

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Master en Ingeniería Acústica

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

**“Detección acústica de bivalvos con técnicas de "narrow-band" y "broad-band" con ecosondas de haz partido.”**

**TRABAJO FINAL DE MASTER**

Autor/a:  
**Morillo Faro, Andrés**

Tutor/a:  
**Pérez Arjona, Isabel**  
**Espinosa Roselló, Víctor**

**GANDIA, 2018**

# Resumen

Los mares y océanos son zonas de gran riqueza natural. En los últimos años, esta riqueza y diversidad biológica se ha visto mermada por factores climatológicos y humanos. En concreto, en el mar Mediterráneo, poblaciones de especies como la chirla "*Chamelea gallina*" han disminuido hasta el punto de hacer necesario un control de su pesca. En este proyecto se realiza un estudio numérico y el posterior estudio experimental en condiciones de laboratorio para analizar la viabilidad de las técnicas acústicas con ecosondas de haz partido y configuraciones de *Narrow-Band* y *Broad-Band*.

**Palabras clave:** Chirla, Pesca Sostenible, Ecosonda, Broadband, Detección, Narrowband

---

# Abstract

Seas and oceans are places with natural wealth. This natural resources has suffered drastic decrease by meteorologic phenomenon and human impacts. That's the case of *Chamelea gallina*, whose population's decrements forces mediterranean countries to control fishery quota. A numeric study with a *FEM* method is executed in this project to analyze theoretically the acoustic methods of bivalve detection. After that, an experimental study under laboratory conditions is carried out to analyze the viability of acoustic techniques with split beam echosounds under *Narrow-Band* and *Broad-Band* configurations.

**Key words:** *Chamelea gallina*, Sustainable Fishery, Detection, Narrowband, Broadband

---

# Índice general

---

Índice general	II	
Índice de figuras	III	
Índice de tablas	IV	
<hr/>		
<b>1</b>	<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Materiales y Métodos</b>	<b>2</b>
2.1	Simulación Numérica . . . . .	4
2.1.1	Introducción . . . . .	4
2.2	Experimental . . . . .	8
2.2.1	Introducción . . . . .	8
2.2.2	Diseño experimental . . . . .	11
2.2.3	Preparación del experimento . . . . .	13
2.2.4	Ejecución del experimento . . . . .	15
<b>3</b>	<b>Resultados y Discusión</b>	<b>19</b>
3.1	Resultados Simulación Numérica . . . . .	19
3.2	Resultados del Estudio Experimental . . . . .	24
3.2.1	Análisis datos medición estática. . . . .	24
3.2.2	Análisis datos medición de transectos. . . . .	31
<b>4</b>	<b>Conclusión</b>	<b>40</b>
4.1	Conclusión Estudio Teórico . . . . .	40
4.2	Conclusión Estudio Experimental . . . . .	40
4.3	Conclusiones Generales . . . . .	41
4.4	Futuras líneas de estudio . . . . .	41
<b>5</b>	<b>Glosario</b>	<b>42</b>
	<b>Bibliografía</b>	<b>44</b>

# Índice de figuras

---

2.1	Curva Granulométrica del sedimento. . . . .	3
2.2	Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros. . . . .	4
2.3	Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros. . . . .	5
2.4	Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros. . . . .	6
2.5	Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros. . . . .	6
2.6	Esquema del funcionamiento de un transductor de haz partido. [5]	9
2.7	Punto de recogida de sedimento. Circulado en rojo. . . . .	12
2.8	Transporte y descarga del sedimento. . . . .	12
2.9	Chirlas estudiadas. . . . .	13
2.10	Montaje de piscina de plástico y llenado de sedimento. . . . .	13
2.11	Montaje de los transductores bajo la plataforma. . . . .	14
2.12	Anclaje de la plataforma al sistema de posicionamiento. . . . .	14
2.13	Montaje ordenadores control. . . . .	15
2.14	Esquema de las posiciones de medición. Experimental estático. . . .	16
2.15	Esquema de las posiciones de las chirlas. . . . .	17
2.16	Esquema de los transectos. . . . .	17
3.1	Representación de la simulación con la chirla centrada. . . . .	19
3.2	Representación de la simulación con la chirla centrada. . . . .	20
3.3	Representación de la simulación con la chirla izquierda del transductor. . . . .	20
3.4	Representación de la simulación con la chirla a la izquierda del transductor. . . . .	21
3.5	Representación de la simulación con la chirla derecha del transductor. . . . .	21
3.6	Representación de la simulación con la chirla a la derecha del transductor. . . . .	22
3.7	Comparación resultados simulación chirla izquierda. [2]. . . . .	22
3.8	Comparación resultados simulación chirla derecha. [2]. . . . .	23
3.9	Representación medias ecos para CW200kHz y 90W. 2cm. . . . .	25
3.10	Representación medias ecos para CW200kHz y 90W. 4cm. . . . .	26
3.11	Representación medias ecos para CW200kHz y 300W. 2cm. . . . .	26
3.12	Representación medias ecos para CW200kHz y 300W. 4cm. . . . .	27
3.13	Representación medias ecos para CW120kHz. 2cm. . . . .	27
3.14	Representación medias ecos para CW120kHz. 4cm. . . . .	28
3.15	Representación medias ecos para LFMfast a 130kHz. 2cm. . . . .	29
3.16	Representación medias ecos para LFMfast a 130kHz. 4cm. . . . .	29
3.17	Representación medias ecos para LFMslow a 130kHz. 2cm . . . . .	30
3.18	Representación medias ecos para LFMslow a 130kHz. 4cm . . . . .	30
3.19	Representación Sv en dB del primer eco para CW a 200kHz y 90W. . . . .	33
3.20	Representación angular del primer eco para CW a 200kHz y 90W. . . . .	33

3.21	Representación $S_v$ en $dB$ del primer eco para CW a 200kHz y 300W.	34
3.22	Representación angular del primer eco para CW a 200kHz y 300W.	34
3.23	Representación $S_v$ en $dB$ del primer eco para CW a 120kHz. . . . .	35
3.24	Representación angular del primer eco para CW a 120kHz. . . . .	35
3.25	Representación $S_v$ en $dB$ del primer eco para LFMfast. . . . .	36
3.26	Representación angular del primer eco para LFMfast. . . . .	36
3.27	Representación $S_v$ en $dB$ del primer eco para LFMslow. . . . .	37
3.28	Representación angular del primer eco para LFMslow. . . . .	37
3.29	Dendograma final análisis CW120. . . . .	38
3.30	Dendograma final análisis LFMfast. . . . .	39

## Índice de tablas

---

2.1	Medidas granulometría. . . . .	2
2.2	Porcentajes tamaño del grano. Medias. . . . .	3
2.3	Variables y valores de la esfera (Chirla). . . . .	5
2.4	Especificaciones de los transductores utilizados en la medición. [7]	11
2.5	Condiciones ambientales del agua. Medias. . . . .	15
3.1	Comparativa tiempos de llegada simulación. . . . .	23
3.2	Comparativa tiempos de llegada simulación. . . . .	23
3.3	Combinaciones de criterios, profundidad y chirlas/esfera. . . . .	32

---

# Introducción

---

Los mares y océanos del planeta son zonas de gran riqueza natural, desde plantas marinas y pequeños organismos hasta los grandes cetáceos forman parte de estos ecosistemas. Más específicamente, en el mar Mediterráneo, existe una gran diversidad de especies animales como la Coquina o Tellina "*Donax trunculus*" o la Chirla "*Chamelea gallina*" y especies vegetales como la Posidonia que cubre el lecho marino.

En los últimos años, factores climatológicos como la subida de la temperatura marina, y humanos como la sobrepesca o la contaminación (acústica y de vertidos), han favorecido el descenso poblacional de especies autóctonas hasta el límite de tener que regular la pesca de dichas poblaciones. Este es el caso de las poblaciones de tellinas de la costa valenciana, y de las de chirlas de la costa andaluza.

A día de hoy, los estudios para cuantificar las poblaciones de pequeños bivalvos son costosos en tiempo, dinero y ecológicamente. Esto se debe a que se utilizan métodos invasivos y rudimentarios como las dragas o el buceo en las zonas de pesca.

En este trabajo se propone llevar a cabo un estudio teórico y experimental similar a los que se han llevado a cabo con anterioridad, para analizar la viabilidad en la detección y cuantificación de otras poblaciones como navajas "*Ensis*" [1] o tellinas "*Donax trunculus*" [2] con métodos acústicos.

Se propone utilizar las configuraciones de *Narrowband* y *Broadband* que permiten las ecosondas científicas de haz partido, y analizar la información angular como realizó N. Sánchez con las navajas [1], para realizar un análisis estadístico y comprobar las diferencias entre poblaciones con diferente número de individuos. También se propone analizar los valores de presión (*SV*) para comprobar la utilidad de los mismos en la diferenciación de las poblaciones.

Así mismo, se propone ampliar el estudio teórico a partir del cambio en la definición del dispersor (tellina/chirla) en la simulación numérica llevada a cabo en el otro trabajo [2].

---

# Materiales y Métodos

---

El proyecto propuesto se compone de dos estudios complementarios que permitan estudiar, tanto teóricamente como experimentalmente, la detección acústica de chirlos *Chamelea gallina* con técnicas “narrow-band” y “broad-band” con ecosondas científicas de haz partido.

El primer paso a realizar es la caracterización del sedimento propio de la zona del hábitat de las chirlos, con el fin de determinar de manera precisa los parámetros que lo definen. Para determinar estos parámetros se ha realizado una granulometría del sedimento extraído para el estudio experimental.

Los pasos a seguir en la realización de la granulometría son los siguientes:

- Pesado de las bandejas del tamizador.
- Colocación del sedimento y tamizado.
- Pesado de las bandejas con el sedimento tamizado.

Se han realizado 3 repeticiones del tamizado con, aproximadamente, 25g de sedimento cada una. Los resultados de cada repetición se encuentran en la Tabla 2.1. El error total de cada medida es de 0,015g debido al error del aparato de medida (0,001g) y a los propios tamices (7 tamices + 7 tamices con muestra + 1 muestra).

Luz (mm)	Medida 1 (g)		Medida 2 (g)		Medida 3 (g)	
	Tamiz (g)	Sedimento (g)	Tamiz (g)	Sedimento (g)	Tamiz (g)	Sedimento (g)
> 2	89,650	0,240	89,622	0,128	89,646	0,780
> 1	108,483	0,217	108,471	0,143	108,477	0,170
> 0,5	107,938	0,223	107,954	0,209	107,943	0,281
> 0,250	103,798	1,195	103,820	1,549	103,797	1,553
> 0,125	80,858	17,463	80,871	18,167	80,856	18,203
> 0,063	79,446	5,650	79,438	4,627	79,428	4,762
< 0,063	69,795	0,127	69,779	0,112	69,786	0,119
TOTAL	—	25,115	—	24,935	—	25,868
Error: 0,015g						

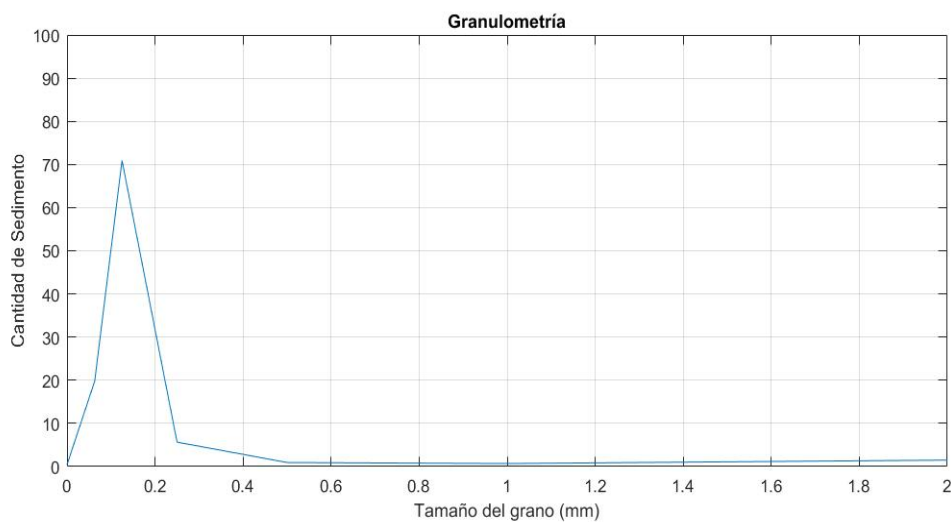
**Tabla 2.1:** Medidas granulometría.

Tras la realización de las medidas se han calculado las medias, en tanto por ciento (%), para cada tamaño de luz del tamizador. Los resultados se encuentran en la Tabla 2.2

	Medida 1 (g)	Medida 2 (g)	Medida 3 (g)	Medias
Luz (mm)	Sedimento (%)	Sedimento (%)	Sedimento (%)	%
> 2	0,9556	0,5133	3,0153	1,4947
> 1	0,8640	0,5735	0,6572	0,6982
> 0,5	0,8879	0,8382	1,0863	0,9375
> 0,250	4,7581	6,2122	6,0036	5,6579
> 0,125	69,5322	72,8574	70,3688	70,9195
> 0,063	22,4965	18,5562	18,4088	19,8205
< 0,063	0,5057	0,4492	0,4600	0,4176
TOTAL	100	100	100	100

**Tabla 2.2:** Porcentajes tamaño del grano. Medias.

En la curva de la Figura 2.1 se puede comprobar la distribución del grano según el tamaño. Analizando esa curva con la clasificación propuesta por C.K.Wentworth [3], se puede concluir que el sedimento del hábitat de las Chirlas es un sedimento de tipo *Arena de grano fino* debido a que el mayor porcentaje de grano está entre los tamaños 0,1mm y 0,2mm.



**Figura 2.1:** Curva Granulométrica del sedimento.

En el **Anexo I** se encuentra la tabla de clasificación de grano propuesta por C.K.Wentworth y las imágenes de la realización de la granulometría.



## 2.1 Simulación Numérica

### 2.1.1. Introducción

Realizar el estudio teórico del caso mediante una simulación, permite visualizar, de forma previa a la ejecución del experimento, la viabilidad del mismo. En este proyecto se ha llevado a cabo una simulación con el software *Comsol Multiphysics* mediante el método de Elementos Finitos (*FEM*) [2]. Se ha utilizado un diseño en el que se simula la propagación del haz ultrasónico emitido por el transductor del agua al sedimento y a través una esfera (simplificación del bivalvo) enterrada en éste, y el posterior estudio de las diferencias en la información angular captada por los receptores en cada una de las configuraciones del diseño.

El sistema estudiado se puede visualizar en la Figura 2.2. Se pueden apreciar los dos medios: agua, el rectángulo superior; y sedimento, el rectángulo inferior; la *chirla* enterrada 5cm en el sedimento, la línea definida como un pistón generador (simulando el transductor en emisión) en la parte superior del medio agua; y los tres receptores (cuadrados negros sobre el pistón). Esos receptores han sido numerados de izquierda a derecha y sin tener en cuenta el central, ya que su utilidad es simplemente de control para comprobar que las medidas son correctas.

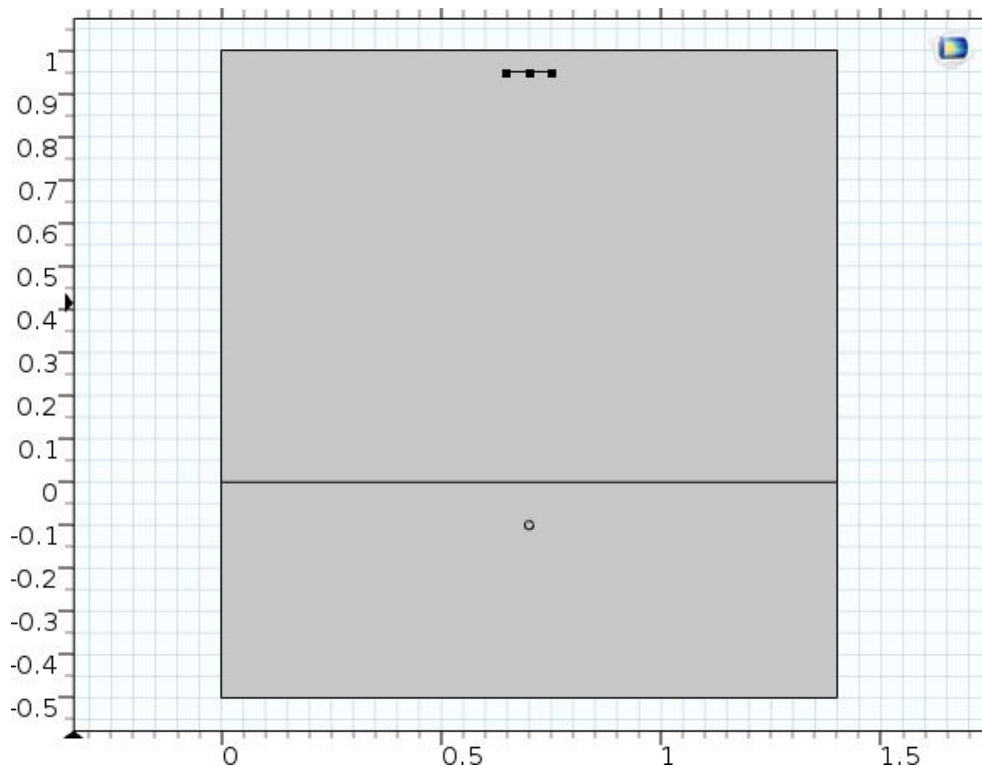


Figura 2.2: Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros.

Tras la construcción del sistema, el cual se puede encontrar explicado con mayor detalle en el trabajo anterior, se ha procedido a la definición de las variables y los parámetros que definen cada elemento. En este trabajo se ha definido la *chirla* con las variables del *Carbonato cálcico* ( $\text{CaCO}_3$ ), material que compone la cáscara externa de las chirlas, en lugar de las variables y parámetros del aire que se uti-

lizaron en el trabajo anterior. Esta decisión permite realizar una simulación más fiel a la realidad experimental.

