

6.- DETERMINACIÓN DE LA PROFUNDIDAD

AUTOR: Ing. JORGE A. LARRALDE, (con modificaciones Ing. D'Onofrio)

6.1.- GENERALIDADES.-

En las unidades anteriores, se han tratado los diferentes sistemas o equipos utilizados normalmente en la ejecución de trabajos hidrográficos para la determinación de las coordenadas planimétricas de puntos que, hallándose sobre una superficie acuática, son la proyección de otros que pertenecen al fondo subacuático. Puntos que, como ya se dijo, son normalmente inaccesibles e invisibles, por lo que su tercera coordenada, la altimétrica, no puede determinarse utilizando los diferentes métodos de nivelación propios de la topografía clásica.

La coordenada altimétrica de un punto de estas características, queda determinada por la suma algebraica de su distancia vertical a la superficie libre determinada por el pelo de agua y el valor de la cota de esa superficie, referido a un sistema dado.

La distancia entre el pelo de agua y el fondo, conocida como profundidad, fue y es, el objetivo fundamental de la hidrografía en lo concerniente a la confección de la cartografía náutica, proveyendo la información necesaria para la seguridad de la navegación. Una carta náutica (en papel o electrónica) provee información de profundidades para una navegación segura.

La información batimétrica correctamente procesada permite la obtención de un modelo batimétrico con el que pueden llevarse a cabo una serie de determinaciones para fines prácticos:

- Determinación de volúmenes para el control de dragado (pre y pos dragado)
- Determinación de volúmenes sedimentados o erosionados por efecto de las corrientes.
- Determinación de la mejor ruta para el tendido de una tubería o cable.
- Verificación de la superficie sobre la que será instalada una plataforma petrolera.
- Proyectos de vías navegables.

Las diferentes finalidades de un levantamiento, determinarán el tipo de instrumental a utilizar, frecuencias de operación, potencia de emisión, tolerancias, etc.

La profundidad o distancia entre dos superficies que limitan horizontalmente una masa de agua (superior: pelo de agua - inferior: fondo del mar, río o lago) es medida por instrumentos, equipos o sistemas diseñados especialmente para cumplir con esa función. El nombre genérico de estos instrumentos es el de sondas y las hay de diferentes formas, tamaños, potencia, frecuencia, posibilidades de detección, etc.

En idioma español también se denomina sonda al valor correspondiente a la profundidad a que se halla un punto de la superficie subacuática. En el idioma nacional al valor de la profundidad y a la operación de sondear se la denomina "sondaje" (que es un galicismo).

6.2.- TIPOS DE SONDAS

Existen distintos tipos de artificios para medir profundidades o sondas (aquí se desarrollarán los dos primeros que son los más difundidos y experimentados):

- i)- mecánicas, como pueden ser una percha graduada o un cordel graduado al que se le amarra un contrapeso en el extremo inferior (ver fig.1.1-2.1-3.2-6.1-6.2).

ii)- ecoicas, que son aquellas que utilizan energía mecánica de frecuencia sónica o ultrasónica, aprovechando las propiedades físicas del agua como medio de propagación (ver fig. 6.3).

iii)- Batimetrías mediante métodos fotogramétricos. La principal diferencia entre la fotogrametría terrestre y la fotogrametría batimétrica estriba en la trayectoria de los rayos de luz debido al medio que atraviesan. En la terrestre el rayo tiene una corrección debido a la atmósfera denominada corrección de refracción atmosférica, en fotogrametría batimétrica el rayo también atraviesa agua, por lo que para la elección de los puntos de una aereotriangulación tenemos que tener en cuenta los efectos de refracción y difracción, así como el oleaje, salinidad del agua, presencia de algas, etc.

iv)- Batimetrías de satélites en mares poco profundos. El LANDSAT MSS (Sistema de escaneo multiespectral) se usa actualmente para batimetría. En órbita polar detecta la luz reflejada por la superficie del mar y el fondo marino. Se puede calcular así la profundidad con pixeles de 80 metros de lado. Se ha usado para dos cosas: la primera es la localización de escollos, y la segunda la preparación de nuevos mapas de profundidades.

v)- Batimetría costera mediante levantamientos aéreos. La mejora de la tecnología láser permitió crear sistemas capaces de obtener una resolución de 20 centímetros. Se demostró que con el sistema láser neón se podía apreciar hasta una profundidad de alrededor de 10 metros y en aguas turbias de 4 a 6 metros. Las precisiones se van degradando con el aumento de la profundidad. Se comprobó que a menos de 3 metros el error estaba acotado entre 7 y 20 centímetros. Este método permite conseguir datos mucho más rápido que con las técnicas convencionales por embarcaciones.

