españolas. Este proceso de calibración nos ayudará a identificar qué eventos podrán ser captados por el dispositivo de escucha y qué eventos podrán saturar el hidrófono o el conversor analógico-digital que hay en su sistema de adquisición.

No obstante sólo podemos tomar como válidos los resultados obtenidos en la calibración por aire debido a problemas de disponibilidad de algunos elementos en la calibración en agua y que no se disponía de señales síncronas para las mediciones. Es importante tener en cuenta que la piscina del Puerto de Gandía es un medio reverberante, sobretodo a baja frecuencia. En este sentido es fundamental medir con señales muy largas en el tiempo ya que en caso de señales cortas la presión varía temporalmente. Al mismo tiempo se debe recalcar que la distancia entre el emisor y el Samaruc debe exactamente la misma en todas las medidas, al igual que la del hidrófono de referencia. En cualquier caso sí que se contaba con una calibración preliminar del emisor, lo que facilitó el proceso de calibración.

Pero no hay que desmerecer el trabajo realizado puesto que se ha avanzado en conocimiento del funcionamiento del Samaruc y en las aplicaciones que éste tiene de cara al futuro más inmediato. En este sentido el trabajo futuro más cercano sería completar esta calibración en medio acuático para poder comparar los datos con la calibración realizada en aire, esta sí, según la norma. Así mismo se propone también realizar un estudio de la directividad del Samaruc, lo cual puede ser interesante para ver si la dirección de los eventos afecta de alguna manera a la percepción de los mismos por la influencia de la carcasa y otros elementos del dispositivo.

Por otro lado, este proyecto también ha servido para comprender más a fondo la problemática del ruido submarino. Desde el punto de vista científico la preocupación es cada vez mayor, ya que el aumento significativo del ruido representa una gran amenaza para la supervivencia de todos los ecosistemas bajo el océano.

Capítulo 6: Bibliografía

- [1] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina. Madrid. 146 pp. NIPO: 280-12-232-2
- [2] Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008 , por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina)
- [3] 2010/477/UE: Decisión de la Comisión, de 1 de septiembre de 2010 , sobre los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas [notificada con el número C(2010) 5956]
- [4] Estrategias Marinas VI. Programas de Seguimiento Documento 3: Propuesta de Programas de Seguimiento.
- [5] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2012). Estrategias marinas: documento marco. Evaluación inicial, buen estado ambiental y objetivos ambientales. *Boletín oficial del estado*, NIPO: 280121758
- [6] Van der Graaf AJ, Ainslie MA, André M, Brensing K, Dalen J, Dekeling RPA, Robinson S, Tasker ML, Thomsen F, Werner S (2012). European Marine Strategy Framework Directive - Good Environmental Status (MSFD GES): Report of the Technical Subgroup on Underwater noise and other forms of energy.
- [7] Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas - Monitoring Guidance Specifications. 2nd Report of the Technical Subgroup on Underwater Noise (TSG Noise). November, 2013.
- [8] Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas OSPAR Agreement 2014-08
- [9] Product Data Brüel & Kjær Hydrophones – Types 8103, 8104, 8105 and 8106 (<http://www.lthe.fr/LTHE/IMG/pdf/DocBruelKjaerHydro.pdf>)
- [10] "Visión general de los puntos negros de ruido submarino en el área ACCOBAMS, Parte I - Mar Mediterráneo" (título original: "Overview of the Noise Hotspots in the ACCOBAMS Area, Part I - Mediterranean Sea").
- [11] "Documento técnico sobre impactos y mitigación de la contaminación acústica marina" del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), publicado en 2012
- [12] Ramón Miralles, Guillermo Lara, Alicia Carrión and José Antonio Esteban "Samaruc a programmable system for passive acoustic monitoring of cetaceans" (2013)
- [13] Kinsler L E et al. 2000 Fundamentals of acoustics (New York: John Wiley & Sons).

