

# Datos “BATY” de interés en acústica oceanográfica. Tratamiento previo a su uso como parámetros útiles en caracterización marina zonal

Carlos Ranz Guerra  
Laboratorio de Hidroacústica  
Departamento de Acústica Ambiental  
Instituto de Acústica. CSIC. Madrid  
C/ Serrano 144. 28006. MADRID  
e-mail: iacrg32@ia.cetef.csic.es

PACS: 43.30 Es, 43.30 Pc, 43.30 Qd

## Resumen

En este trabajo se presentan los resultados de los tratamientos previos a los que se han de someter las trazas baticerimétricas,  $c(z)$ , o batitérmicas  $T(z)$ , en el mar, en aquellos formatos que se manejan en Hidroacústica. El interés reside en que una vez tratadas, esta información puede ser empleada de manera sencilla para el conocimiento de parámetros imprescindibles en la estimación de algunos aspectos, entre otros, el del clima de la zona. Bajo un punto de vista acústico la traza  $c(z)$ , o variación del sonido con la profundidad marina es el dato que más influye en la propagación sonora en el oceano; por otra parte la inversión de estos datos para evaluar la traza  $T(z)$ , y viceversa, permite obtener informaciones, como la referente a la Capa de Mezcla Superficial u otras más (hasta trece) que tiene un indiscutible valor oceanográfico acústico y climatológico.

Palabras clave: Baticerimetría, Batitermia, Sonar, Propagación Sonora Marina, Clima Local, Estabilidad Oceánica.

## Abstract

This paper presents the previous treatments applied on the typical batycelerimetric and or batithermic traces,  $c(z)$

and  $T(z)$ , respectively, in the way are used for hidroacoustic purposes. The aim of the work lies in the fact that once the traces are treated, the information obtained can be used, in a simple way, to estimate some of the parameters whose knowledge is most helpful in getting reliable data for a better information, among other aspects, on the area climate. Under an acoustic point of view the trace  $c(z)$ , or the variation of the sound speed with the sea depth is the most important datum to estimate the sound acoustic propagation range; on the other hand while inverting all these data to get the  $T(z)$  trace, the information on other parameters (up to thirteen) such as the Upper Boundary Layer or Mixing Layer, can have a highly oceanographical, acoustical and climatological added value.

Key words: Batycelerimetric, Batythermie, Sonar, Marine Sound Propagation, Local Climate, Oceanic Stability

## 1. Introducción

Se pretende presentar el tipo de tratamiento que sufre una cierta clase de datos interesantes en la Acústica Oceanográfica. Este interés reside no sólo en el uso que se hace de ellos, en la propagación acústica en el oceano, sino también en el apoyo que surge de ciertos datos básicamente acústicos en la estimación de parámetros importantes en el campo oceanográfico y meteorológico.

Se parte de unos datos en bruto como pueden ser un simple listado de profundidades y velocidades del sonido, NUSC (1980). Existe una gran heterogeneidad en el tipo de datos primigenios; así por ejemplo, las velocidades pueden venir en m/s, en km/s, o bien en pies/s, mientras que las profundidades pueden también venir dadas en m, en km, en pies, e incluso en fathoms (un fathom equivale a una braza aproximadamente).

Se pretende preparar estos datos y si fuera necesario guardarlos en una base de datos. En relación con la actividad que se analiza, se ha desarrollado un software que comentaremos el en apartado 2 de este trabajo.

En general los datos que interesan al acústico son básicamente aquellos que vienen en forma de pares de valores: profundidad/velocidad de sonido y así lo han entendido muchos centros fuente de información oceanográfica. La Base de Datos de que se dispone fue cedida, en su momento, al autor después de una visita al NUSC en 1982. En esa época aquella BD era, bajo el punto de vista del Sonar, la única existente que comprendiera, de una manera sistemática, todo el mar Mediterraneo y especialmente la zona afecta a España. Hoy en día existe una base de datos mucho más extensa de carácter civil de fácil acceso, MEDATLAS, (1997).

