

# **INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL**

---

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD CULHUACAN

**“ACÚSTICA MARINA”**

## **T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PRESENTA:

MORA ROJAS AILEN ISEL



ASESORES:

ING. LUÍS GERADO SUCILLA

ING. SERGIO VAZQUEZ GRANADOS

**INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL  
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA  
UNIDAD CULHUACAN**

**TESINA**

QUE GENERA EL TITULO DE: INGENIERO EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA

POR LA OPCION DE TITULACION: SEMINARIO

DENOMINADO: TECNICAS DE GRABACION Y REPRODUCCION  
DEL SONIDO VIGENCIA FNS30697/11/2007

DEBERA DESARROLLAR: AILEN ISEL MORA ROJAS

**“ACUSTICA MARINA”**

**CAPITULADO**

- I. PROPIEDADES FISICAS DEL AGUA DE MAR
- II. LA TEMPERATURA EN EL MAR
- III. LUZ, CALOR Y LA TRANSPARENCIA EN EL OCEANO
- IV. PROPAGACION DEL SONIDO EN EL MAR
- V. SONIDO Y MAR
- VI. ACUSTICA SUBACUATICA
- VII. APLICACIONES
- VIII. DELFINOTERAPIA
- IX. INSTRUMENTOS DE MEDICION
- X. ESTUDIO ECONOMICO DE LA DELFINO TERAPIA

Fecha: México D.F. a 14 de Febrero de 2009

ASESORES:

---

ING. LUIS GERARDO HERNANDEZ  
SUCILLA

---

ING. SERGIO VAZQUEZ GRANADOS

---

ING. HECTOR BECERRIL MENDOZA  
JEFE DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRONICA

## INDICE

	<b>Pág.</b>
1. Introducción.....	4
2. Antecedentes teóricos.....	5
3. Justificación.....	9
4. Conceptos Básicos.....	10
5. Desarrollo.....	18
<b>Capítulo I.</b>	
5.1 Propiedades Físicas del agua de mar.....	18
5.1.2 Térmicas.....	19
5.1.3 Mecánicas.....	20
5.1.4 Eléctricas.....	21
5.1.5 Acústicas.....	21
5.1.6 Ópticas.....	22
5.1.7 Radiactivas.....	23
<b>Capítulo II.</b>	
5.2 La temperatura en el mar.....	24
<b>Capítulo III.</b>	
5.3 Luz el calor y la transparencia en el océano.....	29
<b>Capítulo IV.</b>	
5.4 Propagación del sonido en el mar.....	32
<b>Capítulo V.</b>	
5.5 Sonido y Mar.....	39

**Capitulo VI.**

5.6 Acústica Subacuática.....52

**Capitulo VII.**

5.7 Aplicaciones.....54

**Capitulo VIII.**

5.8 Delfino terapia.....63

**Capitulo IX.**

5.9 Instrumentos de Medición.....73

**Capitulo X.**

5.10 Estudio Económico de la Delfino Terapia.....78

Conclusiones.....80

Bibliografía.....81







## 1. INTRODUCCIÓN

Todo comenzó por estudiar el movimiento y sonido, como se ha investigado, todo movimiento es coesencial al sonido. Donde quiera que exista el movimiento, existe el sonido. El oído humano sólo logra percibir un limitado número de vibraciones sonoras (20 a 2000 Hz.), pero por encima y por debajo de estas vibraciones que el oído registra (ultrasonidos e Infrasonidos), existen múltiples ondas sonoras que ningún ser humano alcanza a percibir. Los peces del mar producen sus sonidos peculiares, las hormigas se comunican entre sí por sonidos inaudibles para nuestra percepción física. Las ondas sonoras al actuar sobre las aguas, producen movimientos de elevación y de presión en ellas; las ondas sonoras al actuar sobre el aire, producen movimientos concéntricos. Los átomos, al girar alrededor de sus centros nucleares, producen ciertos sonidos imperceptibles para el hombre. El fuego, el aire, el agua y la tierra, tienen sus notas sonoras particulares.

Nosotros nos enfocaremos al estudio de la acústica marina, es decir la propagación del sonido en el mar, Como ya sabemos en el agua se propaga el sonido y esto se estudio desde los tiempos de Aristóteles, los temas relacionados con la naturaleza y la propagación del sonido fueron muy estudiados por los filósofos y científicos, motivo por el cual nos enfocamos al estudio de la acústica marina.

Las primeras teorías relacionaban el sonido con el movimiento del aire.

Más adelante se reconoció que el sonido es una propagación de la deformación en los medios elásticos, idea que fue elaborada matemáticamente por Newton en 1687 y él mismo fue capaz de derivar la primera expresión teórica para la velocidad del sonido.

Esta formula tuvo que ser modificada en el año de 1738 cuando se tuvieron mas datos precisos sobre la velocidad del sonido en el aire.

Se tuvo que esperar casi un siglo para determinar la velocidad del sonido en el agua.

Es interesante como tuvo que pasar demasiado tiempo para realmente verificar que el sonido se propaga en el agua.



## 2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

A continuación se describe cronológicamente una serie de investigaciones básicas que nos han llevado a una mayor comprensión acerca de la acústica marina.

✓ **1490**

Leonardo da Vinci observa cómo el sonido de los barcos recorre grandes distancias por debajo del agua.

✓ **1687**

Sir Isaac Newton publica la primera teoría matemática de la propagación del sonido en *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

✓ **1826**

Se realizó un experimento por J.D. Colladon y J.C.F. Sturm en el lago de Ginebra. El experimento se realizó en la noche para evitar el ruido de los barcos y ver mejor la señal luminosa, el experimento consistió en usar dos barcos con los científicos a bordo donde se ubicaban a una distancia de 13,487 metros.

El primer barco (Fig. 1) tenía puesta bajo el agua una campana grande (cuya masa era de casi 60Kg) junto con un martillo que la pudo hacer sonar. En el momento en que el martillo pegaba a la campana mediante un mecanismo mecánico, se encendía algo de polvorín en el barco emitiendo una señal luminosa.

En el segundo barco, la llegada del sonido que viajó en el agua se pudo registrar mediante un tubo especial (Fig. 2). El tubo cónico tenía una longitud de 5 metros y su extremo en el agua fue cerrado con una membrana elástica. El científico ponía su oído en el otro extremo, mirando con atención hacia el otro barco. Al ver la luz emitida, activaba un cronómetro y lo paraba al oír el sonido de la campana a través del tubo.

Conociendo la distancia entre los barcos y el tiempo que tardaba el sonido para llegar hasta el segundo bote (9.4 segundos) se pudo calcular la velocidad del sonido. El resultado fue 1435 m/s.



Figura 1. El barco con la campana.

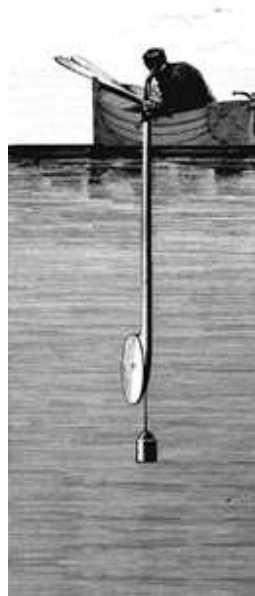


Figura 2. El barco con el tubo para escuchar.

✓ **1877**

Lord Rayleigh publica "Theory of Sound", obra en la que se establecen las bases teóricas de la acústica moderna.

✓ **1912**

L. F. Richardson solicita una patente en Gran Bretaña para la localización por eco en el agua.

✓ **1914**

Reginald A. Fessenden patenta, en los Estados Unidos, un nuevo tipo de transductor para la localización por eco.

✓ **1919**

El científico alemán H. Lichte desarrolla una teoría según la cual las ondas sonoras cambian de dirección hacia arriba o hacia abajo en el agua cuando se encuentran con pequeñas diferencias de temperatura, salinidad y presión.

✓ **1937**

Athelstan Spilhaus construye el batitermógrafo (BT).

✓ **1943**

Maurice Ewing y J. L. Worzel de la Universidad de Columbia descubren el canal de sonido profundo. El científico ruso Leonid Brekhovskikh, trabajando independientemente en el Mar de Japón, descubre el mismo fenómeno.

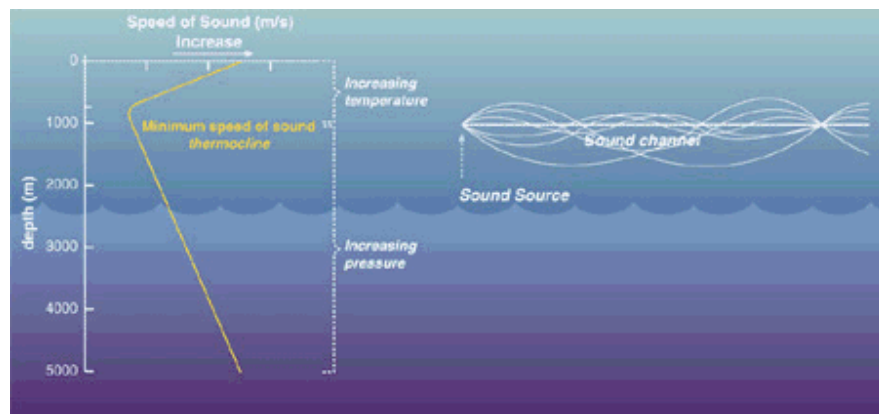


Figura 3

La velocidad del sonido disminuye a medida que la temperatura del agua baja al aproximarse a la termoclina. Por debajo de la termoclina, la temperatura es constante, aunque el aumento de presión provoca que la velocidad del sonido aumente. Debido a que las ondas del sonido se curvan o refractan en dirección a la región de velocidad mínima, los cambios de temperatura o presión provocan que las ondas sonoras reboten de un lado para otro dentro de una región llamada canal de sonido profundo (conocido también como el canal SOFAR). En este canal, el sonido recorre largas distancias con una pérdida mínima de señal.

✓ **1954-1955**

La marina de los EE.UU. activa los dispositivos de primera generación para realizar escuchas en el fondo del mar de una serie que finalmente se llamará Sistema de Vigilancia de Sonido (SOSUS).

✓ **1978**

Walter Munk, de la Institución Oceanográfica Scripps y Carl Wunsch del Instituto tecnológico de Massachusetts proponen trazar con sonidos imágenes tridimensionales de las temperaturas del océano.

✓ **1983-1989**

John Spiesberger, actualmente en la Universidad Estatal de Pennsylvania, y Kurt Metzger, de la Universidad de Michigan, proporcionan pruebas experimentales de que cualquier pequeño cambio en el tiempo de recorrido acústico a través de la cuenca oceánica indican cambios en la temperatura media del agua.

✓ **1991**

En la prueba de viabilidad de la isla de Heard, científicos de nueve países envían sonidos a 18.000 kilómetros (11.000 millas) por debajo de la superficie del mar a través de todos los océanos excepto el ártico.

✓ **1992**

Los científicos comienzan a realizar un seguimiento de las ballenas en tiempo real con el SOSUS.

✓ **1993**

Mediante el SOSUS, los científicos realizan la primera detección remota de una erupción volcánica submarina.

✓ **1996**

El experimento de termometría acústica del clima oceánico (ATOC) comienza a transmitir sonidos en el norte del Océano Pacífico.

✓ **1998**

El programa de observación del clima ártico mediante sonidos submarinos (ACOUS) comienza a transmitir sonidos regularmente en el océano ártico.

### **3. JUSTIFICACIÓN**

El presente trabajo se realizó con mucho esfuerzo. El tema de elección es Acústica Marina, el cual considero que es de gran importancia, ya que no solamente existe el sonido en el aire sino que está demostrado que se propaga en el agua y con mayor velocidad, lo que es de gran ayuda para el ser humano en el ámbito de la medicina utilizado como terapias, en cuestiones militares para localizar buques de guerra, científicas para determinar el clima, y sociales para encontrar la localización de objetos o peces que sirvan para nuestra alimentación.

La acústica marina ha sido muy trascendental, se va actualizando cada día, es una herramienta muy necesaria para el ser humano, por lo que nos adentramos a investigar más afondo acerca de esta bellísima rama de la acústica, debido a que es indispensable en nuestras vidas.

## 4. CONCEPTOS BÁSICOS

Para comenzar adentrarnos un poco en el tema es necesario conocer algunos conceptos básicos que a continuación se definen:

### ➤ **Acústica**

Es la rama de la ciencia que se encarga del estudio de las vibraciones sonoras.

### ➤ **Sonido**

El sonido es la vibración de un medio elástico, bien sea gaseoso, líquido o sólido. Cuando nos referimos al sonido audible por el oído humano, estamos hablando de la sensación detectada por nuestro oído, que producen las rápidas variaciones de presión en el aire por encima y por debajo de un valor estático. Este valor estático nos lo da la presión atmosférica (alrededor de 100.000 pascal) el cual tiene unas variaciones pequeñas y de forma muy lenta, tal y como se puede comprobar en un barómetro.

Cuando las rápidas variaciones de presión se centran entre 20 y 20.000 veces por segundo (igual a una frecuencia de 20 Hz a 20 Khz.) el sonido es potencialmente audible aunque las variaciones de presión puedan ser a veces tan pequeñas como la millonésima parte de un pascal. Los sonidos muy fuertes son causados por grandes variaciones de presión, por ejemplo una variación de 1 pascal se oiría como un sonido muy fuerte, siempre y cuando la mayoría de la energía de dicho sonido estuviera contenida en las frecuencias medias (1kHz - 4 khz) que es donde el oído humano es más sensitivo.

El sonido lo puede producir diferentes fuentes, desde una persona hablando hasta un altavoz, que es una membrana móvil que comprime el aire generando ondas sonoras.

➤ **Intensidad del sonido**

Se define como potencia acústica de un sonido por unidad de superficie.

➤ **Infrasonidos**

Se denomina a toda onda acústica de muy baja frecuencia, inferior a los 25 Hz. El infrasonido es utilizado por animales muy grandes como el elefante para comunicarse en amplias distancias, estos sonidos ya no son audibles para el ser humano.

➤ **Ultrasonidos**

Es una onda acústica cuya frecuencia está por encima del límite perceptible por el oído humano (aproximadamente 20.000 Hz.). Muchos animales como los delfines y los murciélagos lo utilizan de forma parecida al radar en su orientación.