Anexo 1 – Indicadores de ruido submarino

RS-IMP	RUIDO IMPULSIVO		
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INDICADOR			
DESCRIPCIÓN	<p>Distribución temporal y espacial de los ruidos impulsivos de baja y media frecuencia.</p> <p>Este indicador recogerá la proporción de días y su distribución a lo largo de un año natural en zonas de una determinada superficie, así como su distribución espacial, en los que las fuentes sonoras antropogénicas superen niveles que puedan producir en los animales marinos un significativo impacto, medidos en la banda de frecuencias de 10 Hz a 10 kHz como nivel de exposición sonora (en dB re 1 $\mu\text{Pa}^2\cdot\text{s}$) o como nivel de presión acústica de pico (en dB re 1 $\mu\text{Pa}_{\text{pico}}$) a un metro.</p> <p>Pretende obtener una visión global de la ocurrencia de actividades generadoras de ruido impulsivo</p>		
PARÁMETROS NECESARIOS PARA SU CONSTRUCCIÓN	<p>Para la construcción de este indicador es necesaria la creación de un registro de fuentes o actividades generadoras de ruido impulsivo que superen los umbrales establecidos en la Guía metodológica (ver apartados de autor y referencias bibliográficas), donde se almacenarán sus características:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Identificador de la fuente o actividad - Fecha de operación - Posición de la fuente - Nivel de la fuente (o proxy) - Banda de frecuencia - Ciclo de trabajo - Duración de transmisión - Directividad - Profundidad de la fuente - Velocidad de la plataforma 		
FÓRMULA DE INTEGRACIÓN DE PARÁMETROS	<p>Para todas las fuentes incluidas en el registro definitivo se obtendrá la proporción de días y su distribución a lo largo del año (distribución temporal) en un mallado cuya resolución esta todavía pendiente de determinar (inicialmente se considera una resolución de 15' x 15') en los que se superan los niveles recomendados, así como un mapa de distribución espacial de superación de dichos niveles.</p>	UNIDADES	Días por celda en los que se superan los umbrales establecidos de ruido impulsivo
AUTOR	<p>El indicador ha sido establecido por la Comisión Europea en la Decisión de la Comisión (2010/477/UE) de 1 de Septiembre de 2010 sobre los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas. Las indicaciones para su implementación se han desarrollado en la Guía metodológica sobre ruido submarino desarrollada en el Subgrupo Técnico sobre Ruido submarino (TSG-Noise) de la Estrategia Común de Implementación de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (varios autores)</p>		

RELACIÓN CON LAS ESTRATEGIAS MARINAS

DEMARCACION/ES	En todas las demarcaciones: Noratlántica, Sudatlántica, Estrecho y Alborán,						
MARINAS DONDE	Levantino-Balear y Canaria.						
SE APLICA							
CATEGORÍA (E,P/I,O)	P	DESCRIPTOR	D11	CRITERIO	11.1	INDICADOR	11.1.1
COMPONENTES RELACIONADOS (Ley de Protección del Medio Marino, Anexo I)	<p><u>Cuadro 2. Presiones e impactos</u> Otras perturbaciones físicas. - Ruido subacuático</p>						
¿ES UN INDICADOR ASOCIADO A LOS OBJETIVOS AMBIENTALES? ¿CUÁL/ES?	<p>Se trata de dos objetivos comunes a todas las demarcaciones pero con diferente identificador según la demarcación.</p> <p>- Objetivo ambiental B.1.10 NOR, B.1.6 CAN y B.1.9 resto: Garantizar que los niveles de ruido submarino no generan impactos significativos en la biodiversidad marina.</p> <p>- Objetivo ambiental B.3.4 (común): Mejorar el conocimiento sobre el ruido submarino y otras entradas de energía en el medio marino, así como los impactos que generan en la biodiversidad marina.</p>						
¿ES UN INDICADOR ACORDADO COMO COMÚN A NIVEL REGIONAL/SUBREGIONAL?	Sí, en el área OSPAR	EXISTENTE O NUEVO (E/N)		N	¿SE HA EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN INICIAL?		No
¿SE EMPLEA EN APLICACIÓN DE UN CONVENIO	Desde 2014 se emplea como indicador común en el Convenio de Protección del Atlántico Nordeste o Convenio de OSPAR.						