En un tercer apartado se presenta toda la información de interés oceanográfico, identificando cada uno de los parámetros, mostrando algunos datos típicos significativos y característicos, seguido de un apartado en el que se enumeran algunos resultados.

Unas conclusiones vienen a continuación. La exposición se cierra con una lista de trabajos a los que se hace referencia y que han servido para llevarlo a cabo.

## 2. Tratamiento de la base de datos de partida

Como ya hemos dicho más arriba, la información más usual que puede leerse en ciertas recopilaciones o Atlas de interés en Acústica Submarina, (Oceanographic Atlas, 1967), es la que consiste en una mera traza batimétrica, figura 1, un simple listado de profundidades y velocidades del sonido, Tabla 1, o una combinación de ambas.

Con frecuencia se introducen otras variantes referidas al tipo de unidades de medida empleadas; por ejemplo en la Tabla 1 la unidad de longitud (profundidad) es el km, y la de velocidad el km/s. Es necesario reducir estas variables al menor número posible de ellas.

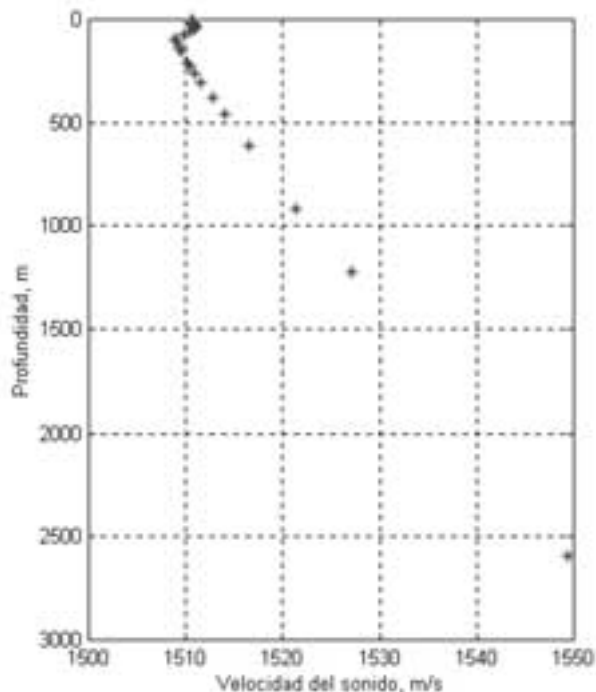


Figura 1. Traza Batimétrica típica.

Se han desarrollado varios códigos, RANZ (2001), en un entorno típico muy utilizado, como es el MATLAB. Los códigos realizan estas funciones de una manera rápida en los que es el operador quien decide el tipo de unidades en que quiere que se desarrolle el tratamiento de los datos en bruto (perfil de partida):

Tabla 1. DATOS TÍPICOS DE UNA TRAZA	
Z(km)	v(km/s)
0	1.5091
0.0152	1.5094
0.0183	1.5094
0.0274	1.5096
0.0305	1.5096
0.0381	1.5097
0.0458	1.5099
0.0610	1.5101
0.0762	1.5104
0.0946	1.5106
0.1068	1.5108
0.1372	1.5113
0.1525	1.5110
0.2135	1.5098
0.2288	1.5100
0.2592	1.5104
0.3050	1.5113
0.3812	1.5128
0.4575	1.5140
0.6100	1.5165
0.9150	1.5213

- m, m/s
- pies, pies/s
- m, grados Centígrados
- pies, grados Fahrenheit

Las dos últimas opciones son, con frecuencia, un método típico de presentar la traza de velocidad ya que el paso de temperatura del agua a velocidad del sonido es una de las relaciones mejor estudiadas, URICK (1983). De hecho una gran parte de los datos pertinentes a la propagación acústica pueden tomarse prestados de las traza batimétricas que existen en prácticamente todas las bases de datos.