➤ **Eco reverberación y Resonancia**

Cuando se genera un sonido en el interior de un local las superficies que componen el mismo ocasionan una serie de diferentes efectos dependiendo de las características de dichas superficies.

Esto ocurre porque las ondas sonoras inciden en las diferentes superficies y estas las reflejan de forma según su coeficiente de reflexión acústica.

Primero siempre se percibe el sonido directo, esto es, el sonido que nos llega a nuestro oído sin que se aún se halla reflejado en ninguna superficie. Una vez recibido el sonido directo, llegará a nuestros oídos, con un retraso de tiempo con respecto al sonido directo, el sonido reflejado por las superficies del local.

Tanto el retraso como el nivel sonoro del sonido reflejado dependen de las características físicas del local y sus superficies.

Si el retraso entre el sonido directo y el reflejado es mayor de 1/10 de segundo, nuestro sistema de audición será

➤ **Ruido**

Conjunto de señales de composición compleja formada por la suma de diversas componentes que varían en amplitud y en fase, muchas veces de manera aleatoria.

Las señales acústicas recibidas en el océano tienen una enorme variedad de orígenes. Pueden ser generadas por fenómenos naturales, por organismos marinos, actividad humana, etc. Un mismo sonido puede ser calificado como señal o como ruido dependiendo del oyente o receptor y de si es la señal que debe recibir o si obstaculiza la recepción.

**Fuentes de ruido:**

Turbulencia del viento.

Movimiento superficial: El movimiento de la superficie del mar genera fluctuaciones de presión.

Interacción de ondas de oleaje: Las olas de igual longitud de onda cuando viajan en direcciones opuestas, producen una onda estacionaria. Este efecto es solo apreciable a muy bajas frecuencias.

Cavitación: El fenómeno de la cavitación se debe a que al girar las hélices, crean zonas de baja presión con respecto a la presión hidrostática del agua que la rodea. Si esta presión baja hasta un determinado valor, se produce un vacío que se rellena de burbujas formadas por los gases disueltos en el agua. Cuando las burbujas se separan de la zona de baja presión, revientan por efecto de la presión hidrostática, produciendo el ruido característico de crepitación que se conoce como cavitación.



La velocidad a la que debe girar una hélice para que comience a cavilarse denomina Velocidad crítica y es propia de cada hélice. A mayor profundidad, mayor velocidad es precisa para que exista cavitación.

### **Fuentes intermitentes**

- **Biológicas:** Es el ruido producido por organismos y animales marinos. El ruido conocido como impulso de 20 Hz es de este tipo, fue detectado por primera vez en los años 50 por la primera red hidrofónica de defensa en la costa estadounidense (SOSUS). Son unos impulsos centrados en 20 Hz, que duran unos pocos segundos y se repiten durante horas. Estos impulsos eran tan misteriosos que tuvieron la clasificación de secreto durante 10 años. Posteriormente ha sido identificado con total seguridad su origen, que no es otro que la ballena "Phisalus", y pueden deberse a los latidos de su corazón o a resonancias en sus pulmones.
- **No biológicas:**
  - **Lluvia:** El nivel de ruido aportado por este fenómeno es función directa de la velocidad de impacto de las gotas de lluvia y del tamaño de las mismas. El espectro que produce es casi plano en la banda de 200 Hz a 20 KHz.
  - **Terremotos, volcanes y explosiones:** Se da en el fondo marino por efectos naturales o en las proximidades de explotaciones petrolíficas y otras actividades industriales.
  - **Rompientes:** Se produce al romper las olas en la playa y costas escarpadas.

El ruido es una fuente interna de variaciones aleatorias de la señal, generado en mayor o menor medida por todos los componentes electrónicos. Típicamente se manifiesta en variaciones aleatorias superpuestas a la señal de eco recibida en el radar. Cuanta menor sea la potencia con que llega la señal

de interés, más difícil será diferenciarla del fondo de ruido. Por tanto, la más importante fuente de ruido aparece en el receptor, por lo que debe dedicarse un gran esfuerzo a tratar de minimizar estos factores. La figura de ruido es una medida del ruido producido por el receptor en comparación con un receptor ideal y debe ser minimizada.

El ruido también puede estar causado por fuentes externas al sistema, siendo sobre todo de gran impacto la radiación térmica natural del entorno que rodea al blanco que se desea detectar. En sistemas radar modernos, debido al gran rendimiento de sus receptores, el ruido interno es típicamente igual o menor que el externo. Una excepción es el caso en el que el radar está dirigido al cielo abierto; en este caso apenas se produce ruido térmico.

➤ **Interferencia**

Cualquier señal que obstaculiza la observación de otra señal.

➤ **Nivel de ruido**

Debido a la compleja composición del ruido se utiliza el nivel espectral para su medición, es decir, el nivel en un ancho de banda de 1 Hz de la frecuencia elegida. La intensidad del ruido se mide en dB.

➤ **Relación señal a ruido**

La magnitud de la señal con relación al nivel de ruido. En cada aplicación de sonar el sistema tiene un valor crítico por debajo del cual la observación de la señal es insatisfactoria.

➤ **Ruido ambiente o de fondo**

Ruido que se origina en numerosas fuentes, las cuales no son fácilmente identificables. Se caracteriza por ser isotópico.

El ruido ambiente se refiere pues, al ruido que queda después de identificar todas las fuentes conocidas.

➤ **Acústica marina**

Es el estudio de la propagación del sonido en el medio acuoso.

➤ **Densidad**

Es una magnitud referida a la cantidad de masa contenida en un determinado volumen.

➤ **Profundidad**

Se denomina profundidad a la distancia de un elemento con respecto un plano horizontal de referencia cuando dicho elemento se encuentra por debajo.

➤ **Reflexión**

Las ondas electromagnéticas se dispersan cuando hay cambios significativos en las constantes dieléctricas o diamagnéticas. Esto significa que un objeto sólido en el aire o en el vacío (es decir, un cambio en la densidad atómica entre el objeto y su entorno) producirá dispersión de las ondas de radio, como las del radar. Esto ocurre particularmente en el caso de los materiales conductores como el metal y la fibra de carbono, lo que hace que el radar sea especialmente indicado para la detección de aeronaves. En ocasiones los aviones militares utilizan materiales con sustancias resistivas y magnéticas que absorben las ondas del radar, reduciendo así el nivel de reflexión. Estableciendo una analogía entre las ondas del radar y el espectro visible, estos materiales equivaldrían a pintar algo con un color oscuro.

La reflexión de las ondas del radar varía en función de su longitud de onda y de la forma del blanco. Si la longitud de onda es mucho menor que el tamaño del blanco, la onda rebotará del mismo modo que la luz contra un espejo.

Si por el contrario es mucho más grande que el tamaño del blanco, lo que ocurre es que este se polariza (separación física de las cargas positivas y negativas) como en un dipolo (véase: Dispersión de Rayleigh). Cuando las dos escalas son similares pueden darse efectos de resonancia. Los primeros radares utilizaban longitudes de onda muy elevadas, mayores que los objetivos; las señales que recibían eran tenues. Los radares actuales emplean longitudes de onda más pequeñas (de pocos centímetros o inferiores) que permiten detectar objetos del tamaño de una barra de pan.

Las señales de radio de onda corta (3 kHz-30MHz) se reflejan en las curvas y aristas, del mismo modo que la luz produce destellos en un trozo de cristal curvo. Para estas longitudes de onda los objetos que más reflejan son aquellos con ángulos de  $90^\circ$  entre las superficies reflectivas. Una estructura que conste de tres superficies que se juntan en una esquina (como la de una caja) siempre reflejará hacia el emisor aquellas ondas que entren por su abertura.

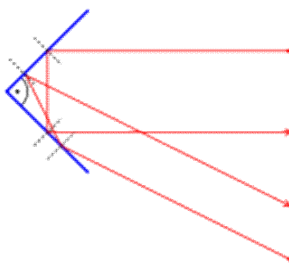


Fig.4 Reflexión

#### ➤ **Refracción**

La refracción es el cambio de dirección que experimenta una onda electromagnética debido al cambio de velocidad cuando pasa de un medio con un índice de refracción dado a un medio con otro índice de refracción distinto.

#### ➤ **Reverberación**

Es la combinación de todos los ecos producidos cuando las numerosas inhomogeneidades del medio son "iluminadas" por el impulso radiado al agua

que espera detectarse en el receptor.

Es un componente del ruido de fondo. Para un operador sonar, consiste en un pitido oscilante que aparece inmediatamente después de finalizar la transmisión.

- Existe la **reverberación de superficie**: Los núcleos dispersores del sonido están localizados cerca de la superficie marina. Su principal causa son las burbujas de aire que se forman cerca de la superficie, debidas al viento, al oleaje y como caso especial a las estelas dejadas por el paso de otros barcos.
- **Reverberación en el seno del mar**: Los núcleos dispersores del sonido están localizados en el volumen. Se produce por efecto de pequeñas partículas en suspensión en el mar y la presencia biológica. El nivel es poco variable con la frecuencia especialmente si es mayor a 20 KHz.
- **Reverberación en el fondo**: Los núcleos dispersores del sonido están localizados en el fondo. los agentes productores en este caso son la rugosidad y la composición del fondo.

## 5. DESARROLLO

### CAPITULO I.

#### 5.1. PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA DE MAR

EL AGUA del mar es una solución de sales, por lo que sus propiedades físicas son muy diferentes de las del agua dulce y varían de acuerdo con la cantidad de sales que contenga.

Las propiedades físicas del agua del mar se pueden dividir en:

- Térmicas,
- Mecánicas,
- Eléctricas,
- Acústicas,
- Ópticas y
- Radiactivas.

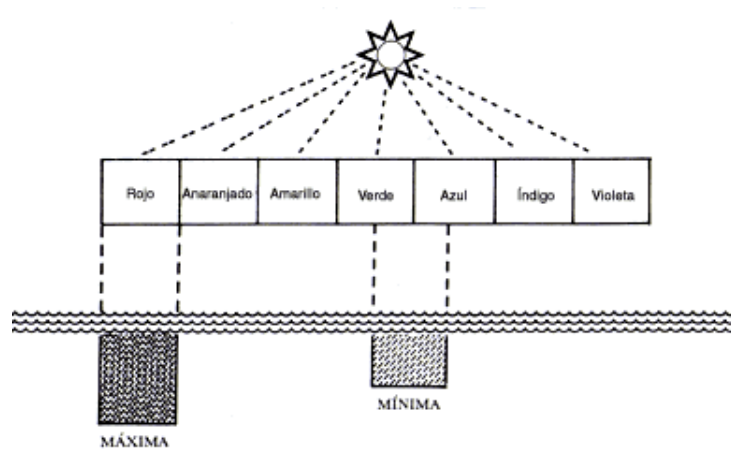


Fig. 5 Propiedades Térmicas

### **5.1.1. TÉRMICAS**

Las propiedades térmicas del agua del mar dependen del calor que absorbe de las radiaciones energéticas que recibe del Sol, así como de la cantidad de calor que posteriormente el mar regresa a la atmósfera. Por lo tanto, el balance térmico del océano se establece por la diferencia entre el calor ganado y el perdido, y este balance es casi estacionario en el océano en su conjunto, aunque puede variar en algunos mares en especial, según las diferentes latitudes donde se encuentran en el planeta: es mayor la absorción de calor en bajas latitudes y mayor la pérdida en las altas.

Las características térmicas el agua del mar influyen sobre otras de sus propiedades, y se puede destacar que la temperatura interviene directamente en el establecimiento de la distribución de las masas de agua en el océano, por cambios de la densidad, disponiéndose las menos densas y calientes arriba y las más densas y frías abajo.

### 5.1.2. MECÁNICAS.

Las características *mecánicas* del océano están determinadas por la salinidad, y son la densidad y la presión.

La *salinidad* está dada, principalmente, por los cloruros, sulfatos y carbonatos que se encuentran disueltos en el agua del mar, y su distribución no es uniforme ni constante, varía de un lugar a otro, tanto en dirección horizontal, como en vertical, e incluso sufre oscilaciones en un mismo punto del océano, con el transcurso del tiempo. El factor fundamental que determina las variaciones de salinidad en un área marítima concreta es la pérdida o ganancia de agua.

La *densidad* del agua del mar consiste en su peso derivado de la cantidad de masa de sales por unidad de volumen de agua, por lo que es directamente proporcional a su salinidad, ya que a mayor cantidad de sales, existe una masa superior por unidad de volumen de agua; en cambio, es inversamente proporcional a la temperatura siendo, a mayor temperatura, la densidad menor.

La densidad también puede variar con la profundidad, por lo que se encuentra una estratificación del agua del mar, es decir, se presenta una separación horizontal de las capas de agua de diferente densidad. Si la densidad aumenta con la profundidad, la estratificación será estable debido a que las capas más pesadas quedan en el fondo; pero si disminuye con la profundidad, la estratificación será inestable, y puede cambiar totalmente por los movimientos del océano al hundirse las capas pesadas que están en la superficie.

La *presión* es producida por el peso de la columna de agua que gravita sobre una superficie situada a una determinada profundidad, más la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del mar. La presión se mide en el mar mediante aparatos llamados nanómetros, que son de muy diversos tipos.



### 5.1.3. ELÉCTRICAS

Las propiedades *eléctricas* del agua del mar consisten en que este medio es conductor de la electricidad, debido a que las moléculas de las sales se disocian en iones positivos y negativos, que al estar sometidos a un campo eléctrico se desplazan en sentido contrario produciendo corrientes. Esta propiedad sirve para medir, con mayor precisión, la salinidad del océano.

### 5.1.4. ACÚSTICA

Las características acústicas del agua oceánica es de gran importancia, ya que las ondas sonoras y ultrasonoras penetran desde la superficie del mar hasta grandes profundidades, al contrario de la luz solar, que sólo lo hace a 200 metros de profundidad, y de las ondas de radio, que también son absorbidas rápidamente; por lo tanto, la comunicación y el conocimiento submarino tienen que realizarse utilizando las propiedades acústicas del mar.

Con base en estos conocimientos se han diseñado métodos y aparatos muy diversos como los hidrófonos, aparatos simples que recogen los sonidos del mar producidos por los fenómenos físicos propios del agua, los organismos marinos que la habitan y las embarcaciones o artefactos utilizados por el hombre.

Otros aparatos acústicos son las sondas acústicas o ecosondas y el sonar, que registran las ondas sonoras y ultrasonoras, permitiendo conocer la profundidad del fondo, su naturaleza y configuración; también localizar los bancos de peces, medir su tamaño y calcular la posible captura; asimismo, situar a otros barcos en la superficie, a los submarinos y otros objetos sumergidos.