<p>MÉTODO PROPUESTO PARA DEFINIR EL NIVEL DE REFERENCIA</p>	<p>La Guía metodológica recomienda emplear como nivel de referencia la distribución temporal y espacial de los ruidos impulsivos de media y baja frecuencia en la situación actual.</p> <p>Los umbrales que recomienda para la inclusión de fuentes de ruido en el registro son, según tipo de fuente:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Explosivos: $m_{TNTeq} > 8$ g. - Pistolas de aire: $SL_{z-p} > 209$ dB re $1\mu Pa \cdot m$ - Otras fuentes sonoras de tipo pulso: $SL_E > 186$ dB re $1\mu Pa^2 \cdot m^2 \cdot s$. - Sonar de baja-media frecuencia: $SL > 176$ dB re $1\mu Pa \cdot m$. - Disuasorios acústicos de baja-media frecuencia: $SL > 176$ dB re $1\mu Pa \cdot m$. - Otras fuentes sonoras que no son de tipo pulso: $SL > 176$ dB re $1\mu Pa \cdot m$.
<p>¿SE HA FIJADO UN NIVEL DE REFERENCIA EN LA EVALUACIÓN INICIAL?</p>	<p>No</p>
<p>MÉTODO PROPUESTO PARA DEFINIR EL UMBRAL ENTRE EL BUEN ESTADO AMBIENTAL Y EL ESTADO PEOR QUE BUENO</p>	<p>En esta etapa no hay suficiente información sobre los impactos acumulativos de los ruidos impulsivos sobre el desplazamiento de poblaciones marinas sensibles a esta presión y, como consecuencia, no se ha definido el BEA para este indicador. Se seguirán los avances del TSG-Noise y en el marco de los Convenios Marinos Regionales.</p>
<p>¿SE HA FIJADO UN UMBRAL EN LA EVALUACIÓN INICIAL?</p>	<p>No</p>

RS-AMB	Ruido Ambiente			
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL INDICADOR				
DESCRIPCIÓN	<p>Ruido continuo de baja frecuencia. Este indicador mostrará la evolución del nivel de ruido ambiental en las bandas de 1/3 de octava 63 y 125 Hz (frecuencia central) (re 1µPa RMS; nivel de ruido medio en estas bandas de octavas a lo largo de un año), medido en estaciones de observación o haciendo uso de algún modelo.</p>			
PARÁMETROS NECESARIOS PARA SU CONSTRUCCIÓN	<p>Parámetros necesarios para las mediciones realizadas con estaciones de observación:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Registro de ruido procedente de los hidrófonos. - Fecha y posición. - Deseable: parámetros del estado del mar (temperatura, presión y salinidad). <p>Parámetros necesarios para estimaciones mediante modelos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Parámetros del estado del mar (temperatura, presión y salinidad). - Batimetrías de las demarcaciones marinas (Noratlántica, Sudatlántica, del Estrecho y Alborán, Levantino-Balear, y Canaria). - Otras variables ambientales relevantes para la propagación acústica (por ejemplo, características de los fondos marinos) <p>Datos de las fuentes de ruido:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Datos de posición o distribución de las fuentes de ruido (por ejemplo, AIS) y tipo (por ejemplo, tipo de buque) - Espectro de las fuentes de ruido (por ejemplo, de los diferentes tipos de buques) - Profundidad de la fuente (para el modelado del ruido de fuentes ajenas al tráfico marítimo, como por ejemplo estaciones eólicas offshore, o perforaciones) - Velocidad de la plataforma 			
FÓRMULA DE INTEGRACIÓN DE PARÁMETROS	<p>Los registros de ruido procedentes de las mediciones realizadas en estaciones de observación son procesados mediante técnicas de tratamiento de señal.</p> <p>Los parámetros para estimaciones mediante modelos se integran en un modelo de propagación que permitirá la elaboración de un mapa de ruido ambiente.</p> <p>Los resultados del procesado de los registros de ruido procedentes de las campañas de medida y/o de las estaciones de observación, a través del estadístico adecuado, servirán para corregir y/o validar las estimaciones de ruido hechas por el modelo.</p> <p>Se obtendrán las tendencias según las escalas espacial y temporal que se determinen, así como la función completa de distribución acumulada (%) a lo largo del tiempo que mostrará la proporción de tiempo en que se alcanzan determinados niveles de referencia.</p>	UNIDADES	dB re 1µPa	