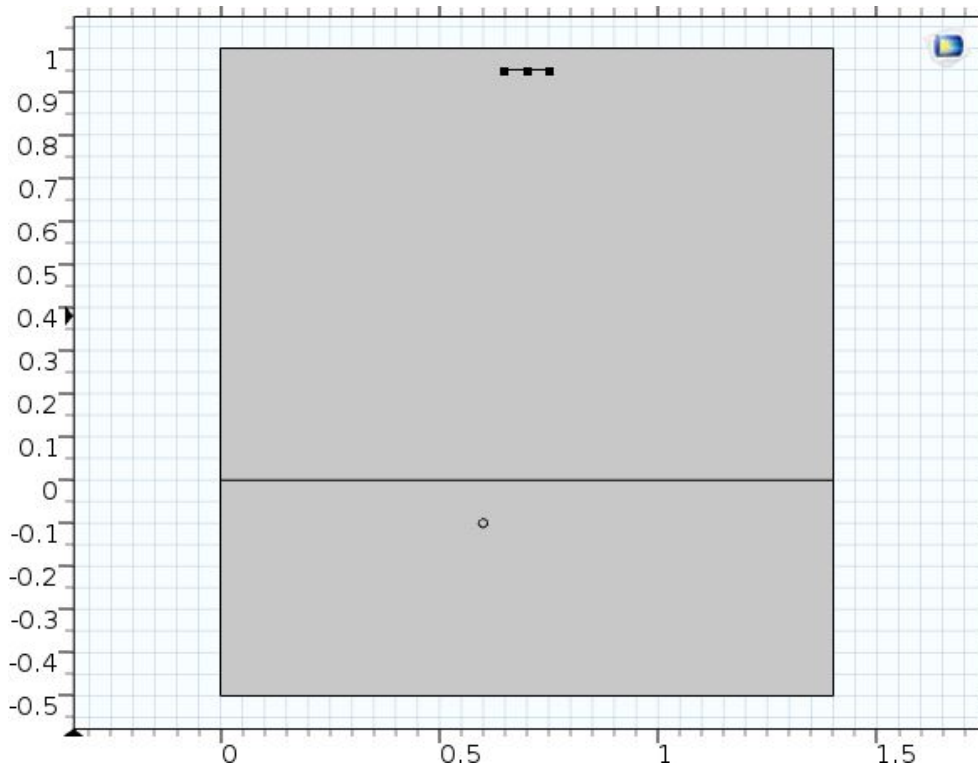
Las variables de la esfera se encuentran expuestas en la Tabla 2.3. El resto de variables y parámetros de los diferentes elementos del sistema son los mismos y pueden encontrarse en las Tablas del **Anexo II**.

Variable	Valor	Unidades
<b>Densidad <math>\rho</math></b>	2711	$kg/m^3$
<b>Vel. propagación <math>c</math></b>	3800	$m/s$
<b>Impedancia Acústica <math>Z</math></b>	$\rho \cdot c$	$kg/(m^2 \cdot s)$

**Tabla 2.3:** Variables y valores de la esfera (Chirla).

Tras la definición de todas las variables y parámetros del sistema, se han definido las configuraciones que se han utilizado para realizar las simulaciones.

En la primera configuración (2.3), la *chirla* se encuentra a 5cm a la izquierda del transductor (pistón); En la segunda configuración (2.4), la *chirla* se encuentra centrada respecto al transductor (pistón); y por último, en la tercera configuración (2.5), la *chirla* se encuentra a 5cm a la derecha del transductor (pistón).



**Figura 2.3:** Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros.

Estas configuraciones estudiadas en conjunto pretenden dar la posibilidad de simular el paso del transductor por encima de una chirla (*transecto*) y así poder analizar y comparar angularmente los cambios de fase en el *backscattering* de la misma.

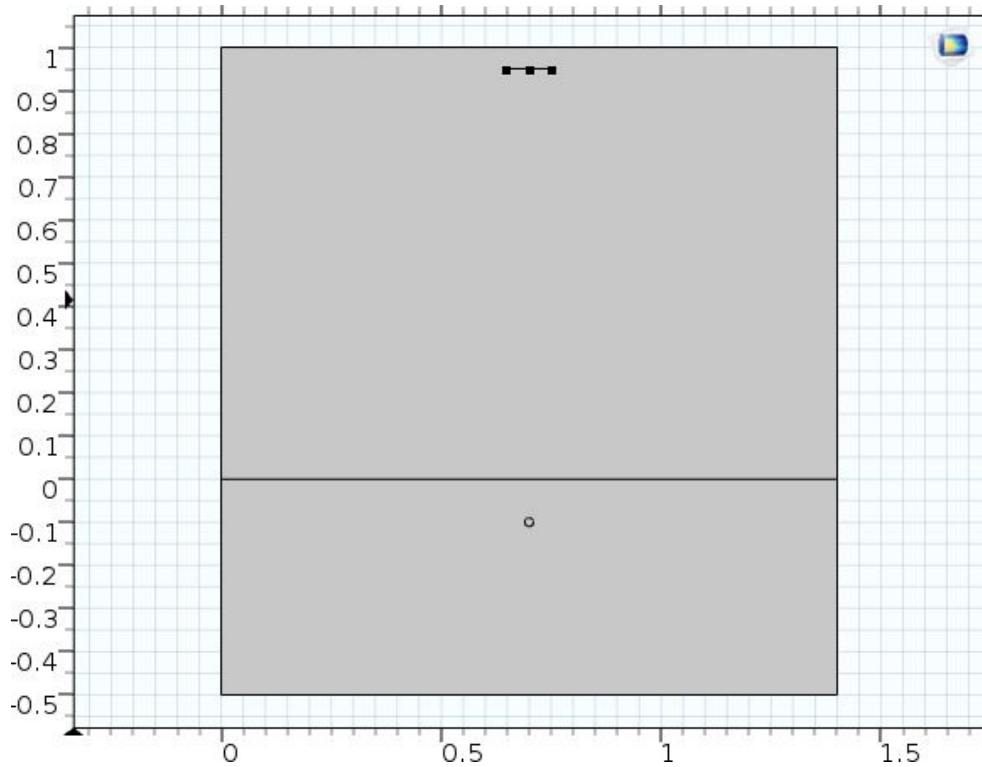


Figura 2.4: Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros.

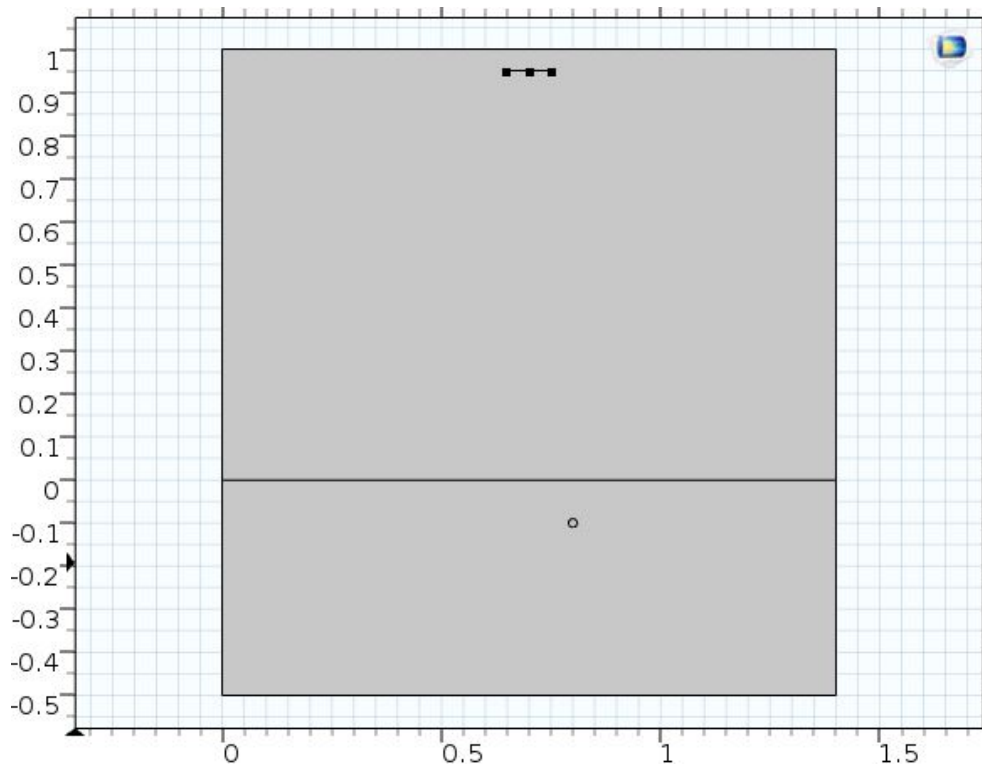


Figura 2.5: Sistema estudiado en la simulación. Ejes en metros.

Tras llevar a cabo la simulación, se han exportado los datos al software *Matlab* para realizar el análisis de tiempos y amplitud de presión. En primer lugar, se han comparado los tiempos en los que se encuentra el eco de la esfera en cada receptor, con los tiempos que se obtuvieron en el trabajo anterior [2]. A continuación,

---

se han comparado los datos de amplitud en ese mismo eco con los del trabajo anterior, para comprobar las diferencias al definir la esfera con las variables físicas del carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ).

---

## 2.2 Experimental

---

### 2.2.1. Introducción

A la conclusión del estudio teórico realizado a partir de una simulación informática, se ha procedido al diseño, preparación y puesta en funcionamiento del estudio experimental.

Esta parte del trabajo debe ser rigurosa en cuanto a que se deben simular, de forma controlada, las condiciones del hábitat de las chirlas en un espacio pequeño como es la piscina de los tinglados 4 y 5 del Puerto de Gandía.

Este estudio ha permitido captar, de forma experimental y controlada, la respuesta de varios montajes, especificados más adelante, al paso de un haz incidente generado por dos ecosondas, *Simrad EK60* y *Simrad EK80*, con los transductores *ES200-7C* y el transductor *ES120-7C*. El *ES200-7C* se ha controlado con la ecosonda *EK 60*; y el *ES120-7C*, con la ecosonda *EK 80*.

Históricamente, la detección acústica de objetos en el lecho marino se ha realizado con configuraciones *narrowband*, es decir, el transductor emite y recibe a una frecuencia con un determinado, y estrecho, ancho de banda marcado por el fabricante. En este trabajo se ha propuesto la configuración *broadband*, configuración que permite emitir un barrido de frecuencias con amplitud variable (CHIRP) mejorando la definición de la información recibida. Esta configuración se puede llevar a cabo gracias a la ecosonda *EK 80*, la cual, utilizando la técnica *pulse compression* (compresión de pulso), permite, correlando la señal recibida con la enviada, conseguir mayor resolución en profundidad.

Para las mediciones realizadas en este trabajo, se ha utilizado una configuración de CHIRP con la frecuencia central en  $130\text{kHz}$  y un ancho de banda de  $80\text{kHz}$ , es decir, un barrido frecuencial de  $90\text{kHz}$  a  $170\text{kHz}$ . Estas medidas han sido llevadas a cabo con el transductor *ES120-7C*. Cabe destacar que se han utilizado dos modos de trabajo, el modo *fast*, que establece que, tanto la rampa de subida como de bajada de amplitud del barrido de frecuencias, sean rápidas, permitiendo de esa forma, que la mayoría de frecuencias tengan la misma amplitud; y el modo *slow*, que establece unas subidas y bajadas de rampa lentas, lo cual provoca que solo la frecuencia central y las más cercanas a ella tengan la máxima amplitud.

Los datos captados por las ecosondas que interesan en este trabajo son los datos de *SV*, en cuanto a información de nivel; y los datos de información angular.

Como en este trabajo se pretende conocer y cuantificar los bivalvos incrustados en el sedimento, es interesante comprobar la información de nivel del mismo. Para conocer el nivel de objetos puntuales, la información de *TS* es muy útil, pero en el caso de objetos extensos, como pueden ser un banco de peces o, en este caso, el sedimento marino, la información de *SV* tiene mayor utilidad.

El *SV* es la dispersión volumétrica, la cual permite conocer el nivel de la suma de las contribuciones de cada objeto (dispersor) y, de esa manera, caracterizar la respuesta del sedimento con y sin dispersores. La dispersión volumétrica está definida por la ecuación 1.

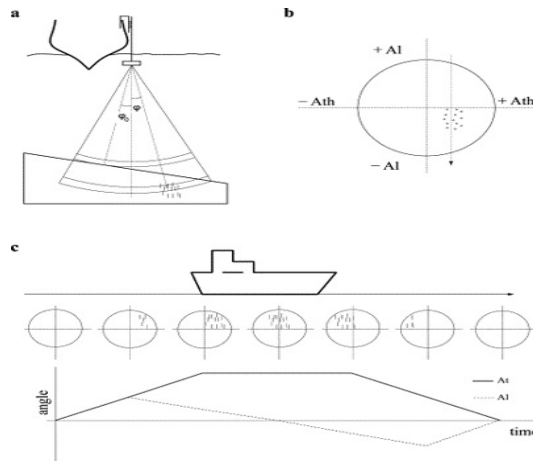
$$Sv = 10\log(p_{rx}) + 20\log(r) + 2\alpha r - 10\log\left(\frac{p_{tx}\lambda_{fc}^2 c}{32\pi^2}\right) - 2G_{fc} - 10\log(\tau_{eff}) - \Psi_{fc} \quad (1)$$

Donde  $p_{rx}$  es la presión recibida,  $r$  es la distancia del dispersor al transductor,  $\alpha$  es la constante de atenuación,  $\lambda$  es la longitud de onda del pulso enviado,  $c$  es la velocidad de propagación del sonido,  $G$  es la ganancia del transductor,  $\tau$  es la longitud de pulso efectiva y  $\Psi$  es el ángulo equivalente de apertura del haz.

En este trabajo, la posición del transductor respecto al sedimento es demasiado pequeña ( $75cm$ ) como para que se produzcan grandes pérdidas de dispersión geométrica y/o absorción del medio, por lo que la ecuación de cálculo del  $SV$  que se ha utilizado es la ecuación 2. En esta ecuación se ha suprimido la corrección TVG.

$$Sv = 10\log(p_{rx}) - 10\log\left(\frac{p_{tx}\lambda_{fc}^2 c}{32\pi^2}\right) - 2G_{fc} - 10\log(\tau_{eff}) - \Psi_{fc} \quad (2)$$

La información angular la proporciona la propia ecosonda al tratarse, el transductor, del tipo *split beam* o *haz partido*. Este tipo de transductor está dividido en cuatro cuadrantes (Figura 2.6, cuadrante b), los cuales captan la onda reflejada de forma individual. Mediante procesos internos de la ecosonda, tales como la diferencia de tiempos en la llegada de la onda a cada cuadrante, se pueden obtener los datos de localización de los dispersores, y los datos angulares al realizar transectos sobre el sedimento con y sin esos dispersores.



**Figura 2.6:** Esquema del funcionamiento de un transductor de haz partido. [5]

El análisis de estos datos angulares puede realizarse, como ya hizo N. Sanchez [1], mediante un análisis textural de las variables de Haralick [6] por el método estadístico de *análisis de componentes principales* y un análisis de *Cluster* posterior. Este método consiste en calcular las siguientes variables:

- Energía (2º Momento angular).
- Contraste.
- Correlación.
- Varianza.
- Momento inverso de las diferencias.
- Suma de la media.
- Suma de la varianza.
- Suma de la entropía.
- Entropía.
- Diferencia de la varianza.
- Diferencia de la entropía.
- Entropía relativa normalizada.
- Ángulo de la entropía.
- Lacunaridad.
- Homogeneidad.

Las cuales, tanto las 13 de Haralick como la lacunaridad y la homogeneidad, permiten analizar conjuntamente todos los transectos realizados. En el **Anexo III** se encuentran las ecuaciones que definen cada variable. Una vez calculadas estas variables, se lleva a cabo el análisis de componentes principales con el software *Statgraphics*. Tras estudiar estas componentes, se realiza un análisis de *Cluster* para determinar el nivel de diferenciación entre los distintos montajes de estudio realizados.

Como se ha dicho anteriormente, el estudio experimental se ha dividido en los siguientes tres apartados:

- Diseño experimental.
- Preparación del experimento.
- Ejecución de la toma de medidas.

### 2.2.2. Diseño experimental

En el trabajo de diseño se han tenido en cuenta tanto los materiales necesarios durante las mediciones, como el equipo humano en las salidas al mar o en la preparación y ejecución del experimento.

**Enumeración y Recogida de materiales.** En la primera fase del diseño, se ha elaborado la lista de los materiales necesarios para llevar a cabo el experimento.

- Piscina de  $10 \times 5 \times 1,5 m^3$  de volumen.
- 700l de sedimento marino propio de la zona de hábitat de las chirlas.
- 10 cubos de goma para transportar el sedimento.
- Equipo de buceo y pala para recogida del sedimento.
- Barca para recogida y traslado de sedimento hasta el muelle.
- Agua con las características propias de la zona de hábitat de las tellinas.
- Piscina de plástico de  $1,6 \times 1,6 \times 0,35 m^3$ .
- Pala.
- Sistema de posicionamiento mecanizado para el movimiento de los transductores.
- Ecosondas *EK60* y *EK80* de *Simrad*.
- Ordenador para controlar el sistema de posicionamiento y las ecosondas.
- Transductores de  $120 kHz$  y  $200 kHz$ .
- Soporte de madera para los transductores.
- Esfera de calibración de  $3,8 \cdot 10^{-2} m$
- Chirlas.