Es notable la diferencia de intensidad del sonido que se escucha al hacer chocar entre sí dos piedras en el aire o dentro del mar, esta diferencia se debe a la velocidad de propagación que tiene el sonido de ambos medios.

En el aire la velocidad media es de 333 metros por segundo, mientras que en el agua es mucho mayor: alcanza de 1400 a 1600 metros por segundo; el margen que se presenta en ese último caso lo originan las variaciones de salinidad, temperatura y presión del agua del mar, y por lo tanto, para calcular la velocidad del sonido en un lugar dado del océano, se tienen que medir también estas características.

### 5.1.5. ÓPTICAS

Las características *ópticas* se producen debido a que el agua del mar presenta cierta transparencia, es decir, la posibilidad de dejar pasar la luz, transparencia que cambia conforme aumenta la profundidad, debido a que esta luz sufre fenómenos de reflexión y refracción.

La luz que penetra en el océano es indispensable para que tengan lugar los fenómenos de fotosíntesis en el interior de las aguas marinas, es decir, la captación de la energía solar para la elaboración de la sustancia orgánica que será el alimento de los vegetales, los animales y el hombre.

Las radiaciones que forman la luz son absorbidas por el agua del mar y le transmiten calor. Esta absorción es selectiva y depende de la longitud de onda de la radiación. Dentro del espectro visible, la absorción es máxima para el rojo y mínima para el azul-verde. La infrarroja transporta la mayor parte de la energía calorífica, y se absorbe prácticamente en el primer metro de agua.

El calor del mar depende de esta selectividad de sus aguas para absorber y dispersar la luz. Así el color azul intenso de algunas zonas oceánicas se debe a la ausencia de partículas en suspensión, mientras que en las aguas costeras predomina el color verde, por la abundancia de partículas nutritivas y de pequeños organismos que forman el plancton.

También la agitación de las aguas, la nubosidad y el color del cielo pueden influir en las aguas de los mares.

#### 5.1.6. RADIATIVAS

Se pueden diferenciar dos tipos de *radioactividad* en los mares; la que se produce de manera natural en ellos, y la que el hombre ha introducido a los océanos al usar la energía atómica.

Una radiactividad mayor que la existente en la masa líquida se encuentra en los sedimentos marinos, sobre todo en los de las cuencas oceánicas. Se cree que estas cuencas pueden ser grandes yacimientos de materiales radiactivos, ya que uno de los elementos más abundantes en sus sedimentos es el torio.

La radiactividad producida **por el hombre** se deriva fundamentalmente de subproductos de explosiones atómicas, desperdicios de los reactores nucleares y por los derrames del agua de enfriamiento de estos reactores. El hombre, por desgracia, ha pensado que la inmensidad del océano le permite usarlo como basurero; pero los desperdicios atómicos constituyen un peligro potencial para la flora y fauna marinas y mientras no se conozca a fondo la dinámica del océano, no debe hacerse este depósito porque se pondría en peligro el futuro de la humanidad al destruir una fuente de riqueza alimenticia como es el océano.

## CAPITULO II.

### **5.2. LA TEMPERATURA EN EL MAR**

EL PRINCIPAL aporte calorífico que tiene el agua del mar está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del Sol. Su calor específico tiene un valor elevado en comparación con el calor específico de las demás sustancias existentes en la superficie del planeta; esto confiere al mar una extraordinaria capacidad para almacenar calor y por esta propiedad puede actuar como un gigantesco moderador del clima.

Se entiende por calor específico, en general, la cantidad de calor necesario para aumentar en un grado centígrado la temperatura de un gramo de agua.

Las radiaciones solares que llegan a la superficie del mar penetran en su masa, alcanzando generalmente una profundidad promedio de cien metros, pero que puede extenderse hasta los mil metros. La penetración de estas radiaciones depende principalmente de la turbiedad, es decir, de la cantidad de materia sólida que se encuentra en suspensión.

Conforme la profundidad aumenta van penetrando menos radiaciones, por lo que la temperatura disminuye. Por lo anterior, en la superficie del mar existe una capa de agua relativamente caliente, con una temperatura uniforme; esa capa puede extenderse de los 20 a los 200 metros de profundidad, dependiendo de las condiciones locales. Abajo de ella existe una zona limítrofe en donde se presenta un rápido descenso de la temperatura, llamada *termoclina*, que divide a estas aguas superficiales, menos densas y menos salinas, de las aguas de las profundidades, más frías, densas y salinas.

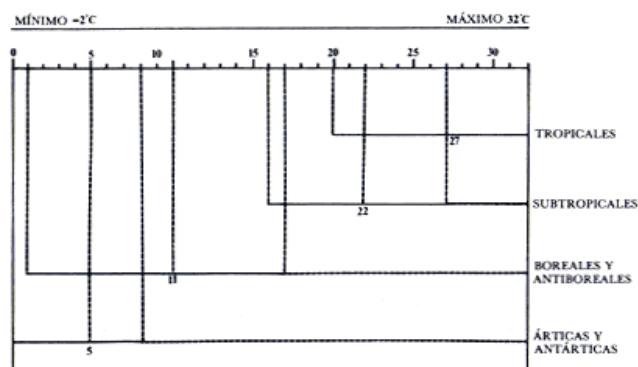


FIG. 6 Distribución de la temperatura en aguas marinas superficiales.

En la superficie de las aguas marinas tropicales, la temperatura mínima es de 20°C, la máxima de 30°C y la media de 27°C; en las subtropicales, 16°C como mínima, 27°C como máxima y 22°C como media; en las aguas boreal y antiboreal, la mínima es de 1°C, la máxima de 17°C y la media de 11°C; en el Ártico y Antártico, la mínima va de menos 3 a 1°C, la máxima es de 9°C y la media de menos 1 a 5°C.

Se presentan variaciones anuales de temperatura en las capas superficiales del océano, que dependen de la absorción del calor recibido del exterior, registrándose un máximo al comienzo del otoño y un mínimo al inicio de la primavera. También se presentan cambios debido a la profundidad de las aguas, observándose que las modificaciones son mayores en la superficie y conforme aumenta la profundidad las variaciones se atenúan progresivamente hasta no registrar ninguna variación anual. Esto se empieza a observar a los 300 metros, aunque en ciertas regiones, puede ser a los 100 metros.

Las variaciones anuales en un mismo lugar son pequeñas, del orden de los 2°C en el ecuador y en los polos; las mayores, de unos 18°C, se han observado en el Atlántico norte y en el Pacífico norte.

También se ha presentado variaciones de la temperatura del agua del mar a través de largos periodos de tiempos en determinadas regiones del océano. Por ejemplo, en el

Atlántico norte se ha podido registrar un ligero calentamiento de sus aguas que se inició a partir del año de 1900.

En las altas latitudes el enfriamiento de las aguas superficiales hace aumentar su peso y, por lo tanto, se hunden haciendo aflorar las aguas más templadas, ocasionando con ello movimientos llamados conectivos, lo que produce la homogeneidad de las temperaturas. La distribución de las masas de agua del océano se establece por densidad, condicionada fundamentalmente por la temperatura y la salinidad. La temperatura influye en el sentido de que, cuanto mayor es su calor, menos densa es el agua, por lo que las aguas más calientes se encuentran en la superficie. Estas variaciones en temperatura y densidad tienen una influencia trascendental en todos los procesos físicos, químicos y biológicos.

Otro tipo de cambios en la temperatura del agua del mar son las variaciones diurnas, que sólo se notan en las capas superficiales, ya que en la profundidad son prácticamente nulas. En pleno océano, oscilan de 2 a 4 décimas de grado centígrado, pero cerca de algunas costas pueden llegar a ser varios grados. Las variaciones diurnas dependen de las condiciones meteorológicas locales siendo mayores cuando el día presenta un cielo limpio y sin viento, disminuyendo cuando éste sopla y existe nubosidad; y de los cambios de temperatura de la atmósfera entre el día y la noche. Generalmente éstas son más evidentes en verano que en invierno.

La temperatura del agua del océano desciende conforme los mares están más cerca de los polos, en donde, en el mar abierto, se alcanzan temperaturas superficiales aproximadamente de 6 décimas de grado centígrado, encontrándose ya cerca del punto de congelación del agua salada. A medida que se congela el agua de estos mares se desprende de la sal que contiene; así, las partículas de hielo que se forman en el fondo de las aguas polares tienden a flotar, por ser más ligeras que el agua que las rodea, y llegan hasta la superficie.

En los mares polares la superficie se cubre de pequeños cristales por la acción del viento frío que sopla en el invierno. Estos cristales, en forma de escamas, de 2 a 4

centímetros de longitud, flotan, se aglomeran y se extienden en una superficie plana. Algunos se orientan verticalmente y se van engrosando en su parte inferior en donde fijan la sal, formando un hielo poroso y poco resistente; cuando esta capa de hielo tiene 10 centímetros de espesor no soporta el peso de un hombre; en cambio el hielo de agua dulce del mismo espesor resiste cargas más considerables.

Cuando se incrementa el frío, el hielo aumenta de espesor, los bloques sueltos se sueldan entre sí y se forma la denominada banca polar o *pack-ice*, que impulsada por el viento, inicia su migración alrededor del continente Antártico o su lenta deriva hacia el ecuador. En primavera, por la acción de los vientos que se han calentado por el Sol, la banca polar empieza a licuarse. El agua, cargada de sal, forma grandes burbujas que al fundirse producen ondulaciones en la superficie de la banca.

No todo el hielo llega a fundirse en el verano, y en el otoño se conservan porciones en forma de hielo abarrancado, ondulado, de color oscuro, llamado hielo viejo, muy diferente del hielo nuevo, que se forma cada año y que es claro y de superficie lisa.

Además de esta banca polar formada por agua marina helada, existe otra categoría de los hielos que se desplazan a la deriva, flotando sobre los mares polares, empujados por el viento y las corrientes: los *icebergs*, formados por agua dulce congelada, a diferencia de la banca polar, que se compone de agua marina helada.

Otro proceso que interviene en la dinámica de la temperatura oceánica es la evaporación, que desempeña el papel principal en los cambios térmicos entre la atmósfera y el mar. La evaporación aumenta de acuerdo con el calentamiento que ejerce el Sol sobre la superficie del agua del mar; representa el 55 por ciento del calor que pasa del océano a la atmósfera.

Desde el punto de vista meteorológico, la evaporación causa la formación de nubes, nieblas, precipitaciones atmosféricas y las variaciones térmicas del aire. El oceanógrafo alemán Wüst obtuvo, en 1936, el valor medio de la evaporación en la superficie del mar, al que asignó la cifra de 93 centímetros por año; para toda la masa oceánica este valor representa 334 000 kilómetros cúbicos de agua por año, de los cuales retornan al mar,

directamente en forma de precipitaciones atmosféricas, 297 kilómetros cúbicos, mientras que los otros 37 caen sobre los continentes, para volver, por las corrientes fluviales, al mar, de donde la evaporación los vuelve a transformar en nubes.

En las regiones templadas y polares, tanto la evaporación como la transferencia de calor son mayores en invierno que en verano, ya que en esa época el mar es más caliente que la atmósfera.

Estos cambios de temperatura de las aguas oceánicas no sólo influyen en la dinámica del mar y de la atmósfera, sino que constituyen uno de los factores principales que intervienen en la distribución de los organismos marinos, la forma de los seres vivos y la velocidad con que se llevan a cabo sus reacciones metabólicas. Por todo esto es importante contar con los mapas que describan las características de la temperatura de las aguas del océano.

Para construir estos mapas, los oceanógrafos físicos, utilizando básicamente los termómetros de mercurio, los termómetros eléctricos y los batí termógrafos, han establecido las relaciones de la temperatura en diferentes áreas del océano, uniendo los puntos que presentan la misma temperatura con líneas continuas llamadas *isotermas*.



### **CAPITULO III.**

#### **5.3. LUZ EL CALOR Y LA TRANSPARENCIA EN EL OCÉANO**

En los últimos años se ha generalizado en las playas el uso de visores submarinos, con los que se puede observar los maravillosos escenarios que ofrece el fondo del mar. El buceador admira, sin necesidad de sumergirse a grandes profundidades, la diversidad de colores y formas de las algas, las elegantes esponjas, los señoriales corales y abanicos de mar, las gráciles estrellas marinas, los misteriosos peces que se mueven rápidamente por estos interesantes paisajes submarinos.

Esta propiedad de la luz de dispersarse en el agua del mar no es igual en las diferentes zonas oceánicas y en las distintas profundidades. Se ha podido comprobar que en los mares con aguas frías la luz penetra menos y, a una profundidad de 400 metros, la oscuridad del agua oceánica es comparable con la de la noche menos iluminada.

Los factores fisicoquímicos que influyen sobre las propiedades de la luz son la transparencia, es decir, la cantidad de luz que se transmite en el agua del mar; la absorción, o sea el grado de radiación retenida, y la turbidez, que consiste en la reducción de la claridad del agua por la presencia de materia suspendida.

Las propiedades físicas de la luz son: la reflexión, proceso por el que la superficie del agua del mar devuelve a la atmósfera una cantidad de la luz que incide sobre ella; la refracción, el cambio de dirección que sufre la luz al entrar a un medio de diferente densidad, y la extinción, que es el grado en que disminuye la luz al ir penetrando en el medio marino.

El ángulo con el que inciden los rayos sobre el agua cambia durante el día: penetra más luz al término de la mañana y al inicio de la tarde, en todas las latitudes, debido a que el ángulo de incidencia se incrementa cuando el Sol pasa del mediodía.

En el agua del mar el índice de refracción se modifica de acuerdo con la salinidad y la temperatura, siendo mayor cuando se incrementa la concentración de sales y disminuye la temperatura.

Cuando un rayo de luz solar incide en el agua del mar, parte de sus radiaciones son absorbidas y transformadas en calor, y la otra parte es dispersada por las propias moléculas del agua, así como por las partículas en suspensión o por los microorganismos que viven en ella.

Cuando el agua del mar contiene pocas sustancias en suspensión o pocos organismos, las radiaciones azules son las que penetran a mayor profundidad, y pueden llegar a los bordes inferiores de los bancos continentales a 400 metros. En las aguas con turbidez, son las radiaciones verdes y amarillas las que más profundamente pueden penetrar, llegando las primeras a 200 metros, y las segundas a 100 metros, mientras que las rojas-anaranjadas y las violetas solamente alcanzan, cuando mucho, los primeros 20 metros.