Toda vez que se manipula la traza es importante presentar como resultados las cuatro posibles versiones que hemos visto más arriba además de las profundidades en las unidades más

usuales y los gradientes de velocidad. Por lo tanto en el supuesto de que los datos de partida vengan en pies y en pies/s, los resultados que se almacenan en la base de datos deberán comprender la profundidad en m, la velocidad en m/s, el gradiente en (m/s)/m, en grados C y en grados F, además de los datos de partida en pies y pies/s. El paso final es englobar todos los datos referentes a una zona marítima y a todo un periodo de tiempo en una sola matriz. Esto es básico para poder con una sola llamada a la memoria del sistema de cálculo poder tener a mano toda la información referida al espacio de tiempo que nos interesa y en los intervalos más útiles al trabajo (por ejemplo datos mensuales, o datos semanales extrapolados o datos semanales reales, etc..).

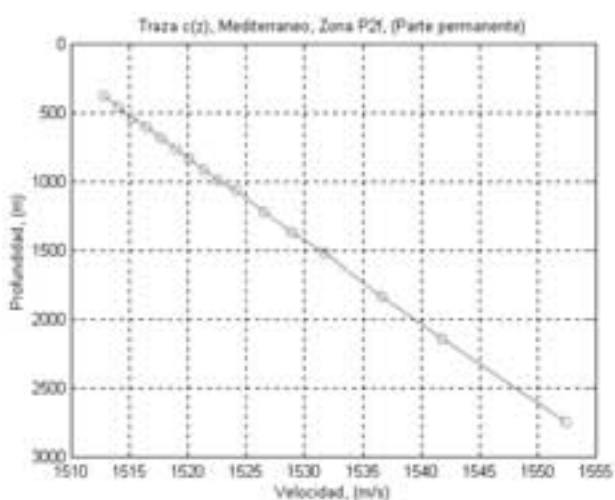


Figura 2. Traza Baticerimétrica típica. mediterraneo. Zona P2f. La figura representa la parte invariable de la traza. Los círculos son los puntos-dato de la base de datos NUSC (1982).

Como aplicación de todo lo anterior, presentamos los resultados de utilizar este tratamiento con los datos correspondientes a una zona marítima mediterránea. Esta zona conocida en términos acústicos como la P2f, tiene forma de un cuadrilátero irregular cuya base se extiende desde el Norte de Menorca al NO de Cerdeña, desde allí otro lado se extiende en dirección a Génova hasta el N de Córcega; desde allí el lado superior del cuadrilátero se dirige hacia el Cabo Creus para volver otra vez al N de Menorca y cerrar la zona, figura 4. La profundidad máxima promedio es, en esta zona marina, del orden de 9000 pies. La información que se dispone de esta zona contempla la traza dividida en dos partes: a) aguas poco profundas, hasta los 1000 pies, y b) aguas profundas, que muestra una zona estable de velocidad sonora, y que se extiende hasta los 9000 pies de promedio. La traza  $c(z)$  estable se evalúa en primer lugar al ser un resultado que será requerido añadir a la zona variable de la traza y que corresponderá a las denominadas aguas poco profundas. La zona estable proporcionaba como datos de interés las profundidades y velocidades de la tabla 2, NUSC (1980). La representación gráfica de esta parte de la traza baticerimétrica es la que aparece en la figura 2 con las velocidades en m/s y las profundidades en m.

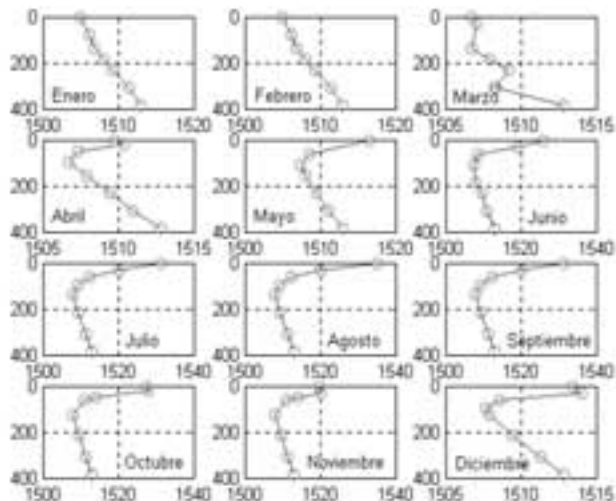


Figura 3. parte variable de la traza  $c(z)$  correspondiente a cada mes. Datos históricos. Zona Mediterranea P2f. las abcisas son velocidades en m/s y las ordenadas son profundidades en m.