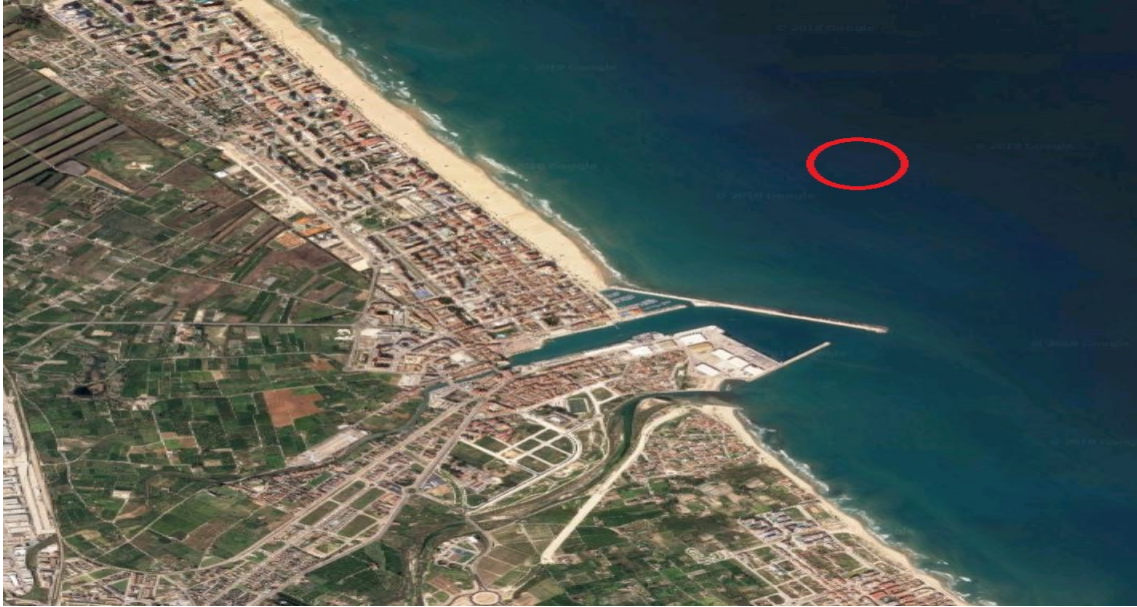
Las especificaciones básicas de los transductores se pueden ver en la Tabla 2.4. Si se requiere mayor detalle en esas especificaciones, las hojas completas del fabricante se encuentran en el **Anexo IV**.

Modelo	Frecuencia Nominal	Ángulo de apertura del haz ( $-3dB$ )
ES200-7C	200kHz	7°
ES120-7C	120kHz	7°

**Tabla 2.4:** Especificaciones de los transductores utilizados en la medición. [7]

Con el inventario de los materiales realizado, se han llevado a cabo las dos salidas al mar para recoger el sedimento necesario para el experimento. En la Figura 2.7 se encuentra marcada la zona de donde se han realizado estas salidas.

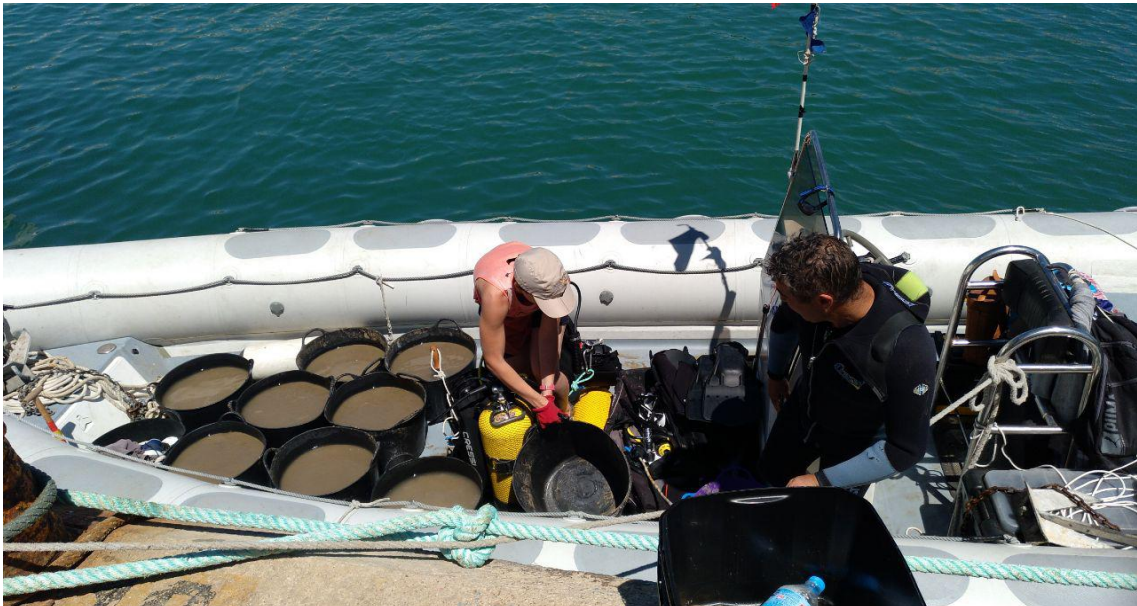




**Figura 2.7:** Punto de recogida de sedimento. Circulado en rojo.

La zona se encuentra a  $1,5\text{km}$  de la playa de Gandía y tiene una profundidad de  $7,9\text{m}$ . Profundidad perfecta para albergar hábitats de chirlas ya que estas se distribuyen en zonas desde los  $4$  a los  $18\text{m}$  de profundidad cerca de las costas.

En la Figura 2.8 se puede apreciar el momento de descarga de los cubos llenos de sedimento en la primera salida.



**Figura 2.8:** Transporte y descarga del sedimento.

Con el sedimento y las chirlas (Figura 2.9) en las instalaciones, se ha procedido a realizar la granulometría con 3 muestras de sedimento. Los resultados de dicha granulometría se encuentran al inicio del Apartado **Materiales y Métodos** de este mismo trabajo.



Figura 2.9: Chirlas estudiadas.

### 2.2.3. Preparación del experimento

Seguidamente se ha llevado a cabo la preparación del experimento. para ello, se ha instalado la piscina de plástico dentro de la piscina del tinglado y se ha llenado con el sedimento del hábitat recogido tal y como se muestra en la Figura 2.10.



Figura 2.10: Montaje de piscina de plástico y llenado de sedimento.

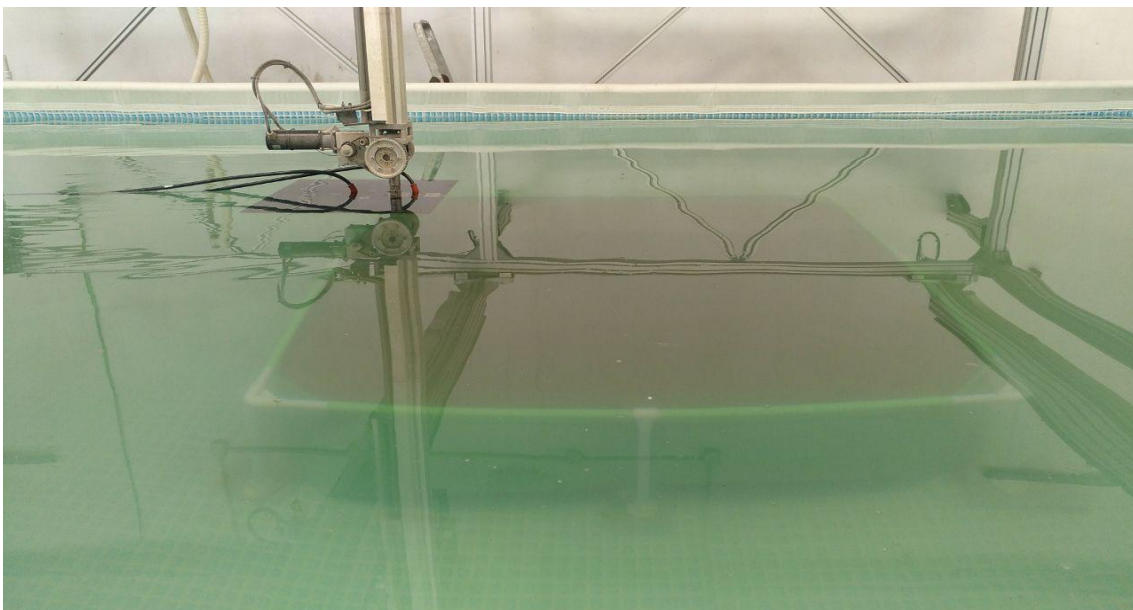
Tras el montaje y llenado de sedimento de la piscina de plástico, se ha procedido a llenar con agua de mar la piscina del tinglado. Este es un proceso lento que ha tomado 2 días por lo que, mientras se llena la piscina, se ha realizado el montaje de los transductores bajo la plataforma de madera, la cual irá anclada a

un brazo del sistema de posicionamiento. En la Figura 2.11 se puede visualizar el montaje de los transductores sobre la plataforma.



**Figura 2.11:** Montaje de los transductores bajo la plataforma.

Con los transductores montados bajo la plataforma y la piscina del tinglado llena de agua de mar, se ha procedido al anclaje de la plataforma al brazo del sistema de posicionamiento. En la Figura 2.12 se visualiza el montaje final de los transductores.



**Figura 2.12:** Anclaje de la plataforma al sistema de posicionamiento.

Finalmentes, se ha montado la red de ordenadores que permite un manejo rápido y sencillo de ejes, ecosondas y software de grabación. En la Figura 2.13 se puede apreciar el montaje.

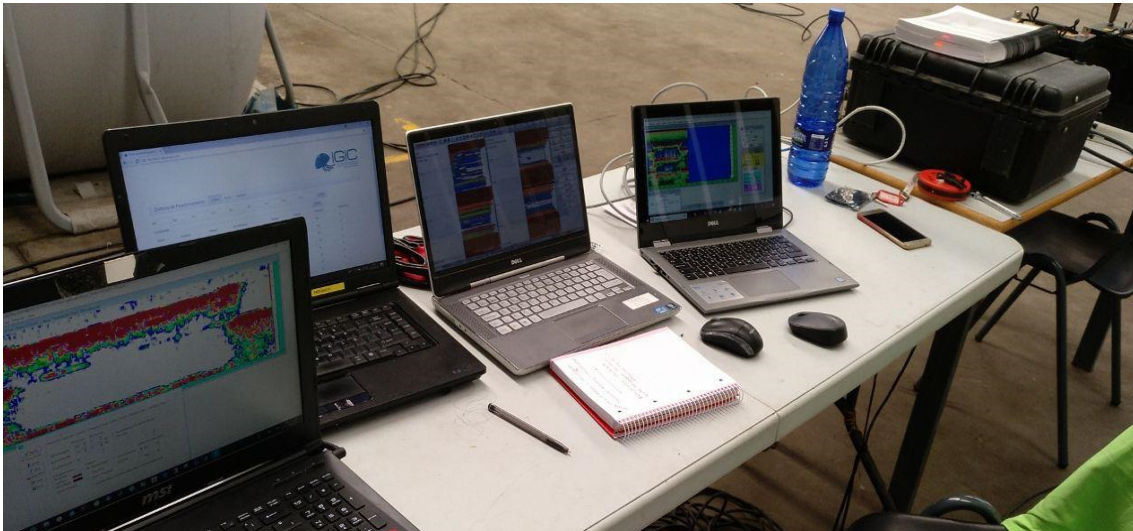


Figura 2.13: Montaje ordenadores control.

#### 2.2.4. Ejecución del experimento

Una vez terminados todos los preparativos, se ha llevado a cabo el experimento. Durante los días que han durado las mediciones se han ido anotando las condiciones ambientales del agua. En la Tabla 2.5 se encuentran las medias de cada parámetro medido.

Temperatura (°C)	Salinidad ( <i>psu</i> )	Acidez ( <i>ph</i> )
24	37	8.0

Tabla 2.5: Condiciones ambientales del agua. Medias.

Las mediciones se han llevado a cabo utilizando dos metodologías diferentes:

- Medición estática.
- Medición de transectos.

**Medición estática.** Mediciones con el transductor fijo sobre una zona específica del espacio experimental.

Esta metodología se ha llevado a cabo a partir de una planificación que ha permitido obtener datos de la respuesta del sedimento, de la esfera de calibración de 38mm y de 1, 3 y 4 chirlas en posiciones fijas.

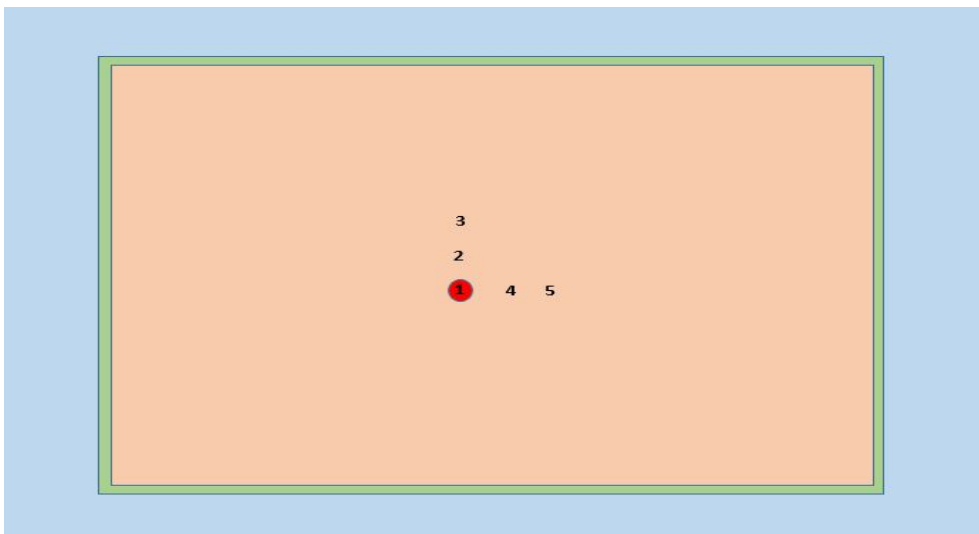
Las posiciones de medición son las de la Figura 2.14, donde la posición 1 es donde se coloca la esfera de calibración o la chirla 1. El borde verde de la imagen representa la piscina de plástico sumergida en el agua (azul) de la piscina del tinglado y llena de sedimento (marrón).

La colocación de las chirlas, en los casos en los que haya más de una, se han posicionado según la Figura 2.15. Las configuraciones utilizadas han sido las siguientes:

- **Configuración 1:** Sedimento.
- **Configuración 2:** Esfera 38mm.
- **Configuración 3:** 1 Chirla.
- **Configuración 4:** 3 Chirlas.
- **Configuración 5:** 4 Chirlas.

Cabe destacar que se han realizado mediciones a varias profundidades, en la siguiente lista se encuentra la relación y una pequeña explicación de cada profundidad.

- **“Natural”:** Profundidad conseguida tras dejar las chirlas en superficie durante un día que ellas mismas se sumergieran.
- **2 cm de profundidad:** Profundidad seleccionada tratando de simular la profundidad a la que se entierran en su hábitat natural. Similar a la profundidad “Natural”.
- **4 cm de profundidad:** Profundidad seleccionada tratando de simular la profundidad a la que se entierran en temporales y fuertes mareas.



**Figura 2.14:** Esquema de las posiciones de medición. Experimental estático.



Figura 2.15: Esquema de las posiciones de las chirlas.

Para tener unas medias de datos representativas, se han tomado, al menos, 20 pings por medida.

**Medición de transectos.** Mediciones con el transductor en movimiento realizando transectos sobre el espacio experimental.

En la segunda parte del experimento se han llevado a cabo las mediciones en movimiento, las cuales pretenden simular los transectos realizados por una embarcación en el hábitat natural.

Para simular el movimiento del transductor en una embarcación se ha utilizado el sistema de posicionamiento mecanizado del tinglado. Se han realizado medidas distribuidas en transectos tal y como muestra la Figura 2.16. Los transectos están separado  $1,5\text{cm}$  entre sí, con esto se ha conseguido solapar la superficie insonificada en transectos contiguos para poder analizar el paso por las mismas chirlas con diferentes ángulos.

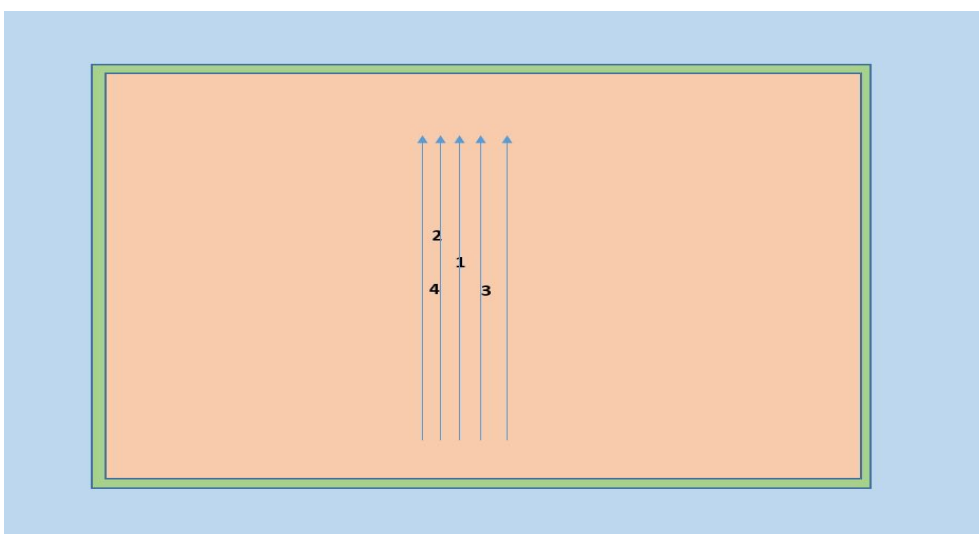


Figura 2.16: Esquema de los transectos.

