



FUENTES ANTROPOGÉNICAS DE RUIDO SUBACUÁTICO: Caracterización y evaluación de su impacto

Dr.-Ing. Alfio Yori Fernández

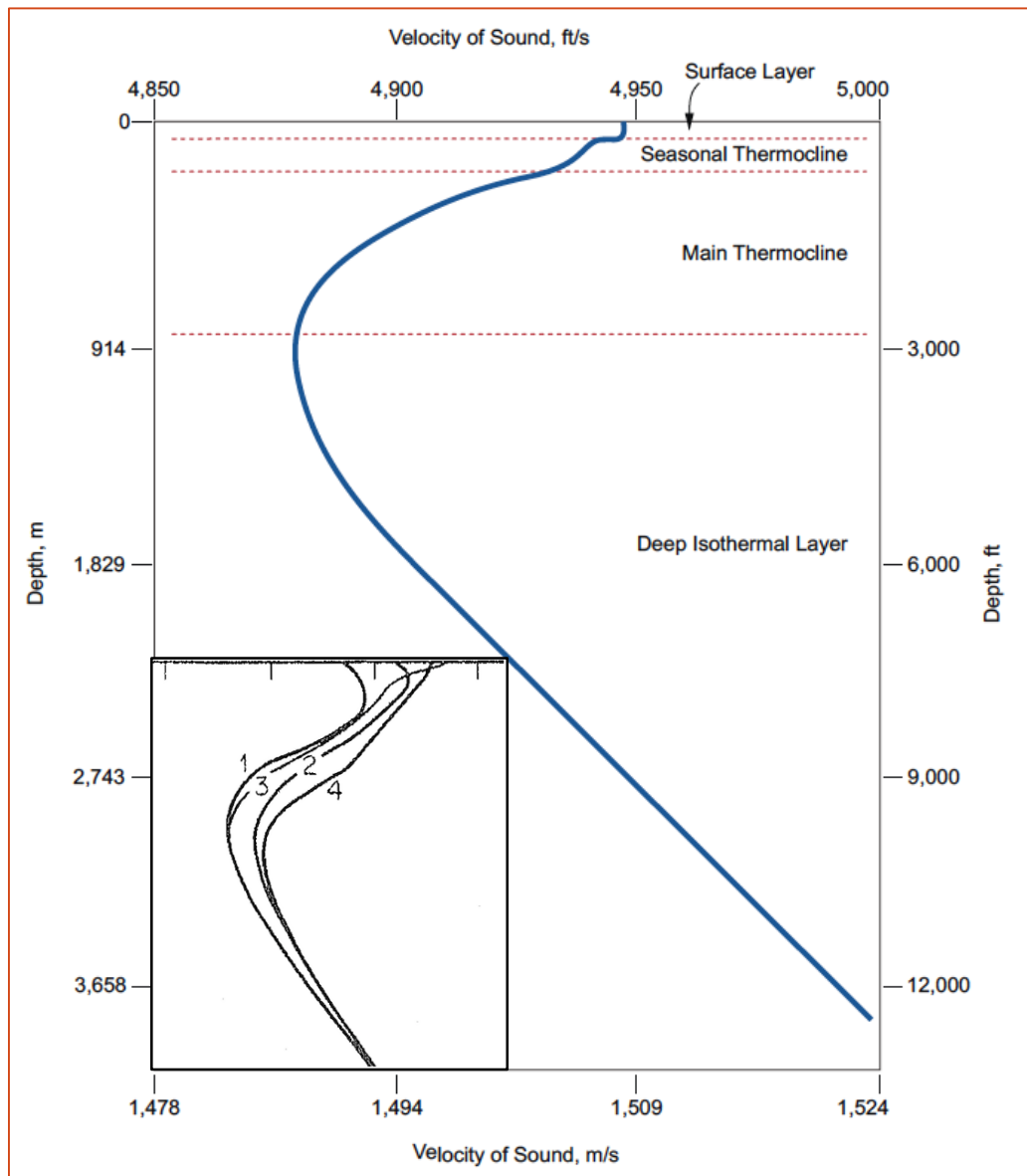
Instituto de Acústica – Universidad Austral de Chile



CARACTERÍSTICAS DEL SONIDO BAJO EL AGUA

- Cambio de presión de referencia a $1\mu\text{Pa}$ ($20\mu\text{Pa}$).
- Velocidad de propagación del sonido 1500 m/s , mayor que en el aire 340 m/s .
- Absorción sonora mucho menor a la producida en el aire (0.05 dB/km comparada con 4 dB/km para $f: 1\text{kHz}$)
- A frecuencias $< 1\text{ kHz}$ la absorción en rangos $< 40\text{ Km}$ es despreciable ($< 0.1\text{ dB/Km}$).
- Medio de propagación estratificado. Velocidad varía con la profundidad y es dependiente de las variables presión, temperatura y salinidad.
- Modelos de propagación sonora distintos a los del aire.

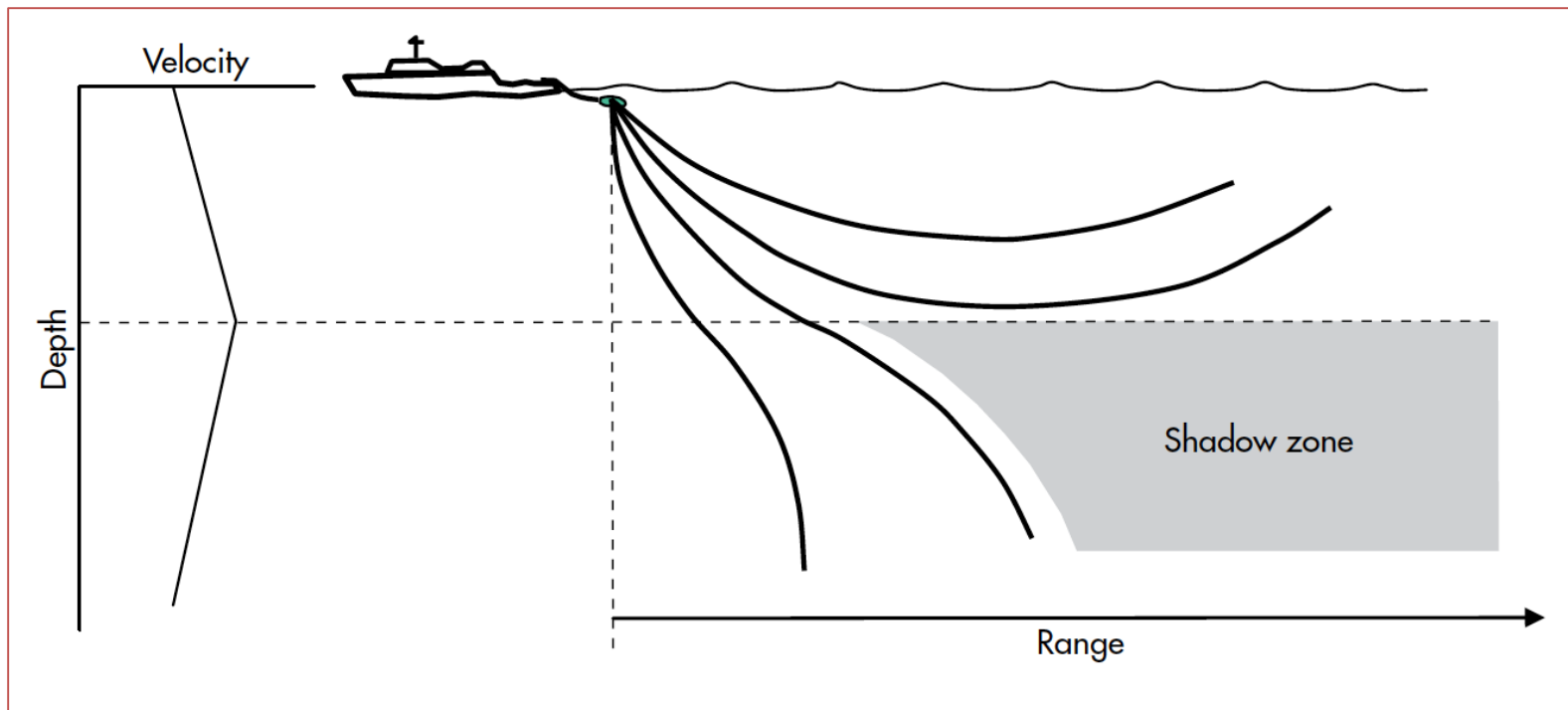
PERFÍL DE VELOCIDAD AGUAS PROFUNDAS



Temperatura	+ 4.6 m/s por °C
Salinidad	+ 1.3 m/s por ppm
Profundidad	+ 0.016 m/s por m