AUTOR	El indicador ha sido establecido por la Comisión Europea en la Decisión de la Comisión (2010/477/UE) de 1 de Septiembre de 2010 sobre los criterios y las normas metodológicas aplicables al buen estado medioambiental de las aguas marinas, y se desarrollan indicaciones para su implementación en la Guía metodológica sobre ruido submarino desarrollada en el Subgrupo Técnico sobre Ruido submarino (TSG-Noise) de la Estrategia Común de Implementación de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (varios autores)
-------	---

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	<p>- Decisión de la Comisión http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:232:0014:0024:EN:PDF</p> <p>- Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas- Part II: Monitoring Guidance Specifications http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/30973/1/lb-na-26555-en-n.pdf</p> <p>- Monitoring Guidance for Underwater Noise in European Seas - Part III: Background Information and Annexes http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/11111111/30980/1/lb-na-26556-en-n.pdf</p> <p>- Estrategias Marinas. Documento marco. Evaluación inicial, buen estado ambiental y objetivos ambientales. http://www.magrama.gob.es/es/costas/temas/estrategias-marinas/0_Documento_marco_estrategias_marinas_tcm7-204388.pdf</p>
----------------------------	--

RELACIÓN CON LAS ESTRATEGIAS MARINAS

DEMARCAACION/ES MARINAS DONDE SE APLICA	En todas las demarcaciones: Noratlántica, Sudatlántica, Estrecho y Alborán, Levantino-Balear y Canaria.						
CATEGORÍA (E,P/I,O)	P	DESCRIPTOR	D11	CRITERIO	11.2	INDICADOR	11.2.1
COMPONENTES RELACIONADOS (Ley de Protección del Medio Marino, Anexo I)	<p><u>Cuadro 2. Presiones e impactos</u></p> <p>Otras perturbaciones físicas.</p> <p>- Ruido subacuático</p>						
¿ES UN INDICADOR ASOCIADO A LOS OBJETIVOS AMBIENTALES? ¿CUÁL/ES?	<p>Se trata de dos objetivos comunes a todas las demarcaciones pero con diferente identificador según la demarcación en el primer caso.</p> <p>- Objetivo ambiental B.1.10 NOR, B.1.6 CAN y B.1.9 resto: Garantizar que los niveles de ruido submarino no generan impactos significativos en la biodiversidad marina.</p> <p>- Objetivo ambiental B.3.4 (común): Mejorar el conocimiento sobre el ruido submarino y otras entradas de energía en el medio marino, así como los impactos que generan en la biodiversidad marina.</p>						

¿ES UN INDICADOR ACORDADO COMO COMÚN A NIVEL REGIONAL/ /SUBREGIONAL?	Es un indicador candidato priorizado para ser promocionado a común en el área OSPAR	EXISTENTE O NUEVO (E/N)	N	¿SE HA EMPLEADO EN LA EVALUACIÓN INICIAL?	No
¿SE EMPLEA EN APLICACIÓN DE UN CONVENIO INTERNACIONAL O DE OTRA DIRECTIVA? ¿CUÁL/ES?	Se encuentra en fase de desarrollo en el Convenio de Protección del Atlántico Nordeste o Convenio de OSPAR, siguiendo la Guía metodológica de TSG-Noise que se ha adoptado como Directrices OSPAR.				
APLICABILIDAD EN LA EVALUACIÓN DEL ESTADO AMBIENTAL DEL MEDIO MARINO					
MÉTODO PROPUESTO PARA DEFINIR EL NIVEL DE REFERENCIA	La Guía metodológica recomienda emplear como nivel de referencia el punto de partida del análisis de tendencias, es decir, la situación actual. Dentro de este subprograma se creará un mapa de ruido ambiente marino de la demarcación, obtenido a partir de las estimaciones obtenidas con un modelo de propagación del sonido. El modelo será validado y calibrado mediante mediciones reales obtenidas de campañas y/o estaciones de observación.				
¿SE HA FIJADO UN NIVEL DE REFERENCIA EN LA EVALUACIÓN INICIAL?	No				
MÉTODO PROPUESTO PARA DEFINIR EL UMBRAL ENTRE EL BUEN ESTADO AMBIENTAL Y EL ESTADO PEOR QUE BUENO	En esta etapa no hay suficiente información sobre los efectos en la fauna del incremento de los niveles de ruido ambiente como para poder definir si estos son demasiado elevados o si se alcanza el BEA para este indicador. La Guía metodológica sugiere, en aplicación del principio de precaución, la definición del buen estado ambiental basado en tendencias estables o decrecientes del ruido ambiente en los casos en que haya sospecha de que los niveles existentes son demasiado elevados o van en aumento. Se seguirán los avances del TSG-Noise y en el marco de los Convenios Marinos Regionales.				
¿SE HA FIJADO UN UMBRAL EN LA EVALUACIÓN INICIAL?	No				