Como en la primera parte del experimento, se han utilizado las mismas posiciones de la Figura 2.15; ya que permiten estudiar la respuesta acústica de las diferentes configuraciones propuestas.

Durante la toma de medidas se ha realizado un primer análisis visual de la información que ofrecen las propias ecosondas en tiempo real, a partir de la cual se han definido las potencias de trabajo de ambas ecosondas. Las potencias de trabajo de la *EK60* con el transductor *ES200 – 7C* han sido definida en dos valores, uno alto, de  $300W$ , que permita mayor definición y uno bajo, de  $90W$ , que no de problemas con reflexiones cercanas ya que el sistema estudiado es muy pequeño. La potencia de la *EK80* ha sido definida en un solo valor,  $150W$ . Debido a que, tras los primeros análisis visuales, se ha llegado a la conclusión de que no había suficientes variaciones cuando se modificaba la potencia de emisión como para realizar diferentes medidas.

Así mismo, se ha definido la duración del pulso en la mínima, de  $64\mu s$  para las configuraciones de CW (Narrowband) con el transductor de  $120kHz$  y las configuraciones con el transductor de  $200kHz$ ; y de  $512\mu s$  para las configuraciones LFM (Broadband) con el transductor de  $120kHz$ .

Una vez realizado el estudio experimental se ha procedido al análisis de los datos obtenidos.

---

# Resultados y Discusión

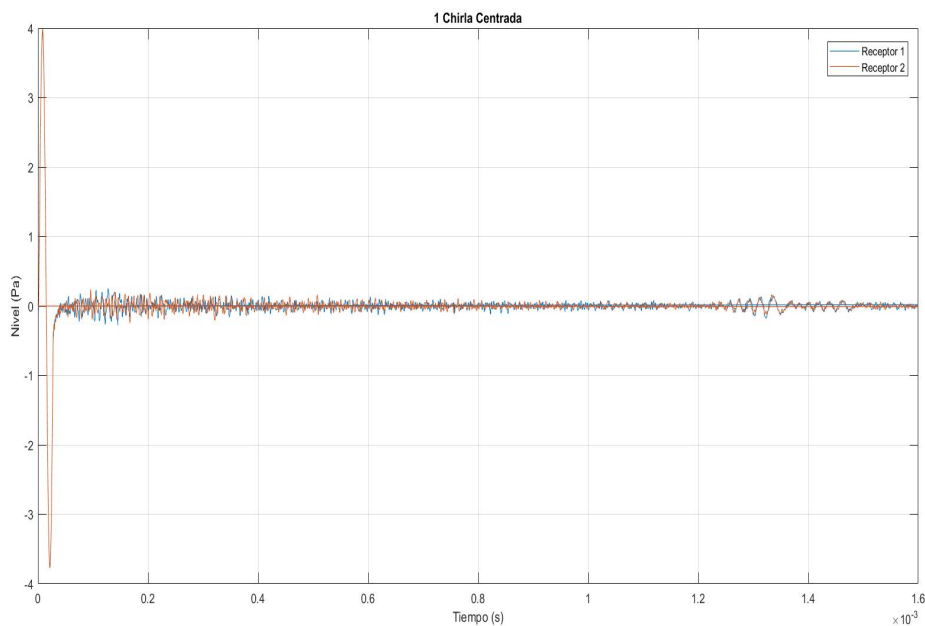
---

## 3.1 Resultados Simulación Numérica

---

Tras la finalización de la simulación numérica, se han exportado los datos de los receptores al software *Matlab*.

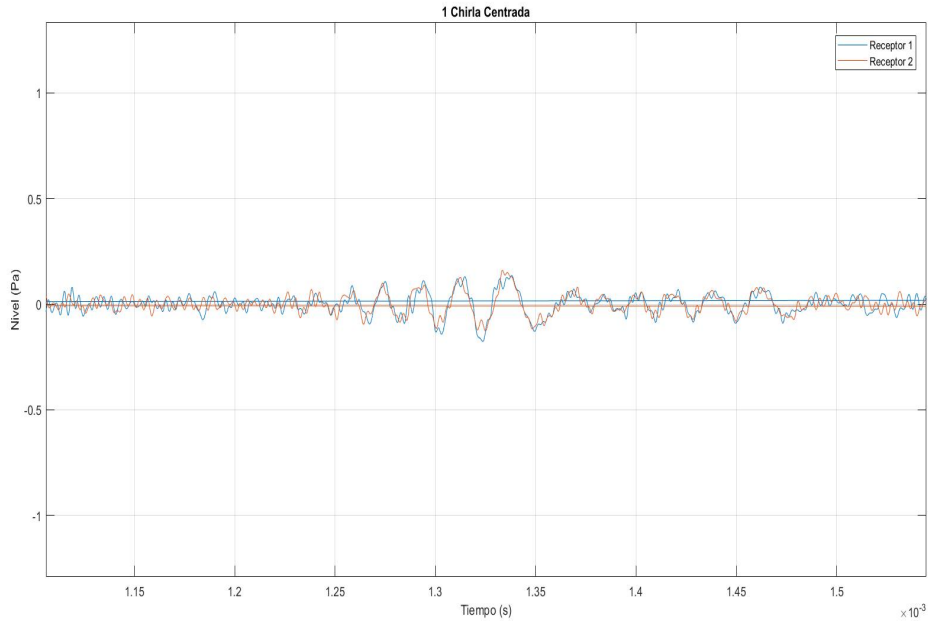
La Figura 3.1 nos permite ver cómo, en torno al instante de tiempo 1,3s aparece el eco del sedimento y en torno al instante de tiempo 1,5s aparece el eco de la chirra. En este caso, como ambos receptores están a la misma distancia, no hay diferencias mayores de las del ruido de fondo.



**Figura 3.1:** Representación de la simulación con la chirra centrada.

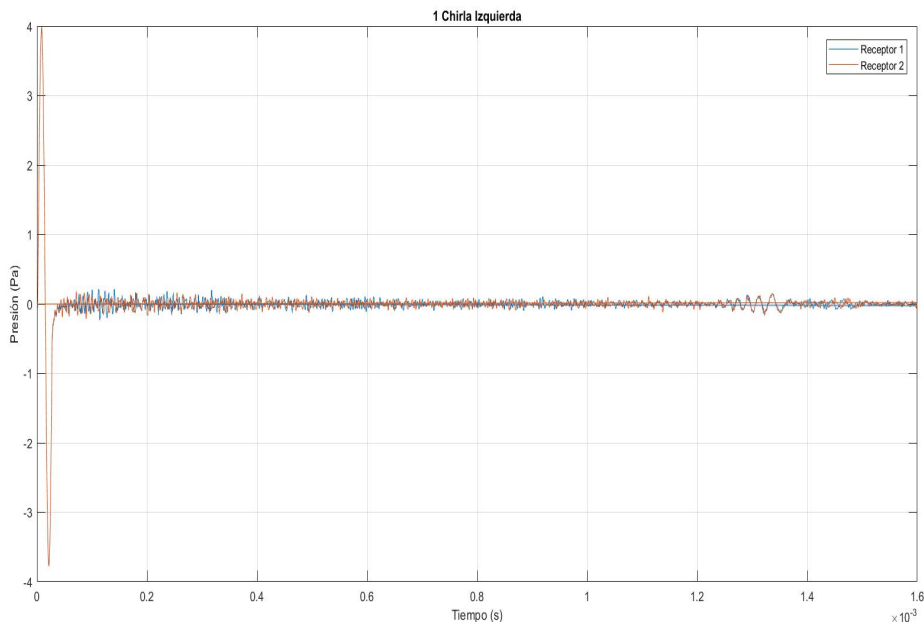
En la Figura 3.2 se ha representado una ampliación de la zona donde se encuentran los ecos de sedimentación y de la chirra.





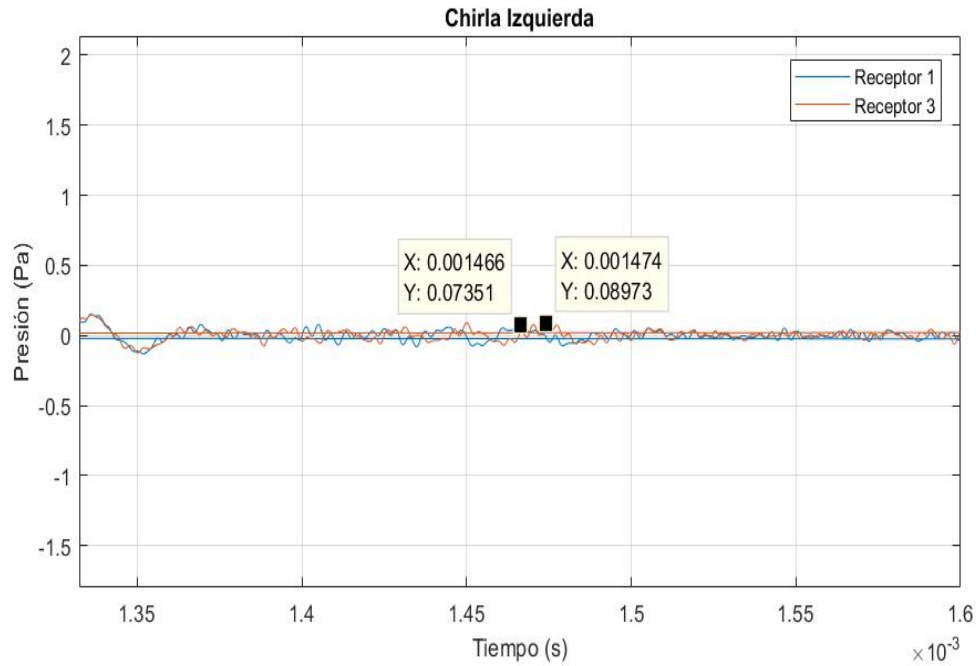
**Figura 3.2:** Representación de la simulación con la chirla centrada.

La Figura 3.3 nos permite ver cómo, en torno al instante de tiempo 1,3s aparece el eco del sedimento y en torno al instante de tiempo 1,5s aparece el eco de la chirla. En este caso, como los receptores están a diferente distancia y la chirla está situada a la izquierda del transductor, el eco llega primero al receptor 1.



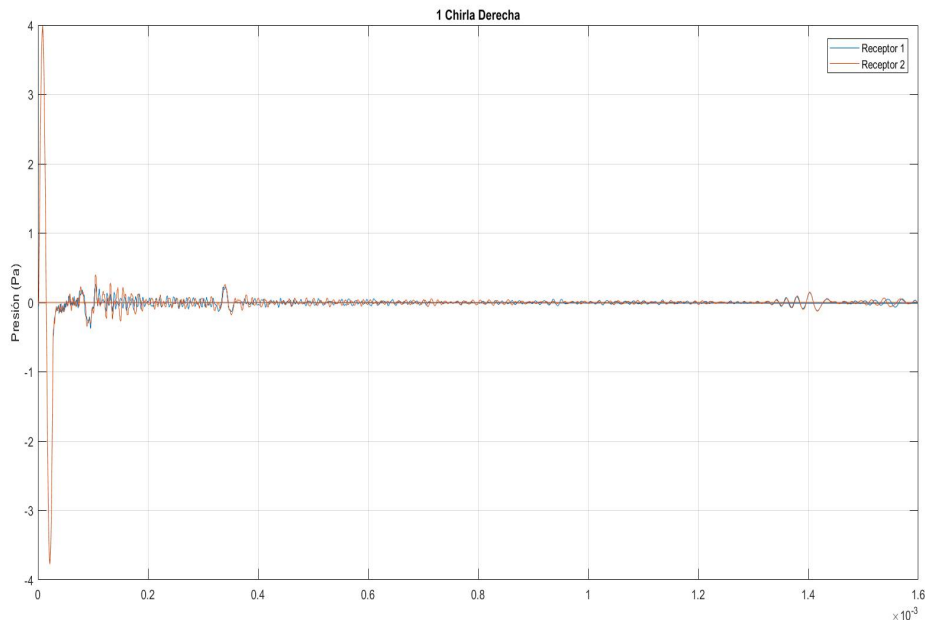
**Figura 3.3:** Representación de la simulación con la chirla izquierda del transductor.

En la Figura 3.4 se ha representado una ampliación de la zona donde se encuentran los ecos de sedimento y de la chirla. Se han expuesto los valores de tiempo del mismo punto de la onda en ambos receptores.



**Figura 3.4:** Representación de la simulación con la chirla a la izquierda del transductor.

La Figura 3.5 nos permite ver cómo, en torno al instante de tiempo 1,3s aparece el eco del sedimento en los dos receptores a la vez, y en torno al instante de tiempo 1,5s aparece el eco de la chirla. En este caso, como en el anterior, los receptores están a una distancia diferente de la chirla por lo que, al estar la chirla a la derecha del transductor, llega antes la onda al receptor 2.



**Figura 3.5:** Representación de la simulación con la chirla derecha del transductor.

En la Figura 3.6 se ha representado una ampliación de la zona donde se encuentran los ecos de sedimento y de la chirla. Se han expuesto los valores de tiempo del mismo punto de la onda en ambos receptores.

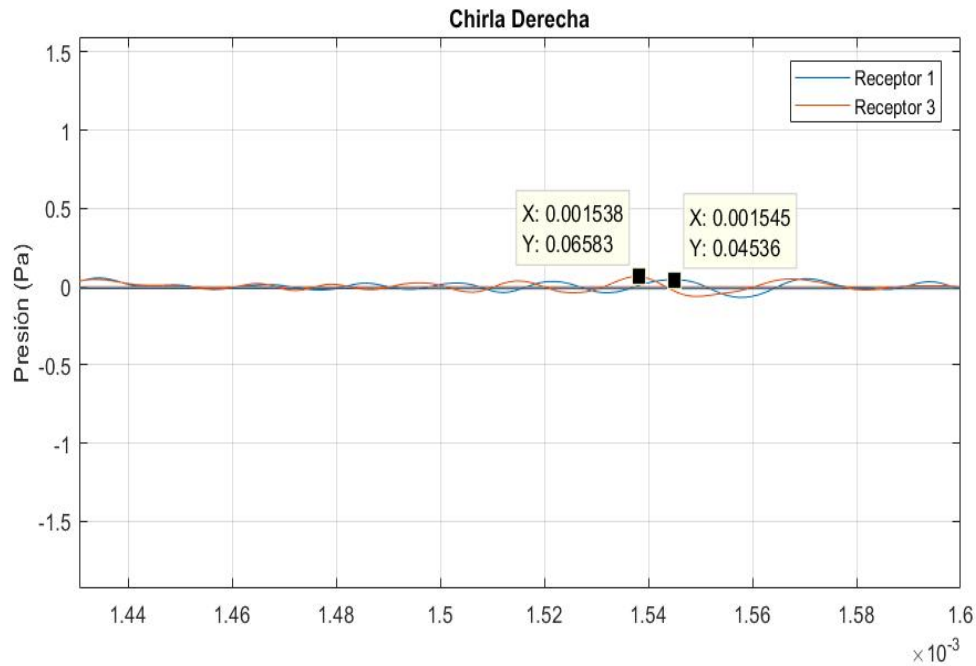


Figura 3.6: Representación de la simulación con la chirla a la derecha del transductor.

En la Figura 3.7 se puede ver la comparación de los resultados del trabajo de simulación anterior [2] y los resultados de este mismo trabajo en cuanto a la chirla colocada a la izquierda del transductor.

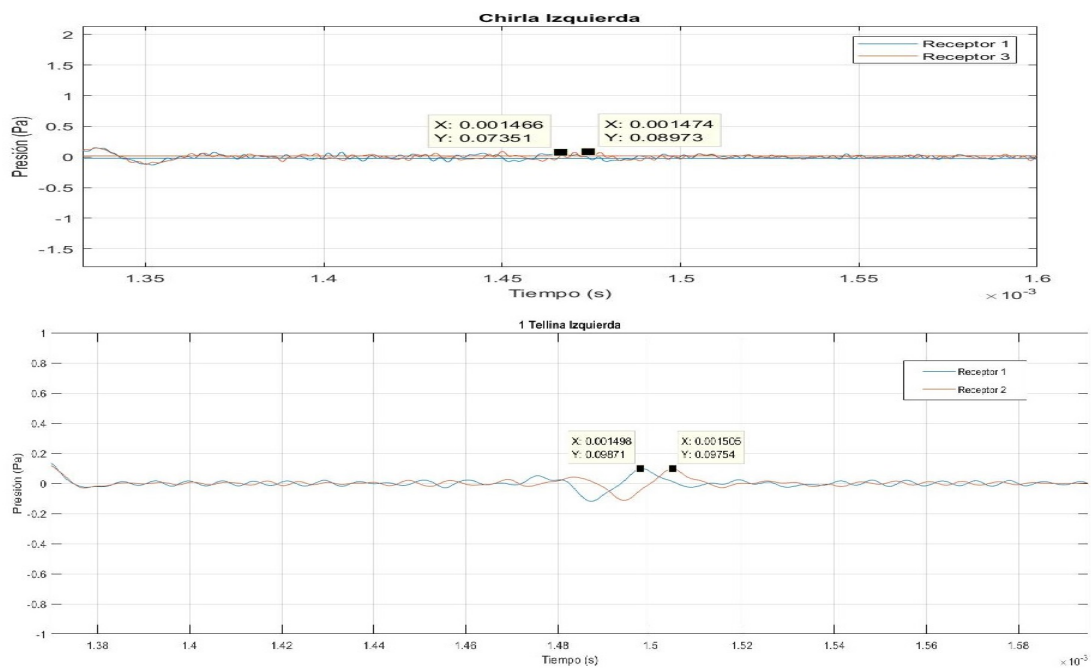
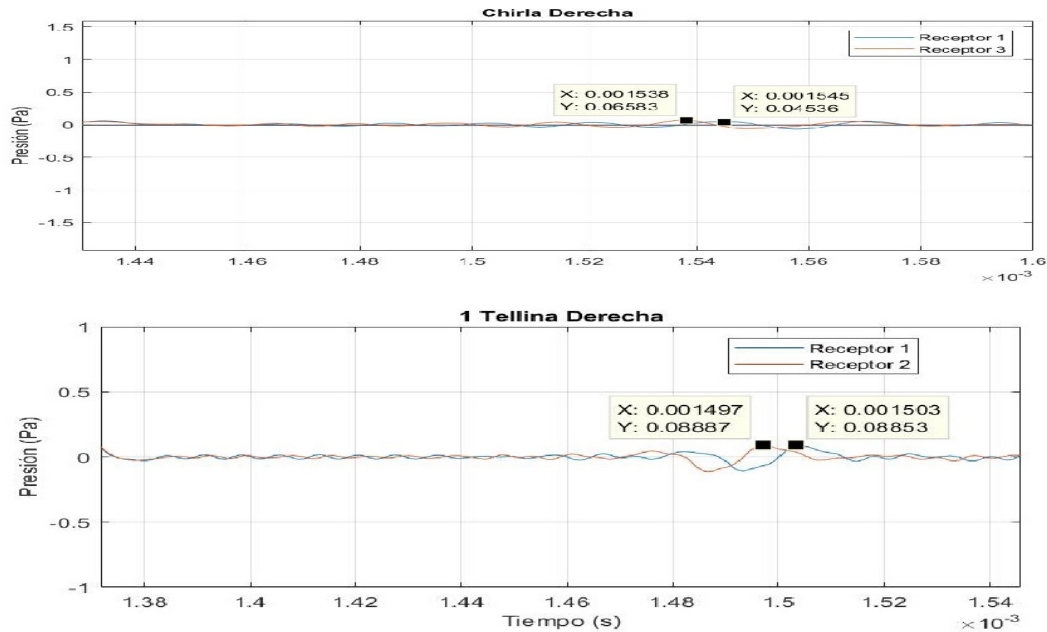


Figura 3.7: Comparación resultados simulación chirra izquierda. [2].