6.3.- SONDAS MECANICAS

6.3.1 Percha.

Una sonda mecánica de la del tipo de percha, puede ser utilizada en la forma como se muestra en la figura 1.1 cuando las condiciones de profundidad y corriente permiten el desplazamiento de un operador (vadeo).

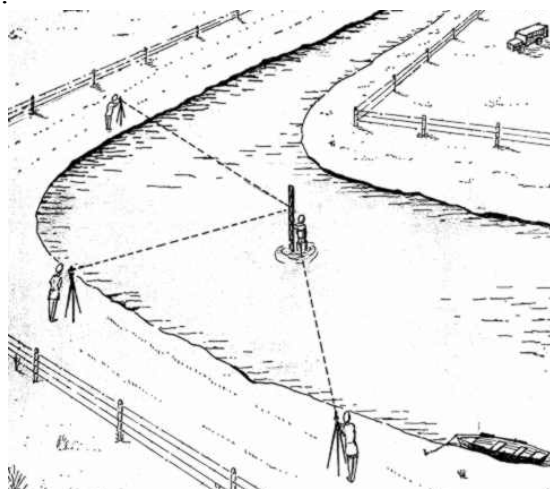


Figura 1.1

6.3.2 Sonda de mano

Una sonda mecánica de las llamadas "de mano" puede confeccionarse con un cordel de fibras vegetales, preestirado, llamado sondaleza, graduado en forma conveniente (con señales tales como: nudos, manguitos de plomo grabados o lanillas a las que se les asigna un valor de

profundidad a cada color) en cuyo extremo inferior se le amarra una plomada de forma troncocónica (figura 6.1).

Esta plomada, llamada escandallo, permite hacer llegar hasta el fondo duro y mantener prácticamente vertical al cordel graduado.

En algunas ocasiones puede reemplazarse el cordel por cable fino, aunque para su uso deben tenerse muy en cuenta las condiciones de trabajo, temperatura ambiente, profundidad máxima, duración de la operación, etc.