Las mayores profundidades a las que se ha registrado transparencia son a 700 metros en el Océano Atlántico, a 800 metros en el Mar Mediterráneo y hasta a 950 metros en el Mar Caribe, pero el promedio de la penetración de la luz se ha calculado en 200 metros.

Esta dispersión de las radiaciones luminosas es más intensa cuanto mayor es su longitud de onda, lo que se traduce, a su vez, en una menor capacidad de penetración en el seno del agua del mar o en una menor transparencia de ésta para aquellas radiaciones. Al absorberse las radiaciones desaparece la zona rojo-anaranjada del espectro solar, y así se comprende por qué el agua del mar presenta un tono azul cuando se observa desde arriba.

El color del mar cambia entre el azul oscuro y el verde y llega, incluso, al pardo a lo largo de las costas en los diferentes mares. En el litoral generalmente muestra una coloración verdosa o pardo-amarillenta, por la presencia de moléculas en suspensión.

En aguas distantes a esta zona aparece el color azul, ya que existe menor cantidad de partículas en suspensión y microorganismos planctónicos, por lo que se ha afirmado que el azul es el color de los desiertos del océano abierto. Sin embargo, durante la expedición del Kon-Tiki en el Pacífico, se comprobó la presencia de una numerosa fauna marina en el centro de los grandes océanos, por lo que se pueden observar en ellos colores verdes, amarillos y pardos.

Los organismos microscópicos que presentan coloraciones propias pueden modificar el color del agua del mar, y es así como las aguas pardas del Golfo de California, llamado Mar Bermejo, y las del Mar Rojo tienen este color debido a la presencia de vegetales microscópicos llamados algas, o a la de minúsculos animales dinoflagelados que poseen estas coloraciones.

## **CAPITULO IV.**

### **5.4. PROPAGACION DEL SONIDO EN EL MAR**

EL SONIDO es producido por el movimiento vibratorio de las moléculas de una sustancia elástica. La energía mecánica de propagación del sonido se absorbe en el medio por el cual se propaga, y que puede ser gaseoso, líquido o sólido, produciéndose una variación en la intensidad del sonido, que es mayor o menor según el medio en el que se absorbe. Esta absorción se debe a la fricción de las ondas con el medio, y a su transformación en calor.

En el agua, los sonidos se propagan con mayor rapidez y menor pérdida de energía que en el aire; las ondas sonoras y ultra sonoras se transmiten en el mar a una velocidad entre 1 400 y 1 600 metros por segundo, mientras que en la atmósfera la velocidad de propagación es de 340 metros por segundo. Esto se debe a que el agua del mar no se encuentra comprimida, es decir, no se puede reducir a un menor volumen, por lo que la absorción de las ondas sonoras es mínima, contrariamente a lo que sucede en la atmósfera, en donde los sonidos se absorben a distancias muy cortas.

Es notable la diferencia de volumen del sonido cuando se golpean entre sí dos objetos duros en el aire o dentro del agua, y también se puede observar que, al introducir la cabeza en el agua del mar, se oye desde muy lejos el ruido de los motores de las embarcaciones.

Por las características del agua del mar la velocidad de propagación del sonido cambia de acuerdo con las variaciones de temperatura, salinidad y presión. Cuantas más altas sean estas características del agua, tanto mayor será su velocidad. Por ejemplo, en agua dulce, a una temperatura de 30°C, es de 1 509.6 metros por segundo, mientras que en el agua del mar, con la misma temperatura, pero con una concentración de sales de 35%, será de 1 546.2 metros por segundo.

Los oceanógrafos han estimado que cuando la temperatura aumenta en un grado centígrado, la velocidad del sonido lo hace en 2.5 metros por segundo; si la salinidad se incrementa en 1%, la velocidad presentará 1.4 metros por segundo de más; y si la presión sube 10 atmósferas, al bajar 100 metros de profundidad, el sonido registra 1.8 metros por segundo de ascenso.

El efecto de la temperatura es considerablemente mayor que el de la salinidad y la presión en las aguas superficiales, debido a que en ellas alcanza sus máximos valores y presenta rápidas variaciones; pero conforme aumenta la profundidad, la acción de este factor pierde importancia.

Se debe tomar en cuenta que la presión es una función de la profundidad y, por lo tanto, en aguas bien mezcladas, la velocidad del sonido aumentará con la profundidad.

En los primeros 50 metros de profundidad se encuentra que la acción de la presión sobre la velocidad del sonido es mínima, y como la temperatura suele mantenerse constante, el incremento de la velocidad del sonido es poco, a menos que se presente un cambio de la temperatura, lo que ocasionará una variación proporcional en la velocidad.

Por debajo de los 50 metros y hasta los 300 metros, la disminución de la velocidad es rápida por serlo también la de la temperatura; pero a partir de esta profundidad la acción de la temperatura es contrarrestada por el aumento de la presión y de la salinidad, y esto se traduce en un crecimiento de la velocidad, el cual se acentúa conforme se acerca al fondo, por ser dominante en este estrato el efecto de la presión.

En lugares con fondos poco profundos es posible medir con exactitud estos factores desde la superficie hasta el fondo y conocer con precisión la distancia que recorre el sonido; pero en las grandes profundidades surgen errores en la apreciación de esta distancia.

A poca profundidad, el error puede llegar a ser del orden de 10 a 20 centímetros, mientras que en los fondos superiores a los 5 000 metros, éste alcanza de 30 a 40 metros, siempre y cuando se haya registrado cuidadosamente la velocidad del sonido a través de las sucesivas capas de agua.

Al atravesar los estratos del mar, el sonido experimenta fenómenos de reflexión y de refracción como los que fueron descritos para la luz.

La superficie y el fondo del mar, así como cualquier objeto sumergido de tamaño considerable provocan la reflexión del sonido, mientras que los estratos que forman el agua del mar son los responsables de que cambie la velocidad del sonido, provocando que la dirección de las ondas se desvíe dando lugar a la refracción.

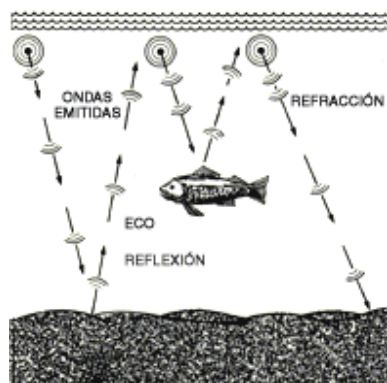


Fig. 7 Refracción y reflexión del sonido.

En las zonas donde la temperatura se mantiene constante con la profundidad, las ondas sonoras no sufren refracción; cuando decrece, se refractan hacia el fondo; y donde la temperatura aumenta lo hacen hacia la superficie. Cuando hay refracción hacia abajo, el sonido que llegue eventualmente al fondo del mar sufrirá en él absorción, pero se reflejará como un "eco del fondo" hacia la superficie para refractarse nuevamente.

Los objetos aislados, regulares y de mayor tamaño que la longitud de onda del sonido sobre los que llega una emisión sonora, producen reflexión del sonido fuerte y bien definido, lo que se reconoce como eco; pero los objetos que son pequeños, irregulares y numerosos originan muchos ecos débiles que se repiten sucesivamente propagándose en todas direcciones y sobreponiéndose para causar la llamada reverberación del sonido.

Los sonidos que presentan una frecuencia de 25 a 10 000 vibraciones por segundo son registrados por el órgano auditivo humano, pero existen otros que sobrepasan este último valor y que reciben el nombre de ultrasonidos, los cuales el hombre no percibe, sin embargo, algunos animales sí.

Cuando un haz de ondas ultrasonoras se proyecta verticalmente hacia abajo en el agua del mar, su velocidad varía progresivamente a medida que aumenta la presión; también se observan variaciones de velocidad, irregulares e imprevisibles en las capas superficiales debido a la temperatura y la salinidad de ellas. Si el haz se proyecta horizontalmente, las variaciones son de menor importancia, porque la presión constante y la estratificación del agua, prácticamente horizontal, hacen que las ondas se propaguen en un medio de densidad constante.

Los cambios en la velocidad del sonido y del ultrasonido modifican el intervalo necesario para que una señal recorra el trayecto entre dos puntos dados, por lo que las ondas sonoras desempeñan un papel sumamente importante en la medición de las distancias y en otros métodos de señalización a través del agua del mar.

El conocimiento de la propagación del sonido en el mar ha permitido la construcción de aparatos acústicos para medir la profundidad y las distancias en el mar, como las sondas de eco o ecosondas, que posteriormente han sido sustituidas por la sonda ultrasónica. Estos aparatos no serían útiles en el aire, porque en él las ondas se absorben a distancias muy cortas.

Los servicios de navegación y de protección de costas de algunos países industrializados publican tablas en las que se dan instrucciones sobre la propagación de las ondas sonoras y ultrasonoras en el agua del mar.

Gracias a esto, se ha podido evitar grandes errores en cuanto se refiere a la determinación de la profundidad de las aguas y se ha logrado hacer más segura la navegación.

Durante los últimos veinte años los buques mercantes y de guerra han ido aumentando el uso de una variedad de instrumentos en los cuales la información sobre el sonido en el mar desempeña un importante papel. En toda esta fase de desarrollo, ingenieros y físicos dedicaron los mayores esfuerzos al equipo tanto emisor de las ondas como al receptor.

Las flotas pesqueras más modernas utilizan métodos acústicos para la localización de peces y para conocer la topografía del terreno, con lo que permiten al pescador aumentar sus capturas y mejorar sus posibilidades de éxito.

En el estudio de la propagación del sonido en las aguas del océano hay que tomar en cuenta un fenómeno del que, actualmente, se tienen escasos conocimientos, y es el hecho de que diversas formas de vida marina son capaces de emitir sonidos.

Esto abre un nuevo campo de investigación para entender el comportamiento de estas especies sónicas y lograr al máximo su aprovechamiento y conservación.



**CUADRO 1. Relación de la salinidad y la temperatura de las masas de agua superficiales del océano.**

MASAS DE AGUA	SALINIDAD 0/00	TEMPERATURA °C
Agua antártica	33.80 - 34.76	2.0 - 6.1
Agua subantártica	33.70 - 34.80	5.0 - 10.0
Agua atlántica sur	34.57 - 35.70	7.5 - 18.0
Agua atlántica norte	35.03 - 36.20	7.5 - 18.0
Agua mediterránea	35.00 - 36.50	4.0 - 12.0
Agua índica	34.50 - 35.71	7.7 - 16.0
Agua pacífica sur	34.47 - 35.64	6.2 - 17.0
Agua pacífica norte	34.02 - 34.74	9.0 - 17.05

El *agua superficial* se encuentra, en general, como una capa de 150 metros de espesor, muy influida por los procesos externos y las corrientes; y por lo tanto, sus características varían según la región y la época del año, principalmente en las latitudes medianas.

Se considera que el *agua superior* está localizada entre los 150 y 700 metros de profundidad, separada de la anterior por una zona bien delimitada de temperatura (la llamada termoclina), y se origina del hundimiento del agua superficial, en movimientos llamados de convergencia.

El *agua intermedia* resulta también del agua superficial que se hunde por una convergencia, o de la que se ha formado como agua profunda en una cuenca y derramado por fuera de ella; se encuentra entre los 700 y los 1500 metros de profundidad.

El *agua profunda* es la que generalmente está entre los 1 500 y los 3 000 metros y proviene de las altas latitudes por hundimientos de las masas que se localizan a menos profundidad.

La formación de las *aguas de fondo* se lleva a cabo por el hundimiento del agua superficial de alta salinidad que al enfriarse intensamente aumenta su salinidad y se desplaza alcanzando las grandes profundidades del océano.

## CAPITULO V.

### 5.5. SONIDO Y MAR

Velocidad del sonido en el mar

Un parámetro importante es la celeridad, es decir el valor escalar de la velocidad. Tratándose del agua del mar la propagación se realiza mediante ondas esféricas y en todas direcciones.

$$c = \frac{1}{\sqrt[2]{ud}}$$

**Donde:**

c: Celeridad.

u: Coeficiente de compresibilidad.

d: Masa específica.

Pero el coeficiente de compresibilidad del medio varía con la profundidad, mientras que la masa específica depende de la temperatura y salinidad del agua. La celeridad con la que el sonido se propaga en el mar no es uniforme, los rayos sonoros (las trayectorias que siguen los frentes de ondas), dependen de este hecho. Teniendo esto en cuenta se puede dar un valor de la velocidad gracias a la ecuación empírica:

$$c = 1449 + 4.6T - 0.055 T^2 + 0.0003T^3 + (1.39 - 0.012T)(S - 35) + 0.017d$$

**Donde:**

c: Velocidad del sonido en m/s.

T: Temperatura del agua en grados centígrados.

S: Salinidad expresada en tanto por mil.

d: Profundidad con relación a la superficie del mar en m.

Se considera generalmente una velocidad estándar para estudiar los fenómenos de propagación de 1450 m/s. También suele adoptarse una impedancia característica estándar de 1'54 millones de rayls.

Como consecuencia de la variación de la celeridad en el plano vertical, podemos decir que el mar se haya estratificado en zonas, en cada una de las cuales los rayos sonoros tendrán distinto comportamiento. Para estudiar las estratificaciones se les asigna un valor por cada una de las variables que intervienen llamados gradientes, y que se obtienen mediante la relación entre la diferencia de valores de la variable y la diferencia de valores en la función.

- El gradiente de temperatura a presión y salinidad constantes es de +3 mts. /seg. por °C de aumento.
- El gradiente de salinidad a temperatura y presión constantes es de +1,2 mts. /seg. por cada 1 por mil de aumento.
- El gradiente de presión a temperatura y salinidad constantes es de 0,016 mts. /seg. por cada metro de aumento de profundidad.

Traza baticerimétrica

La representación gráfica de los valores de celeridad y/o temperatura y profundidad se conoce como "TRAZA BATICELERIMETRICA". Viendo la "traza" puede comprobarse que el océano está dividido en capas verticales o estratificaciones en razón al gradiente en cada una de ellas.

Básicamente en todos los mares se da el mismo fenómeno por lo cual puede decirse que la traza se encuentra dividida en cuatro zonas:

- **Zona 1, Capa superficial o de mezcla:**

Abarca desde la superficie hasta los 50 mts., donde se deja sentir el calentamiento debido a la radiación solar y los efectos meteorológicos.