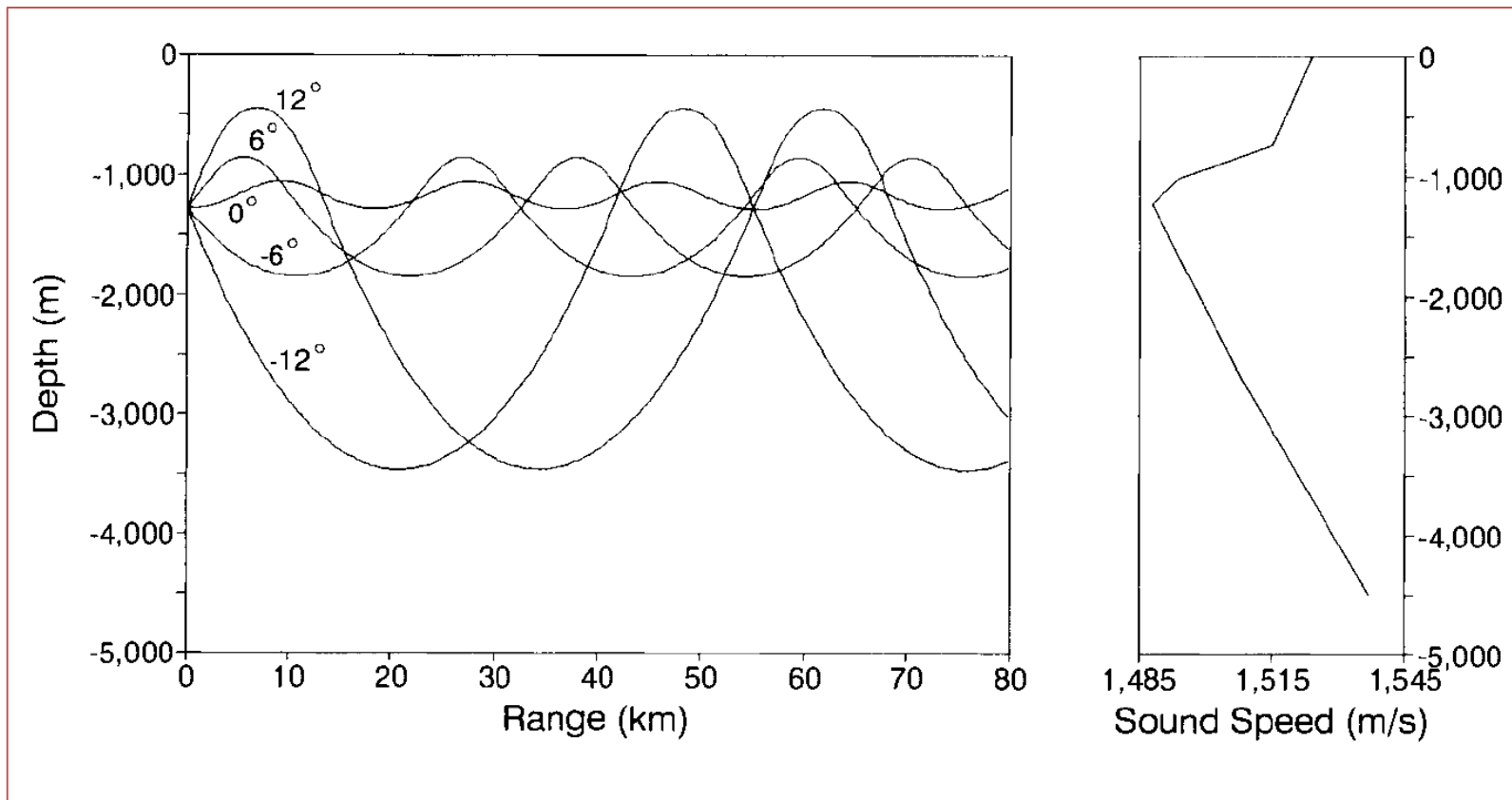
MODELOS DE PROPAGACIÓN AGUAS PROFUNDAS

CANAL SONORO SUPERFICIAL



MODELOS DE PROPAGACIÓN AGUAS PROFUNDAS

CANAL SONORO PROFUNDO



MODELOS DE PROPAGACIÓN

PROPAGACIÓN ESFÉRICA – AGUAS PROFUNDAS

$$L_r = L_s - 20 \log r \text{ dB}$$

L_r : Nivel en el receptor

L_s : Nivel de la fuente a 1 m

r : Distancia al receptor

PROPAGACIÓN CILÍNDRICA – CANAL SONORO

$$L_r = L_s - 10 \log H - 10 \log r \text{ dB}$$

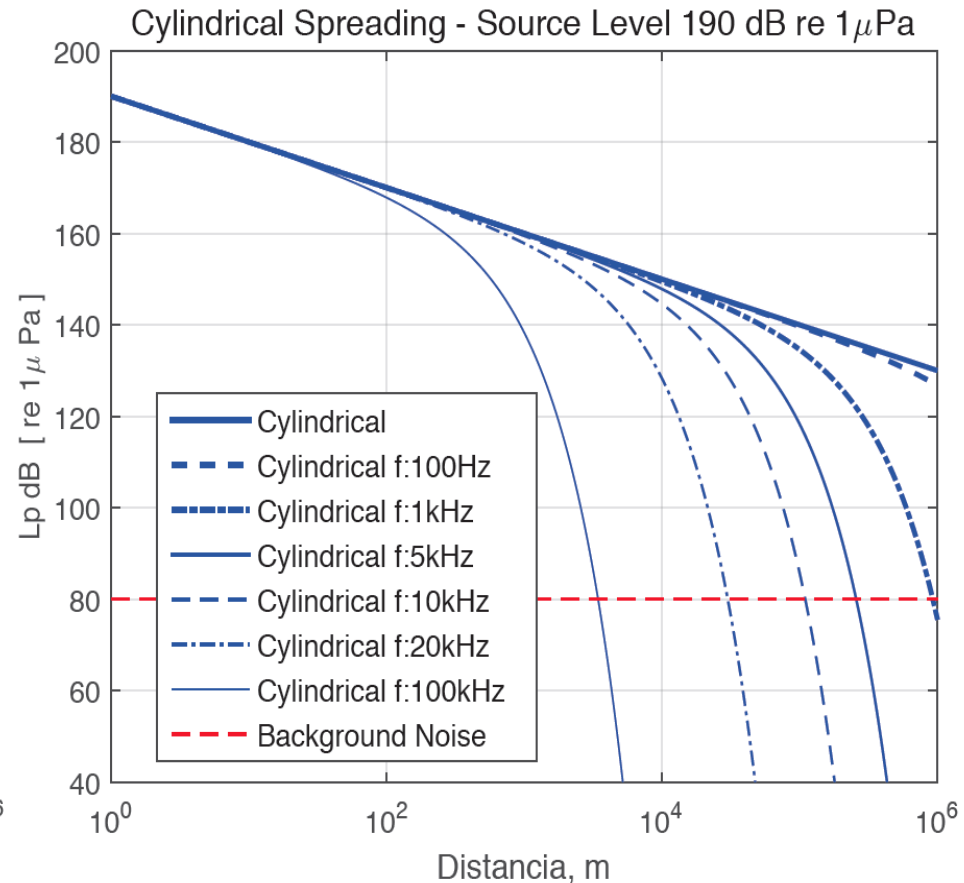
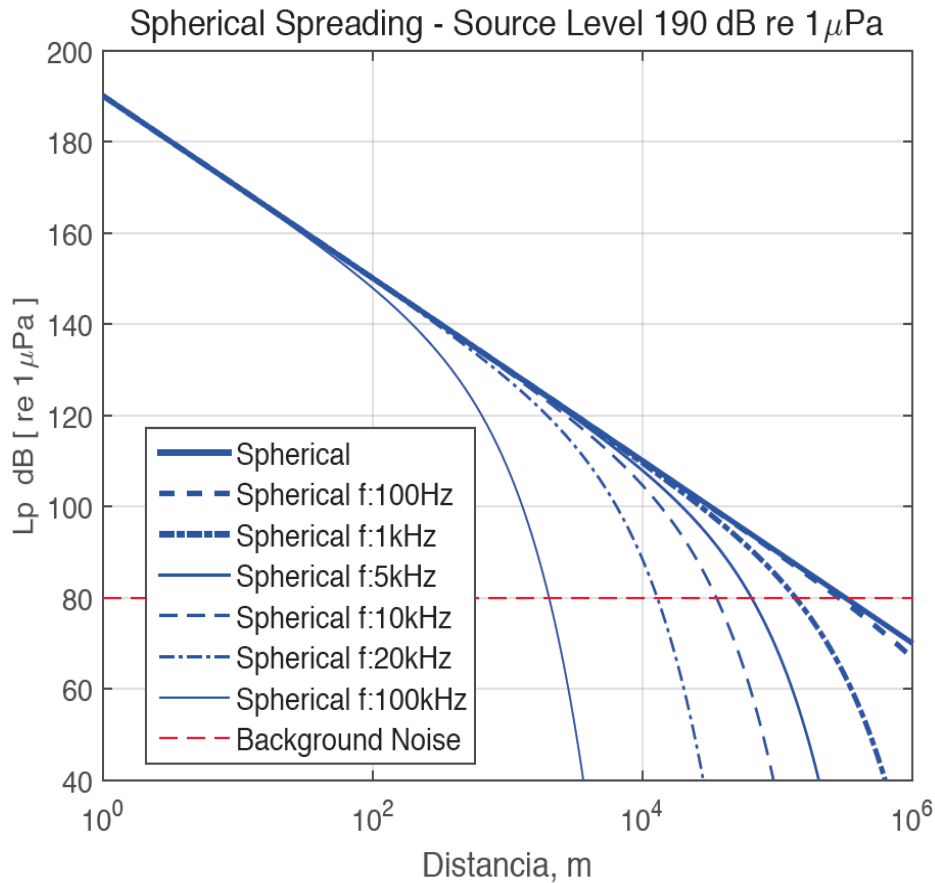
L_r : Nivel en el receptor

L_s : Nivel de la fuente a 1 m

H : Profundidad del canal, m

r : Propagación cilíndrica. $r > H$

MODELOS DE PROPAGACIÓN



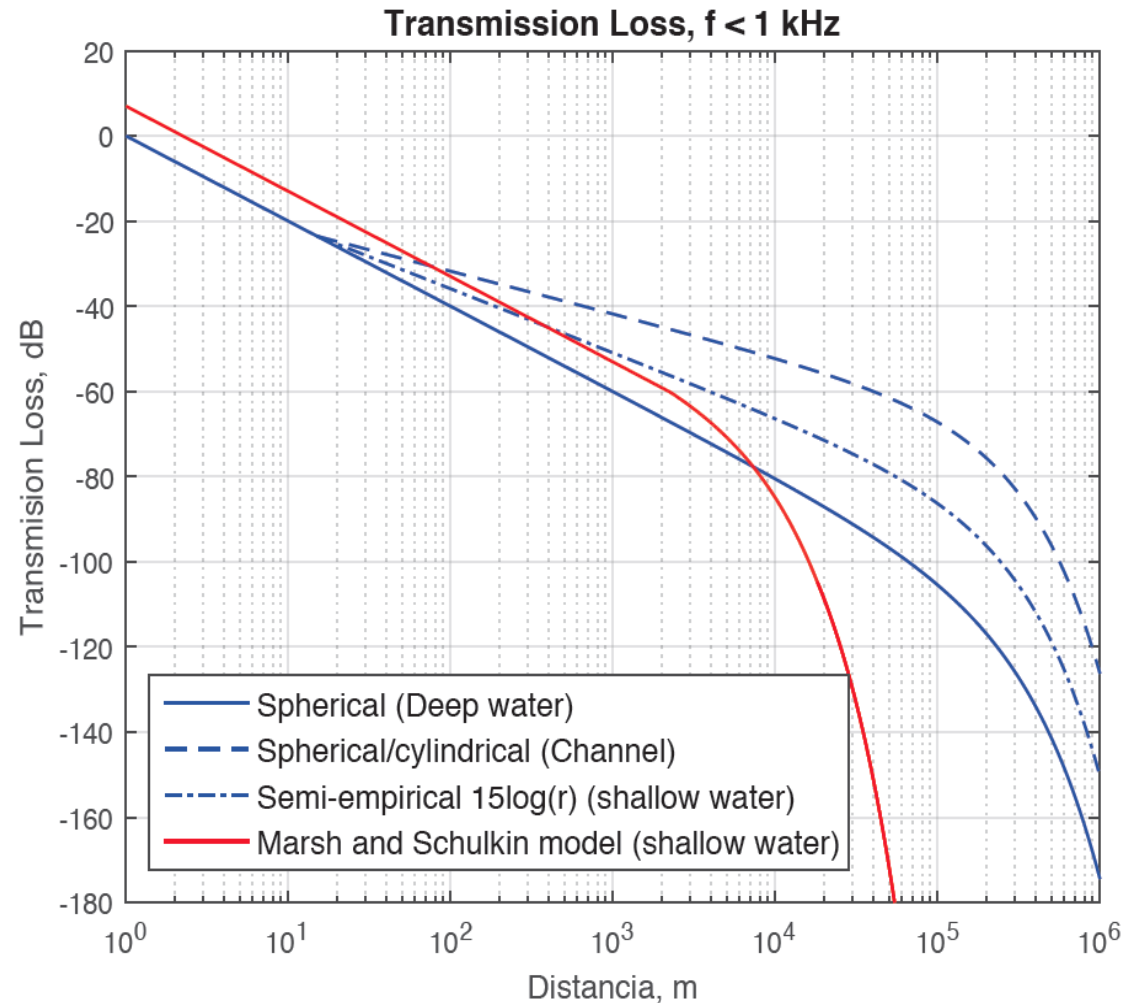
MODELOS DE PROPAGACIÓN AGUAS POCO PROFUNDAS

MODELO SEMI-EMPÍRICO

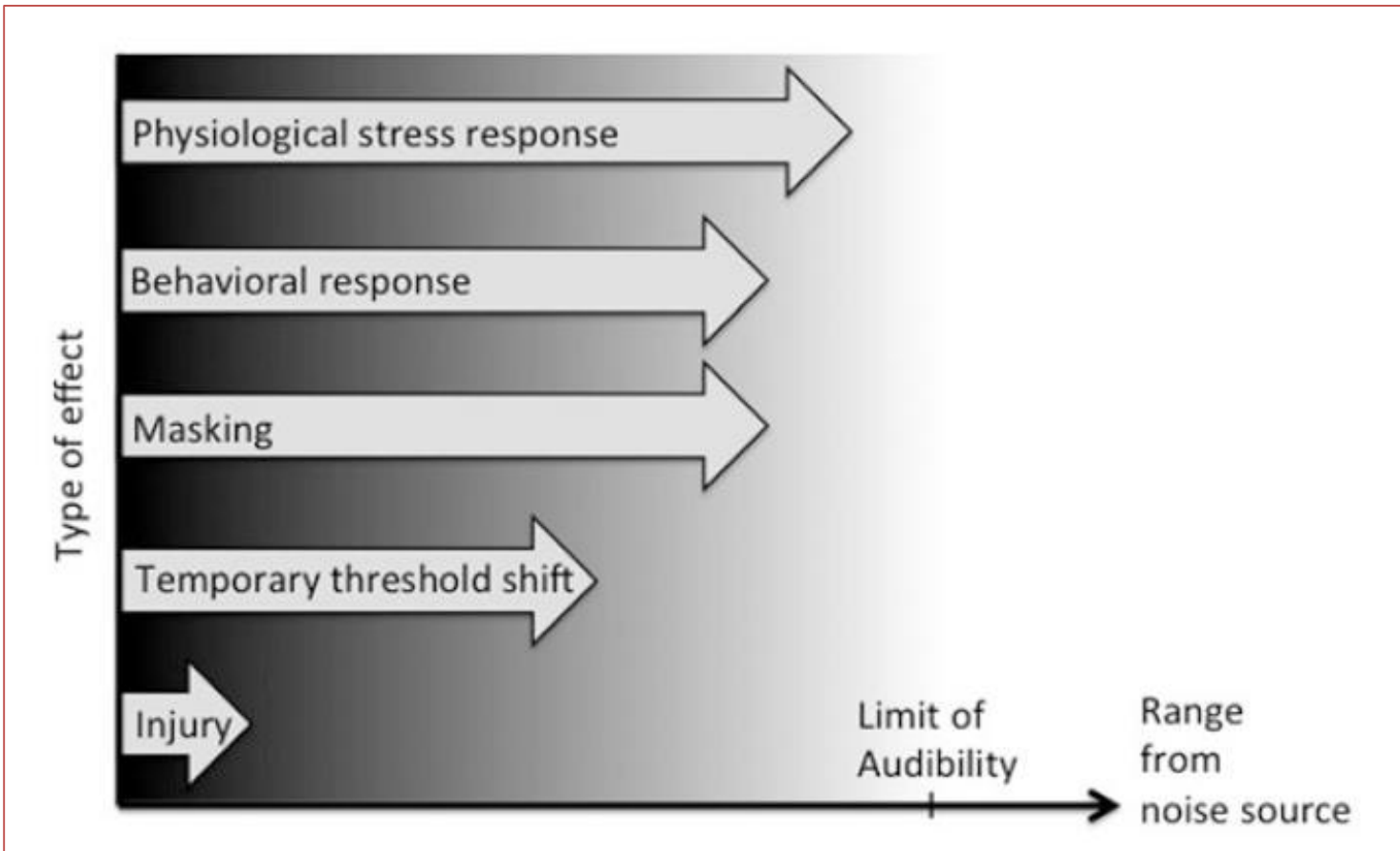
$$L_r \approx L_s - 5 \log r_1 - 15 \log r \text{ dB}$$