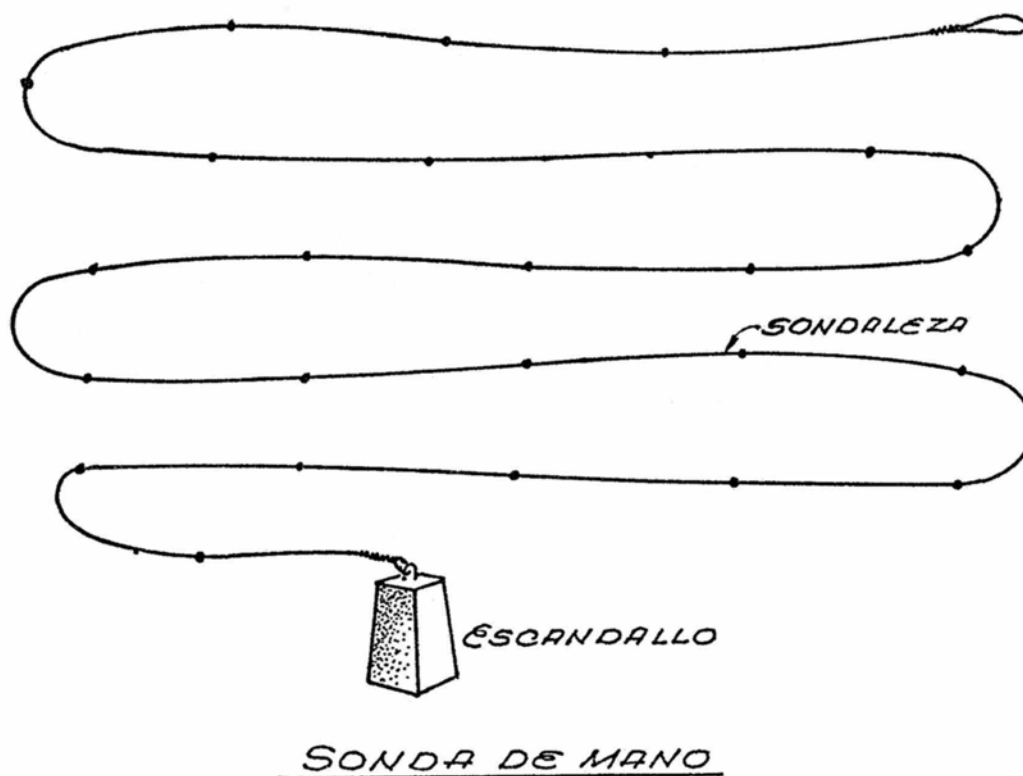


FIGURA 6.1

6.3.3 Sonda THOMPSON

Hace algún tiempo, cuando se trataba de medir grandes profundidades, se utilizaban las sondas del tipo THOMPSON (ver fig. 6.2).

Compuesta por un escandallo de aproximadamente 10 Kg. de peso, soldado a una barra de hierro de aproximadamente 1.0 m de longitud y 0.01 m de diámetro que a su vez lleva soldado un alojamiento portatubos donde se coloca el "capilar" o "tubo químico".

El diámetro interno del "capilar" es de 0.003 m y su longitud de 0.6 m. Su superficie interna está cubierta por una leve capa de cromato de plata de coloración rojo oscuro y posee una sola abertura. Este tubo es colocado en el interior del portatubos con la boca hacia abajo. Cuando se efectúa el sondaje, el escandallo desciende, el agua va entrando al tubo venciendo la presión del aire, produciendo la decoloración de la superficie interna.

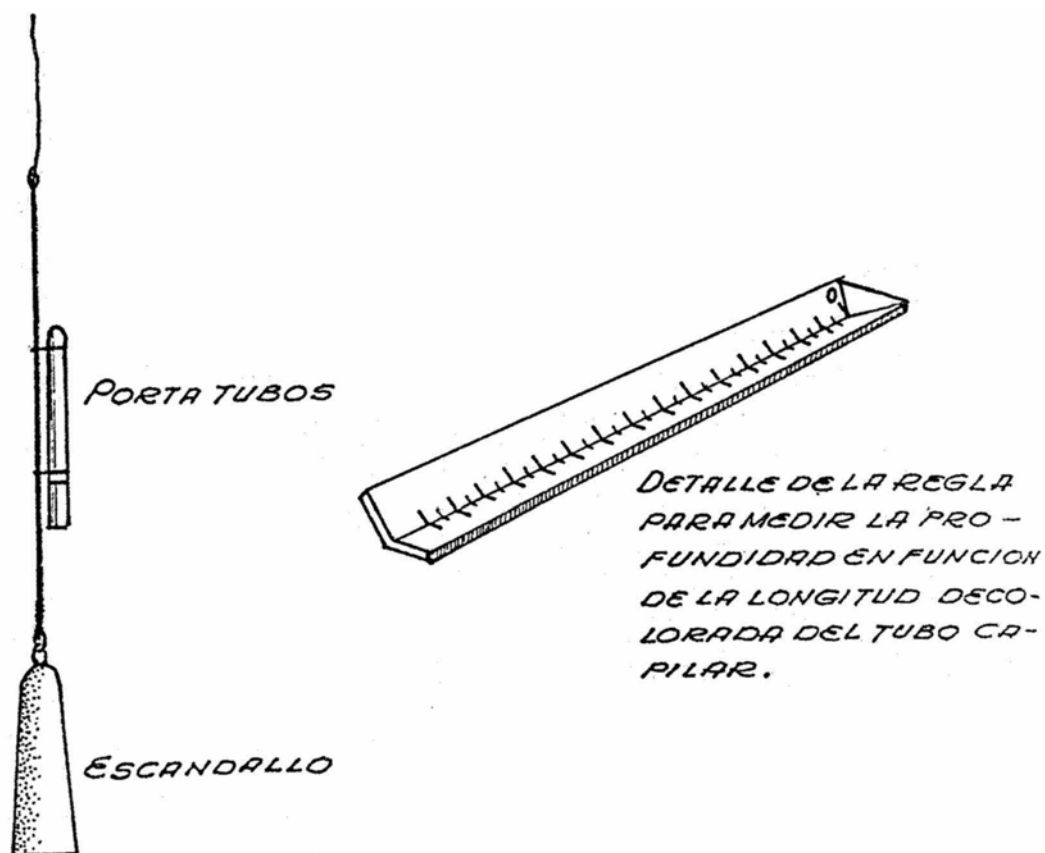
Esto se debe a que el cloruro de sodio que contiene el agua de mar se combina con el cromato de