- **Zona 2, Termoclina estacional:**

Presenta un gradiente negativo cuya intensidad varía con la época del año. En verano y otoño suele ser muy pronunciada porque las aguas superficiales son muy cálidas pero en primavera e invierno puede confundirse con la capa de mezcla.

- **Zona 3, Termoclina permanente:**

Abarca desde el final de la termoclina estacional hasta los 1.600 mts. aproximadamente. Presenta un gradiente negativo suave y uniforme de temperatura. Se ve poco afectada por los cambios estacionales.

- **Zona 4, Isotherma profunda:**

Abarca desde los 1.600 mts. Hasta el fondo. La temperatura permanece constante y la celeridad aumenta con la profundidad.

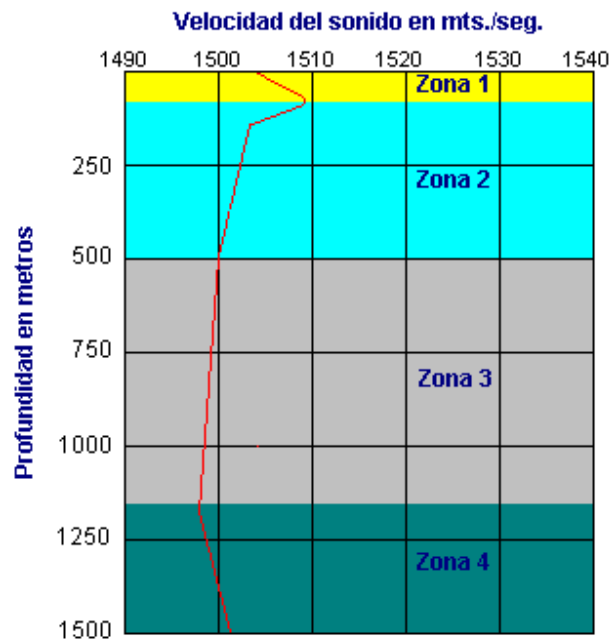


Fig. 8.

El punto de la traza en el que se da la máxima temperatura a la mayor profundidad se denomina profundidad de capa, y tiene una especial importancia en la propagación del sonido.

En el aspecto horizontal no existen variaciones de presión, las de salinidad suelen ser mínimas y las de temperatura pequeña en comparación con las del plano vertical, por lo que la traza horizontal no se considera habitualmente.

### Propagación

La superficie radiante de un emisor submarino al vibrar, induce a las partículas del medio a desplazarse de sus posiciones de reposo. Dentro del límite de elasticidad del medio, las vibraciones del emisor, pueden transmitirse a grandes distancias, ya que las partículas adyacentes provocan perturbaciones sucesivas de modo que la señal emitida se transmite en forma de ondas que se alejan de la fuente.

La ecuación diferencial fundamento de la acústica ondulatoria que gobierna la propagación de las ondas es:

$$\nabla^2 p - \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0$$

**Donde:**

c: Valor de la celeridad en el punto (x, y, z).

p: Presión.

t: Tiempo.

**Modelos de propagación**

El punto de partida de todos los modelos es la ecuación de ondas para una fuente puntual. Hay dos aproximaciones a la solución de la ecuación de ondas: modos normales y rayos.

- **Modos normales:**

Calculan la integral de la ecuación de ondas o la expanden en función de un conjunto finito de "modos normales".

Cada uno de estos modos supone que la solución de la ecuación es el producto de una función dependiente de la profundidad y de una función dependiente del alcance.

- **Modelo físico**

El modelo físico que impone es la suposición de que tanto la superficie como el fondo sean perfectamente planos y que el medio de propagación sea homogéneo, lo

cual no es exacto en el mar. Además la búsqueda de soluciones exactas a la ecuación de ondas es matemáticamente compleja y difícil de interpretar.

- **Rayos:**

Se basa en el supuesto de que la energía sonora es transmitida a lo largo de trayectorias (rayos) que son líneas rectas en todas las partes del medio en que la velocidad del sonido es constante, y líneas curvas, de acuerdo con las leyes de refracción donde la velocidad del sonido es variable. Para entender lo que es un rayo sonoro, supongamos una fuente sonora omnidireccional que vibra produciendo ondas esféricas. La superficie de la esfera cuyos puntos vibran con la misma fase es el denominado 'frente de onda'. Si nos fijamos en la dirección en que la energía fluye, hay que pensar en un conjunto infinito de radios que surgen del centro de la fuente. Estos radios son los llamados 'rayos sonoros' y son en todo momento perpendiculares a los frentes de onda generados.

El modelo de rayos presenta una solución menos compleja y de fácil interpretación visual, pero tiene las siguientes restricciones de aplicación:

- 1.- Cuando los radios de curvatura de los rayos son mayores que la longitud de onda.
- 2.- Cuando la velocidad del sonido varía apreciablemente a lo largo de distancias inferiores a la longitud de onda.

Por estos motivos el empleo de los MODOS NORMALES se reduce a aquellas frecuencias en que los RAYOS no pueden dar soluciones efectivas, a frecuencias inferiores a 300 Hz.

La siguiente tabla muestra las diferencias entre ambos modelos.



Modos normales	Rayos
Solución teórica completa	Sin solución para el problema de difracción
Presentación poco intuitiva	Presentación visualmente interpretable
De difícil aplicación para rebotes en superficie o fondo	Fácil aplicación para rebotes
Válido para todas las frecuencias	Válido solo a altas frecuencias
Dependiente de la fuente	Independiente de la fuente
Solución matemática compleja	Solución matemática sencilla

### Fenómenos de refracción y reflexión

La trayectoria de una onda acústica a través de un medio en el que la velocidad varía con la profundidad se puede calcular mediante la aplicación de la ley de Snell:



Fig. 9

**Donde:**

c1: Celeridad en la capa superior.

c2: Celeridad en la capa inferior.

O1: Angulo de entrada del rayo en la capa inferior.

O2: Angulo de salida del rayo en la capa inferior.

Puede demostrarse que la trayectoria de una onda acústica a través del agua que tiene un gradiente de velocidad constante u positiva de **g m/s** es un arco de circunferencia.

Consideramos un círculo de radio R según se ve en la figura:

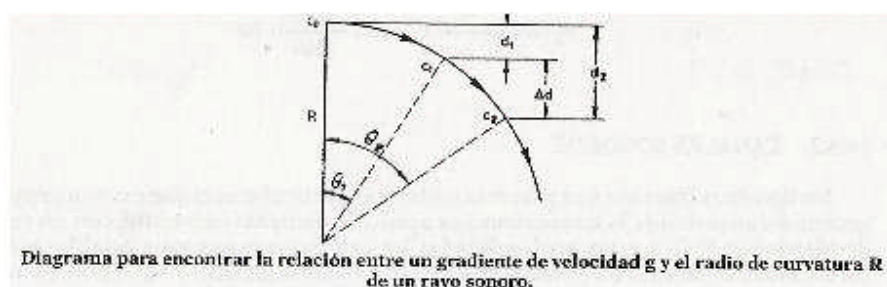


Fig. 10

A partir de esta figura 10 tenemos:

$$d_1 = (1 - \cos\theta_1)R$$

$$d_2 = (1 - \cos\theta_2)R$$

$$\Delta d = d_2 - d_1 = R(\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

Como el agua tiene un gradiente de velocidad constante y positiva, la velocidad del sonido disminuye con la profundidad:

$$c_2 = c_1 - g \Delta d$$

$$g = -(c_2 - c_1) / (\Delta d)$$

A partir de la ley de Snell y esta última ecuación tenemos:

$$\Delta d = (c_2 - c_1) / g$$

$$(\cos\theta_1 - \cos\theta_2) / \cos\theta_1 = (c_2 - c_1) / c_1$$

$$\Delta d = (c_1 (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)) / (g \cos\theta_1)$$

Comparando esta ecuación con la siguiente, vemos que la trayectoria es circular y su radio vale.

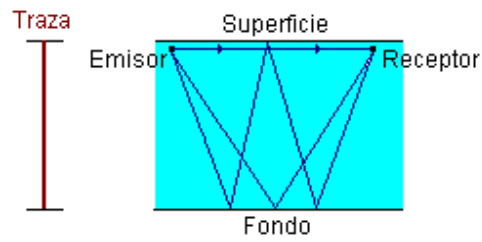
$$\Delta d = d_2 - d_1 = R (\cos\theta_1 - \cos\theta_2)$$

$$R = c_1 / (g \cos\theta_1)$$

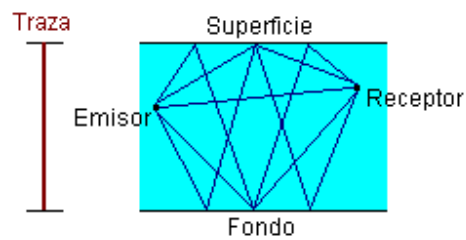
### Trayectorias sonoras

La trayectoria de un rayo sonoro al abandonar el emisor depende principalmente de:

- El ángulo de salida del emisor.
- La velocidad de propagación.
- La posición del emisor.
- Las zonas en las que la celeridad es constante los rayos que salen del emisor se comportan como líneas rectas. El receptor recibirá rayos directos e indirectos (debidos a rebotes), cuyo instante de llegada dependerá del camino que hayan recorrido. Suponiendo una superficie y un fondo planos:
- Si el emisor y el receptor están cerca de la superficie deprecio los rayos que inciden sobre esta.



- Si ambos están situados a una profundidad media, estos rayos si deben ser tenidos en cuenta.



**Rayo límite:** aquel que sale del emisor con un ángulo tal que llega a ser horizontal justo en la línea imaginaria que separa estratos de distinta celeridad. La importancia del mismo reside en que rayos con ángulos mayores o menores que él son refractados según la Ley de Snell, produciéndose una separación entre las trayectoria que definen una **zona de sombra** en la que los rayos se encuentran tan separados que no es posible una buena recepción de los mismos y puede considerarse que hay silencio.

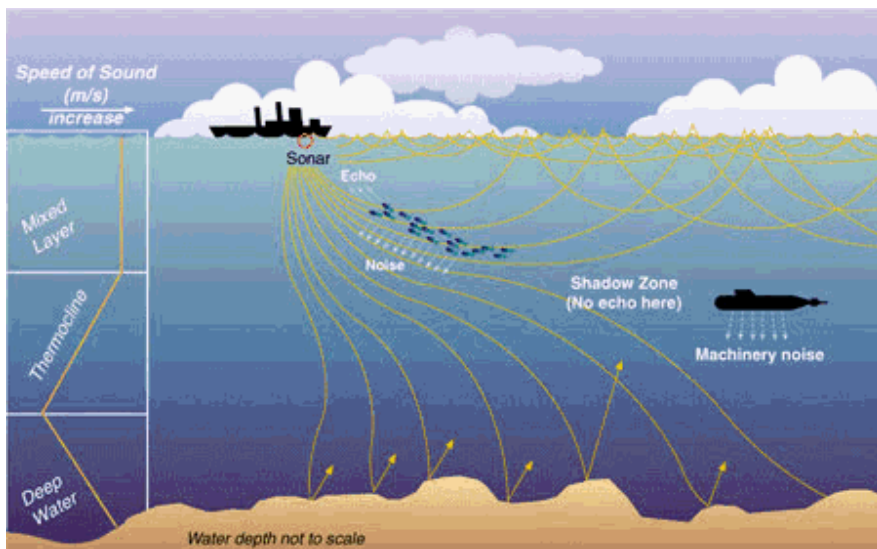


Fig. 11

En la capa de agua caliente del océano, el sonido se refracta hacia la superficie. A medida que las ondas sonoras se desplazan hacia el fondo donde el agua es más fría, la velocidad del sonido disminuye y se refracta hacia abajo, creando una zona de sombra en la que un submarino puede esconderse.

#### Canales sonoros

Estudiaremos la refracción a grandes profundidades donde la temperatura es casi constante, unos 4 grados centígrados. Allí las condiciones son bastante estables y uniformes todo el año. En este caso la velocidad del sonido alcanza un mínimo, aumentando a menores profundidades por el incremento en la temperatura y a mayores profundidades por el incremento de la presión. Los rayos que se originan en esta región de velocidad mínima forman un pequeño ángulo con la horizontal tendiendo la curva a volver hasta este nivel sin alcanzar otra superficie o el fondo, formando un canal sonoro.

Propagación de rayos acústicos en un canal sonoro.

Para analizar este tipo de transmisión suponemos que:

- La velocidad aumenta uniformemente a razón de  $g'$  m/s por metro por encima del eje del canal sonoro.
- $c_m$  es la velocidad mínima en el eje del canal sonoro.
- La velocidad aumenta uniformemente a razón de  $g''$  m/s por metro por debajo del eje del canal sonoro.

Cuando el gradiente de velocidad  $g'$  es constante, los rayos atraviesan el eje del canal sonoro hacia arriba formando un ángulo  $O_1$  con la horizontal, por lo que viajarán formando un arco de círculo de radio  $R'$  y cruzarán de nuevo el eje del canal sonoro a una distancia horizontal:

$$\Delta x' = 2 \cdot R' \cdot \text{sen} O_1 = (2 \cdot c_m) / (g' \cdot \cos O_1) = (2 \cdot c_m \cdot \text{tang} O_1) / g'$$

Por tanto, el rayo atraviesa el eje del canal sonoro en dirección hacia abajo formando un ángulo  $O_2$  y cruzará de nuevo a una distancia horizontal:

$$\Delta x'' = 2 \cdot R'' \cdot \text{sen} O_2 = (2 \cdot c_m \cdot \text{tang} O_2) / g''$$

Generalmente los rayos que atraviesan el eje del canal sonoro formando un ángulo  $O_0$ , lo volverán a cruzar de nuevo formando este mismo ángulo, primero en una dirección y luego en la contraria. Vamos a obtener una expresión de la velocidad media horizontal de los rayos acústicos que cruzan el eje de un canal sonoro con un ángulo  $O$ .