La figura 3, representa las doce trazas  $c(z)$  correspondientes a cada mes del año en la parte que corresponde a las sondas más someras en las que la velocidad cambia debido a efectos muy variados: radiación solar y viento entre los principales. A estas trazas hay que añadir la traza de la figura 2 que es la parte permanente correspondiente a la zona P2f del Mediterráneo. El programa de tratamiento hace posible que todos los datos anuales puedan ser agrupados en una sola matriz. Así para la lectura de los datos correspondientes a cada mes aparecen como grupos de 23 elementos cada uno, en el caso que nos ocupa, y que coincide con las 23 profundidades de las que se tienen datos en la BD, o sea, las 23 primeras filas corresponden a Enero, de la fila

Tabla 2. TRAZA  $c(z)$ , ZONA p2f, DICIEMBRE  
Traza Permanente

Profundidad (pies)	Velocidad (pies/s)
1250	4980
1500	4964
1750	4968
2000	4972
2250	4976
2500	4980
2750	4984
3000	4988
3250	4992
3500	4997
4000	5005
4500	5013
5000	5022
6000	5038
7000	5055
9000	5090

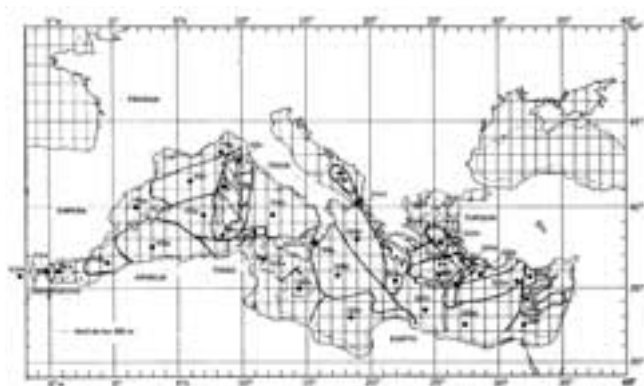


Figura 4. División del Mediterraneo en zonas de cualidades batimétricas similares.

24 a la 46 aparecen los datos de Febrero, y así sucesivamente en bloques de 23 filas (profundidades) consecutivas. Cuando se estudia otra zona, por ejemplo la P3a, figura 4, la matriz correspondiente no tiene necesariamente, que presentar el mismo número de filas (profundidades) que la P2f o cualquier otra. El código desarrollado considera esa eventualidad y es capaz de extraer la traza correspondiente a cualquier mes. Esa matriz la p2f (por ejemplo), almacenada con ese nombre la distinguirá de la de otras zonas como las P2a, P2b,....., hasta la P2 g, figura 4. Para completar el Mediterraneo Occidental se han incluido también las P3a-d y las P4a-c. Las zonas P3e y P4d al situarse en el Adriático no se consideran aguas de interés español directo.

### 3. Otros aspectos complementarios de la base de datos

Al mismo tiempo que se van extrayendo las trazas correspondientes a cada uno de los meses, estas trazas pueden proporcionar unos primeros datos complementarios de bastante interés.

Posiblemente un primer conjunto de datos son los que forman las trazas batimétricas. Este software invierte los datos de modo que una vez dada la velocidad de propagación sonora se puede proporcionar la traza batimétrica, o sea el par de datos: profundidad (en m, o en pies) y la temperatura (en grados Celsius o en escala Fahrenheit); el único dato exterior que hay que añadir explícitamente es la Salinidad en 0/00. La inversa también es cierta. Se puede partir de una traza batimétrica, por otro lado lo más usual, y pasar directamente a la traza  $c(z)$ . Los batimógrafos son instrumentos más utilizados por su mayor simplicidad que los batimétricos, más complejos y costosos. Los batimógrafos son, en muchos casos instrumentos prescindibles y por lo tanto de un solo uso, mientras que los batimétricos no lo son, y son instrumentos con un alto grado de permanencia.