r_1 : Profundidad del agua, m

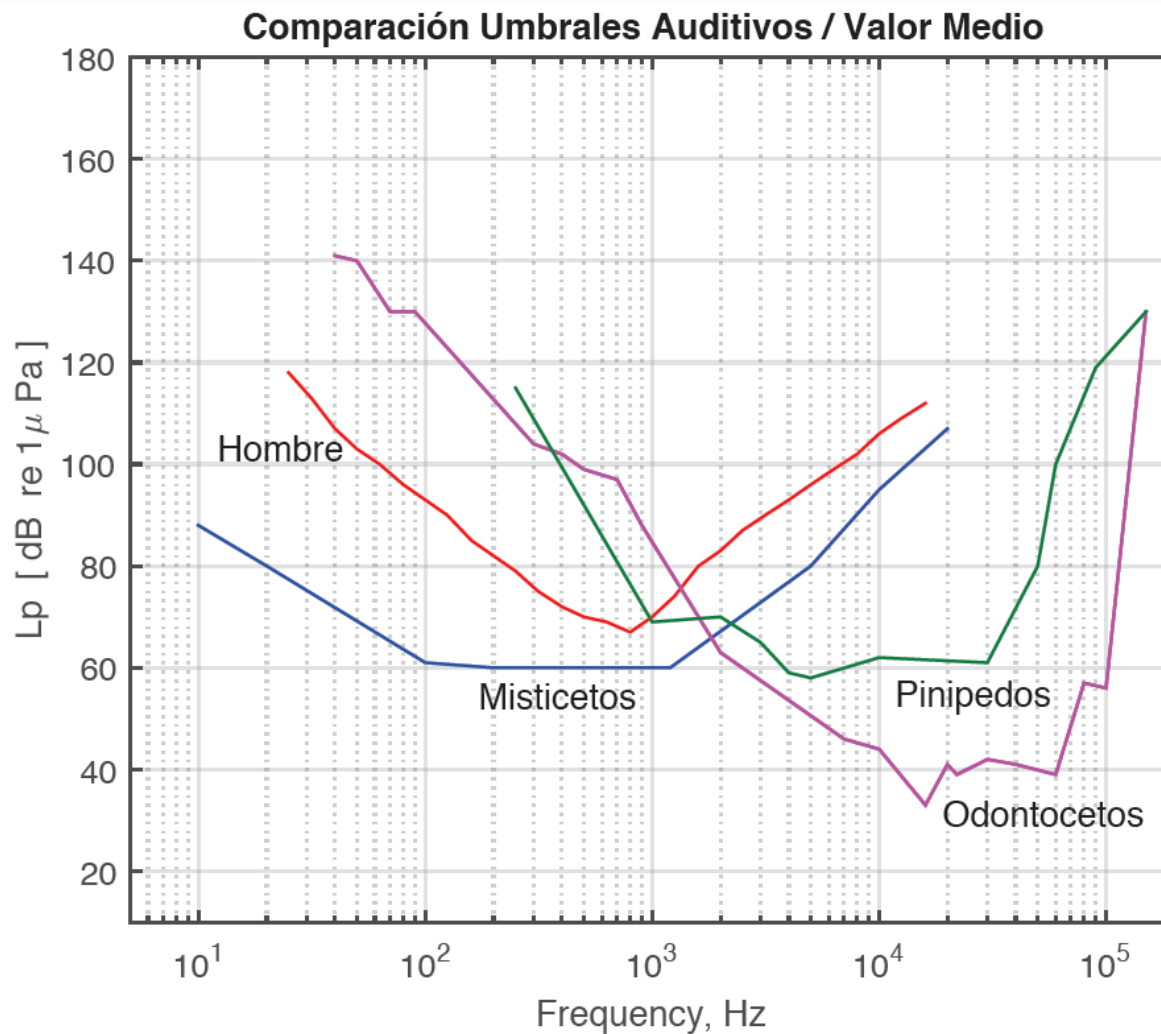
r : Propagación esférica/cilíndrica



EFFECTS OF SUBACQUEOUS NOISE EXPOSURE

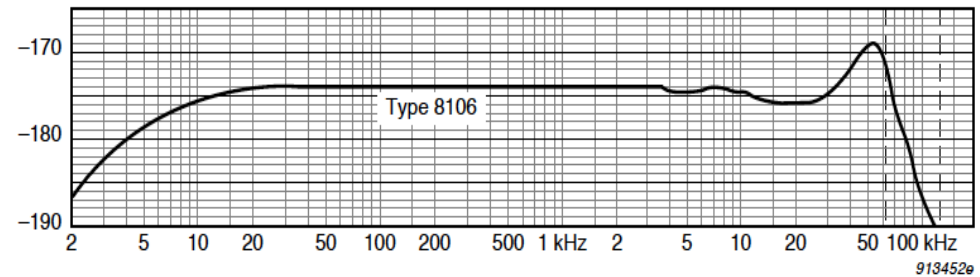
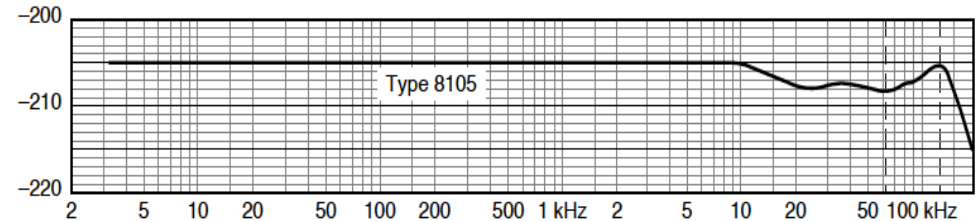
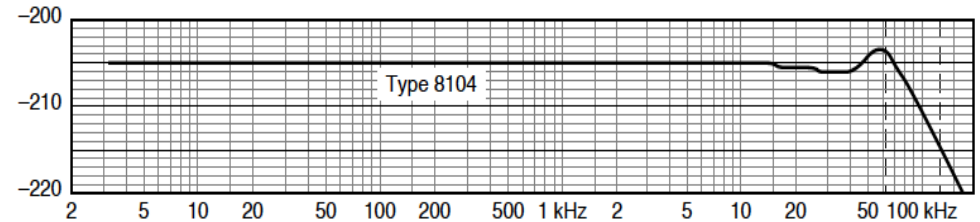
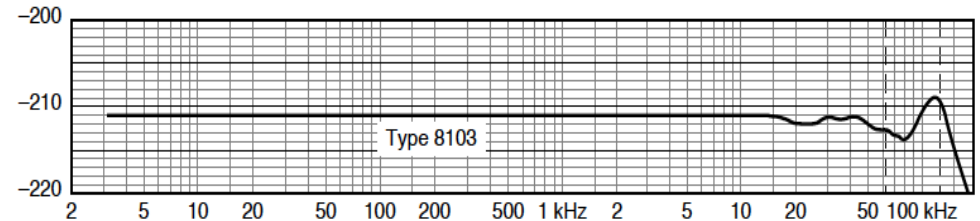


UMBRALES AUDITIVOS



SISTEMA DE MEDICIÓN

SELECCIÓN DE HIDRÓFONO



SISTEMA DE MEDICIÓN HIDRÓFONO + GRABADOR



MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

FUENTES FIJAS DE RUIDO EVALUADAS

(Astillero, cantera,
Fabrica de levadura
y muelle)

<i>Activity</i>	<i>Description</i>
Airplane noise	Twin-engined plane landing on an airdrome.
Shipyard	Sandblasting of vessel out of water.
Shipyard	sandblasting + emery polishing of vessel out of water.
Shipyard	sandblasting + metallic bumps inside vessel out of water.
Shipyard	Riveting inside a berthed ship.
Shipyard	Metallic bumps inside a berthed ship.
Quarry	Dozer loading stones over a truck.
Factory	General working of a yeast factory.
Quay	Piles driving, 61cm in diameter, during the construction of a quay.

MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

FUENTES DE RUIDOS EVALUADAS

<i>Name</i>	<i>Length</i> m	<i>Power</i> Hp	<i>Size</i>
Solar III	9.5	5	small
Iceberg	10.3	75	small
Daniela Isidora	12.45	90	small
Outboard boat 1	2.8	6	small
Outboard boat 2	4.2	50	small
Outboard boat 3	5	80	small
Bahia II	10.5	120	small
Bahia Patagonia	15.5	200	medium
Zodiac Marina	13.5	200	medium
Discovery	16.83	240	medium
Explorador	13	150	medium
Reina Sofia	17.5	320	medium
Bahia Princesa	12.66	160	medium
M. de Mancera	21.8	320	large
Dredger E. Pinto	53.7	1129	large
Patagon VIII	69.5	ND	large
Ferry Cullamo	48.4	400	large
Neptuno	25.2	400	large
Calle Calle	29.9	115	large

MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

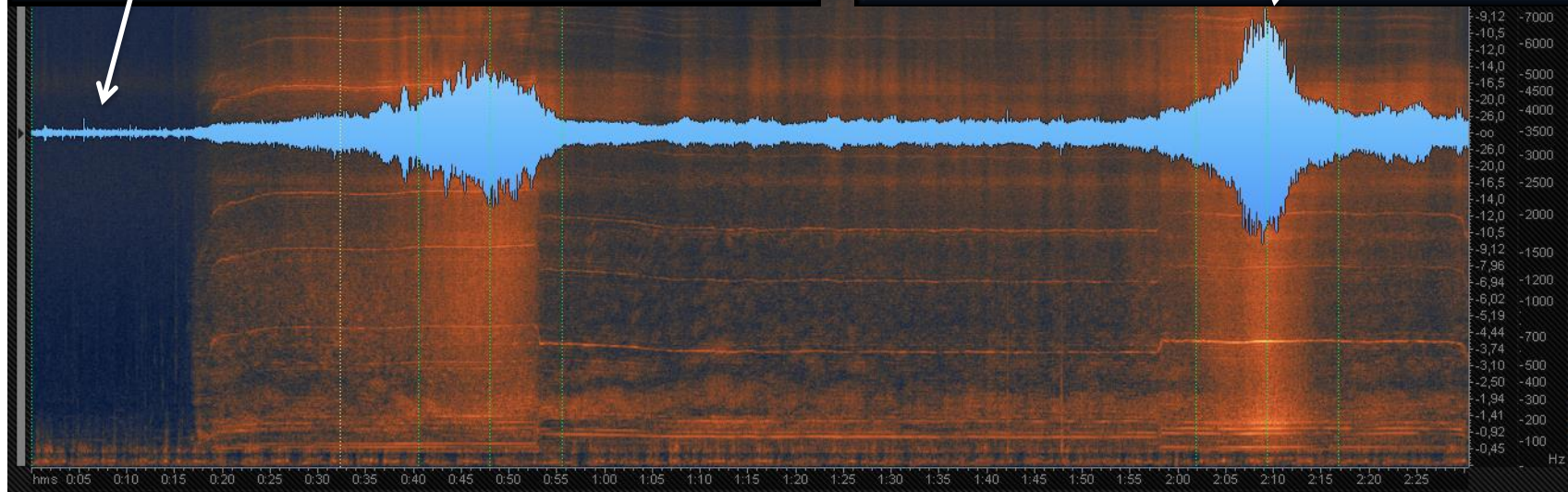
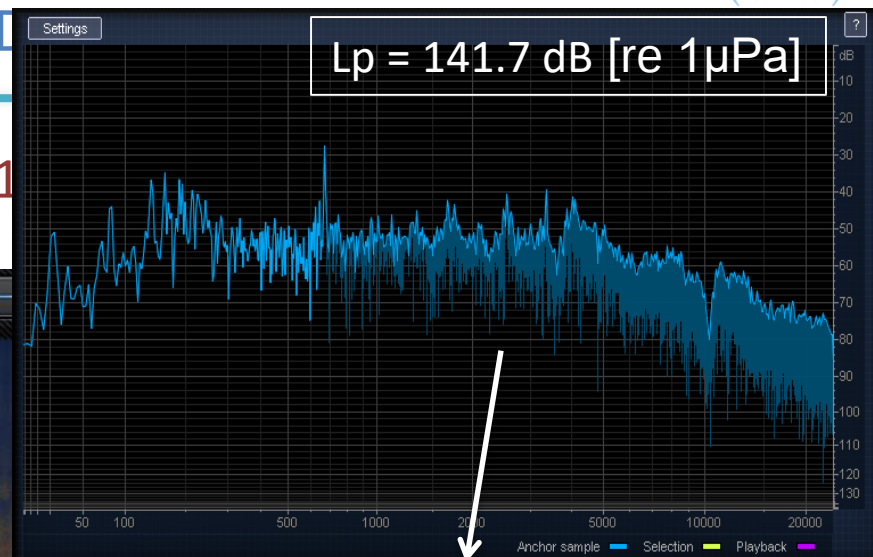
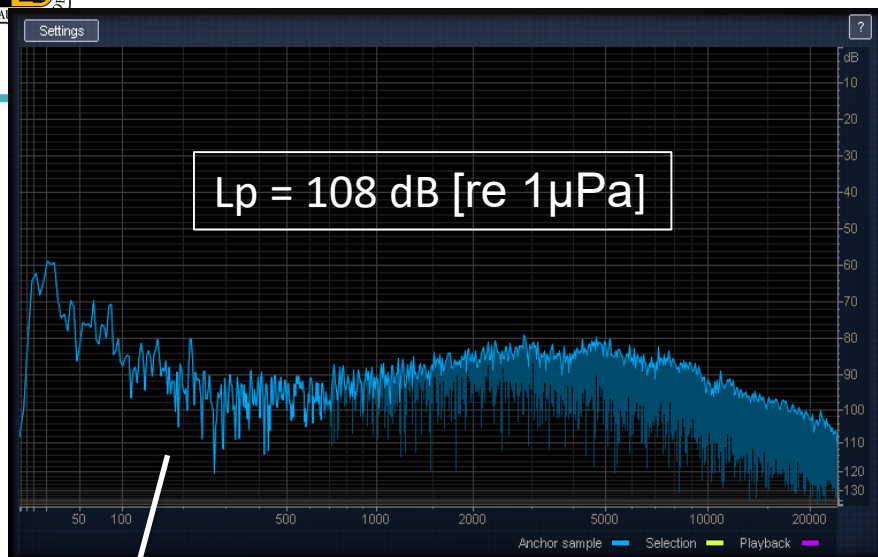
REGISTRO DE CAMPO



MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

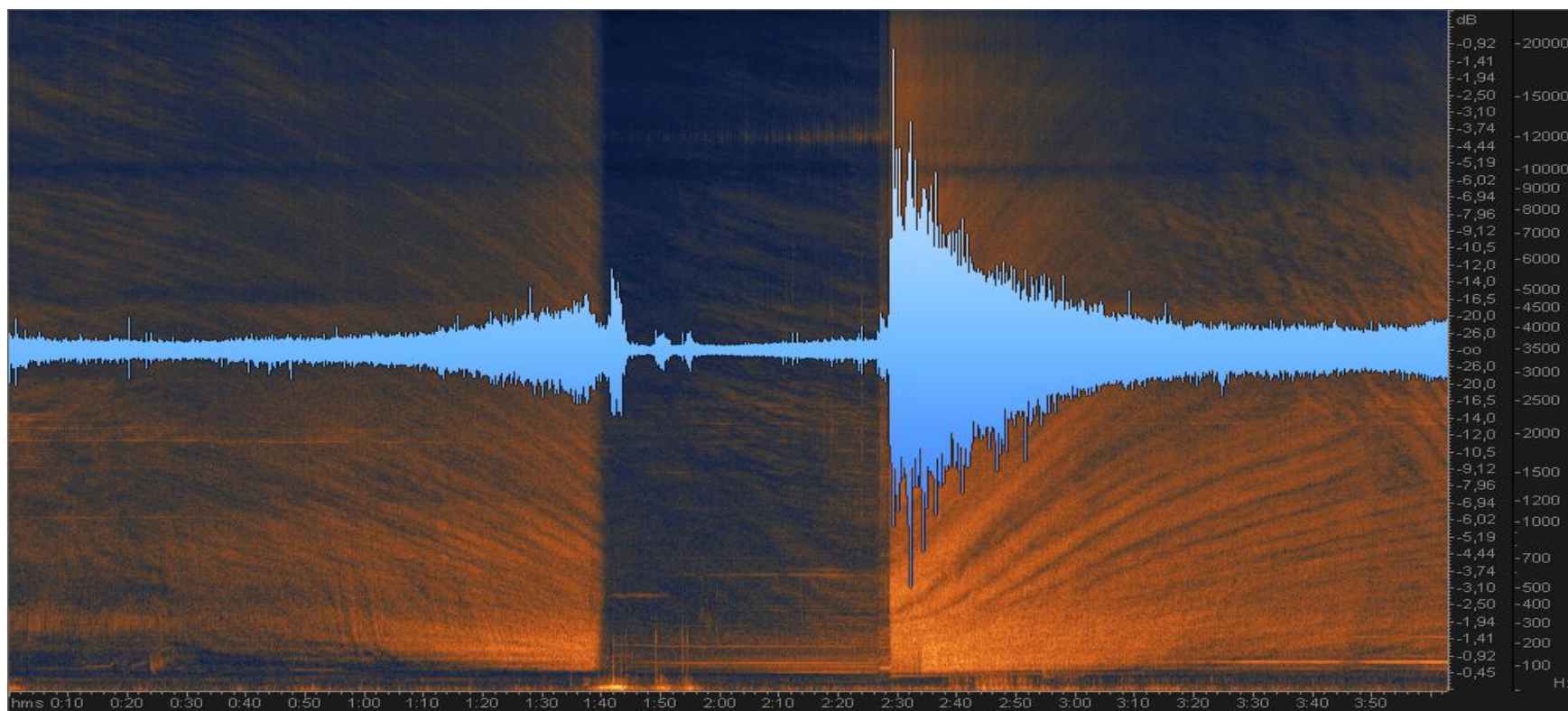
REGISTRO DECAMPO





MEDICIONES FUENTES DE RUIDO

EMBARCACIÓN TURISMO 320 HP PASANDO A 10 m



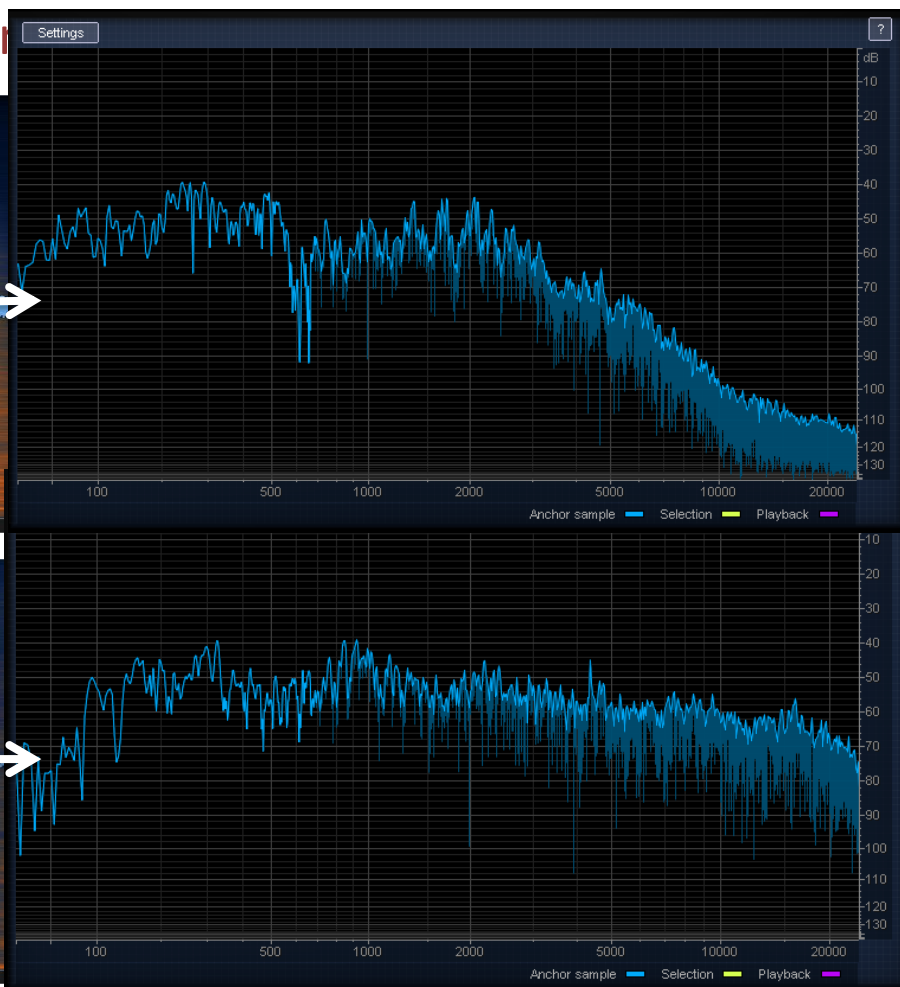
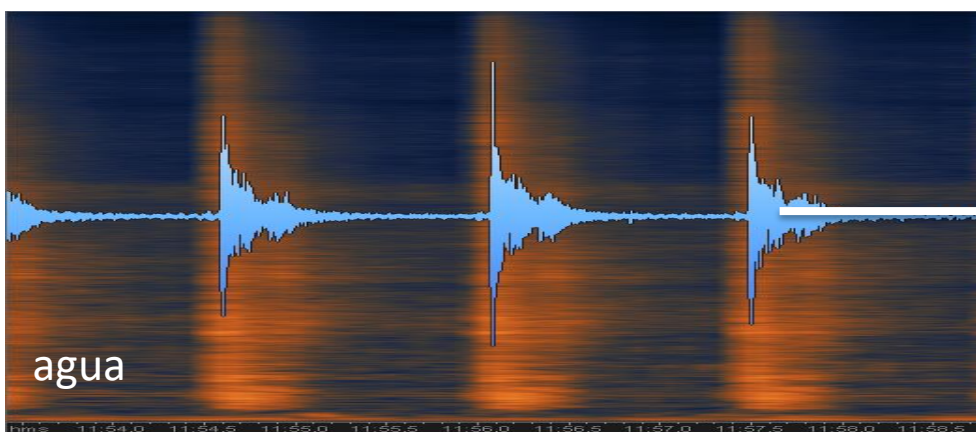
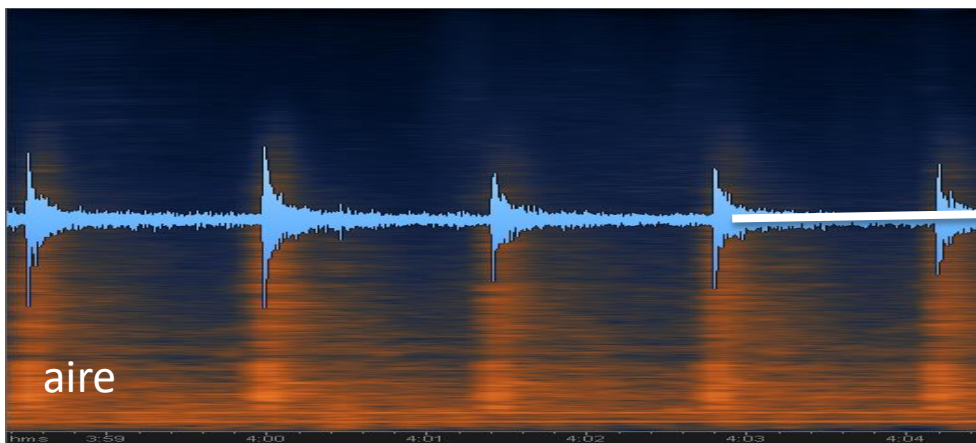
$L_{p \text{ aire}}$: 57.2 dBA, [re. 20 μ Pa]



$L_{p \text{ agua}}$: 140.7 dB, [re. 1 μ Pa]

MEDICIONES FUENTES DE RUIDO

HINCADO DE PILOTES Ø: 61 cm A 25 m



$L_{peak_{aire}}$: 120 dB, [re. 20 μ Pa]

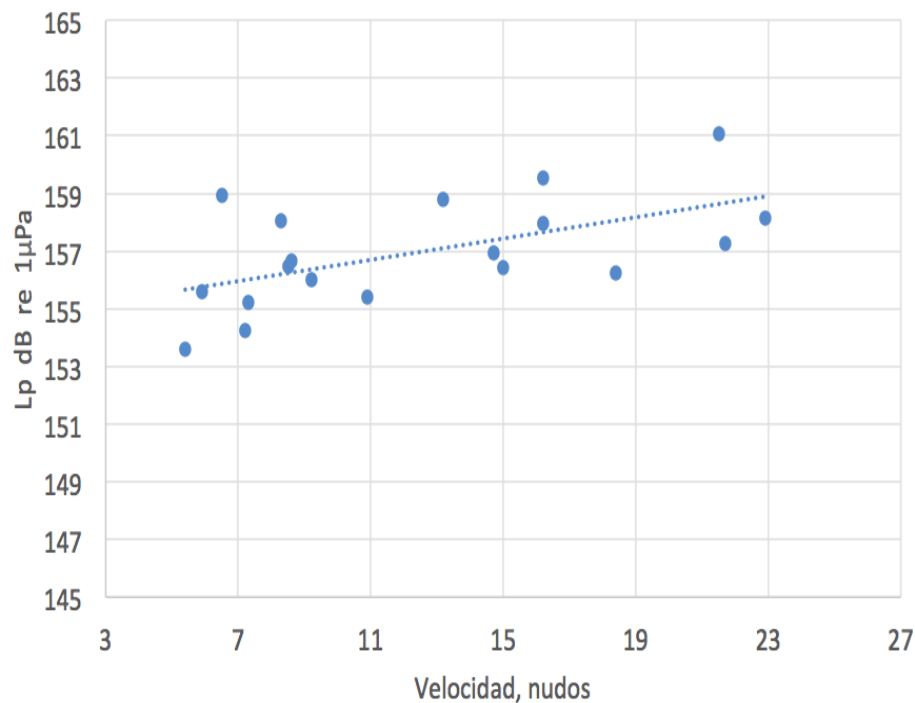


$L_{peak_{agua}}$: 177 dB, [re. 1 μ Pa]

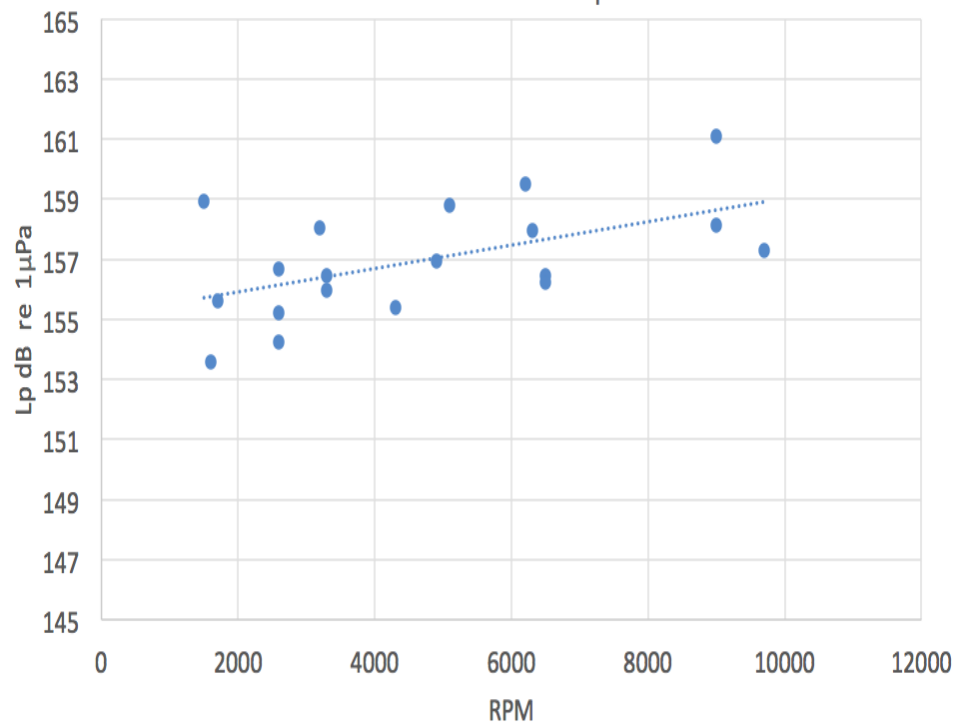
MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

LANCHA MOTOR FUERA DE BORDA 150 HP

Emisión de ruido subacuático
Embarcación 150 Hp



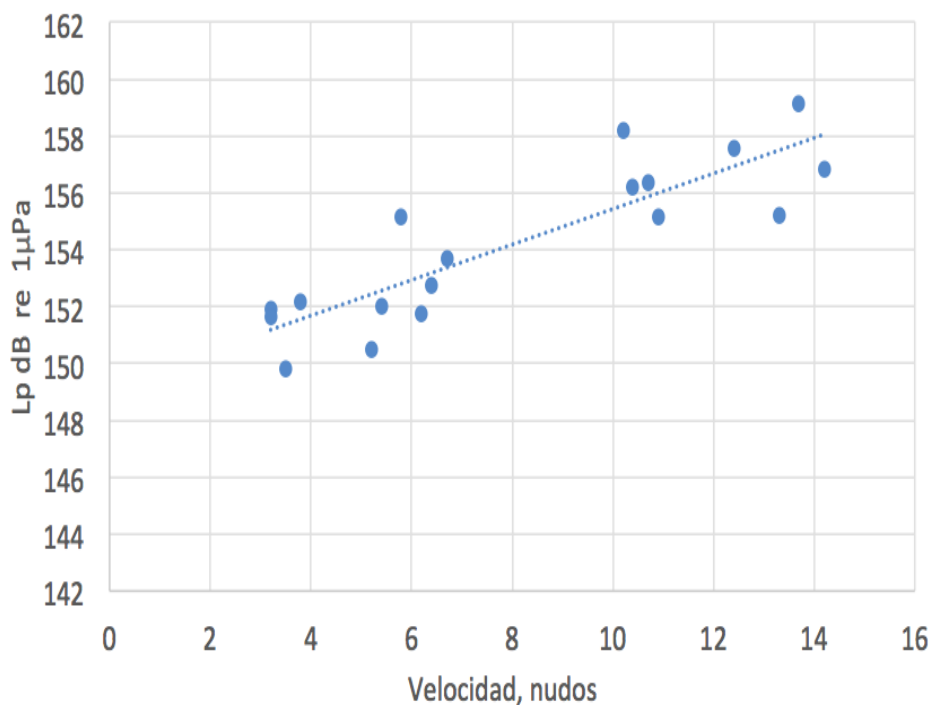
Emisión de ruido subacuático
Embarcación 150 Hp



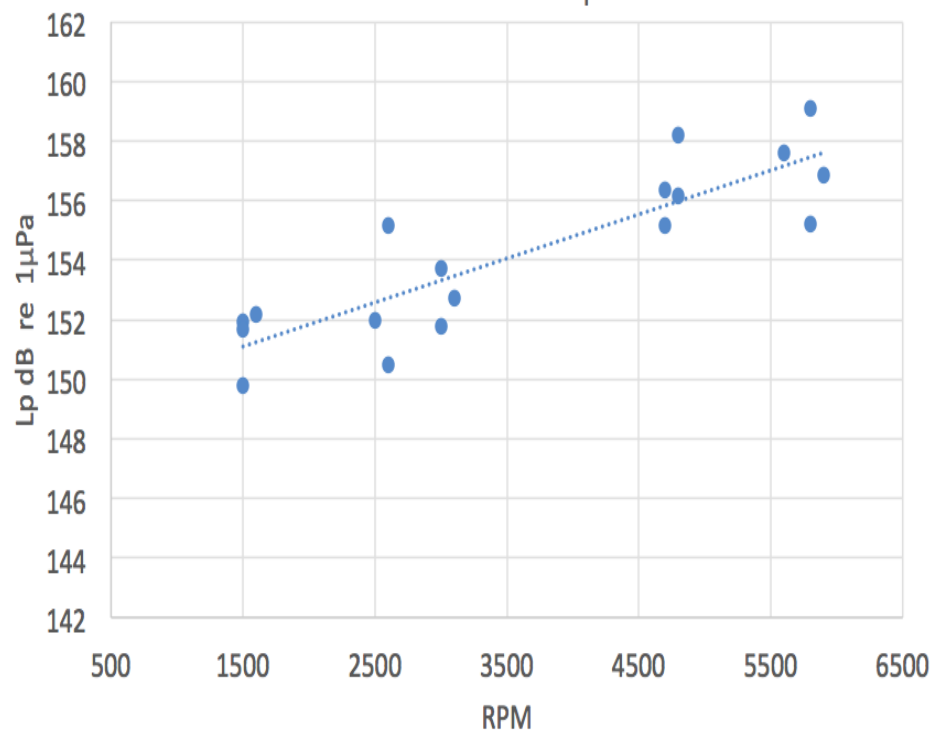
MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