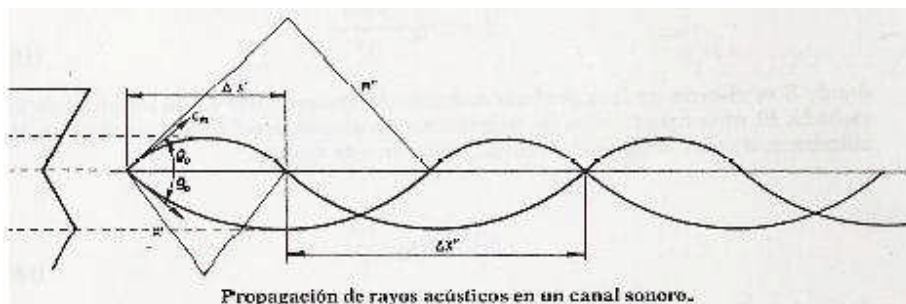


Fig.12

En el eje del canal sonoro la velocidad del sonido es mínima, es decir  $c=c_m$ . En cualquier punto del canal sonoro la velocidad de propagación de la onda dada por la ley de Snell:

$$c = (c_m \cdot \cos O) / (\cos O_0)$$

La componente horizontal de esta velocidad es  $c \cdot \cos O = c_x$ , o sea:

$$c_x = (c_m \cdot \cos^2 O) / \cos O_0$$

El valor medio de esta velocidad será:

$$\bar{c}_x = (c_m / \cos O_0) \cdot \int_0^{O_0} (1/O_0) \cdot \cos^2 O \, dO = (c_m/2) \cdot ((1/\cos O_0) + (\sin O_0/O_0))$$

Y desarrollando en serie  $\sin O_0$  y  $\cos O_0$  nos queda:

$$\bar{c}_x = c_m \cdot (1 + (O_0^2 / 6))$$

Donde  $O_0$  está en radianes. Por tanto la velocidad media horizontal de los rayos acústicos que atraviesan el eje del canal sonoro es siempre mayor que la velocidad mínima del sonido  $c_m$  en el eje del canal.

## **CAPITULO VI.**

### **5.6. ACÚSTICA SUBACUÁTICA**

Tratará la transmisión de las ondas acústicas a través del agua, teniendo en cuenta las pérdidas por transmisión, la generación y recepción de las señales, así como los fenómenos de reflexión, refracción, divergencia, absorción, ruidos y reverberación que presentan las ondas acústicas al propagarse a través de este medio

Como procedimientos de comunicación bajo el agua existen cuatro métodos generales:

- Óptico
- Magnético
- Eléctrico
- Acústico

¿Por qué usamos la acústica acuática?

El agua es muy opaca a la luz infrarroja y ultravioleta, no siendo particularmente transparente para luz visible. La transmisión y detección magnética puede utilizarse para distancias relativamente cortas. Las ondas de radio o electromagnéticas se atenúan rápidamente al propagarse por el agua salada, por ser ésta buena conductora. La transmisión de información bajo el agua por medio de ondas acústicas es un mejor método que los anteriores, porque el agua es un buen medio para transmisión de ondas acústicas, mejor que el aire.

Por tanto, excepto para aplicaciones específicas, el método acústico es el más utilizado para transmisión de señales bajo el agua.



Muchos factores influyen sobre la transmisión del sonido en este medio. Algunos de estos factores son:

- Tanto la superficie como el fondo afectan a la transmisión. La superficie del mar produce una reflexión casi perfecta de las ondas acústicas, debido al cambio de impedancia de un medio a otro. No obstante, las olas hacen que la superficie no sea plana. Además la forma del fondo marino también es variable.
- El mar no es un medio homogéneo, sino que está estratificado verticalmente mediante variaciones de temperatura y densidad.
- El mar no es un medio isótropo debido a las variaciones de presión y densidad del agua del mar.

Además hay otros problemas que se pueden encontrar al realizar una transmisión por el mar, como pueden ser ruidos producidos por los organismos marinos, barcos, ruido de superficie, ruido de la lluvia, ruido debido a corrientes y cambios de presión hidrostática.

La acústica submarina tiene un gran número de aplicaciones, tanto en investigación como industriales. Es útil en oceanografía, marina mercante, de guerra, comunicación.

## CAPITULO VII.

### **5.7. APLICACIONES**

Existen aplicaciones militares, científicas, sociales e industriales, a continuación mencionaremos algunas:

Las aplicaciones de la acústica submarina son de carácter militar o técnico, pero tienen además un gran interés para usos industriales.

1. Los sondeos submarinos que permiten la detección de los buques sumergidos, y en general, de todos los obstáculos bajo la superficie del mar, han constituido la primera de las aplicaciones prácticas de la acústica submarina, tanto con fines militares como por seguridad en la navegación. En un principio los procedimientos eran puramente acústicos, midiendo el tiempo que tarda un eco sonoro en reflejarse en el fondo del mar, o en un obstáculo. Se colocaba una placa de acero en la parte inferior del barco, sobre la cual se golpeaba un martillo. También se utilizan cargas explosivas e incluso disparos de cañonazos en la superficie. Se mejoró utilizando un oscilador de bobina móvil, pero todos estos sistemas eran a direccionales y exigían un receptor de ecos colocado en un punto bastante alejado del emisor, para distinguir la señal incidente de las reflejadas. Como consecuencia de la desaparición del Titanic, Richardson propuso en 1912 descubrir la presencia de icebergs en el mar por medio de un emisor de ultrasonidos.
2. Otra aplicación importante consiste en la detección de bancos de pesca. Se pueden localizar a una distancia de hasta 1200 m e incluso se puede reconocer la especie de los peces con el trazo que describen.

- Se utiliza también el sonar en la detección de submarinos, sobre todo con aplicaciones bélicas.

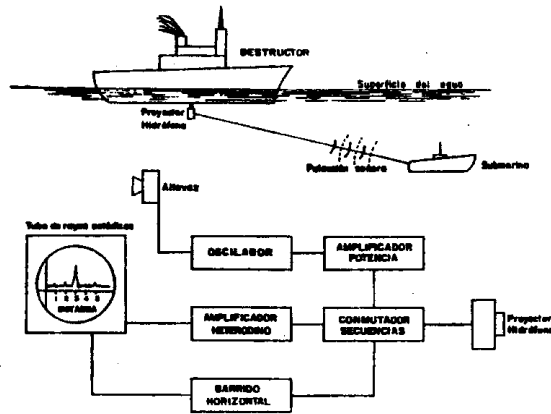


Fig. 13

- Se puede determinar la profundidad del mar mediante el registro sonoro del eco.

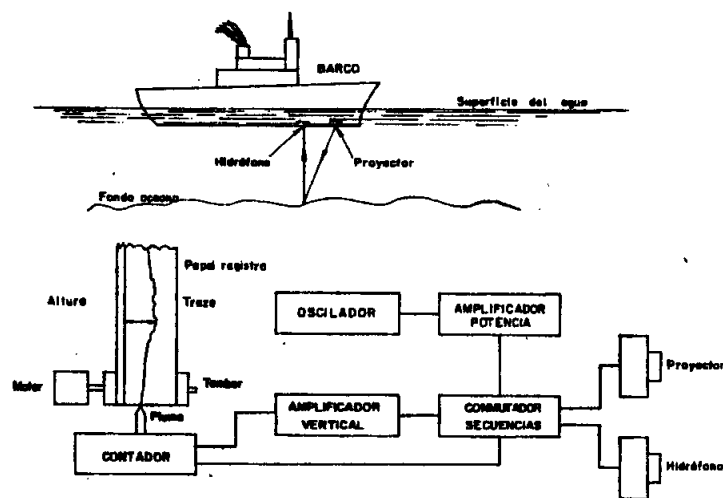


Fig. 14

5. También se utiliza para transmisión de información de barco a barco, y en particular a submarinos.
6. A pesar de todo, las comunicaciones con submarinos sumergidos resulta bastante difícil, ya que el agua absorbe rápidamente las ondas. Se pueden usar ondas continuas o impulsos.
7. El receptor consiste en un pequeño reflector dirigido hacia el emisor, que permite captar la onda modulada. A continuación la onda se amplifica y demodula.

Algunos animales usan las características de la propagación del sonido para orientarse o incluso comunicarse bajo el agua. Las ballenas:

El oído es su sentido más importante. Se sabe que producen al menos dos tipos de sonidos los que intervienen en su sistema de ecolocación y las vocalizaciones. Es probable que ambos se produzcan como consecuencia del movimiento del aire al entrar y salir de los sacos nasales. Los sonidos de ecolocación funcionan como una especie de sonar biológico, mientras que las vocalizaciones son las conocidas canciones de las ballenas parecen ser más bien un medio de comunicación entre los miembros de la misma especie.

Gracias a la ecolocación estos animales discriminan con precisión el tamaño o la distancia a la que se encuentra un objeto.

Para ello, dirigen hacia éste los sonidos producidos en una zona de la cabeza que, después de rebotar en el objeto, vuelven hacia el animal y le proporcionan toda la información necesaria.

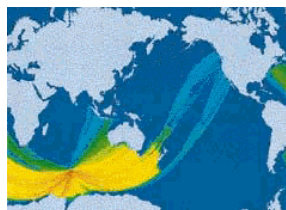


Fig.15

Como el medio de propagación de los sonidos es el agua los cetáceos no han desarrollado un pabellón auditivo externo, elemento muy útil para el resto de mamíferos terrestres, pues ayuda a dirigir los sonidos hacia el interior del oído. Es fácil deducir que la ecolocación es de mayor ayuda y supone una gran ventaja a la hora de orientarse, navegar o capturar presas en la oscuridad o en aguas turbias.



Fig.16

Para las ondas de sonido que se desplazan por el océano horizontalmente, la velocidad depende fundamentalmente de la temperatura. Por lo tanto, el tiempo que una onda sonora tarda en recorrer el espacio comprendido entre dos puntos es un indicador de la temperatura media del espacio recorrido. Si se transmite sonido en numerosas direcciones a través del canal de sonido profundo, es posible obtener mediciones que cubren grandes zonas de la tierra.

En un mapa de temperaturas oceánicas globales se pueden representar miles de trayectorias de sonido del océano, de forma que con sólo repetir las mediciones para estas mismas trayectorias cada cierto tiempo, sea posible realizar un seguimiento de los cambios de temperatura durante meses o años.

En 1991 los sonidos de tonos bajos originados a cierta distancia del litoral de la isla de Heard en el sur del Océano Índico se detectaron a más de 18.000 kilómetros de distancia.

Los investigadores han comenzado a realizar mediciones de las temperaturas del océano a escala global, mediciones que son claves para entender los procesos que intervienen en la transferencia del calor entre el océano y la atmósfera. El océano desempeña un papel importante en la determinación de la temperatura del aire; se cree que la capacidad calorífica en los primeros metros del océano es igual a todo el calor presente en la atmósfera. Dada la gran cantidad de indicios que evidencian el calentamiento global, científicos de todo el mundo se están esforzando por determinar qué parte de este calentamiento observado se debe simplemente al ciclo climático natural y qué parte se debe a la quema de combustibles fósiles y otras actividades humanas.

Oceanografía: es la ciencia que estudia los océanos y los mares, sus aguas, fondos y organismos tanto vegetales como animales.

Las técnicas acústicas son métodos físicos que permiten conocer la morfología del fondo marino y la estructura del subfondo marino de un modo indirecto. Una de las técnicas más empleadas es la sísmica de reflexión. El principio de funcionamiento consiste en la emisión de ondas acústicas que cuando cambian las condiciones del medio (cambios de impedancia acústica), debido por ejemplo, a la interacción con el fondo marino o los diferentes niveles o estructuras sedimentarias del subfondo marino, parte de la energía se refleja. La profundidad a la que se obtiene el reflector al que corresponde dicho eco, se obtiene en tiempo doble. Las técnicas acústicas generalmente se agrupan en función de su frecuencia de emisión y naturaleza de la fuente acústica. Estos condicionan a su vez la penetración y la resolución del sistema, relación que es inversa, de modo que a mayor penetración se obtiene menor resolución y viceversa. La resolución se utiliza en los estudios de mucho detalle, o lo que es lo mismo en los estudios de alta resolución. Por el contrario, la penetración se emplea en aquellos estudios que pretenden conocer como es la geología profunda, en detrimento de los detalles.

**Ecosondas:** sistemas que permiten conocer la profundidad del mar. Se basan en la medida del tiempo que tarda una onda acústica en recorrer la distancia existente entre el punto de partida y el fondo del mar donde se refleja, y su retorno al punto de partida. La emisión y recepción acústica se realiza generalmente a través del mismo transductor que convierte las variaciones mecánicas en pulsos eléctricos y viceversa, de forma que en la emisión, la energía eléctrica se convierte en acústica, y en la recepción de la onda acústica se transforma en señal eléctrica. El rango óptimo de frecuencias se extiende de 15 a 200 khz y se elige en función de calado, naturaleza del fondo y tipo de equipo. Los transductores se sitúan generalmente en el casco del barco con el haz orientado verticalmente hacia el fondo. El haz puede comprender o bien un sólo pulso, o bien una banda de pulsos que se distribuyen con un ángulo variable a babor y estribor del barco. Estos últimos, que representan los mayores avances en sistemas de ecosonda reciben el nombre de sondas multihaz. En España se disponen de dos sistemas de sondas multihaz instalados a bordo del buque BIO- Hespérides, EM12 y EM 1000.