La figura 5, muestra gráficamente unos resultados de la inversión, obtenidos al evaluar una traza  $c(z)$ , donde aparece

junto a la batimetría, la traza de temperatura (grados centígrados versus profundidad en m), así como el gradiente de velocidad o si se quisiera el gradiente térmico, dato muy útil bajo el punto de vista oceanográfico.

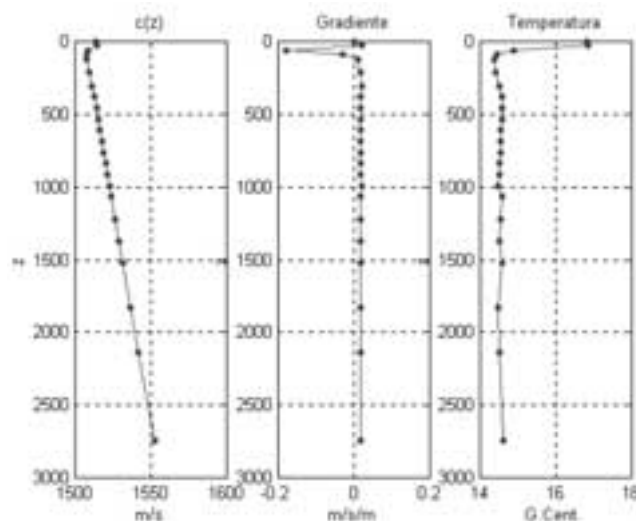


Figura 5. Resultados de invertir el dato  $c(z)$ , obteniéndose el gradiente de velocidad y la traza batimétrica. Mediterraneo, Zona P2f. Diciembre.

Como dato final la traza batimétrica, frente a la propagación acústica (propagación sonar) y frente a ciertos parámetros oceanográficos puede proporcionar más información de interés. Así por ejemplo en cualquier traza es importante conocer si hay Capa de Mezcla Superficial, y si existe, qué profundidad tiene, cual es la temperatura en la base y los gradientes a un lado y otro de esta; interesa saber si existe CSP (Canal Sonoro Profundo), donde está situado su eje, cual es su apertura y donde se sitúan las profundidades que lo definen, etc... Todos estos datos los proporciona el código que presentamos. La tabla 3 es una recopilación de los datos que se pueden extraer de cualquier traza, en este caso referida a la traza que ya aparecía en la figura 5, (Diciembre, zona P2f).

Una vez obtenida toda esta información, la traza está preparada para ser procesada.

### 4. Resultados

Una vez la traza esta estructurada como se ha descrito más arriba, el operador puede procesarla de manera que sea factible extrapolar y obtener la traza "media" que se puede deducir de los datos históricos y que corresponda a un día cualquiera del año, RANZ y SOLER, (1996). Este dato junto con los datos reales acerca de las condiciones meteo locales permite extrapolar y calcular la traza prevista a diversos plazos: usualmente 12 h, 24 h, 48 h y una semana. Lógicamente si se parte de los datos históricos de la SST, figura 6, la mayor nubosidad real y prevista permite eva-

Tabla 3. DATOS DIRECTAMENTE OBTENIBLES DE UNA TRAZA  $c(z)$

PAR METRO	VALOR	UNIDADES
Velocidad en Superficie	1.5134e+003	m/s
Temperatura en Superficie, SST,	16.8	...C
Cota Eje Canal Profundo,CSP	91.5	m
Velocidad en el eje del CSP,	1.5076e+003	m/s
Magnitud del CSP	6.40	m/s
Profundidad Capa Superficial, CS	30.5	m
Velocidad máxima, en la "Capa"	1.5140e+003	m/s
Frecuencia de Corte en CS	1056	Hz
Gradiente de Temperatura en CS	0.0012	...C/30 m
Gradiente de Velocidad en CS	0.0200	m/s/30m
Gradiente de Temperatura bajo CS	-0.0638	...C/30 m
Gradiente de Velocidad bajo CS	-0.1800	m/s/30 m
Velocidad Sonido, Media.	1530	m/s

luar el intercambio térmico atmósfera-oceano. Los mecanismos de predicción de Capa Superior de Mezcla, CS, y los de la Termoclina, LACOMBE, (1972), SAINT-MARCOUX, (1974), DENMAN (1972), ayudan a conocer y predecir la "penetración" bidireccional de la energía térmica entre las capas externas del mar y las capas más próximas de la atmósfera. El conocimiento del régimen de vientos real y el previsto complementará los cálculos de una manera más eficaz. En general es un mecanismo muy similar al empleado en la predicción de la traza de la velocidad del sonido en el mar, SOLER y RANZ (1981).