LANCHA MOTOR FUERA DE BORDA 60 HP

Emisión de ruido subacuático
Embarcación 60 Hp

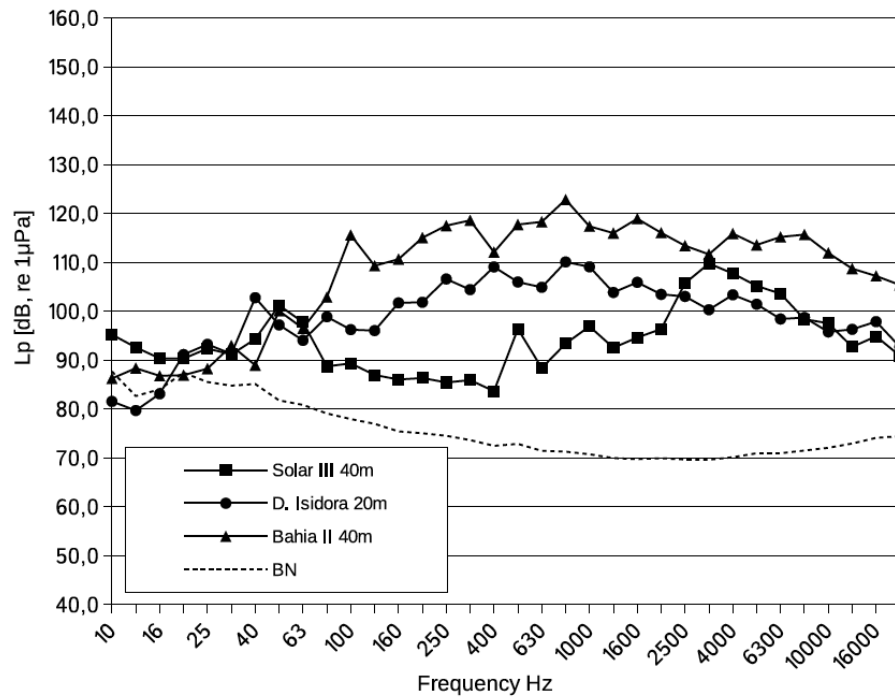


Emisión de ruido subacuático
Embarcación 60 Hp

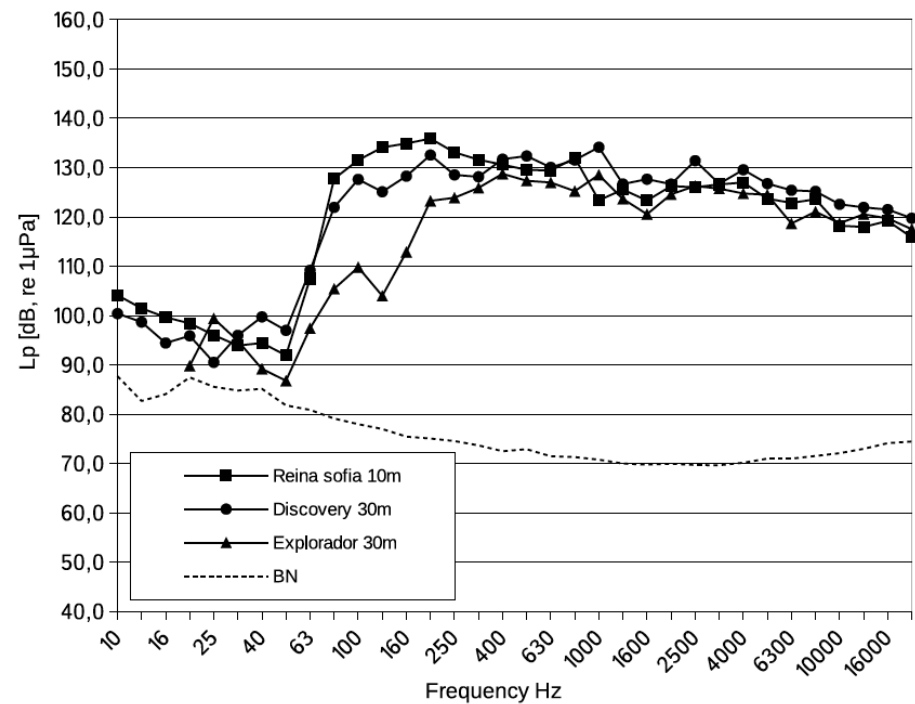


ESPECTROS DE FRECUENCIA OBTENIDOS

ESPECTROS EN BANDA DE 1/3 DE OCTAVA – BANDAS CRÍTICAS



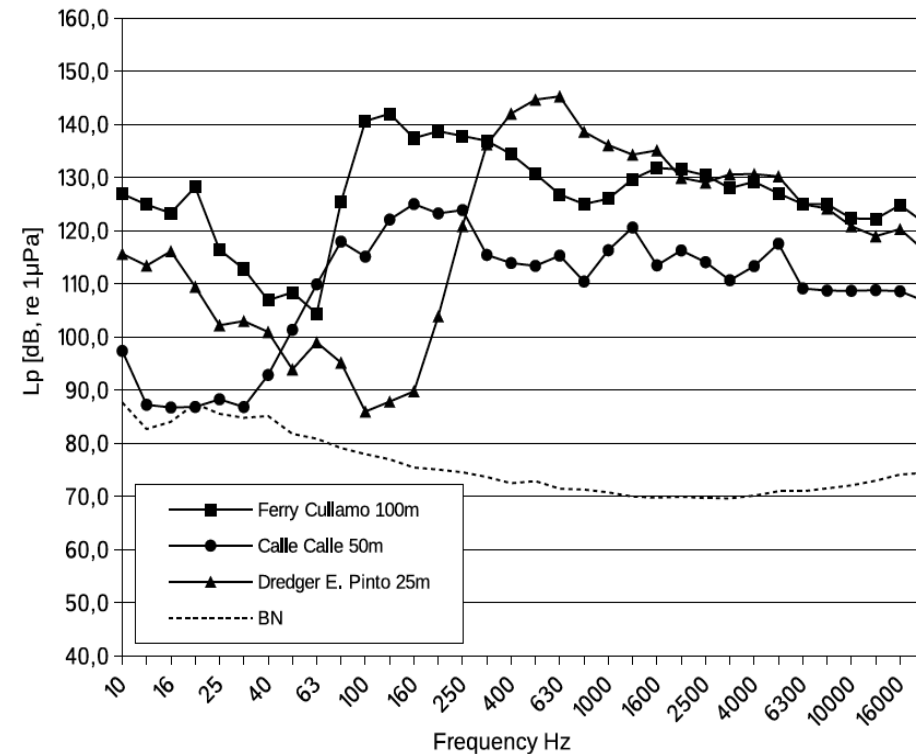
Naves pequeñas



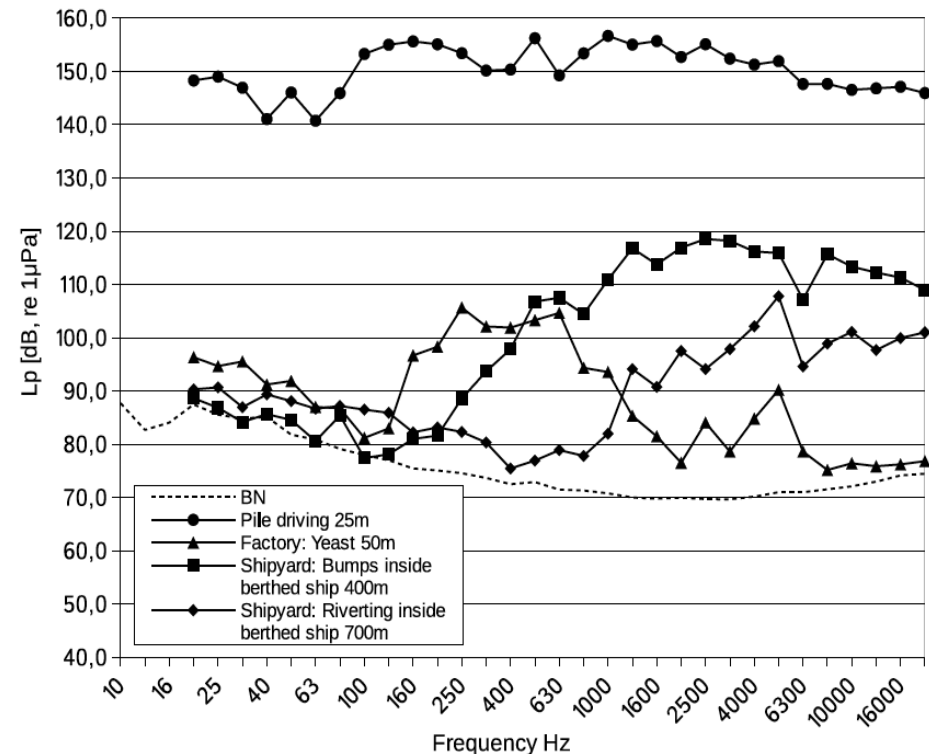
Naves medianas

ESPECTROS DE FRECUENCIA OBTENIDOS

ESPECTROS EN BANDA DE 1/3 DE OCTAVA – BANDAS CRÍTICAS



Naves grandes

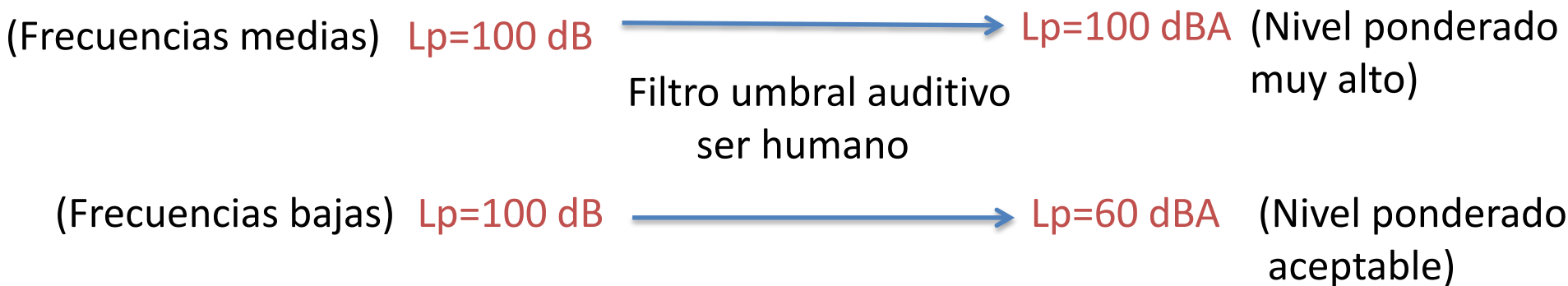


Fuentes fijas

IMPACTO ACÚSTICO

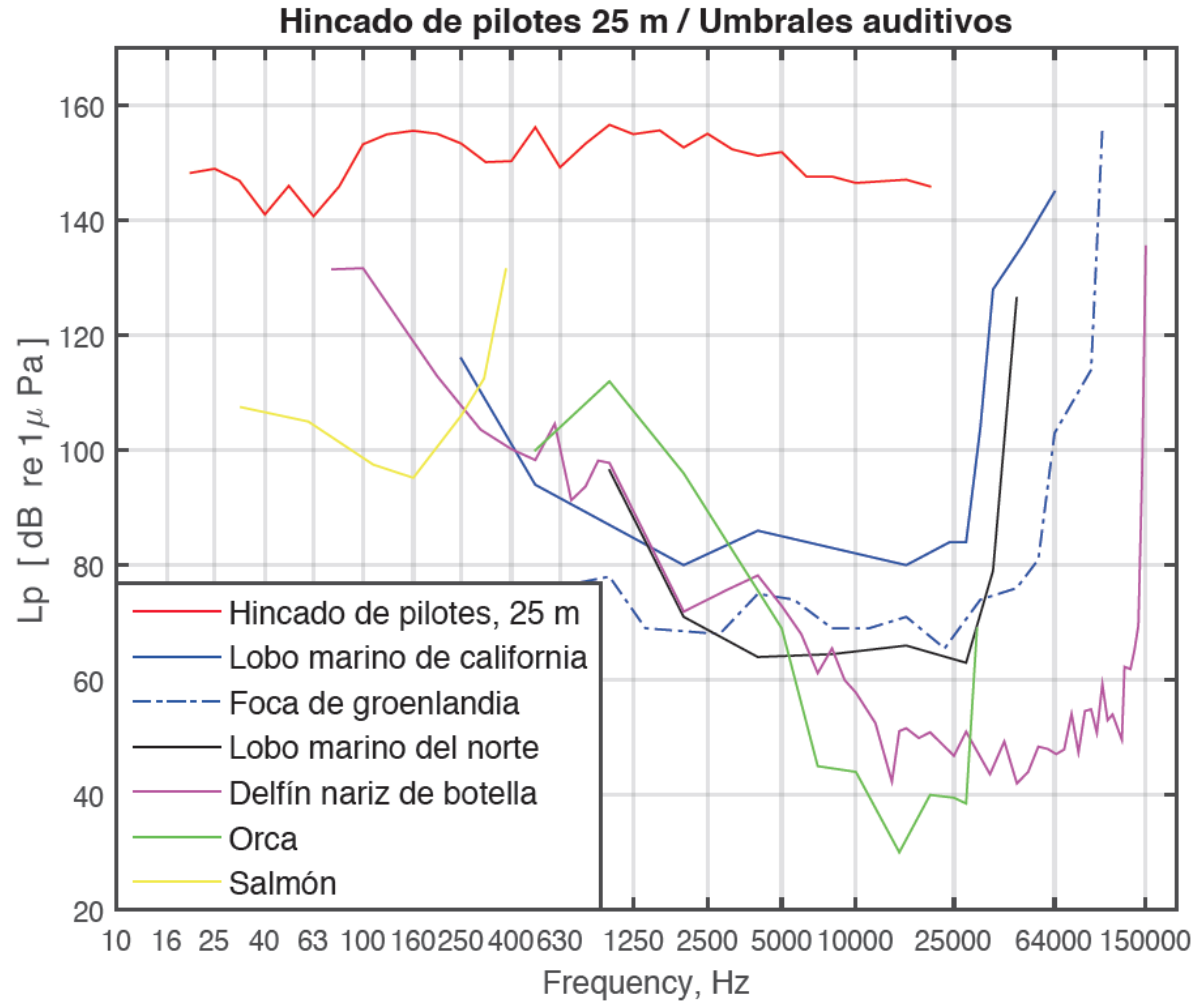
EXPOSICIÓN AL RUIDO

- Nivel de la fuente de ruido (Noise Source)
- Espectro de frecuencia del emisor en bandas de 1/3 de octava
- Umbral auditivo del receptor
- Modelo de propagación sonora seleccionado (aguas profundas, canal sonoro o aguas pocos profundas)