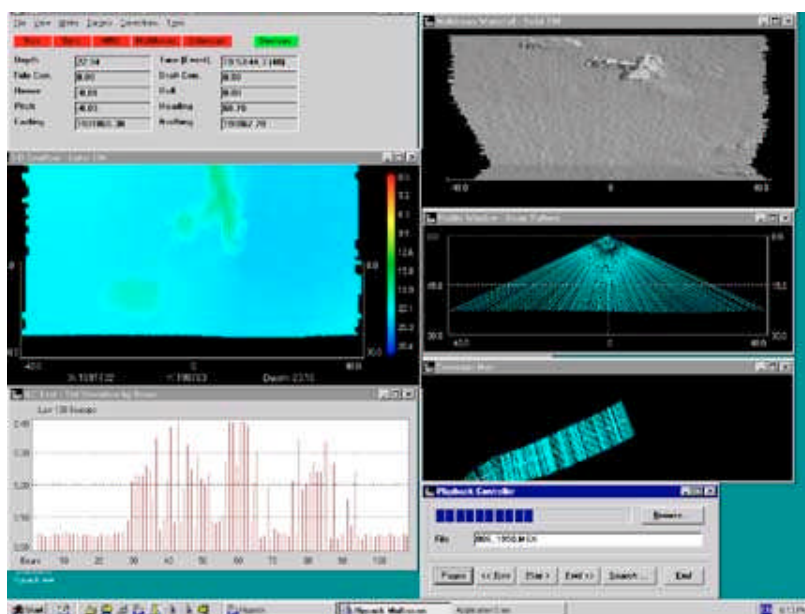


Fig.17

**Sonares de barrido lateral:** Emplean transductores que emiten pulsos de altas frecuencias (10 a 500 KHz.) y que están especialmente diseñados para que emitan un haz concentrado de sonido que tienen un ángulo de abertura horizontal de menos de 2° y un ángulo de abertura vertical mayor de 20°, y cada impulso de sonido es de muy corta duración (< 1ms). Presenta un sistema de doble canal para conseguir la máxima superficie de fondo cubierta por la línea de navegación. La imagen obtenida viene a ser como la de una fotografía aérea, y representa uno de los mejores sistemas diseñados para obtener una visión de como es el fondo marino. La imagen del fondo marino se dibuja en tonos de grises en función de la reflectividad del fondo, y en dos coordenados, rango y distancia, a lo largo de la trayectoria seguida por el barco. La reflectividad es consecuencia directa de la morfología del fondo y orientación de las mismas, así como del tipo de sedimento que conforma la superficie y los primeros centímetros del subfondo. El avance tecnológico ha permitido la construcción conjunta de un sistema de sonar de barrido lateral y de sonda multihaz, lo cual ha favorecido las interpretaciones geológicas, dado que permiten identificar con gran precisión si los cambios en la reflectividad del fondo pueden ser causados por variaciones de relieve o de textura.

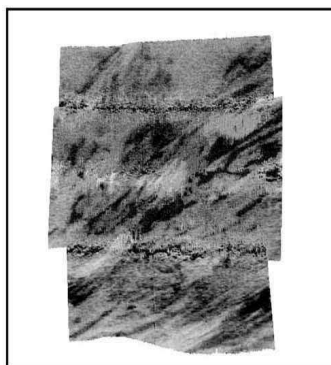


Fig.18

**Sísmica de reflexión:** Sistemas en los que la recepción de las ondas reflejadas se efectúa sobre un soporte continuo en sentido transversal, en cuyo extremo se localiza el cero de la emisión, y a diferentes intervalos los trazos de los ecos recibidos. En sentido longitudinal del soporte donde se registra, y a una distancia tal que no se superponga a la traza, pero que tampoco quede separada, se repite el proceso de emisión de otro



pulso, con la consiguiente recogida de nuevos ecos, y así sucesivamente. Estos receptores de las ondas acústicas reciben el nombre de hidrófonos. Como el buque va navegando siguiendo una trayectoria establecida, el resultado es un gráfico, donde se representa la disposición de fondo del mar y de los diferentes reflectores a modo de líneas. Estas líneas no tienen porqué coincidir con el concepto de capa, niveles, o estratos que se utilizan en Geología, ya que también pueden corresponder a interfases físicas relacionadas con la existencia de fallas, zonas con gas, superficies de erosión, etc.

Las técnicas de sísmica monocal de reflexión comprenden una amplia gama de emisores acorde a la penetración y resolución que se desee conseguir. Entre las técnicas más empleadas están las siguientes: 3,5 Khz., Boomer, Sparker, Geopulse y Uniboorn cañones de aire. Uniboom, y Cañones de Aire.

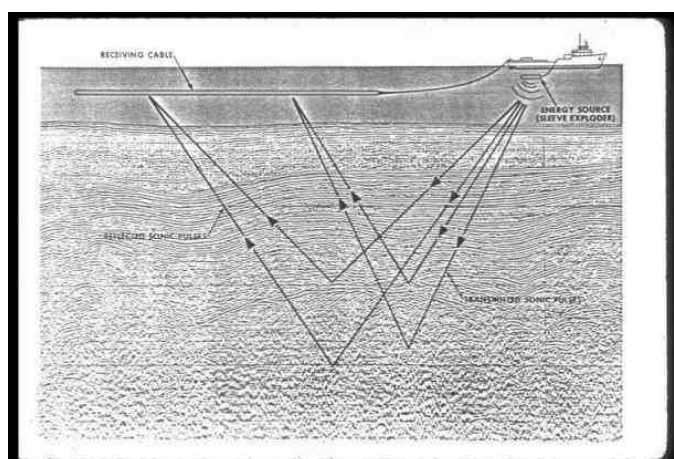


Fig.19

Contaminación.

Marina de Estados Unidos pretende usar un programa de detección marina que incluye el uso de Sonares Activos de Baja Frecuencia (SABF), se usará con fines defensivos para detectar submarinos enemigos. Pero además de sus ventajas también tiene un gran inconveniente: el SABF emite ondas en la misma baja frecuencia que diversas especies de ballena actualmente en peligro, como la ballena jorobada, franca y azul. Los niveles de ruido podrían tener efectos desastrosos para las ballenas que se

encuentren en el área, ya que los cetáceos utilizan el sonido para navegar, encontrar a sus presas, evadir predadores y localizarse a grandes distancias con el objetivo de reproducirse y criar. Cualquier tipo de contaminación acústica que disminuya las habilidades para escuchar señales auditivas, pone en riesgo la habilidad de los cetáceos para realizar sus actividades normalmente. Se estima que a corto plazo podrían observarse cambios en los patrones de navegación, que afectarían las conductas de alimentación y aumentarían la posibilidad de colisión de las ballenas con embarcaciones marinas. A largo plazo, los niveles de contaminación acústica podrían obligar a los animales a abandonar sus hábitats de reproducción y alimentación, con consecuencias hasta ahora desconocidas.

## CAPITULO VIII.

### 5.8. DELFINO TERAPIA

La Delfino terapia es "Un salto cuántico a la alegría cósmica universal"

Los delfines develaron códigos secretos de contacto con ellos, coordenadas de su ubicación, el nombre de 7 de ellos (por ahora sólo este número, ya que conforme se va trabajando la comunicación se amplía e intensifica), sello delfín y la utilización de gemas muy significativas y particulares cuyo nombre dado fue "Geos 16", información de nueve ciudades intraoceánicas no conocidas aún.

#### MÉTODOS DE CONTACTO:

- Con sello delfín.
- Apertura del chakra délfico.
- Contacto desde el interior del paciente con la frecuencia sanadora de los delfines aún a distancia de los mismos.
- Contactan la esencia del ser y desbloquean su chakra cardíaco y muchos más profundos.
- Trabajan con las diferentes esencias: esencia niño - esencia adolescentes - esencia adultos, etc.
- Lectura de las aguas.

#### ¿CÓMO OPERAN?:

- Pacifican el espíritu y permiten manifestarse más puro, más flexible.

- En donde nos encontremos, ya sea un medio acuoso o no, dado que la vibra de nuestro cuerpo (que contiene más de un 70% de agua), sirve como operador o campana de llamada de conexión con ellos.
- En el consultorio, en un lugar de pocas aguas o cercanos a grandes océanos, estando el animal presente o no; la conexión se logra del mismo modo dado el trabajo con el Sistema “Adi Dolan®”

#### ¿EN QUÉ NOS AYUDAN PUNTUALMENTE?:

- Conexión intrauterina: contención y apertura a la *esencia niño* que ha de llegar (embarazos, partos, recién nacidos).
- Sanación cuántica en fuertes conflictos - depresión.
- Equilibrio de los 4 cuerpos principales y los demás más sutiles.
- Despeje de viejos temores e inseguridades relacionados con vida pasadas/nudo existencial (con el aporte de la energía de las ballenas y los akashas).
- Apertura a otras dimensiones.
- Sanación holística.
- Sensitividad y sensibilidad con la frecuencia energética de los delfines.
- Tanatología: Poesía de almas en vuelo.
- Niños dulces especiales.
- Contacto sanador y reparador a distancia con la energía sostenida de los delfines (casos realizados en el país y en el extranjero).

#### ¿RESULTADOS?:

Depende de la entrega de nosotros hacia los delfines y su amorosa energía:



Fig. 20

- Desbloqueo de las esencias: esencia niño, esencia adolescente, esencia adulto, etc., para mejor calidad de vida en lo cotidiano y en lo trascendente.
- Alegría - Positividad en el accionar - Armonía desde lo profundo de la esencia total del ser.
- Conexión simultánea con diferentes dimensiones, planetas y lugares de agua.
- Conexión con diferentes especies existentes en el planeta (estando en el agua con ellos o no).
- Interactuando con su energía amorosa y sutil, sanamos cuerpo y alma en un solo salto cuántico.
- Protección en y con distintos planos sutiles no visibles por el ojo humano.



## ORÍGENES

Hace 60 millones de años, una especie de mamíferos retornó a las aguas en busca de alimento. Como modo de supervivencia debieron modificar cada parte de sus cuerpos; tenían que poder nadar -más que caminar- y salir a la superficie para respirar. Asimismo debieron desarrollar nuevos métodos de detectar y atrapar a sus presas. Gradualmente su torso se convirtió en una forma alargada, de modo de poder tener movimientos más suaves en el agua; su piel se convirtió en algo más sedoso, desapareciendo su pelaje, y también cambiaron la posición de sus fosas nasales por un orificio en el lomo. Finalmente, sus miembros pasaron a ser aletas.

## MITOLOGÍA

La tradición ancestral de Grecia y los aborígenes de África une al planeta Tierra con la estrella (el sistema estelar binario) Sirio. La Gran Pirámide se alineó de tal modo que Sirio pudo ser estudiado; esta "estrella del perro" se encuentra en la constelación Can Mayor y se la llamó "estrella del Nilo" y "estrella de Isis" por los egipcios.



Su aparición antes de la salida del sol en el solsticio de verano marcó el desborde del Nilo, del cual dependieron la agricultura y también su vida. Veneraban al Sol detrás del Sol.

Existe una historia que ha sido relatada por generaciones entre los aborígenes y cuenta que las ballenas y los delfines originalmente provenían del sistema de Sirio, con el objeto de ayudar a los seres humanos. Ella indicaba que las ballenas se sacrificarían a sí mismas de modo que el ser humano viviese y floreciese, es decir, evolucionara; de esta forma los delfines estarían presentes para ayudar a los humanos en su evolución.

Según Robert Shapiro y Julie Rapkin, en su libro "Despertar al Mundo Animal", los delfines vienen de planetas de agua en la región de Sirio, para trabajar en la preservación de nuestro planeta y, a su vez, enseñar las artes de alegría, amor, felicidad y juego.

Se establece también que hay una predicción que sostiene que la raza humana tenía sólo el 80% de probabilidad de supervivencia y que era tarea de los delfines, con su poder intelectual y sus formas avanzadas de comunicación, traer y facilitar a los seres humanos conocimiento de civilizaciones ancestrales, de modo de unificar el pasado, presente y futuro.

Los delfines habían sido reverenciados como dioses en el pasado y en Grecia se dictaba la pena de muerte a quien los matara.

Alrededor de 2000 años A.C., los griegos decoraban sus ánforas con representaciones de ballenas y especialmente de delfines. Al lado de su legendario lema "Conócete a ti mismo", grabado en la entrada del oráculo de Delfos, colocaron un delfín, equiparándolo a la protección otorgada a los dioses.

Los aborígenes de Australia conservan leyendas de tiempos remotos en las que se cuenta que los pueblos primitivos se dirigían a las playas para comunicarse con los delfines, con los que mantenían una estrecha relación espiritual, y que al finalizar aquellas reuniones de dos partes -delfines y aborígenes- regresaban a sus respectivas moradas llevándose consigo el contenido de sus comunicaciones telepáticas que, posteriormente, transmitían al resto de los miembros de la tribu.



De este modo, durante muchos años los delfines, llamados con el nombre genérico "dreamtime", fueron incluidos en la vida espiritual y física de los pobladores de Australia. Las playas donde se solían celebrar esos encuentros, consideradas lugares sagrados sobre cuyo emplazamiento se guardaban un celoso secreto que sólo era transmitido oralmente por los jefes espirituales de las tribus, de generación en generación. Con el correr del tiempo, sin embargo, aquellas prácticas fueron paulatinamente abandonadas, hasta su posterior recuperación por colonos blancos.

Los indios americanos ven a los delfines como la simbolización "Maná", la respiración sagrada de la vida. Una de las historias en su folklore describe como la "abuela Luna" le pidió aprender sus ritmos y movimientos de forma de que ella pudiera abrir su lado femenino. Conforme el delfín se desplaza con estos ritmos, entra en un estado llamado "dreamtime", una nueva realidad.

Al delfín le fue dado el don de la LENGUA PRIMORDIAL, el conocimiento que toda comunicación es a la vez una forma, un patrón y un ritmo en el sonido. Y él utiliza este conocimiento para establecer el vínculo entre los niños de la Tierra y el Gran Espíritu.

La mitología de culturas muy remotas contiene historias similares:

- Los nativos de Groote Eylandt, una isla en el Golfo de Carpentaria, en el norte de Australia, se consideran a sí mismos como descendientes directos de los delfines. En sus ceremonias tradicionales, en las cuales celebran el pasado mítico, los ancianos de la tribu se decoran a sí mismos pinchándose el rostro con imágenes de delfines; danzan y cantan en estado de trance hasta llegar a lo que ellos denominan "Dreamtime" y en la leyenda el líder de los delfines es llamado Dinginjabana.



- Similar a la anterior, existe otra tribu aborígen en las afueras de la isla Morning Tom, en el mismo golfo, que aún cree que su fortuna y felicidad dependen de estar en contacto con los delfines; se denominan a sí mismos "La Gente Delfín" y conforme el tiempo transcurre, los jóvenes de la comunidades van superando distintas pruebas de iniciación de forma tal que cultiven su sensibilidad y su intuición, y el joven más sensitivo de todos ellos se convertirá en el chamán. El mismo poseerá la habilidad de hablar directamente con los espíritus de los animales, las plantas, los árboles y las piedras, y podrá abrir canales de comunicación entre la gente y los delfines. La "Gente Delfín" cree en realidad que su chamán es un delfín que ha elegido reencarnar como ser humano y conoce una combinación compleja de silbidos y señales que le permite a los delfines acercarse a las costas; a esta altura, el chamán explica que le habla a los delfines telepáticamente, de mente a mente.
- La gente de las Islas Gilbert (ahora conocida como Kiribati) en la Polinesia, también solía llamar a los delfines. El chamán de la tribu ingresaba a un estado alterado de conciencia, en el cual su espíritu salía del cuerpo y permitía así ingresar el del delfín.