plata formando cloruro de plata blanco e insoluble, combinándose el cromo con el sodio, formando cromato de sodio, soluble, que desaparece en el agua.-

Una vez que el escandallo toca el fondo, se procede a izarlo hasta la superficie donde se le extrae el "capilar" que se ha decolorado en una longitud proporcional a la presión de agua correspondiente a la profundidad.

En la figura 6.2 puede verse una regla graduada perfil en "V" donde se coloca el capilar con la boca haciendo tope en la base de la regla. La longitud decolorada se mide directamente en la regleta como valor de profundidad en brazas (1 braza = 6' =1,828 m).-

Cada sondaje consume un tubo y la operación insume cierto tiempo, lo que hacía que éste método no fuera utilizado en tareas hidrográficas.-



SONDA THOMPSON

FIGUR 6.2

6.3.4 Sonda LUCAS

Para tareas de sondajes a profundidades relativamente grandes, se utilizaba la sonda LUCAS. Se hallaba compuesta por un gran carretel de alambre (instalado en la popa del barco sondador) en cuyo extremo se colocaba un pesado escandallo. El eje del carretel estaba conectado con un contador de vueltas.

El escandallo se llevaba a la parte más a proa de la embarcación desde donde se lo dejaba caer. La velocidad de la embarcación sondadora debía ser tal que cuando el escandallo llegaba al fondo, el cable debía encontrarse en la vertical del carretel instalado en la popa.

El valor de la profundidad se determinaba en función del número de vueltas necesarias que debía desenrollarse el carretel para que el escandallo llegara al fondo.

6.4.- SONDAS ECOICAS

6.4.1.- El sondaje acústico

Cuando nos encontramos nadando bajo el agua podemos oír nítidamente los sonidos que producen otros nadadores o el motor de una lancha que se halla lejos de nosotros debido a que el sonido se propaga por el agua con mayor eficiencia que por el aire.

Los animales marinos pueden comunicarse a través de distancias muy grandes. El sonido que producen las hélices de grandes buques o de submarinos también pueden ser oído a grandes distancias.

Los instrumentos que se utilizan para emitir o recibir sonidos en el agua se conocen bajo el nombre genérico de sonares.

El sonido se propaga por el agua según una serie de frentes de presión conocidos como ondas de compresión.

Estos frentes de presión se propagan a una velocidad determinada que llamaremos velocidad de propagación. Esta velocidad no es fija sino que depende de varios parámetros físicos del agua tales como la temperatura, densidad, presión etc. En el mar se considera un valor estándar de 1500 m/s.

La distancia entre frentes de presión es lo que conocemos como longitud de onda y el número de frentes de onda que pasa por un mismo punto por segundo se lo denomina frecuencia y se mide en pulsos por segundo o ciclos por segundo.

La longitud de onda será entonces:

$$\lambda = V_p \cdot T = V_p / f$$

Donde V_p es la velocidad de propagación en el medio, T es el periodo de la onda y f es la frecuencia de la misma.

Cuando un frente de onda encuentra un cambio en las condiciones de propagación (cambio de fase) la onda sufre variaciones en su estructura salvo en la frecuencia.

La energía acústica que se traslada con la onda puede ser medida por un instrumento llamado hidrófono que detecta las diferencias de presión a medida que pasa la onda.

La energía de esas ondas es función, entre otras cosas, de su amplitud.