Anexo 2 – Programas Matlab

1) Cálculo de la amplitud de cada tono frecuencial recibido por el Samaruc en la cámara anecoica.

```
function [Y]=amplitudes4()

Y=[];
%archivos con las frecuencias medidas
names=[50 63 80 100 125 160 250 315 400 500 630 800 1000 1600 2000 2500
3150 4000 5000 6300 8000 10000];
fs=24000; %frecuencia muestreo
fn=fs/2; %frecuencia nyquist

for i=1:22
%ABRIMOS ARCHIVO
    filename=strcat(int2str(names(i)),'.DAT');
    fileID=fopen(filename,'r','l','ISO-8859-1');
    y=fread(fileID,'int16');
    fclose(fileID);

    %DISEÑAMOS FILTRO Y FILTRAMOS
    ff=names(i);
    H = fdesign.bandpass('Fst1,Fp1,Fp2,Fst2,Ast1,Ap,Ast2',ff-ff*0.2,ff-
ff*0.1,ff+ff*0.1,ff+ff*0.2,50,0.5,50,fs);
    D = design(H,'butter');
    filtrada=filter(D,y);
    filtrada2=detrend(filtrada); %QUITAMOS CONTINUA

    %CALCULAMOS AMPLITUD MEDIA
    hx = hilbert(filtrada);
    inst_amp = abs(hx);
    amplitud=mean(inst_amp(2000:end-4000));

    Y(i)=amplitud;
end
Y=Y';
```

2) Cálculo de la sensibilidad del Samaruc en la piscina

```
load('40Hz_500Hz_Spline_Sensitivity_Ramis.mat')
f_Measured = [40 60 80 120 140 180 240 260 300 320 360 380 400 420];
Sens = feval(fittedmodell1,f_Measured)%sensibilidad del emisor en dB
a = load('Results_20_Ciclos');%cuentas digitales recibidas por el
Samaruc
Sens_lin = 10.^(Sens./20);%sensibilidad del emisor en lineal
P = 12*Sens_lin;%P emitida por el emisor en microPa
Sens_samaruc = a(:,2)./P;%Sensibilidad Samaruc en cuentas
digitales/microPa
gain=1.22962*10^6;
cuentas=a(:,2);
V=cuentas/gain;
Vrms=V*sqrt(2); %Pasamos de Vpico a Vrms
Sens_Samaruc_lin=Vrms./P;
figure; plot(f_Measured,20*log10(Sens_samaruc./1e-6),'*')
figure; plot(f_Measured,Sens_samaruc,'*')
```

2) Cálculo de la sensibilidad del Samaruc en aire

```
f=[50 63 80 100 125 160 250 315 400 500 630 800 1000 1600 2000
2500 3150 4000 5000 6300 8000];
cuentas=[1610 1563 2302 8078 11573 6012 10231 4777
4480 3748 2952 2422 2481 3249 6610 974 3197 1104
397 786 256];
P=[3.25E+04 2.05E+05 4.28E+05 5.45E+05 8.12E+05 8.29E+05
6.08E+05 6.07E+05 4.45E+05 3.59E+05 2.14E+05 1.82E+04
2.86E+04 3.04E+04 3.12E+04 4.88E+04 2.63E+04 6.59E+03
3.64E+03 3.59E+03 1.16E+03];
gain=1.22962*10^6;
cuentas=cuentas';f=f';P=P';
V=cuentas/gain;
Vrms=V*sqrt(2);
Sens_lin=Vrms./P;
Sens_db=20*log10(Sens_lin./20e-6);
plot(f,Sens_db)
plot(f,Sens_lin)
```