## ESPECIES

Existen diferentes clases de delfines que habitan en diferentes tipos de aguas: dulces y saladas. Estas especies se pueden encontrar en los océanos Atlántico, Pacífico e Índico y son más de 30: moteados, mulares, "nariz de botella" y otras; algunos de los delfines oceánicos son el Pantropical moteado, el común, el rayado, el Clymene, el "trompa blanca" el Dos colores del Atlántico y del Pacífico, el chileno, etc.

Entre los delfines de río, encontramos el del Amazonas, el del Río Chino, el de Franciscana, el del Indus y el del Irrawaddy, entre otros.

### UNA DE SUS CAPACIDADES: EL "SONAR"

Los delfines tienen una sensibilidad acústica de oír diez veces más que nuestro radio de alcance. Cuentan con un mecanismo resonante muy sensible denominado "sonar", que constituye un ingenioso detector de las frecuencias más sutiles; con esta sensible habilidad bioacústica, son capaces de proyectar hologramas sónicos en otros organismos vivos, como cierta clase de moluscos y el erizo de mar aplanado. La información contenida en estos hologramas es recuperada a continuación por otros delfines, lo que les permite crear un sistema de memoria externo a ellos mismos.

Realizan operaciones sónicas en el cuerpo, ya que pueden "ver" dentro del mismo como si su sonar les confiriera la visión de rayos X. Con este sonar desarrollado, pueden ver a través de la piel, percibiendo la forma y movimiento de nuestros órganos internos, el movimiento de nuestros pulmones y el latir de nuestros corazones.

Los sonidos que los delfines emiten se encuentran entre los 1.000 y 80.000 HZ, mientras que nuestro espectro de comunicación es mucho más bajo, entre 300 y 3.000 HZ. Los sonidos audibles para el ser humano oscilan entre 20 y 20.000 HZ, lo que implica que nosotros podemos realmente escuchar los sonidos que emiten los delfines entre 10.000 y 20.000 HZ, esto no indica que no percibamos o respondamos a alguno de naturaleza ultrasónica.

Sus sistemas acústicos les proporcionan "radiografías acústicas", pudiendo dar información sobre la composición interna de los objetos. Tienen la capacidad para el reconocimiento del "eco sonar", este es análogo al movimiento que producen nuestras manos cuando aplauden en un cuarto oscuro e intentan hacernos dar una vaga idea de dónde están las paredes.

Debido a que los sonidos viajan más rápido y con mayor claridad bajo el agua, ellos son capaces de percibir una idea precisa de su mundo simplemente interpretando los ecos que oyen. Esto podría conducir a alguna forma de contacto telepático.

El "sonar" de un delfín es capaz de discernir entre las densidades de los diferentes metales.

Según el obstetra Michel Odent, no hay duda sobre que el ultrasonido tiene efectos biológicos en nosotros. Un caso contundente surgió durante un programa de nado con delfines registrado por investigadores en los EE.UU.: de acuerdo con su informe, una nadadora que participaba en este programa diario fue golpeada en las costillas por uno de ellos, el cual siempre había sido muy dócil. Un poco sorprendida y bastante alterada por el incidente, fue trasladada al hospital más cercano, donde se le tomaron radiografías. Una vez que el médico a cargo tuvo los resultados, se le informó que se había detectado un tumor pulmonar, justo por debajo de las costillas adonde el delfín le había dejado un moretón a la nadadora. ¿Había el delfín localizado el tumor o era una mera coincidencia? A este fenómeno de detección de los delfines se lo denomina "ecocolocadón".



Su habilidad telepática hace que aún de un modo simbólico y a nivel telepático suela provocar un efecto de transformación total en la vida de un individuo a través de su sonar sanador y su mirada profunda, provocando la activación de los chacras cardíaco, laríngeo y del tercer ojo. El delfín ha desarrollado particularmente su chakra del tercer ojo, lo que le permite tener una habilidad clarividente eminente; conjuntamente con el chakra laríngeo, con el sistema acústico denominado sonar y su tercer ojo, se convierte en un captador de sabiduría y mensajes cósmicos de distintos niveles espirituales, los cuales tienen la capacidad de transmitir, simultáneamente de haberlos recibido, al ser humano.

Además de la apertura de los canales de percepción humana, la tarea principal de los delfines es activar y conectar el chakra del tercer ojo y el cardíaco. Esa alegría e

inocencia que ellos despliegan a través del juego, tiene en verdad como objetivo la activación del chakra cardíaco a tal punto que se provoque un despertar espiritual.

De ello puede dar sobradas explicaciones y aseveraciones el doctor e investigador inglés Horace Dobbs.

Aparte de las capacidades clarividentes que los delfines son capaces de despertar o expandir dentro del ser humano, también pueden sanar. Con sus sentidos tan desarrollados pueden fotografiar el aura humana, detectar bloqueos y fugas de energía y repararlas al instante, ya que son capaces de captar y procesar una energía en extremo sutil. Sus órganos sensoriales pueden percibir campos vibratorios más profundos y casi imperceptibles para nosotros. A través de su contacto telepático ayudan a desacralizar viejas estructuras mentales de conducta.

## **CAPITULO IX.**

### **5.9. INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN**

#### **SONAR**

La palabra SONAR es el acrónimo inglés de Sound NAvigation and Ranging y por ella se entiende el método y/o el equipo necesario para determinar por medio del sonido la presencia, localización o naturaleza de objetos en el mar.

Hoy en día, por extensión, se aplica la palabra SONAR a la parte de la acústica aplicada que abarca todas las actividades en las que el agua es el medio de propagación del sonido.

Básicamente el SONAR es al agua lo que el RADAR es al aire. La diferencia fundamental reside en el medio en el que se propaga la energía.

Tanto en el aire como en el vacío se utiliza la radiación electromagnética, pero este tipo de radiación no es eficaz en el agua porque el medio acuático es un excelente conductor eléctrico, por lo cual se produce una rápida transformación de la energía del campo eléctrico provocando una atenuación mucho mayor que la radiación acústica de naturaleza mecánica. Para una frecuencia de 1 Khz. la pérdida es de 1428 dB/Km., mientras que la atenuación de la energía acústica es de 0,06 dB/Km. para la misma frecuencia. Cabría la posibilidad de usar radiación electromagnética de frecuencia muy baja para conseguir una menor atenuación, pero presenta inconvenientes importantes debido a la gran cantidad de potencia que se debe suministrar al transmisor, a la necesidad de antenas de cientos de Km. de longitud y a la pobre resolución.

Debido a la distinta naturaleza del medio de propagación y consecuentemente al empleo de distintos tipos de radiación se obtienen otras diferencias notables. Así las ondas electromagnéticas son transversales mientras que las acústicas son longitudinales, por tanto las primeras pueden polarizarse mientras que las segundas no; la velocidad de propagación en las primeras varía inapreciablemente con las características cambiantes del medio, mientras que el sonido aumenta su velocidad a medida que decrece la compresibilidad del medio, lo que tiene una enorme incidencia en el aspecto de la propagación. En el mar la compresibilidad es función de variables como la salinidad, la temperatura y la presión.

### Tipos de Sonar

Básicamente hay dos tipos de Sonar: pasivo y activo.

**Sonar Activo:** para detectar objetos bajo el agua, emplea el eco devuelto por dicho objeto al incidir sobre él las ondas acústicas emitidas por un transmisor. El objeto sobre el que inciden las ondas devolverá parte de ellas. El camino recorrido por las ondas es el doble del camino entre emisor y objeto.

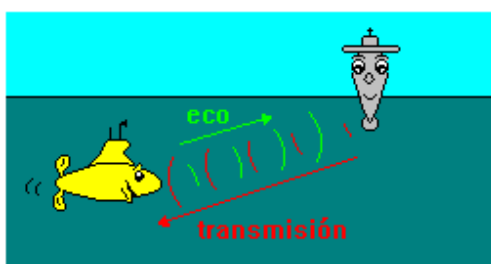


Fig. 21.

**Sonar Pasivo:** escucha directamente los sonidos de los objetos que permanecen sumergidos. En este caso la onda recorre únicamente la distancia entre el objeto y el receptor.

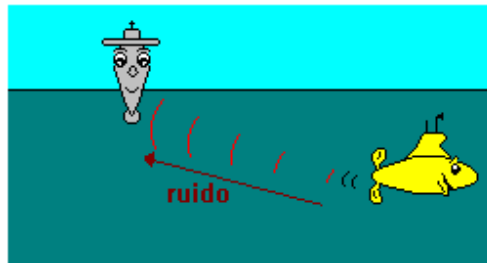


Fig. 22.

Hay diferentes criterios para elegir uno u otro tipo de Sonar. Los más comunes son:

Criterio	Activo	Pasivo
Alcance	Menor	Mayor
Obtención de distancia	Si	No
Discreción	Poca	Mucha
Detección de contactos no ruidosos	Si	No

En general el sonar activo y el pasivo se complementan para efectuar la detección y el análisis de objetos sumergidos y tanto los submarinos como los buques de superficie con capacidad antisubmarina emplean ambos tipos de forma conjunta.

Otros instrumentos interesantes son aquellos que permiten medir la celeridad. Existen dos tipos distintos de aparatos:

- Los que miden la celeridad directamente
- los que miden la temperatura. Este es el sistema más comúnmente empleado por razones de coste.

El primer aparato que se utilizó para medir la temperatura del agua a distintas profundidades es **el batitermógrafo** (BT). Es mecánico y consiste en una pieza cilíndrica lastrada con dos dispositivos:

- Uno de presión, consistente en un tubo bourdon que sujeta una pieza plana sobre la que se dispone un cristal ahumado y que se desplaza por efecto de la presión en sentido longitudinal.
- Un elemento sensible a la temperatura que es capaz de desplazar transversalmente una aguja que descansa sobre el cristal ahumado.

Por el efecto conjunto de la variación de la presión y de la temperatura se marca una línea quebrada en el cristal ahumado que refleja dichas variaciones. Esta placa una vez extraída del aparato y colocada en un visor adecuado a la escala de los elementos sensibles, permite leer el registro o "traza".

Para obtener la traza es preciso sumergir el aparato hasta la profundidad que adecuada. Para ello los barcos disponen de un carretel mecánico que permite mediante un cable arriar el BT y recogerlo, una vez que ha alcanzado la profundidad adecuada, cobrando el cable. Esta maniobra puede realizarse con el buque parado o con el buque en movimiento, con una serie de limitaciones, impuestas por la resistencia del cable y la longitud largada del mismo.



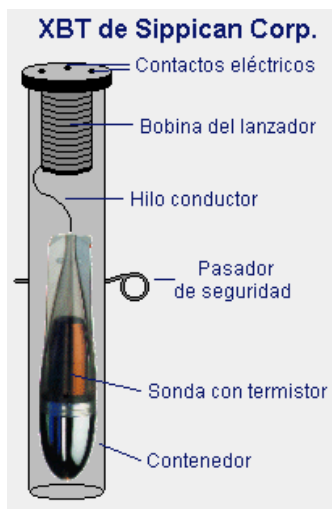


Fig. 23 batitermógrafo

Un sistema más moderno y eficaz es el XBT o batitermógrafo no recuperable, que consiste en una sonda dotada de un "termistor" (resistencia variable con la temperatura) que se lanza al agua y se sumerge a una velocidad constante regulada por su forma hidrodinámica y su peso. La sonda se mantiene conectada al aparato registrador mediante un fino cable dispuesto en dos bobinas separadas: una fija en el buque lanzador y otra en la misma sonda. Este segundo aparato no tiene las restricciones de maniobrabilidad que presenta el BT.

Frente a los sistemas de medición de temperatura se encuentran los que miden directamente la celeridad, mucho más precisos ya que el dato de interés es obtenido directamente y no a través de una de las variables de la fórmula. Los aparatos que realizan estas mediciones se denominan **baticelerímetros** (BV). Entre ellos por construcción existen dos tipos en función de la plataforma que los utiliza:

- El tipo desechable o XBV de idéntica forma al XBT utilizado por buques de superficie y aeronaves.
- Las instalaciones fijas montadas en submarinos. En estas instalaciones fijas la obtención de la celeridad a distintas profundidades el submarino debe variar su cota para obtener la "traza".

## CAPITULO X.

### **5.10. ESTUDIO ECONÓMICO PARA LA INSTALACIÓN DE UNA DELFINO TERAPIA**

➤ Delfines:

Aproximadamente 5 millones de pesos por cada delfin.

➤ Alimento

Gasto aproximado a la semana \$10, 000

➤ Piscina

Gasto en colocación de una piscina \$100, 000

➤ Pescados

\$100, 000

➤ Lugar

\$100 millones de pesos

➤ Ambiente Artificial.

\$10, 000

➤ Personal

Se cubre una cuota de 50 mil pesos al mes.

➤ Artículos

- Pelotas

- Aros
- Tablas de Surfea
- Productos de limpieza

A proximadamente \$110, 000

➤ Transporte

\$100,000

➤ Agua

\$70,000

PD: Todas estas cantidades se generan en un mes. Sin contar el mantenimiento de la piscina

### **5.11. CONCLUSIONES**

En el presente trabajo concluyo que la acústica tiene una gran cantidad de temas de estudio que se relacionan entre sí.

En cuanto a la Acústica marina podemos concluir que es muy costoso tener el instrumento adecuado para hacer mediciones correspondientes mas sin embargo es muy precisa en sus cálculos y se puede utilizar en diversas actividades tanto sociales, culturales, como medio de prevención en casos climatológicos, como ya vimos las aplicaciones son demasiadas.

La acústica marina es esencial para el estudio del hombre tanto internamente como externamente y su interrelación con el medio social y científico.

## 5.12. BIBLIOGRAFIA

- "Curso de Acústica Submarina". Carlos Ranz.
- "Principles of Underwater Sound". R.J. Urick. 1975.
- "Sonar System Technology". A.K. Winder. 1975.
- <http://gama.fime.uanl.mx/acustica/>
- <http://www.monografias.com/trabajos/contamacus/contamacus.shtml>
- <http://www.acusticaspectrum.com/>
- Ingeniería acustica, Ed. Paraninfo, Madrid, 2000
- Acústica Subacuática Richar clemente ed. Mc Graw Hill
- Investigaciones elaboradas por la Delfino Terapia de la 3ª sección de Aragón.