Ecuación de una onda

$$y = A \cos \omega t$$

donde A = amplitud de la onda

$$\omega = \text{pulsación} = 2\pi f$$

f = frecuencia

Velocidad de la onda $\frac{dy}{dt} = A \cdot \omega \cdot \text{sen } \omega t$

Cuadrado de la velocidad $\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = A^2 \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}^2 \omega t$

Energía cinética instantánea $E_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot V \cdot \delta \cdot v^2$

$m = \text{masa} = V \cdot \delta$

$V = \text{volumen}$

$\delta = \text{densidad}$

$v = \text{velocidad}$

Energía cinética media (por unidad de volumen V)

$$E_m = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T E_i \cdot dt = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot A^2 \cdot \omega^2 \cdot \text{sen}^2 \omega t \cdot dt$$

$$E_m = \frac{\delta \cdot A^2 \cdot \omega^2}{2 \cdot T} \cdot \int_0^T \text{sen}^2 \omega t \cdot dt$$

$$E_m = \frac{2 \cdot \delta \cdot A^2 \cdot \pi^2}{T^3} \cdot \int_0^T \text{sen}^2 \omega t \cdot dt$$

En la fig.6.2.1.b puede apreciarse esquemáticamente la composición de una onda. En la figura 6.2.1.a se puede ver una onda de sonido desplazándose, las partes oscuras representan las zonas de máxima presión correspondientes en la fig. 6.2.1.b. a las zonas de máxima amplitud de la onda. La distancia entre los frentes de presión es λ , longitud de onda. El tiempo de pasaje por un mismo punto de dos amplitudes máximas es denominado T o periodo y es la inversa de la frecuencia f .

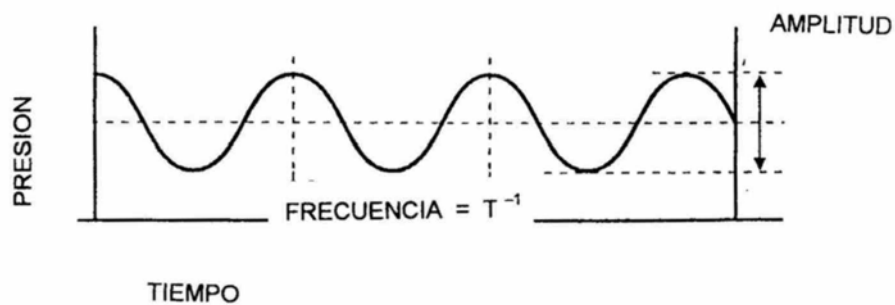


Figura 6.2.1 b - Composición de una onda

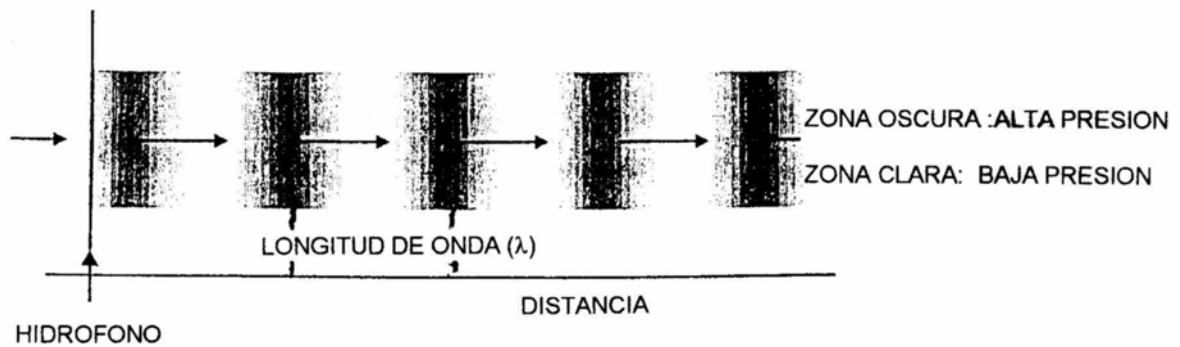


Figura 6.2.1.a Desplazamiento de una onda de presión

Debido a que las condiciones de propagación en el medio no son ideales, las variaciones de presión producen movimientos moleculares con cambio de energía mecánica por calórica.

En general cualquier onda que se propaga por un medio, se amortigua según una ley:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x}$$

donde :

I_x = Intensidad de la onda a la distancia x de la fuente

I_0 = Intensidad de la onda al salir de la fuente

e = base de los logaritmos neperianos

α = función de la frecuencia

x = distancia a la fuente

Estos conceptos se verán luego en los párrafos 6.7 y 6.11

El sondaje acústico nace en los primeros años del siglo XIX cuando el físico francés Dominique François ARAGO propone utilizar el principio físico de propagación del sonido para medir profundidades y distancias en el agua.