Niveles de 90 dBA por mas de 8 horas produce daño auditivo

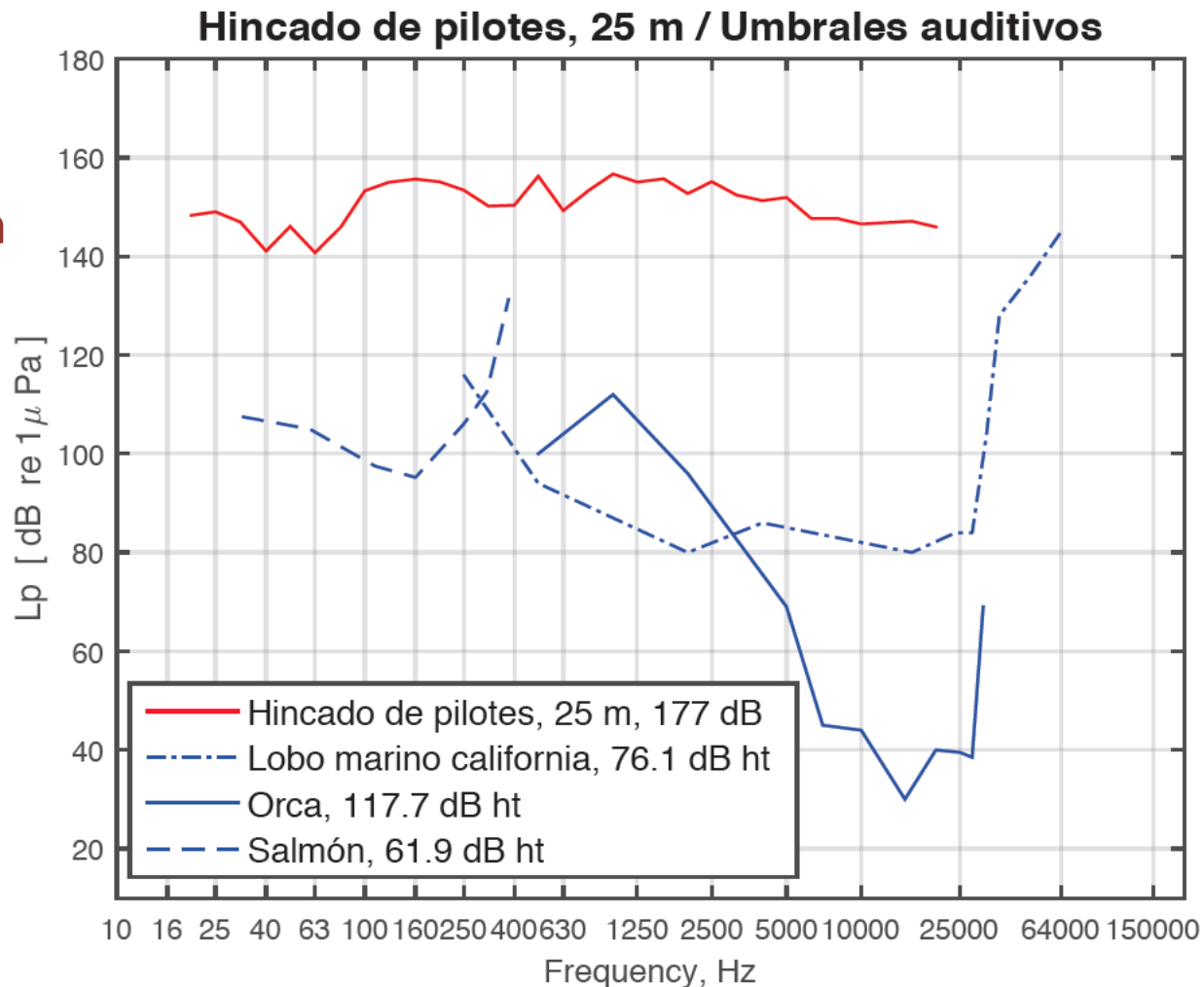
NIVEL PONDERADO dB ht (Species)



NIVEL PONDERADO dB ht (Species)

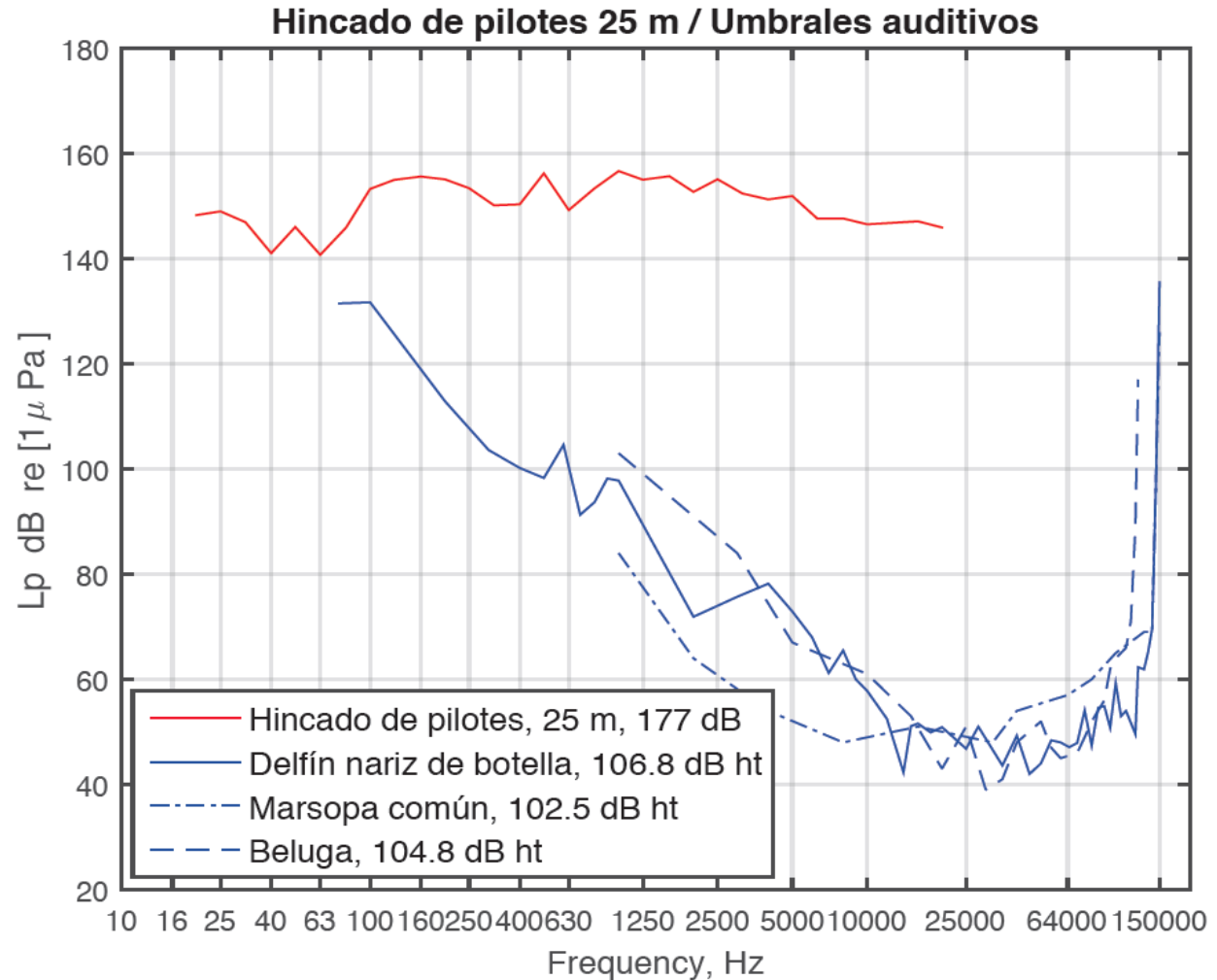
HINCADO DE PILOTES

Lp: 177 dB re 1 μ Pa a 25m



NIVEL PONDERADO dB ht (Species)

HINCADO DE PILOTES
Lp:177 dB re 1μPa a 25m



NIVEL PONDERADO dB ht (Species)

CRITERIOS DE EXPOSICIÓN dB ht

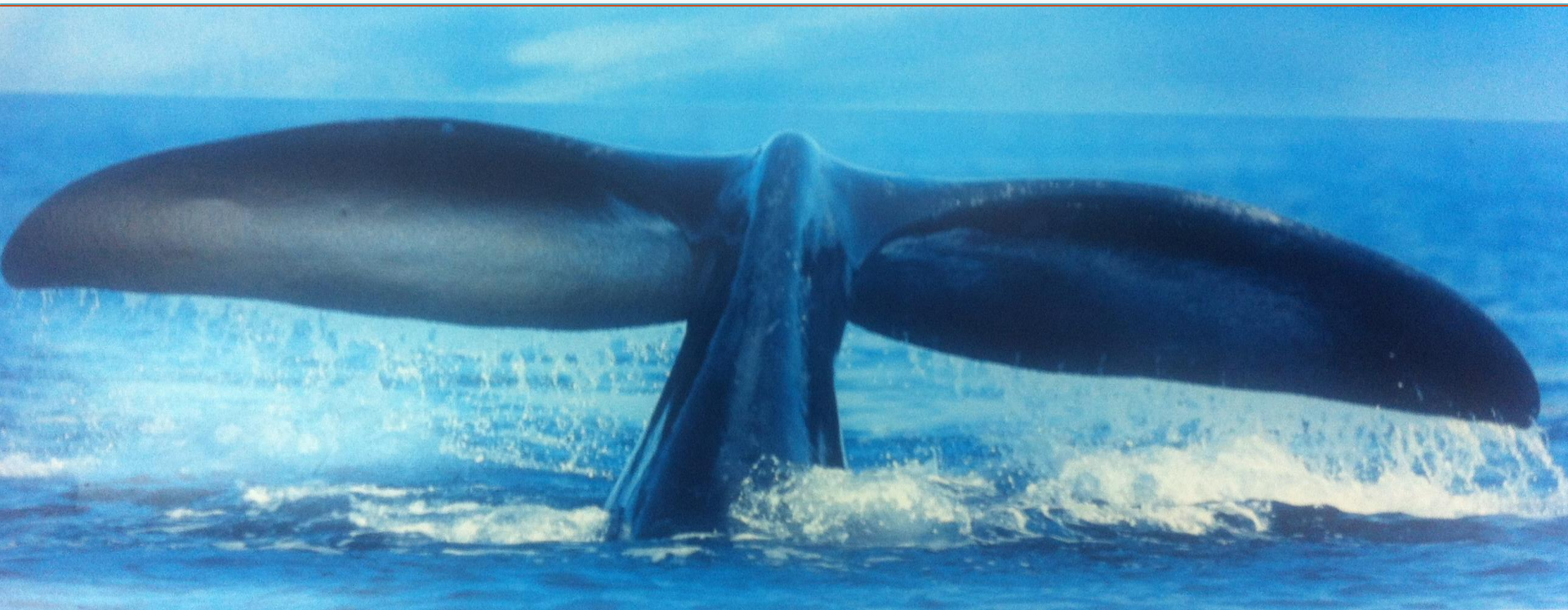
Level in dB _{ht} (Species)	Effect
Less than 0	None
0 to 50	Mild reaction in minority of individuals, probably not sustained
50 to 90	Stronger reaction by majority of individuals, but habituation may limit effect
90 and above	Strong avoidance reaction by virtually all individuals
Above 110	Tolerance limit of sound; unbearably loud
Above 130	Possibility of traumatic hearing damage from single event

ÁREA DE INFLUENCIA SEGÚN MODELO DE PROPAGACIÓN

Hincado de Pilotes L_p : 177 dB re [1 μ Pa] a r: 25 m						
Propagación Esférica 20 Log (r) (Agua Profunda)						
	70 dB ht	80 dB ht	90 dB ht	100 dB ht	110 dB ht	130 dB ht
Salmón	10 m	3 m	1 m			
Lobo marino	50 m	16 m	5 m	1,5 m		
Misticetos	700 m	230 m	71 m	23 m	7 m	< 1 m
Marsopa común	1100 m	350 m	110 m	35 m	11 m	1,1 m
Beluga	1380 m	440 m	138 m	44 m	14 m	1,4 m
Delfín nariz de botella	1740 m	550 m	174 m	55 m	17 m	1,7 m
Orca	6100 m	1900 m	610 m	190 m	60 m	6 m

Hincado de Pilotes L_p : 177 dB re [1 μ Pa] a r: 25 m						
Propagación Cilíndrica 10 Log (r) (Canal Sonoro)						
	70 dB ht	80 dB ht	90 dB ht	100 dB ht	110 dB ht	130 dB ht
Salmón	4 m	< 1 m				
Lobo marino	102 m	10,2 m	1 m			
Misticetos	20 Km	2000 m	200 m	20 m	2 m	
Marsopa común	55 Km	5000 m	500 m	50 m	5 m	< 1 m
Beluga	75 Km	7,5 Km	750 m	75 m	7,5 m	< 1 m
Delfín nariz de botella	120 Km	12 Km	1200 m	120 m	12 m	< 1 m
Orca	1500 Km	150 Km	15 Km	1500 m	150 m	1,5 m

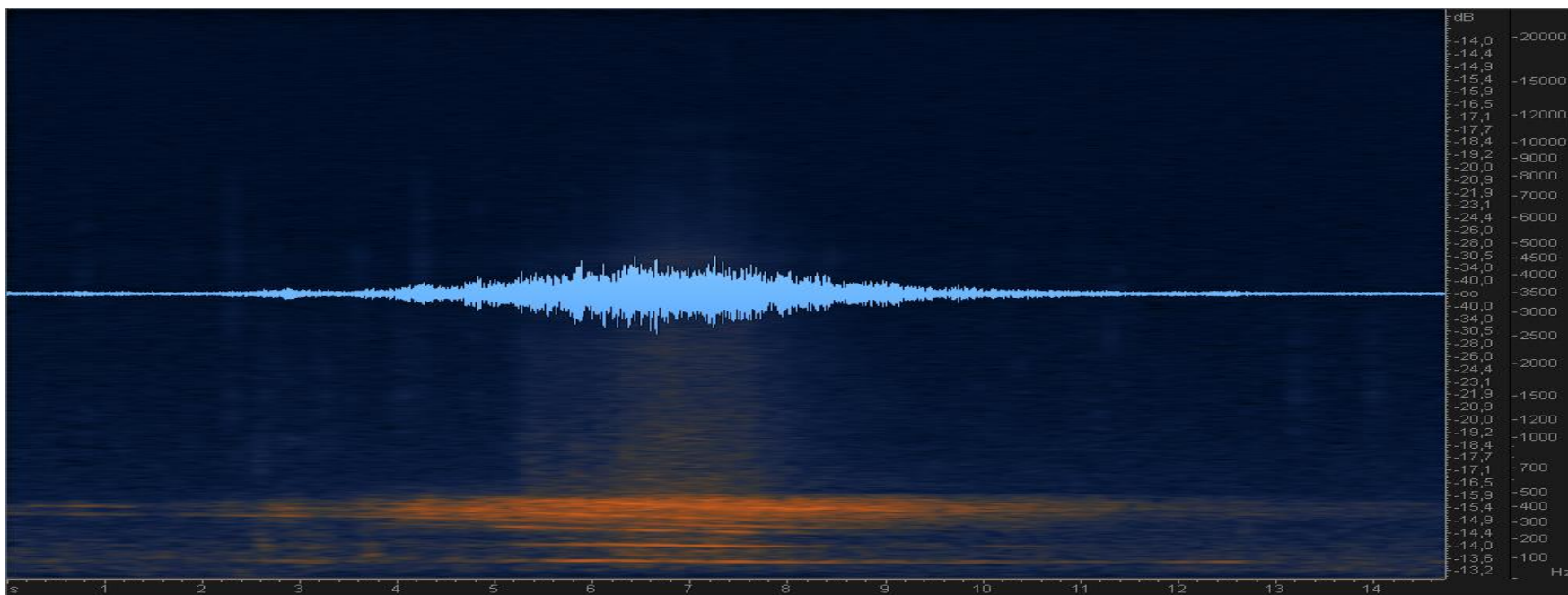
- La medición del ruido subacuático es compleja debido a los altos niveles de ruido de fondo existentes y a los ruidos mecánicos e hidrodinámicos producto del montaje.
- El área de afectación en torno a una fuente de ruido depende básicamente de cuatro factores: Nivel sonoro de la fuente, espectro de frecuencia de fuente, modelo de propagación sonora escogido y respuesta auditiva del receptor.
- El sistema auditivo de los mamíferos marinos y el hombre son fisiológicamente similares, con diferencias principalmente en el oído externo en el caso de los cetáceos. (También algunos peces)
- Debido a esta similitud física y de funcionamiento tiene sentido considerar niveles ponderados dB ht para su protección y un criterio de 90 dB ht como nivel máximo de exposición aceptable.