En la Figura 3.8 se puede ver la comparación de los resultados del trabajo de simulación anterior [2] y los resultados de este mismo trabajo en cuanto a la chirra colocada a la derecha del transductor.



**Figura 3.8:** Comparación resultados simulación chirra derecha. [2].

En la Tabla 3.1 se encuentran los datos de tiempo de cada configuración.

		Tiempo Chirra Derecha	Tiempo Chirra Izquierda
<b>Trabajo anterior</b>	Receptor 1	0.001503s	0.001498s
	Receptor 2	0.001497s	0.001505s
<b>Trabajo actual</b>	Receptor 1	0.001545s	0.001466s
	Receptor 2	0.001538s	0.001474s

**Tabla 3.1:** Comparativa tiempos de llegada simulación.

En la Tabla 3.2 se encuentran los datos de amplitudes (Presión en *Pascales*) de cada configuración.

		Amplitud Chirra Derecha	Amplitud Chirra Izquierda
<b>Trabajo anterior</b>	Receptor 1	0.08853Pa	0.09871Pa
	Receptor 2	0.08887Pa	0.09754Pa
<b>Trabajo actual</b>	Receptor 1	0.04536Pa	0.07351Pa
	Receptor 2	0.06583Pa	0.08973Pa

**Tabla 3.2:** Comparativa tiempos de llegada simulación.

Al comparar ambos resultados, los antiguos y los de este trabajo, se puede afirmar que apenas varían los resultados temporales al sustituir las variables que definen el dispersor de aire por las de carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ). En cambio, las

amplitudes del eco de la chirra han disminuido de manera considerable, llegando a recibir hasta  $0,04Pa$  menos. Por esta razón, en las gráficas obtenidas en este trabajo, se puede apreciar *ruido* numérico que, al tener mejor señal/ruido, no se apreciaba en las gráficas del trabajo anterior.

## 3.2 Resultados del Estudio Experimental

---

Una vez realizadas las mediciones para todas las configuraciones, se ha llevado a cabo el análisis de los datos. Para ello se han utilizado el software *SonarPro 5* y *Matlab* para analizar los datos de nivel recibido por el transductor ( $S_v$ ) y los datos de información angular; y *StatGraphics* para realizar un análisis textural de las componentes principales de esos datos.

### 3.2.1. Análisis datos medición estática.

En primer lugar se han analizado los datos del experimento estático.

Tras la conversión de los datos captados por la ecosonda con el software *Sonar-Pro 5*, se han generado las matrices de información y se han importado a *Matlab*. En esas matrices se encuentra la información de presión reflejada ( $S_v$ ), la información angular (Alongship), la información de *ping* y la información de profundidad. Como se ha comentado anteriormente, la información captada por la ecosonda *EK 60* representa los datos para la frecuencia de  $200kHz$ , pero la información captada por la ecosonda *EK 80* representa los datos captados para  $120kHz$  cuando se encuentra en el modo *CW*, y los datos captados para el barrido de frecuencias entre  $90kHz$  y  $170kHz$  cuando se encuentra en el modo *LFM*.

De este manera, se han analizado los datos bajo cuatro criterios:

- *CW 200kHz*.
- *CW 120kHz*.
- *LFM Fast a 130kHz*.
- *LFM Slow a 130kHz*.

En el análisis de *LFM*, tanto en *fast* como en *slow*, se ha llevado a cabo el análisis a la frecuencia central de  $130kHz$ , siendo la frecuencia de  $120kHz$  analizada en el modo *CW*.

Y cada criterio anterior bajo dos colocaciones a diferente profundidad de las chirras y la esfera:

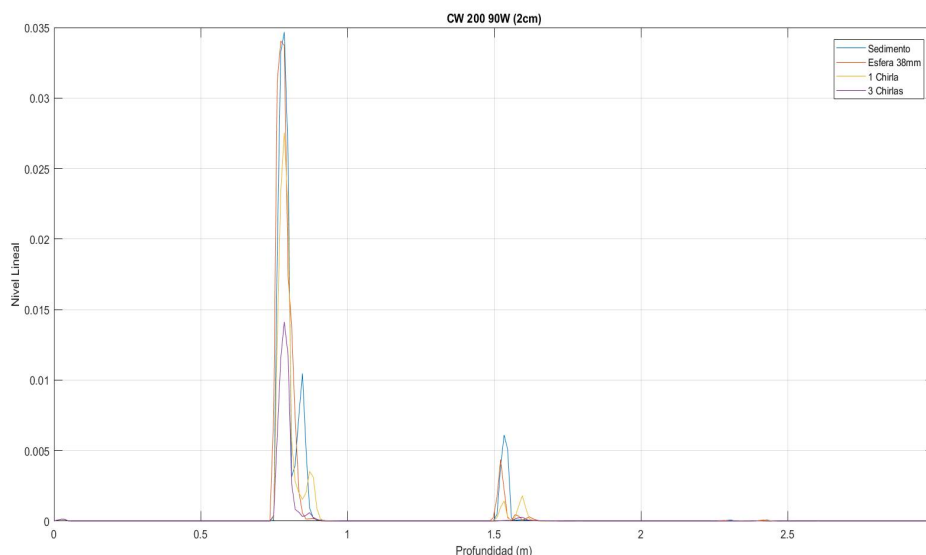
- $2cm$  de profundidad y posición *natural*.
- $4cm$  de profundidad.

A  $2\text{cm}$  de profundidad se ha pretendido simular la posición a la que se entierran las chirlas de forma natural. Esta profundidad se ha analizado en conjunto con la posición *natural* que se ha comentado en el apartado **Ejecución del experimento**. A  $4\text{cm}$  de profundidad se ha pretendido simular la posición a la que se entierran las chirlas cuando hay temporal marino y las corrientes son fuertes.

En un análisis complementario, se ha caracterizado una chirla en agua y se ha comprobado que tiene un backscattering de  $-49,1\text{dB}$  de nivel  $TS$  de media bajo el criterio de  $CW120$ . En este caso se ha analizado el nivel en  $TS$  en lugar de  $Sv$  porque se trata de un dispersor puntual.

**CW 200kHz:** Bajo este criterio se han analizado los datos captados por el transductor *ES200-7C* y recogidos por la ecosonda *EK 60*.

En la Figura 3.9 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para  $CW 200\text{kHz}$  y  $90\text{W}$  a  $2\text{cm}$  de profundidad.

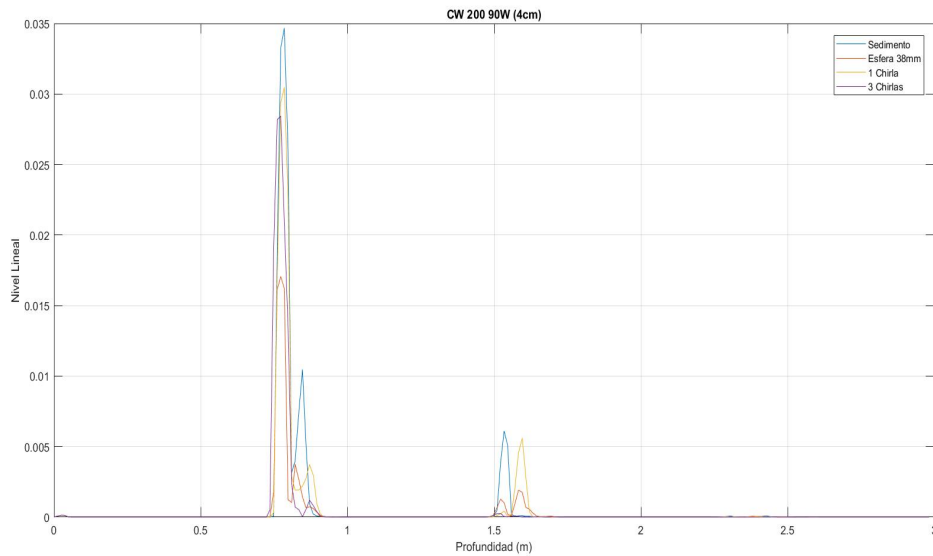


**Figura 3.9:** Representación medias ecos para  $CW200\text{kHz}$  y  $90\text{W}$ .  $2\text{cm}$ .

Se pueden apreciar los dos primeros ecos del sedimento recibidos por el transductor. Con esta configuración de la ecosonda se aprecia que el nivel del eco superficial es mayor cuando solo hay sedimento o cuando en el interior se encuentra la esfera.

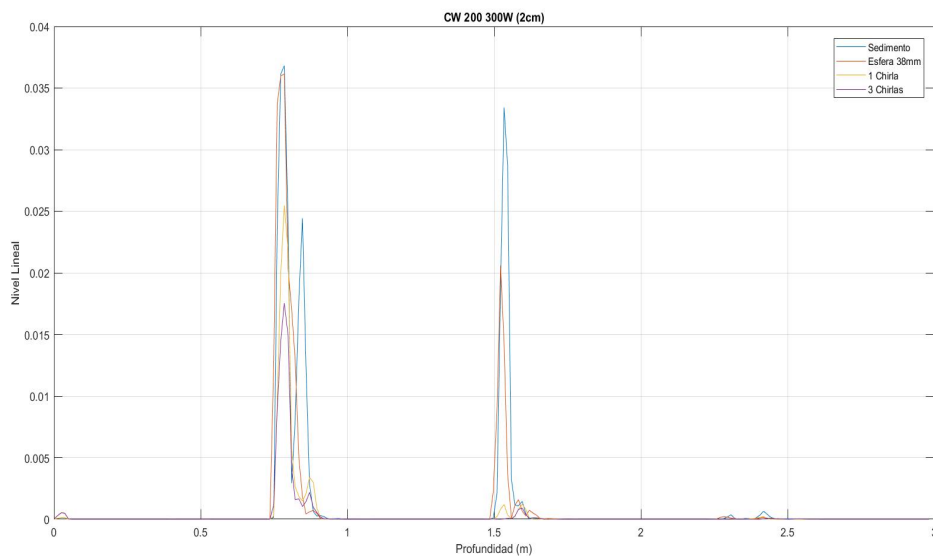
En la Figura 3.10 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para  $CW 200\text{kHz}$  y  $90\text{W}$  a  $4\text{cm}$  de profundidad.

Cuando se colocan las chirlas y la esfera a mayor profundidad ( $4\text{cm}$ ), se aprecia que, en el caso de que solo exista un dispersor (chirila o esfera), el nivel recibido en superficie es menor; pero cuando existen varios, como en el caso de 3 chirilas, el  $Sv$  recibido se suma al de la superficie del sedimento y es mayor que en el caso de menor profundidad.



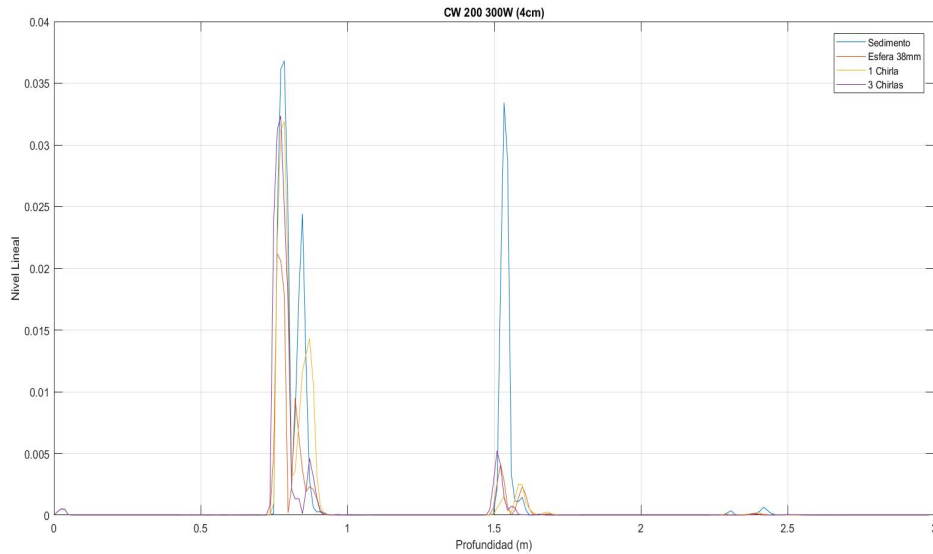
**Figura 3.10:** Representación medias ecos para CW200kHz y 90W. 4cm.

En la Figura 3.11 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para CW 200kHz y 300W a 2cm de profundidad.



**Figura 3.11:** Representación medias ecos para CW200kHz y 300W. 2cm.

En la Figura 3.12 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para CW 200kHz y 300W a 4cm de profundidad.

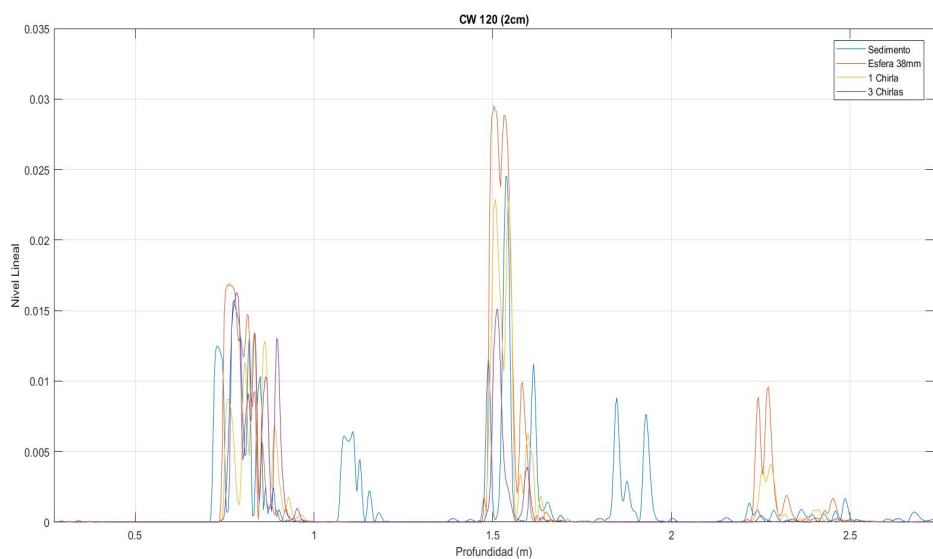


**Figura 3.12:** Representación medias ecos para CW200kHz y 300W. 4cm.

En estas dos representaciones (CW200 y 300W), la diferencia con las dos primeras representaciones (CW200 y 90W) está en el nivel con el que llegan los ecos. Sobretudo el segundo eco es mucho mayor en las gráficas con 300W que en las gráficas con 90W

**CW 120kHz:** Bajo este criterio se han analizado los datos captados por el transductor *ES120-7C* y recogidos por la ecosonda *EK 80* en modo CW.

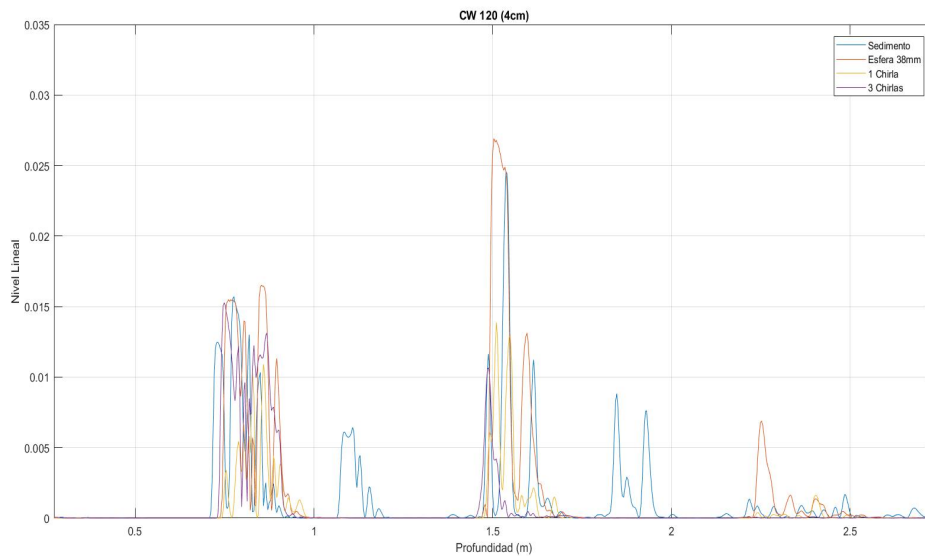
En la Figura 3.13 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para CW 120kHz a 2cm de profundidad.