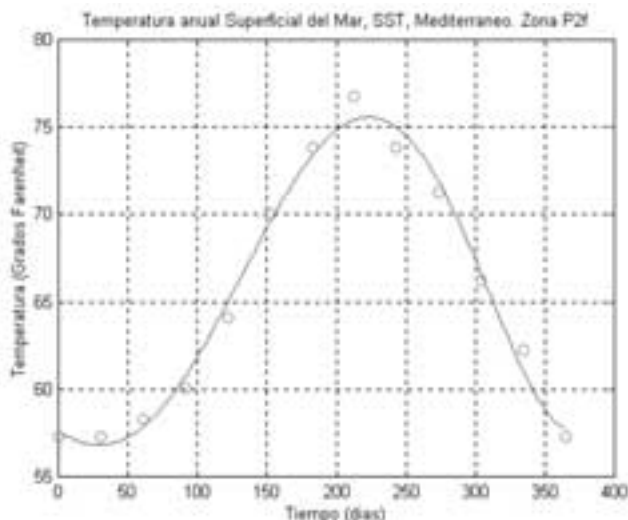


Figura 6. Variación de la SST (Temperatura superficial del mar) Zona p2f Med.

Algunos otros resultados pueden verse en la figura 7-a y 7-b en donde aparece la variación anual de la temperatura media de la columna de agua y la variación del gradiente de velocidad (temperatura) por debajo de la Capa de Mezcla, zona de alto interés pues es donde se inicia la Termoclina estacional. El primer ejemplo es significativo ya que en ese tipo de resultado está basada toda la tomografía acústica como modo de control, en tiempo real, de la temperatura del globo si la zona que abarca el experimento es tal que cubre al menos una cuenca oceánica. Los resultados se refieren en este caso a la zona p2b mediterránea. La curva continua en las figuras 6 y 7 son los resultados de ajuste polinomial por mínimos cuadrados; en los tres casos el polinomio era de 5° grado.

Otros resultados importantes pueden situarse alrededor del Canal Sonoro Profundo, Tabla 3, pues el mínimo de velocidad o eje del CSP está relacionado con la estabilidad de la columna de agua y a su vez es el punto óptimo de emisión acústica cuando se requiere obtener grandes alcances, de al menos cientos de km.

## 5. Resumen y conclusiones

Se ha podido demostrar que partiendo de una base de datos, generalmente de interés acústico, y mediante una manipulación previa, la misma base de datos pueda ser uti-