MUCHAS GRACIAS

MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

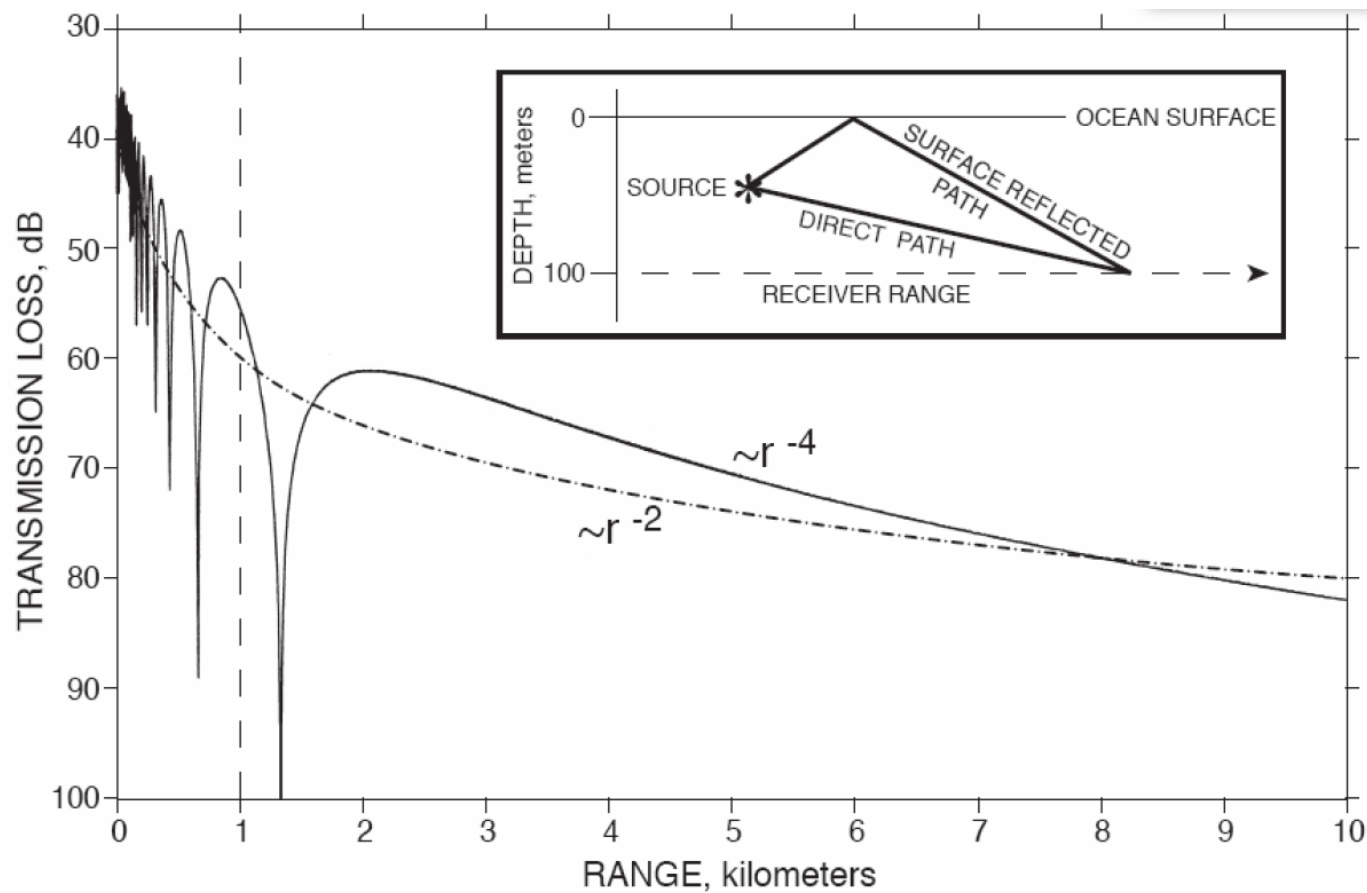
PASO AVIÓN BIMOTOR A 100 m



$L_{p_{\text{agua}}}$: 119 dB, [re. 1 μ Pa]

MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

EFFECTO LLOYD'S O CANCELACIÓN



NIVELES DE RUIDO OBTENIDOS – BASE DE DATOS

<i>Vessel name</i>	<i>L_{eq}, dB re.1μPa</i>	<i>L_{peak}, dB re.1μPa</i>	<i>L_{p,1m}, dB re.1μPa</i>	<i>L_{peak}, dB re.1μPa</i>	<i>L_{eq}, dB re.20μPa</i>	<i>L_{eq}, dBA re.20μPa</i>
Reina Sofia:	124.9 (150)	126.5 (150)	157.5	159.1	61.5 (150)	56.2 (150)
Bahia Princesa:	128.2 (20)	131.8 (20)	147.7	151.3	58.2 (20)	49.9 (20)
Marquez de Mancera:	127.6 (250)	129.9 (250)	163.6	165.9		
Dredger E. Pinto: (againts the tide)	156 (150)	157.7 (150)	188.6	190.3		
Dredger E. Pinto: (sailing downstream)	144 (25)	146.8 (25)	165	167.8	67.9 (25)	55.8 (25)
Dredger E. Pinto: (ralenti)	133 (25)	140.2 (25)	154	161.2	67.1 (25)	55.2 (25)
Patagon VIII: (docked/accelereted)	133.5 (20)	136.2 (20)	153	155.7	64 (20)	52.1 (20)
Ferry Cullamo: (sailing downstream)	126.7 (100)	129.2 (100)	156.7	159.2	62.5 (100)	53.4 (100)
Ferry Cullamo: (againts the tide)	147.9 (100)	150.9 (100)	177.9	180.9		
Neptuno:	119.6 (70)	121.3 (70)	147.3	149	65 (70)	52.6 (70)

NIVELES DE RUIDO OBTENIDOS – BASE DE DATOS

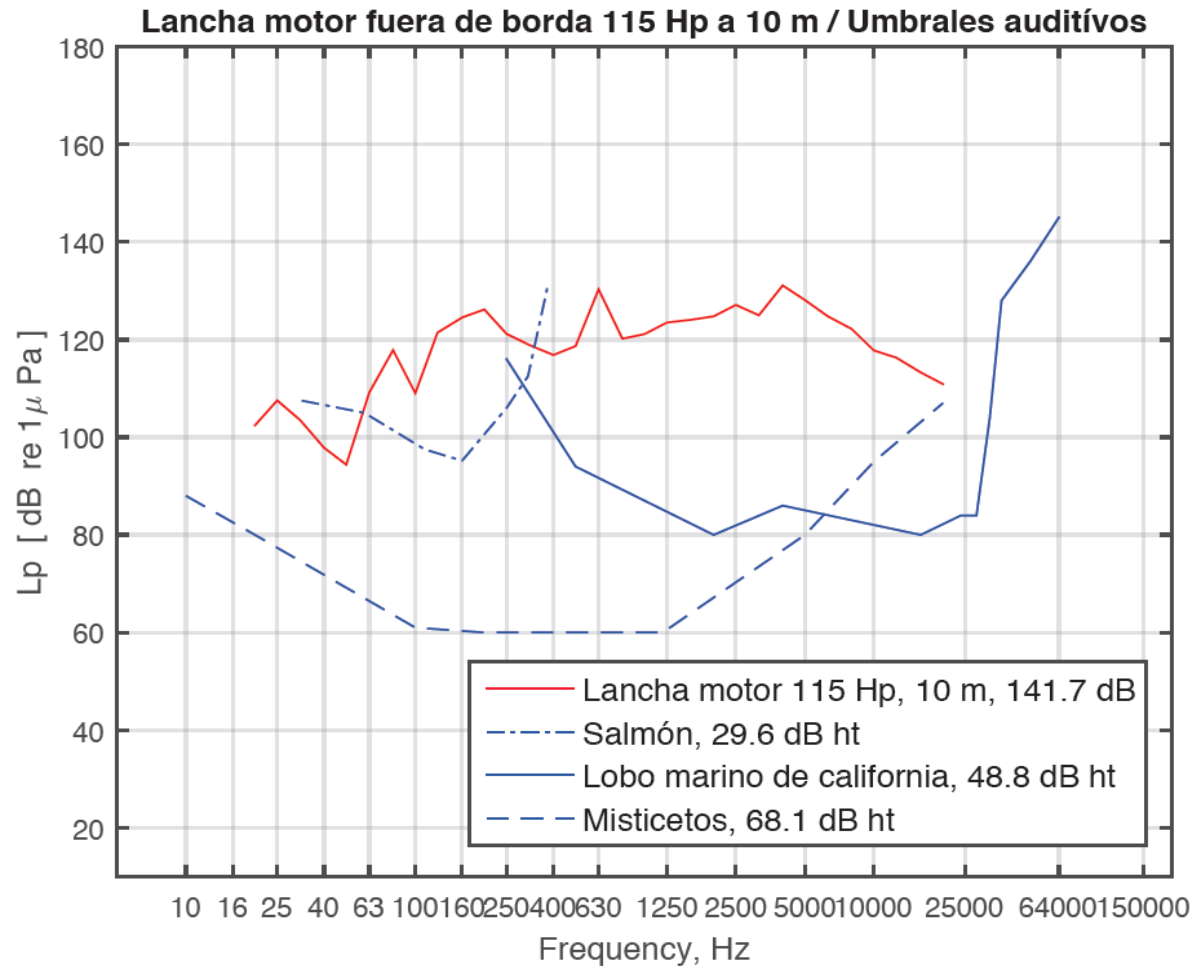
Activity	L_{eq}, dB re.1 μPa	L_{peak}, dB re.1 μPa	$L_{p,1m}, dB$ re.1 μPa	L_{peak}, dB re.1 μPa	L_{eq}, dB re.20 μPa	L_{eq}, dBA re.20 μPa
Shipyard: Riveting inside a berthed ship.	104.7 (550)	111.5 (550)	145.8	152.6	53.6 (550)	47.3 (550)
Shipyard: Metallic bumps inside berthed ship.	108.1 (400)	123.8 (400)	147.1	162.8	63.5 (400)	55.3 (400)
Quarry: Dozer loading stones	91 (150)	96 (150)	123.6	128.6	66 (150)	58 (150)
Factory: Yeast	100 (140)		132.2		75.3 (140)	64.9 (140)
Factory: Yeast	103 (95)		132.7		76.5 (95)	65.3 (95)
Factory: Yeast	106.4 (50)		131.9		78.5 (50)	66.8 (50)
Dock: Piles driving 61 cm in diameter.		162 (225)		197.3	100 (225)	
Dock: Piles driving 61 cm in diameter.		177 (25)		198	120 (25)	

EFFECTOS DE LA EXPOSICIÓN AL RUIDO SUBACUÁTICO

- Cambios de comportamiento de diferentes magnitudes (alimentación, descanso, respiración, evasión, huida, etc.).
- Enmascaramiento que no permite la detección de sonidos importantes.
 - La mayoría de los mamíferos marinos usan el **sonido y no la luz**, para “ver”, navegar, comunicarse y explorar su entorno.
- Cambio temporal del umbral auditivo.
- Cambio permanente del umbral auditivo , desorientación, lesiones no auditivas (embolia), muerte.

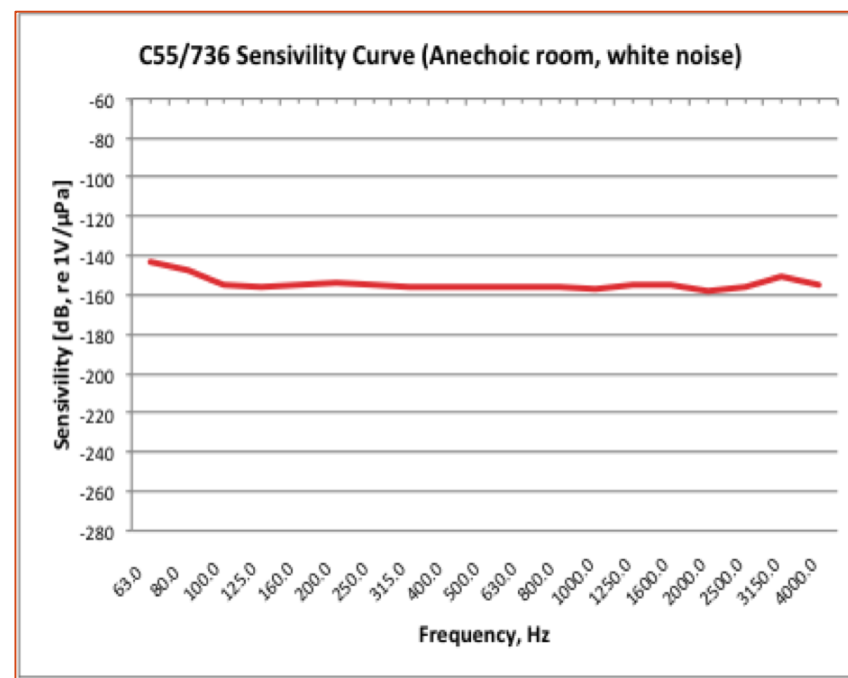
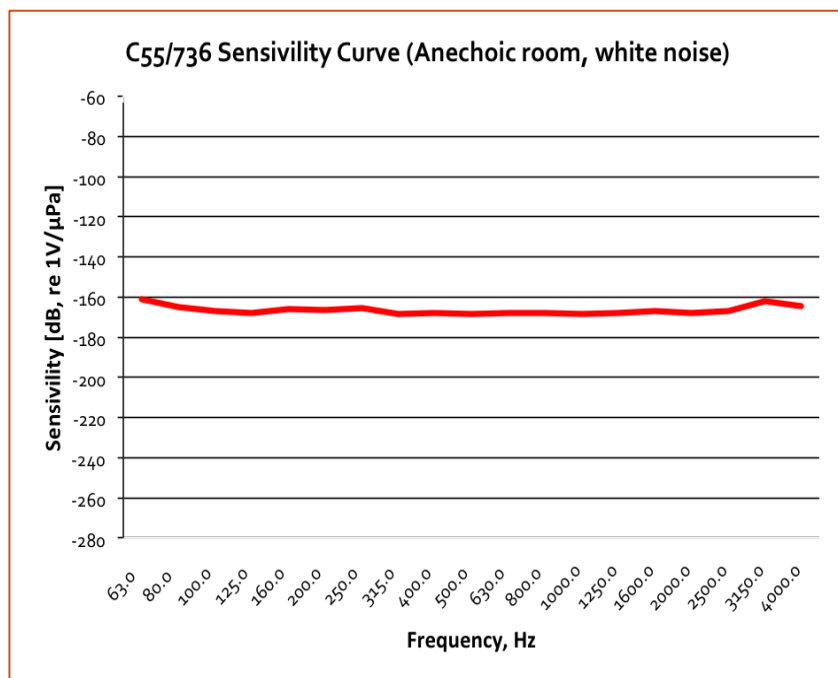
NIVEL PONDERADO dB ht (Species)