**Figura 3.13:** Representación medias ecos para CW120kHz. 2cm.



En la Figura 3.14 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para *CW 120kHz* a *4cm* de profundidad.



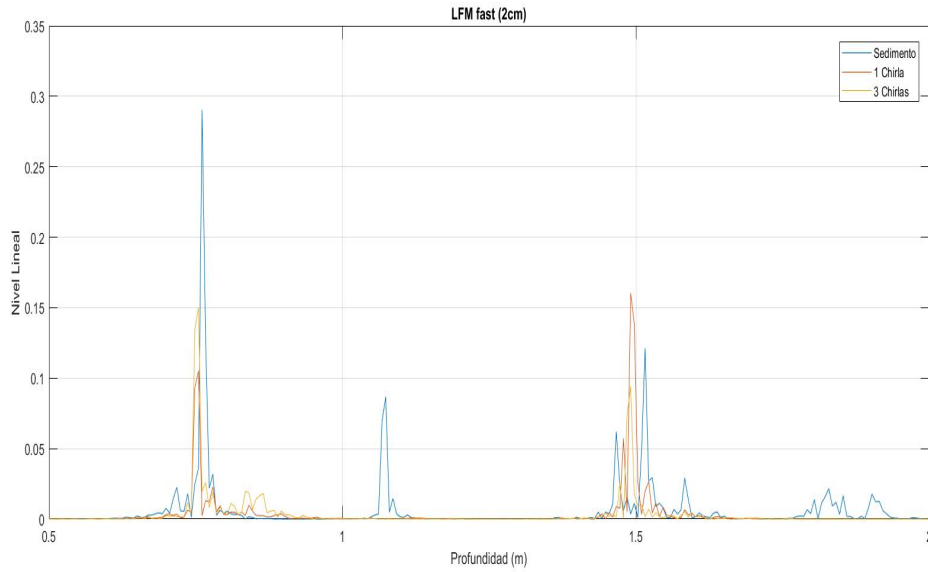
**Figura 3.14:** Representación medias ecos para *CW120kHz*. *4cm*.

Con este criterio de medición se puede comprobar como, la línea de representación del sedimento comienza un poco antes que el resto y permite diferenciar el eco del suelo de la piscina. Que el eco del sedimento comience unos *cm* antes, puede deberse a que, al existir dispersores internos en el resto de medidas, el eco de estos se suma al del sedimento y no se puedan diferenciar entre ellos, lo que ocasiona que se detecte como un objeto más grande y que está más lejos del transductor. En otro orden, los ecos, cuando se encuentran la esfera o las 3 chirlas en el interior, son mayores que cuando solo hay 1 chirla o no hay debido a la suma de niveles ya explicada. También se puede comprobar que, cuando la esfera está enterrada a *4cm* de profundidad, se puede distinguir del eco de la superficie del sedimento.

Bajo este criterio se ve como aparece el tercer eco (en torno a *2,5m* de profundidad).

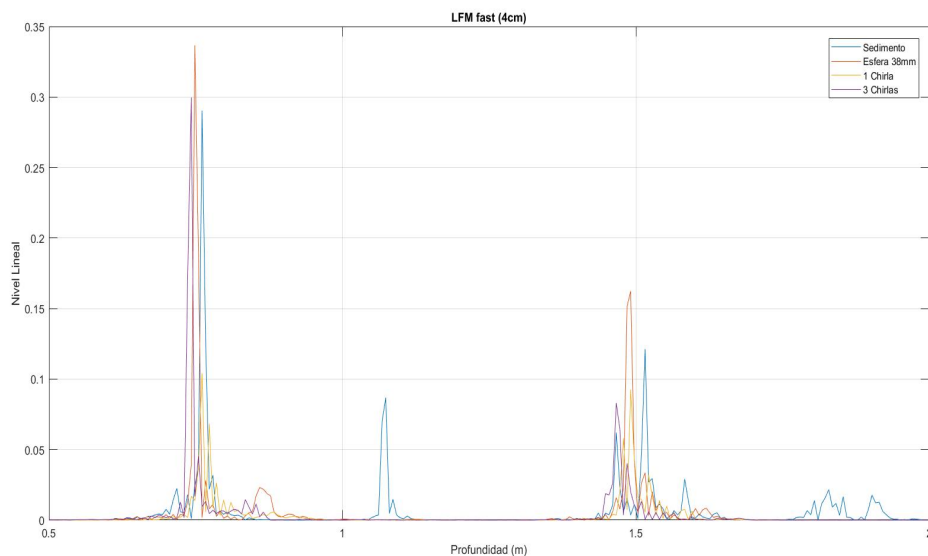
**LFM Fast a 130kHz:** Bajo este criterio se han analizado los datos captados por el transductor *ES120-7C* y recogidos por la ecosonda *EK 80* en modo *LFM Fast*.

En la Figura 3.15 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para *LFM fast* y *130kHz* a *2cm* de profundidad.



**Figura 3.15:** Representación medias ecos para *LFMfast* a 130kHz. 2cm.

En la Figura 3.16 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para *LFMfast* y 130kHz a 4cm de profundidad.



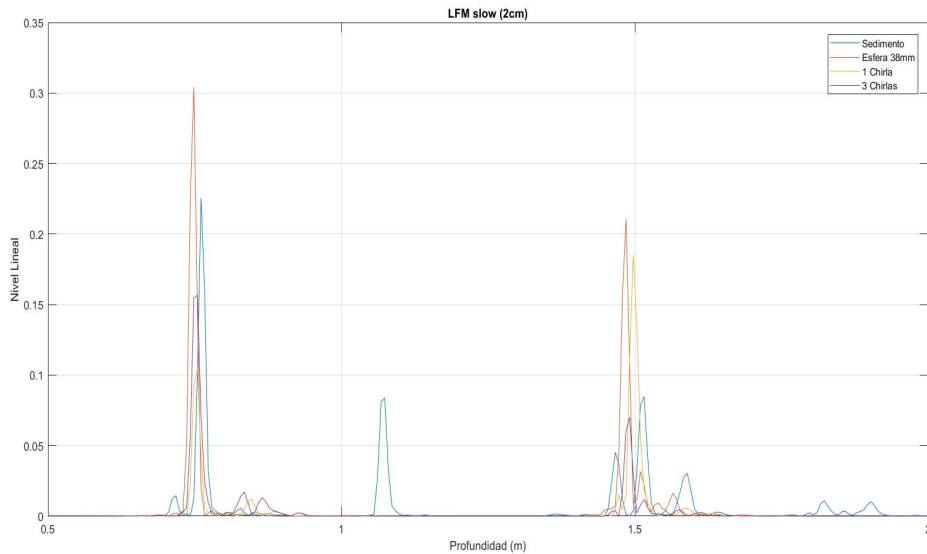
**Figura 3.16:** Representación medias ecos para *LFMfast* a 130kHz. 4cm.

El análisis bajo este criterio está marcado por la falta de medidas de esfera a 2cm. Se puede analizar respecto a las dos gráficas que, al solo medir sedimento, se sigue pudiendo diferenciar el eco del suelo de la piscina a profundidad en torno a un poco más de 1m. También se puede afirmar que, al enterrar las 3 chirlas a 4cm, el nivel del eco del sedimento aumenta y se diferencia del de las chirlas, que se puede distinguir unos cm más profundo. En cuanto a los niveles de ecos de las mediciones de 1 chirila, apenas varían de una profundidad de 2cm a una de 4cm,

aunque sí que es remarcable el hecho de que el nivel de la superficie es mucho menor, en ambos casos, respecto al del sedimento solo.

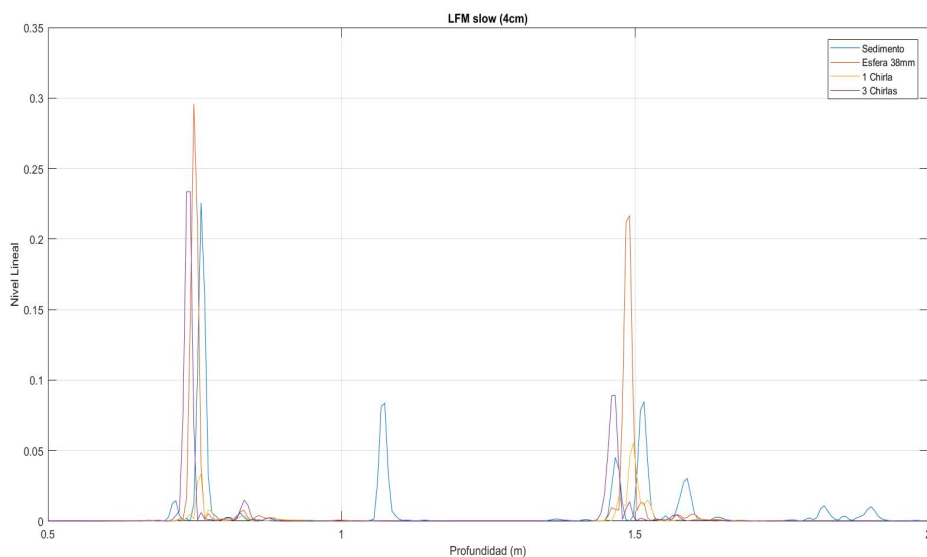
**LFM Slow a 130kHz:** Bajo este criterio se han analizado los datos captados por el transductor *ES120-7C* y recogidos por la ecosonda *EK 80* en modo *LFM Slow*.

En la Figura 3.17 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para *LFM fast* y 130kHz a 2cm de profundidad.



**Figura 3.17:** Representación medias ecos para *LFMslow* a 130kHz. 2cm

En la Figura 3.18 se encuentran las representaciones de las medias de los valores de los ecos recibidos según su configuración para *LFM fast* y 130kHz a 4cm de profundidad.



**Figura 3.18:** Representación medias ecos para *LFMslow* a 130kHz. 4cm

Con este criterio de medición, al analizar los resultados expuestos en las gráficas, se puede afirmar que tanto si se encuentra 1 chirra como la esfera enterradas a  $2\text{cm}$ , el nivel del eco superficial es mayor que si el mismo dispersor se encuentra enterrado a  $4\text{cm}$ . Por otro lado, cuando se entierran tres dispersores (3 chirras), ocurre al contrario. Esto puede deberse a que, pese a la mayor definición al utilizar el modo *LFMslow*, no sea suficiente y, al ser los ecos de cada chirra más diferentes individualmente, se sumen junto con el del sedimento y eso haga aumentar el nivel del eco superficial.

### 3.2.2. Análisis datos medición de transectos.

El segundo análisis de los datos experimentales se ha realizado sobre la información captada mediante transectos.

En este caso se han analizado los datos bajo los mismos cuatro criterios del análisis de los datos “estáticos” y las mismas dos colocaciones en cuanto a profundidad. Hay que destacar que en este análisis se han añadido medidas de  $4\text{chirras}$ . Las combinaciones de criterios, profundidad y chirras/esfera están dispuestas en la Tabla 3.3. Todos los datos de *CW 200* son tanto para  $90\text{W}$  como para  $300\text{W}$  y para todas las configuraciones se han tomado datos de sedimento.

La primera parte del análisis de los datos extraídos de la medición de transectos ha sido la representación en conjunto de la información *SV* y la información angular de cada criterio. En todas las representaciones se han dibujado solo las profundidades de  $2\text{cm}$  ya que no existen diferencias, perceptibles visualmente, con las representaciones de profundidad  $4\text{cm}$ .

En la Figura 3.19 se ha representado la información *SV* del primer eco de cada transecto realizado para la configuración *CW200kHz* y  $90\text{W}$  se puede apreciar que apenas existen diferencias entre las diferentes configuraciones exceptuando la de esfera. En esta configuración aparece una especie de “cola” de presión cuando se encuentra enterrada la esfera. Con esta configuración se aprecia el cambio angular, de valores positivos a valores negativos propios de cuando se capta un objeto estático acercando el receptor a él y, una vez sobre el mismo, alejando el receptor.

En la Figura 3.21 se ha representado la información *Sv* de los transectos realizados con la configuración *CW200kHz* y  $300\text{W}$ . Con esta configuración, además de en la información *Sv*, también se aprecia la “cola” en la información angular (3.22).

En la Figura 3.23 se encuentran representados los transectos en *Sv* para el criterio *CW120kHz*. Apenas se aprecian diferencias entre las diferentes configuraciones exceptuando que, como aparecía con el criterio anterior, aunque algo más tenue, se puede ver la “cola” tras la esfera enterrada. En la Figura 3.24 se encuentran representados los transectos en información angular. Se puede comprobar como aquí tampoco se distingue la “cola” de la esfera.

<b>Criterio \ Profundidad</b>	<b>2cm</b>	<b>4cm</b>
<b>CW200</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> <li>– 4 Chirlas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> </ul>
<b>CW120</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> <li>– 4 Chirlas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> </ul>
<b>LFMfast</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> <li>– 4 Chirlas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> </ul>
<b>LFMslow</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Esfera 38mm</li> <li>– 1 Chirla</li> <li>– 3 Chirlas</li> </ul>

**Tabla 3.3:** Combinaciones de criterios, profundidad y chirlas/esfera.

En la Figura 3.25 se pueden visualizar los transectos representados en información  $Sv$  bajo el criterio de *LFMfast*. Pese a que este criterio tiene mayor definición ya que se trata de un barrido de frecuencias, no se aprecia ningún aumento de presión en la posición de la esfera ni en posiciones más profundas. La información angular de este criterio se ha representado en la Figura 3.26.

Finalmente, en la Figura 3.27, se ha representado la información  $Sv$  de la configuración *LFMslow*. En este caso tampoco se aprecia nada diferente en el ecograma del transecto de la esfera. En la Figura 3.28 se encuentra representada la información angular de esta configuración.

En estas dos últimas configuraciones, al tener mayor definición espectral, se ven más cambios angulares que afectan a la imagen como si se tratara de ruido. Por tal razón, los ecogramas son más difusos y las representaciones angulares tienen exceso de información en zonas donde solo se encuentra agua.

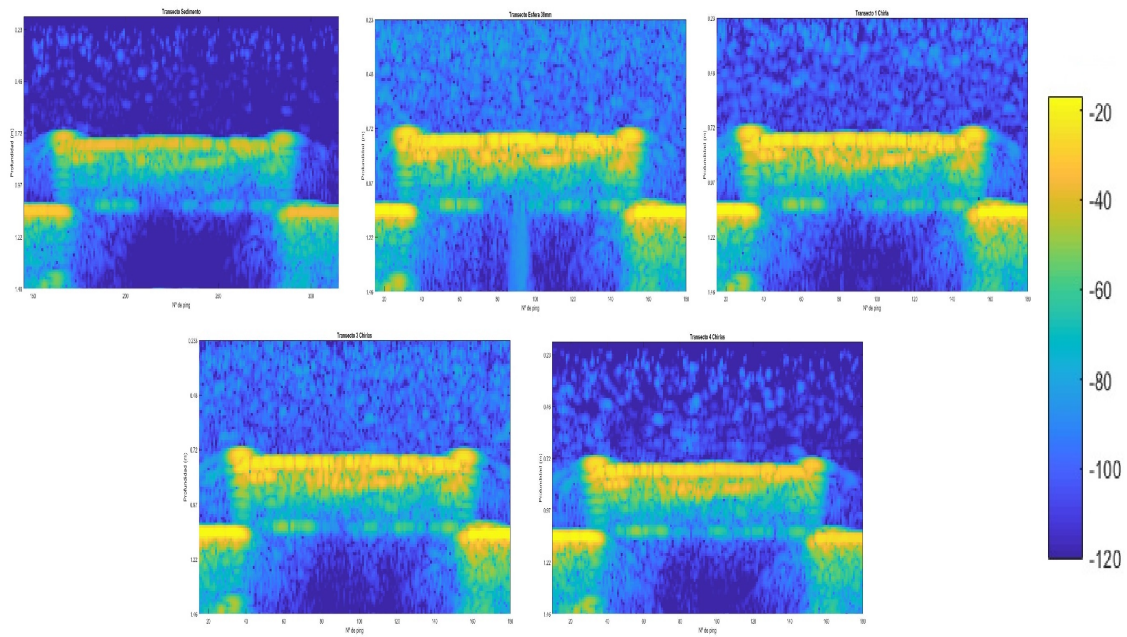


Figura 3.19: Representación  $Sv$  en  $dB$  del primer eco para CW a  $200kHz$  y  $90W$ .