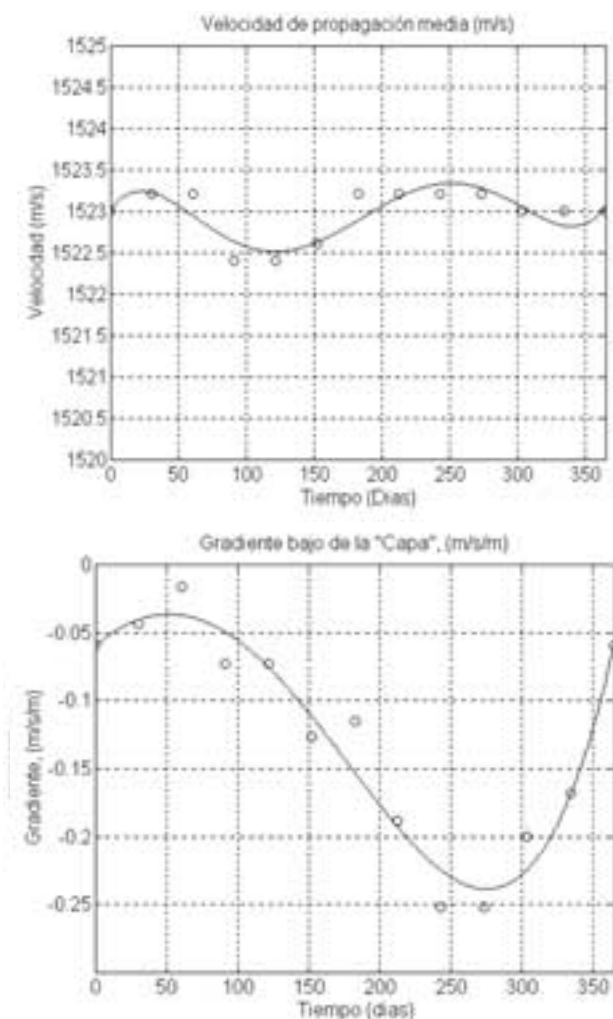


Figura 7. Variación anual de la velocidad media global de propagación del sonido y del gradiente de velocidad por bajo de la Capa de Mezcla (inicio de la Termoclina). Zona Mediterránea p2b.

lizable como base de partida en la estimación de variables no sólo acústica, sino también oceanográficas y climatológicas.

Aunque son numerosas los datos que se derivan de la estructura  $c(z)$ , presente en la base de datos, se concluye que una selección más limitada de aquellos parámetros ayudan a focalizar la información en cuatro entornos: la Superficie Atmósfera-Oceano como interfase de intercambio energético, la Capa de Mezcla Superficial (ligada a la Termoclina estacional), el Canal Sonoro Profundo, CSP, y la columna de agua como un todo.

El tratamiento pone en evidencia hechos como la constancia de la temperatura media de la columna de agua, o lo que es igual la constancia de la velocidad de propagación del sonido, con muy ligeras variaciones, así como la variación histórica de la Capa de Mezcla Superficial, entre otros efectos.

## 6. Referencias

1. DENMAN, K. L. "A time dependent model of the upper ocean". J. of the Physical Oceanography. Vol. , 2, pp173-184, 1973.
2. LACOMBE, H. "Sur un modèle simple de la thermocline saisonnière et sur sa prévision". CRAS. París, D, 275, pp: 2211-2214, 13 Nov. 1972.
3. MEDATLAS, "Mediterranean Hydrological Atlas". IFREMER. SISMER. 1997.
4. MUNK, W.H. et al. "Te Heard Island papers: A Contribution to Global Acoustics", J.A.S.A. 95 (4), pp 2327-2484, (1994)
5. MUNK, W.H. y FORBES, A.M.G., "Global Ocean Warming: An Acoustic Measure?", J. Phys. Oceanogr, 19, pp. 5633-5641, (1989). .
6. NUSC. "Sound Speed Profiles for the Mediterranean Sea". NUSC. New London. Connecticut. 1980.
7. RANZ, C. "Tratamiento de datos baticelerimétricos previo a la evaluación de parámetros oceanográficos". Memoria Interna. Instituto de Acústica, CSIC. Memoria AALH01. 2001.
8. RANZ, C., y SOLER, A. "Estimación de la traza baticelerimétrica correspondiente a cualquier momento del intervalo de tiempo en que se disponen de datos histórico-estadísticos". TECNIACÚSTICA. Barcelona. 1966.
9. SAINT-MARCOUX, C. "Etude de quelque modèles numeriques de thermocline". Museum National d' Histoire Naturelle-Laboratoire d' Oceanographie Physique. Paris. Julio. 1974.
10. SOLER, A., y RANZ, C. "Sea Sound profile prediction model" Paper 1,5. International simposium on Underwater Acoustics. Tel Aviv. Junio. 1981.
11. USNOO. "Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean. Part II. Physical Properties". USNOO. 1967.
12. USNOO, "Oceanographic Atlas of the North Atlantic Ocean. Part VI. Sound Velocity". USNOO. 1967.
13. URICK, R.J. "Principles of Underwater Sound", 3rd. Ed. MacGraw Hill Book Co., N.Y., pp: 111.116. 1983.