LANCHA 115 HP
141.7 dB re $1\mu\text{Pa}$ a 10m



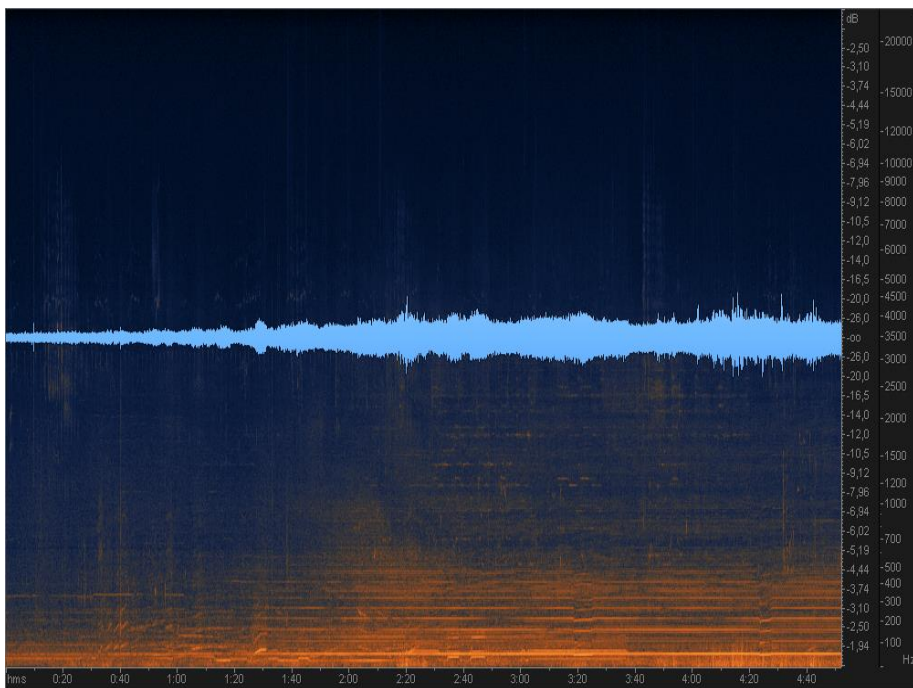
CALIBRACIÓN SISTEMA HIDRÓFONO GRABADOR

MEDICIÓN DE CURVAS DE SENSIBILIDAD

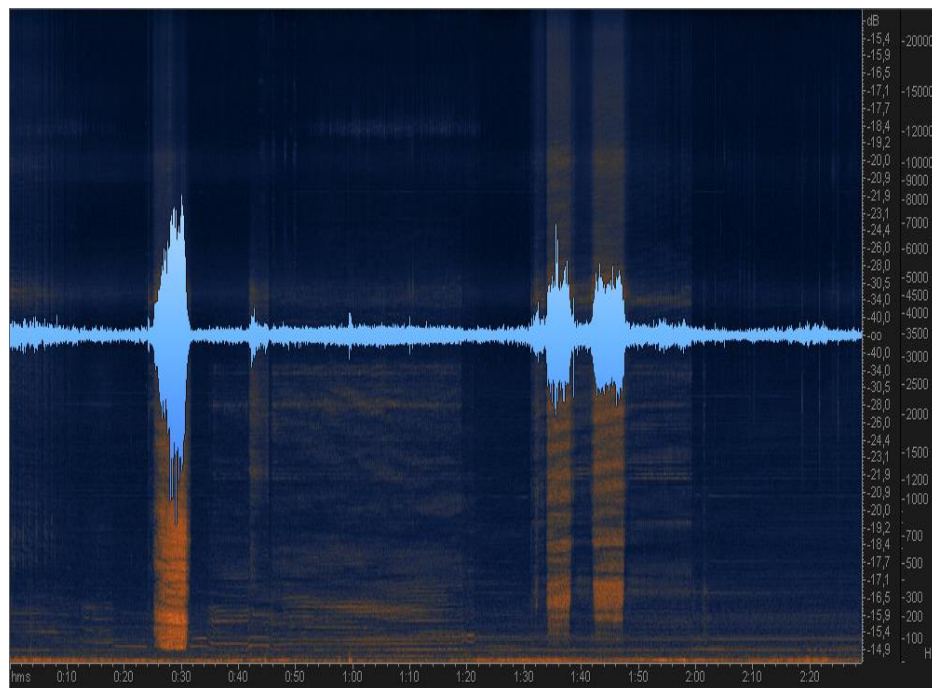


MEDICIONES FUENTES DE RUIDO

BARCO PESQUERO 250 HP RECALANDO A 10 m



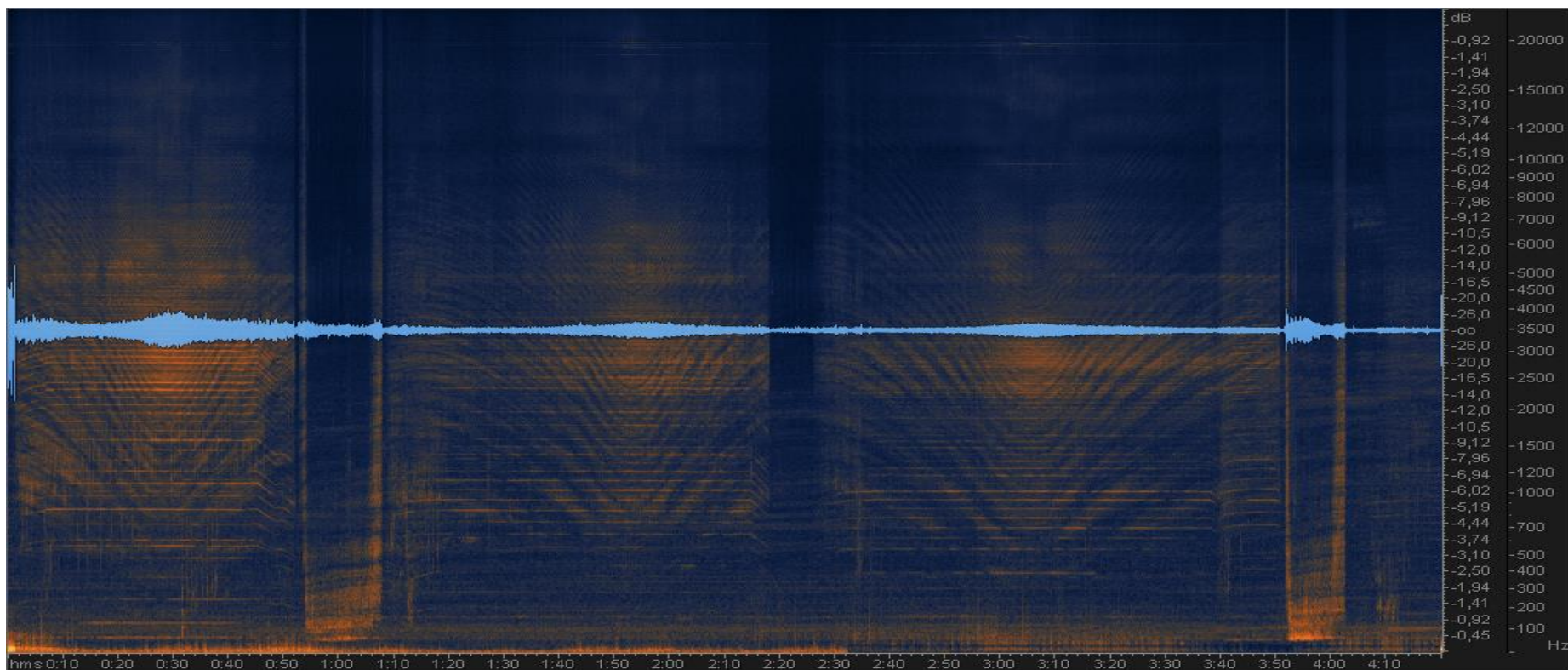
$L_{p_{\text{aire}}}$: 53.3 dBA, [re. 20 μ Pa]



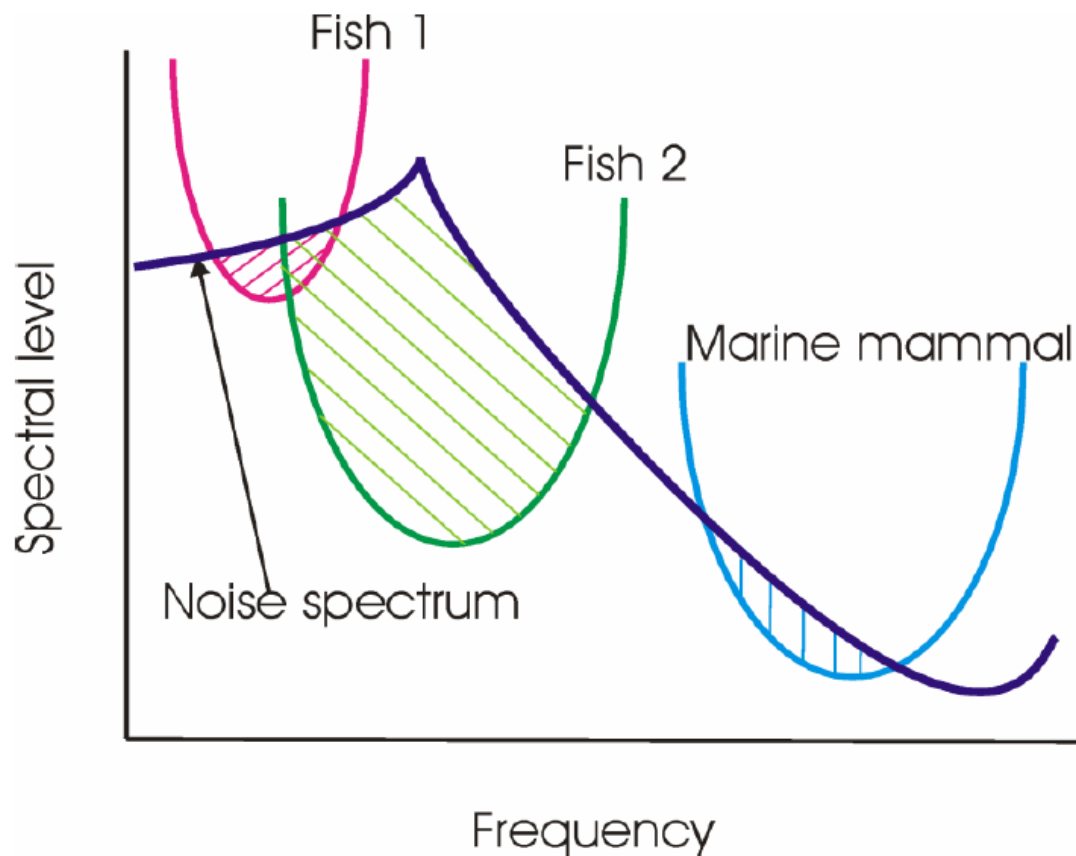
$L_{p_{\text{agua}}}$: 125 dB, [re. 1 μ Pa]

MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

EFFECTO LLOYD'S O CANCELACIÓN



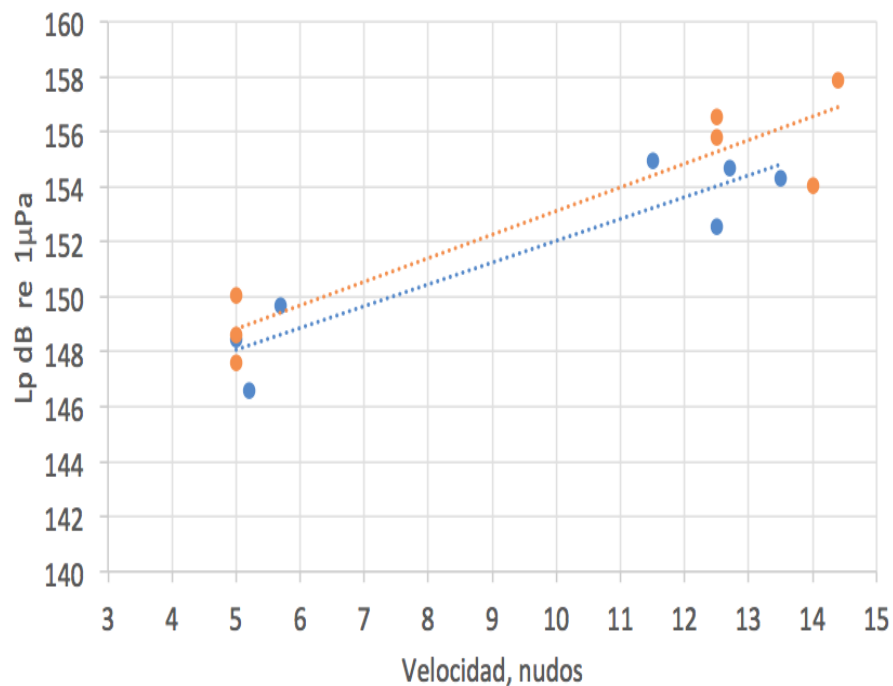
PERCEPCIÓN Y EXPOSICIÓN AL RUIDO



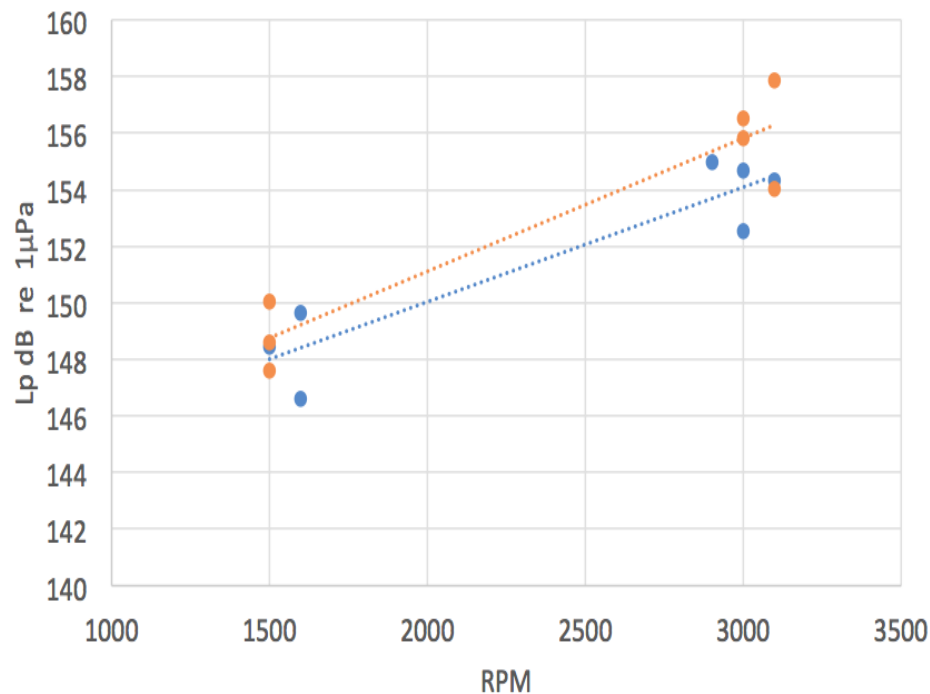
MEDICIÓN DE FUENTES DE RUIDO

LANCHA 1 MOTOR FUERA DE BORDA 150 HP

Nivel de Ruido Subacuático
Embarcación 150 Hp



Nivel de Ruido Subacuático
Embarcación 150 Hp



NIVEL PONDERADO dB ht (Species)

LANCHA 115 HP
141.7 dB re $1\mu\text{Pa}$ a 10m