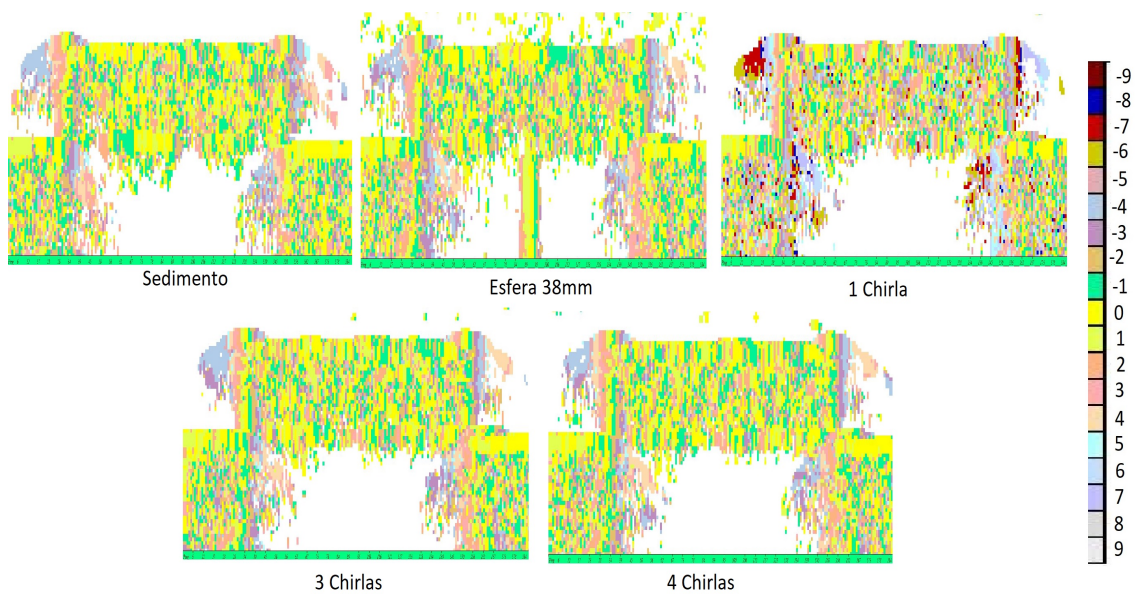


Figura 3.20: Representación angular del primer eco para CW a  $200kHz$  y  $90W$ .

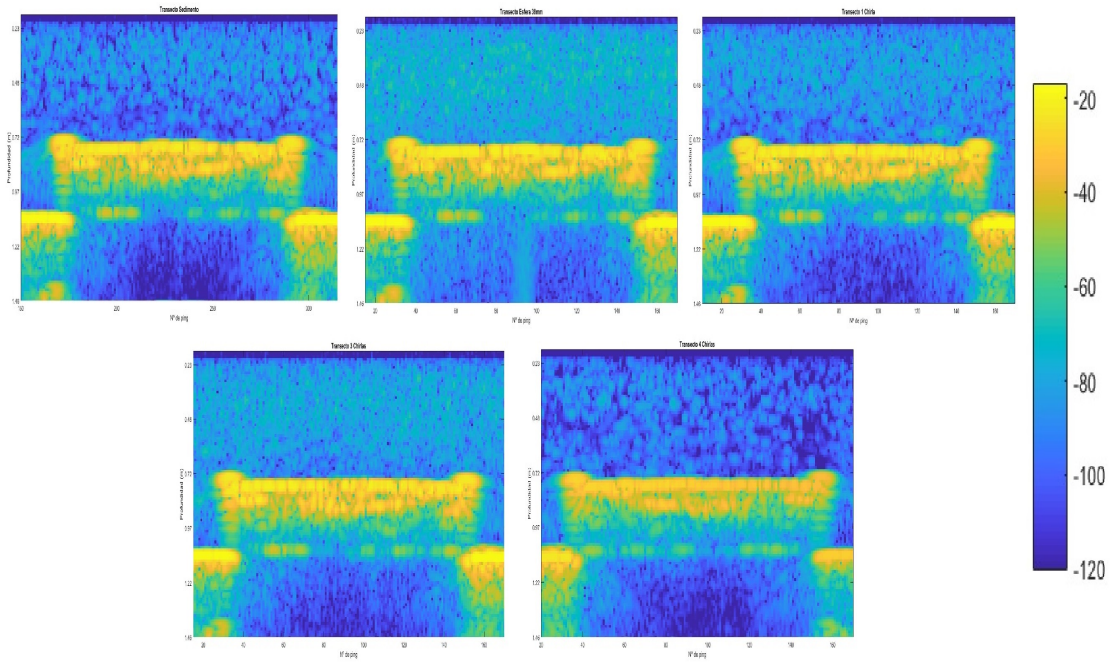


Figura 3.21: Representación  $Sv$  en  $dB$  del primer eco para CW a  $200kHz$  y  $300W$ .

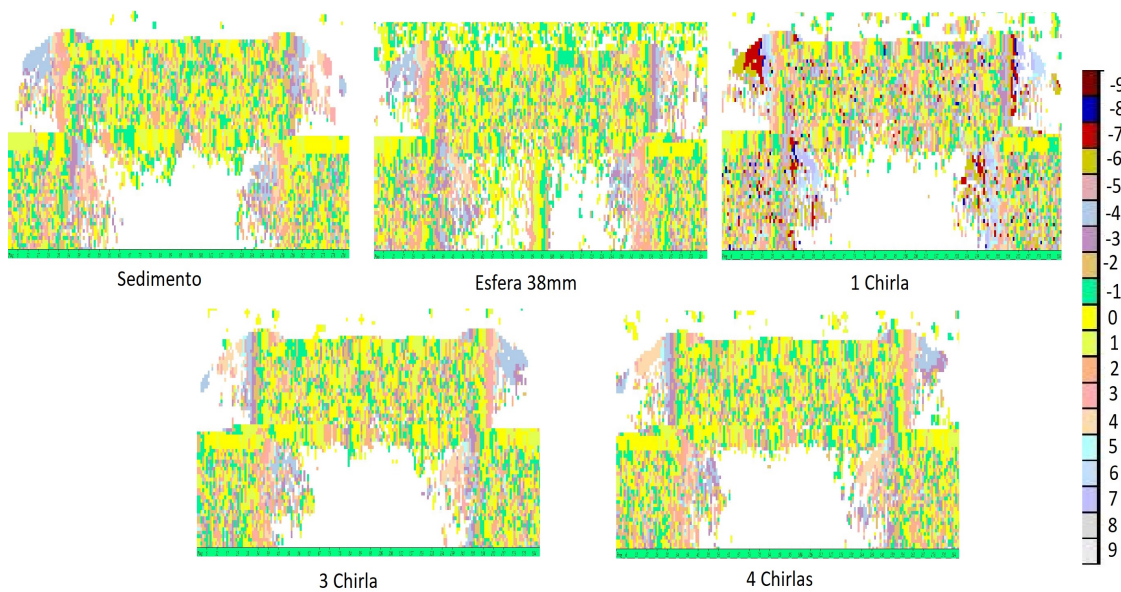


Figura 3.22: Representación angular del primer eco para CW a  $200kHz$  y  $300W$ .

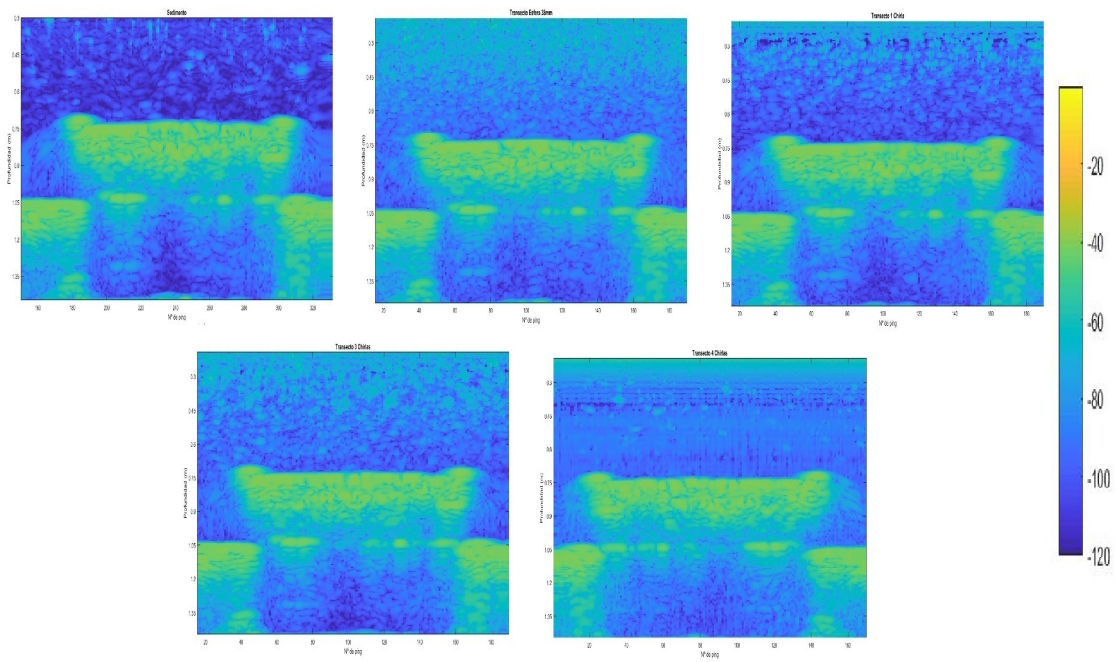


Figura 3.23: Representación  $Sv$  en  $dB$  del primer eco para CW a  $120kHz$ .

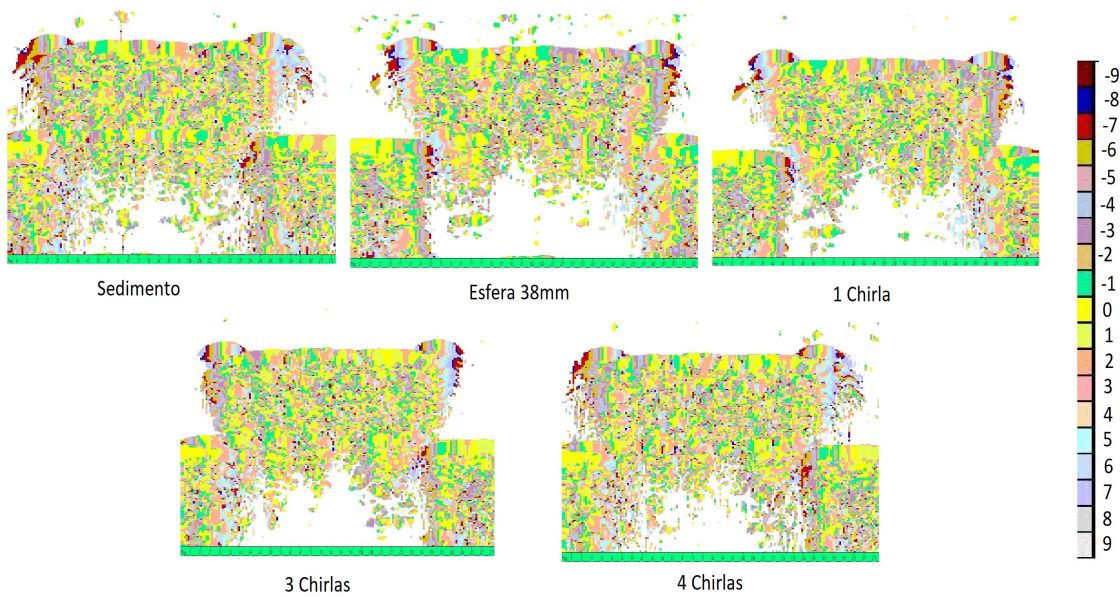


Figura 3.24: Representación angular del primer eco para CW a  $120kHz$ .



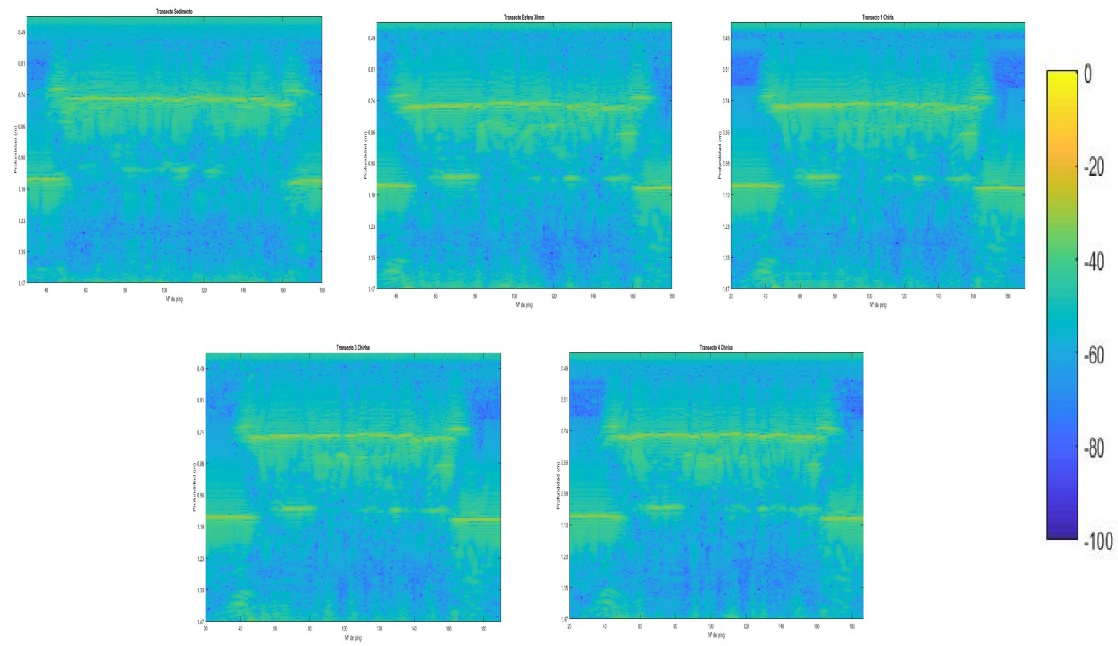


Figura 3.25: Representación  $S_v$  en  $dB$  del primer eco para  $LFM_{fast}$ .

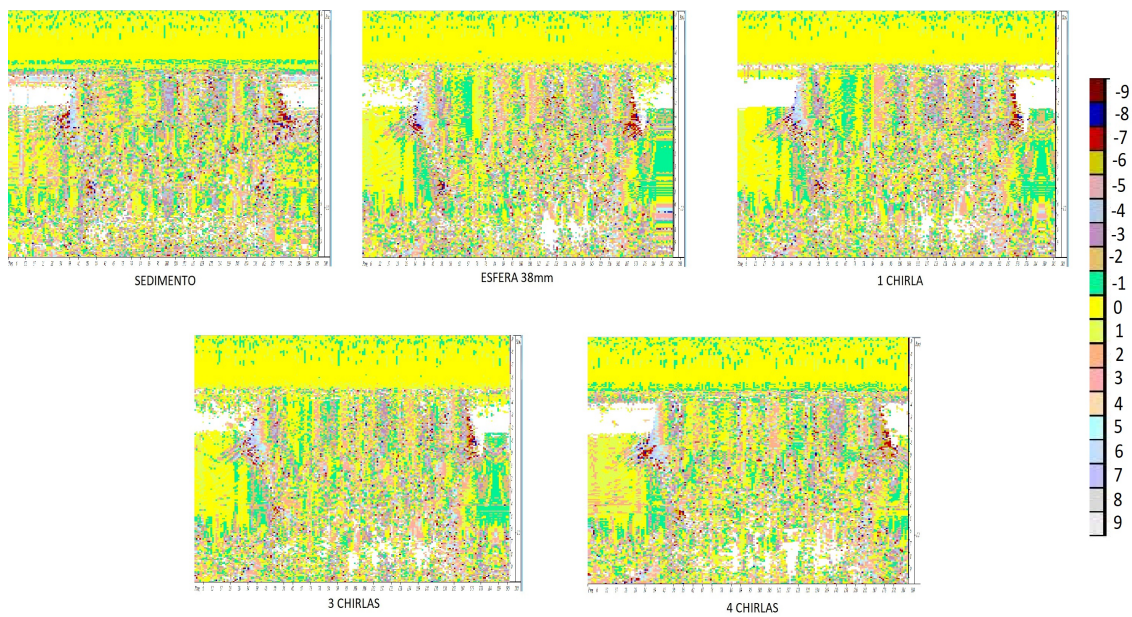


Figura 3.26: Representación angular del primer eco para  $LFM_{fast}$ .

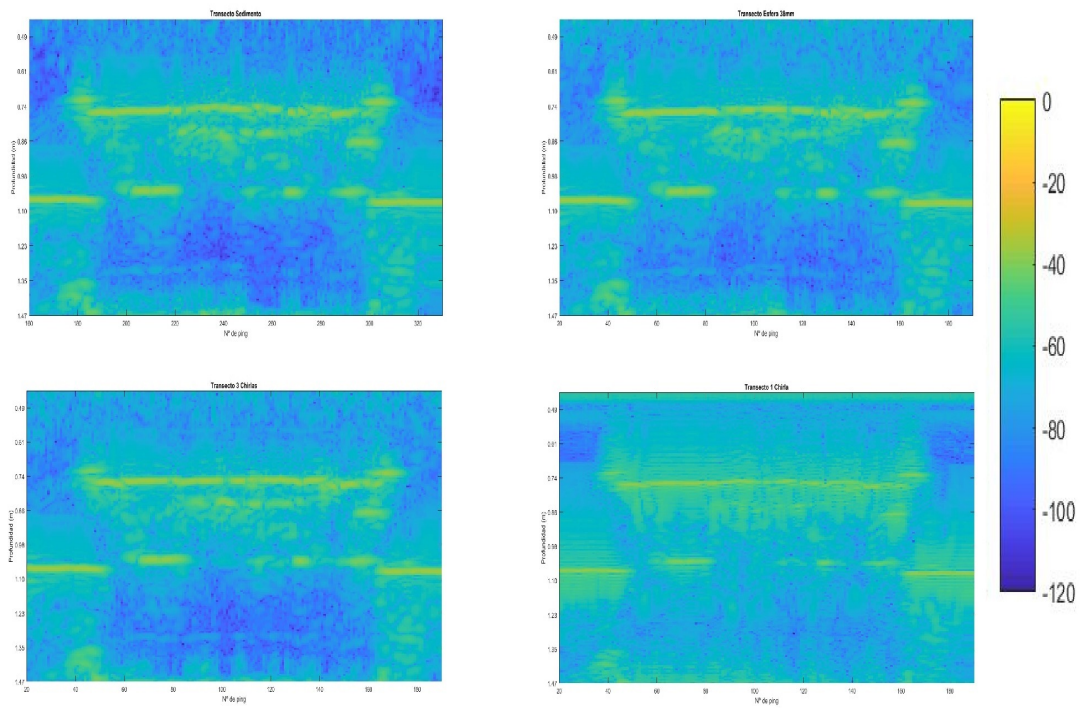


Figura 3.27: Representación  $Sv$  en  $dB$  del primer eco para  $LFM_{slow}$ .

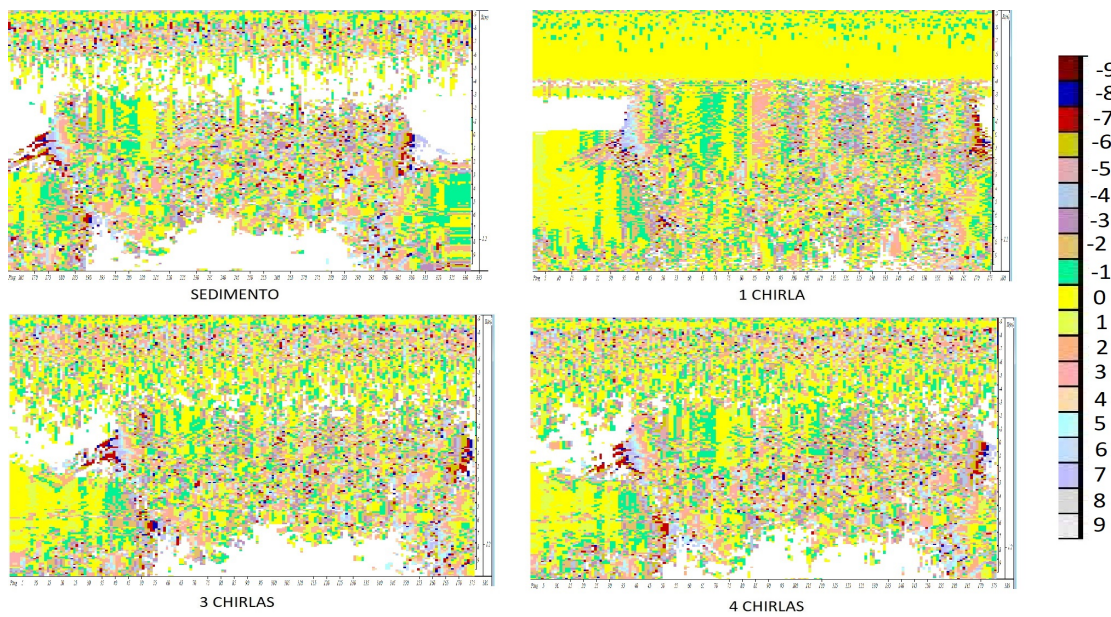


Figura 3.28: Representación angular del primer eco para  $LFM_{slow}$ .

Como sucedió con anterioridad en el estudio con tellinas [2], la información angular y de presión no es suficiente para detectar o contabilizar el número de individuos en el sedimento a simple vista. Aunque en este estudio ha aparecido información interesante en los ecogramas angulares y de  $Sv$  de la esfera cuando se ha realizado el análisis bajo los criterios de  $CW200kHz$  o *Narrow-Band* a  $200kHz$ .

Tras estos análisis visuales, en este trabajo, se ha llevado a cabo un análisis textural a partir de componentes principales con la información angular, similar al que realizó N. Sánchez [1], para tratar de detectar o contabilizar el número de dispersores enterrados.

El análisis estadístico de componentes principales permite, a partir de un set de datos grande, crear unas variables propias no correlacionadas para analizar la varianza existente, y así poder reducir las dimensiones del conjunto. En este caso, el set de datos se corresponde con la información angular (*Alongship*), adquirida con una venta de 19 pings del área central del sedimento durante el experimento, y almacenada en las matrices exportadas a *Matlab*. Las variables no correlacionadas son las expuestas en el subapartado **Introducción** del apartado **Experimental**.

Con las 15 variables calculadas, tras importar los datos a *StatGraphics*, se ha realizado un análisis de componentes principales en el que se consiguen hasta 3 componentes con la elección de 1 valor propio. Con la obtención de esos componentes, se ha procedido a calcular y representar, mediante un dendograma, el análisis de conglomerados. A partir del método de la *Mediana* y con el uso de una métrica de distancia *Euclideana cuadrada*, se han calculado 5 conglomerados.

Los resultados de este análisis (dendograma) para la configuración de  $CW120kHz$  son los de la Figura 3.29. Se puede comprobar como los grupos de datos de sedimento, de 3 chirlas y de 4 chirlas se agrupan individualmente diferenciándose del resto. Los datos de 1 y 2 chirlas se pueden confundir entre ellos al realizar este estudio. Esto puede deberse a que los cambios angulares, cuando se encuentran poblaciones de pocos individuos, son muy similares.

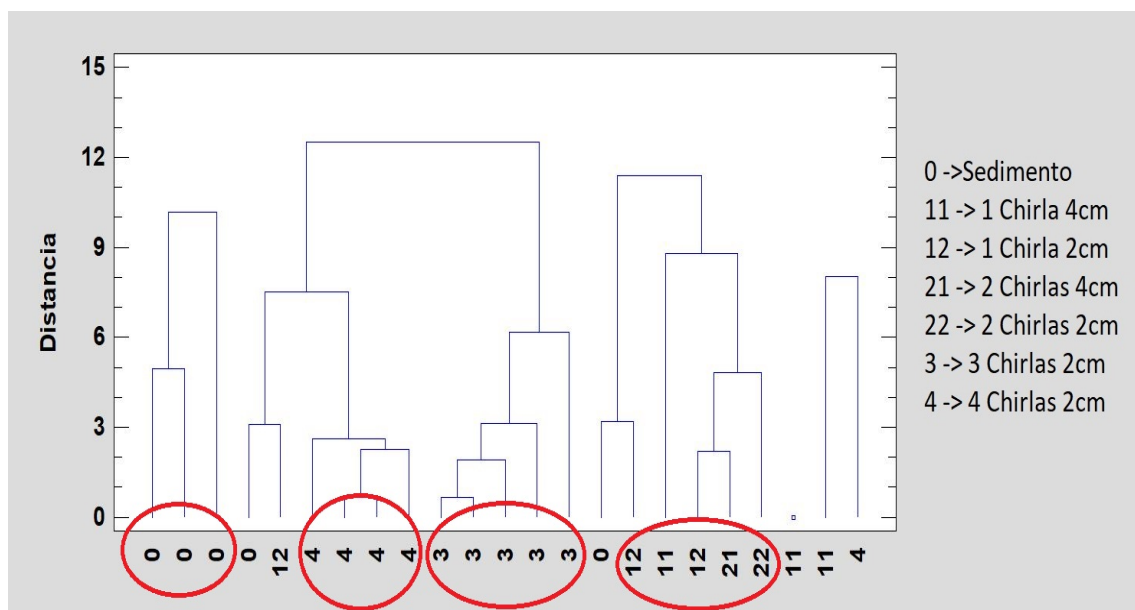


Figura 3.29: Dendograma final análisis CW120.

Se ha realizado este mismo análisis con los datos angulares de *LFMfast* dando como resultado el dendograma de la Figura 3.30. Se puede apreciar que no existe un patrón de distribución viable para afirmar que este análisis es acertado bajo el criterio de *LFMfast*.

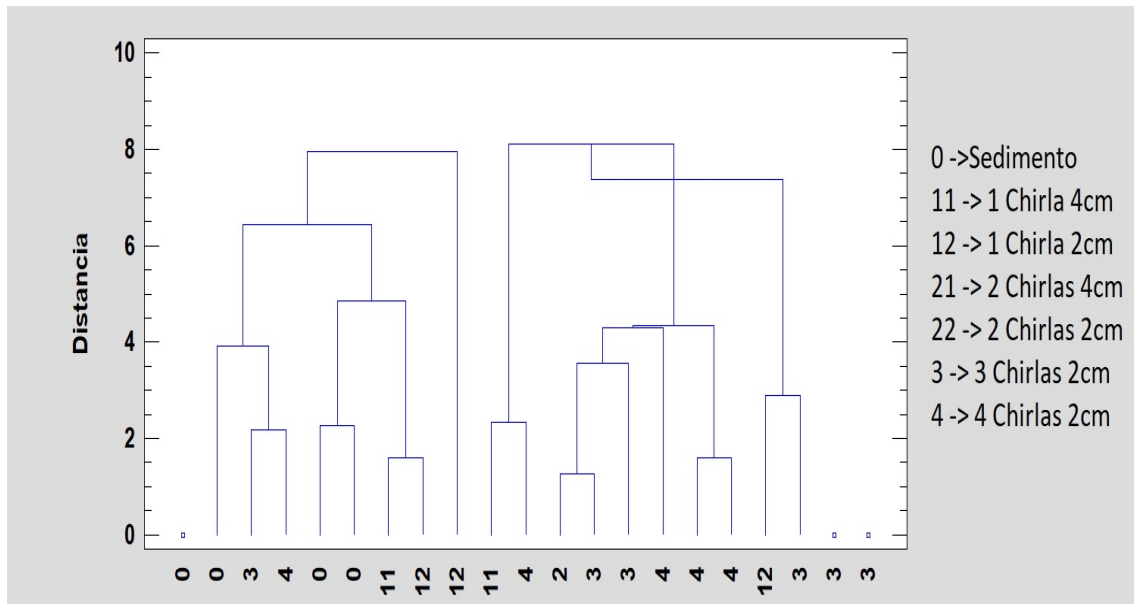


Figura 3.30: Dendograma final análisis *LFMfast*.

---

# Conclusión

---

## 4.1 Conclusión Estudio Teórico

---

Terminado el estudio teórico mediante la simulación y comparado con el realizado en el trabajo anterior, se puede concluir que, al sustituir las variables del aire por las del carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ) en el diseño de la chirla, no se aprecian grandes diferencias en cuanto al tiempo que tarda el eco en llegar a los receptores; pero sí que existen diferencias notables en cuanto al nivel en presión (Pa) que llega a los receptores. En cuanto que los ecos de la “chirila de aire” llegan con un nivel de presión de unos  $0,08Pa$ , los ecos de la “chirila de  $CaCO_3$ ” llegan con un nivel de unos  $0,06Pa$ . Esto es debido a que el cambio de impedancia acústica ocasionado por el cambio de medio es más acusado con el aire que con el carbonato cálcico.

## 4.2 Conclusión Estudio Experimental

---

Una vez realizado el análisis experimental estático, se puede concluir que, la diferencia entre el nivel del segundo eco recibido de sedimento y de los casos donde existen dispersores, es mayor que en el primer eco. Esto es debido a que la contribución del dispersor al eco del sedimento, en el caso de que este tenga un nivel alto, es mínima. Pero en el caso del segundo eco, al tener este un nivel bajo, contribuye considerablemente.

Tras el análisis experimental de los transectos, se puede concluir que, si bien no se pueden obtener resultados firmes de forma visual en la información de  $Sv$  y angular; al realizar un análisis de componentes principales y el posterior clustering, con la frecuencia de trabajo de  $120kHz$  se pueden diferenciar las diferentes configuraciones respecto al número de dispersores. También añadir que en la información de  $Sv$  y angular de la esfera, con la frecuencia de trabajo de  $200kHz$  y  $300W$  de potencia, aparece una estabilidad angular y unos máximos de presión producidos por la esfera y los rebotes del haz entre esta y la superficie del sedimento. Pese a que esa información se aprecia en la zona baja del ecograma, en la zona interior del sedimento es enmascarada por las variaciones internas del propio sedimento.

---

## 4.3 Conclusiones Generales

---

- Tras realizar la comparativa de la simulación con la chirra definida como un esfera de aire [2] y definida como un esfera de carbonato cálcico ( $CaCO_3$ ), se puede afirmar que, si bien no existen diferencias temporales considerables entre los ecos de las dos definiciones, sí que existen diferencias suficientes entre las amplitudes de los ecos para diferenciar ambas simulaciones numéricas.
- Al igual que ocurrió en el anterior trabajo con las *tellinas*, la información angular y de presión no ha servido para diferenciar a simple vista el número de dispersores enterrados.
- Tras la realización del análisis estadístico, y a falta de un estudio con mayores repeticiones, se puede afirmar que para una frecuencia de  $120kHz$  y una configuración *Narrow-Band (CW)*, es viable la aplicación de este método.
- Tras la realización del análisis de posiciones estáticas, se puede afirmar que si el dispersor se encuentra a  $2cm$  de la superficie del sedimento, los criterios utilizados en este trabajo no permiten la diferenciación del eco del sedimento con el eco del propio dispersor.
- A  $4cm$ , si el dispersor es grande (esfera) o hay muchos dispersores (más de 3 chirras), utilizando configuraciones *LFM* en la ecosonda, se pueden apreciar mínimas diferencias entre el eco del sedimento y el del dispersor.

---

## 4.4 Futuras líneas de estudio

---

- Se está trabajando en una simulación utilizando el método de Diferencias Finitas (FDTD) para poder realizar una comparativa con el método FEM utilizado en este trabajo.
- En un futuro, debería estudiarse a fondo la información (“cola”) recibida por la ecosonda cuando se encuentra la esfera enterrada y se utiliza el criterio de  $200kHz$  y  $300W$
- El siguiente paso debería ser la realización del experimento en el hábitat de las chirras realizando los transectos en un entorno diferente al del laboratorio.
- Debería realizarse una toma de medidas con mayor número de repeticiones, al menos 20, con el criterio de *CW120* para realizar un estudio estadístico con un número de medidas significativo.

---

# Glosario

---

**Alongship:** Dirección proa-popa. En este trabajo se utiliza como la información angular que proporciona la ecosonda en esa dirección.

**Backscattering:** Retrodispersión. Normalmente se refiere a la energía reflejada por un objeto al incidir sobre él un haz acústico.

**Bin:** Mínimo paso temporal de la ecosonda. También puede ser definido como la mínima división en profundidad de un ecograma.

**CW:** Modo de operación de una ecosonda que permite emitir un pulso con un ancho de banda estrecho y la selección de la frecuencia central.

**Dispensor:** Elemento reflectante objeto de estudio. En este trabajo se tratan como dispersores la esfera y las chirlas.

**LFM:** Modo de operación de una ecosonda que permite emitir un pulso con un ancho de banda grande, la selección de la frecuencia central, el inicio y el fin del barrido frecuencial.

**Ping:** Tren de ondas emitidas por un transductor en un espacio de tiempo ( $\tau$ ).

**Popa:** Parte trasera de la embarcación.

**Proa:** Parte delantera de la embarcación.

**SV:** Medida relativa de la intensidad con la que una onda es reflejada en una determinada superficie referida a una intensidad referencia por unidad de volumen. Tiene una corrección de TVG de  $20 \cdot \log(\text{distancia}) + 2\alpha R$

**Transecto:** Desplazamiento o recorrido horizontal a lo largo del sistema de medición.

**TS:** Target Strength. Medida relativa de la intensidad con la que una onda es reflejada en una determinada superficie. Tiene una corrección de TVG de  $40 \cdot \log(\text{distancia}) + 2\alpha R$

**TVG:** Time Varied Gain. Corrección matemática que sirve para compensar las pérdidas por dispersión geométrica y por absorción.  $40\log(\text{distancia}) + 2\alpha R$ .



# Bibliografía

---

- [1] N. Sanchez. Técnicas acústicas y software libre: Aplicaciones en la gestión costera. *Tesis Doctoral*, Universidad da Coruña, 2012
- [2] Morillo Faro. A. (2017) *Estudio de la viabilidad de detección de Tellinas (Donax Trunculus) con ecosondas científicas de haz partido..* Trabajo Fin de Grado. Gandía: Escuela Politècnica Superior de Gandía.
- [3] C. K. Wentworth A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments *The Journal of Geology*, 1922
- [4] I. P. Arjona , V. Espinosa. Apuntes Asignatura Acústica Submarina *Máster Ingeniería Acústica*, 2018. UPV Gandía.
- [5] N. Sanchez. Relative infaunal bivalve density assessed from split beam echosounder angular information. *Oceanologia*, 56(3):497-522, 2014
- [6] R. M. Haralick *et Al.* Textural features for image classification. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol SMC-3, N° 6, 610-621, Noviembre 1973.
- [7] [www.Simrad.com](http://www.Simrad.com)
- [8] E.Hutin, Y. Simard y P. Archambault. Acoustic detection of a scallop bed from a single-beam echosounder in the St. Lawrence. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 966-983, 2005.
- [9] R.E. Grizzle, L.G. Ward, J.R. Adams, S.J. Dijkstra y B. Smith. Mapping and characterizing oyster reefs using acoustic techniques, underwater videography and quadrat counts. *American Fisheries Society Symposium*, volumen 41, páginas 152-159, 2005.
- [10] Y.C. Allen, C.A. Wilson, H. Roberts y J. Supan. High Resolution Mapping and Classification of Oyster Habitats in Nearshore Louisiana Using Sidescan Sonar. *Estuaries and Coasts*, 28:435-446, 2005.
- [11] M. Kimura. Frame bulk modulus of porous granular marine sediments. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 120: 699, 2006.
- [12] F. Medina y M. Galván. Imputación de datos: teoría y prácticas. *Serie Estudios estadísticos y prospectivos*, Volumen 54, páginas 21-25, 2007

- 
- [13] Evaluation of a wideband echosounder for fisheries and marine ecosystem science. *Ices cooperative research report*, N° 336, April 2007.
- [14] Gizzi, F. et al. Shell properties of commercial clam *Chamelea gallina* are influenced by temperature and solar radiation along a wide latitudinal gradient. *Sci. Rep.* 6, 36420; doi: 10.1038/srep36420 (2016).