Un siglo después aparece en los EEUU de América la primera patente de un medidor ecoico de profundidades.

El desastre del TITANIC da un nuevo impulso al desarrollo del sondaje ecoico y la 2^{da} Guerra Mundial permite la materialización final de la idea de un detector de sonido.

Entre 1918 y 1925, aparecen los primeros aparatos de medición de profundidad a nivel comercial y en nuestro país comienzan a utilizarse con anterioridad a 1928.-

6.4.2.-Algunos tipos de sondas acústicas.-

A partir de estas experiencias, se idearon diferentes mecanismos para obtener la distancia entre el pelo de agua y la superficie subacuática, valiéndose para ello de la medición del tiempo que tarda una onda en recorrer el camino desde la superficie hasta el fondo y regresar a su fuente (adoptando una velocidad media de propagación del sonido en el agua).

Antes que apareciera en el mercado el instrumental que hoy conocemos, se idearon varios tipos de medidores de profundidad:

Uno de ellos se componía de una placa de hierro adosada a la parte inferior del casco del barco .

Sobre la misma se instalaba un mecanismo similar al de un arma de fuego la cual era cargada con la parte impulsiva de un proyectil común.

En las proximidades, se instalaba un hidrófono que permitía la escucha de cualquier sonido o ruido exterior al casco.

Se percutía la carga simultáneamente con la largada de un cronómetro, que era detenido al recibir en el hidrófono, la señal reflejada por el fondo.

El valor de la profundidad se calculaba rápidamente:

$$p = \frac{V_p \cdot \Delta t}{2}$$

-Otro consistía en una pequeña bomba explosiva de 0.2 m de longitud, con cuerpo hidrodinámico (cuya velocidad de inmersión ya había sido determinada por el fabricante) que era lanzada desde la cubierta del barco sondador.

En el instante de tocar el agua se largaba un cronómetro que era detenido al escuchar el ruido que llegaba a la superficie proveniente de la explosión que se había producido por el choque de la bomba contra el fondo.

El valor de la profundidad se calculaba de la siguiente manera:

$$T = t_i + t_v \quad (1)$$

T: Tiempo medido en el cronómetro desde el instante de inmersión de la bomba hasta la llegada de ruido a la superficie del agua proveniente de la explosión de la bomba en el fondo.

t_i : Tiempo de ida (que tarda la bomba en llegar al fondo).

t_v : Tiempo de vuelta (que tarda el sonido de la explosión, desde el fondo a la superficie del agua).

$$E_i = t_i \cdot V_i \quad (2)$$

E_i : Distancia recorrida de la bomba desde la superficie del agua hasta el fondo.

t_i : Tiempo de ida insumido en ese recorrido.

V_i : Velocidad media de inmersión de la bomba (dato provisto por el fabricante).

$$E_v = t_v \cdot V_p \quad (3)$$

E_v : Distancia recorrida por el sonido producido por la explosión, desde el fondo hasta la superficie del agua.

t_v : Tiempo de vuelta insumido en ese recorrido.

V_p : Velocidad media de propagación del sonido en el medio (dato conocido).-

Siendo $E_i = E_v$, tendremos:

$$t_i \cdot V_i = t_v \cdot V_p \quad (4)$$

Reemplazando el valor t_v de la (4) por su valor en la (1):

$$\begin{aligned}
t_i \cdot V_i &= (T - t_i) \cdot V_p \\
t_i \cdot V_i &= (T \cdot V_p) - (t_i \cdot V_p) \\
(t_i \cdot V_i) + (t_i \cdot V_p) &= (T \cdot V_p) \\
t_i \cdot (V_i + V_p) &= (T \cdot V_p)
\end{aligned}$$

$$t_i = \frac{T \cdot V_p}{V_i + V_p}$$

Conocidos T , V_p y V_i se calcula t_i y luego E_i reemplazando en la (2) el valor calculado de t_i y el conocido de V_i .

Estas "máquinas de sondar", eran utilizadas para medir grandes profundidades donde la utilización de sondas de mano o LUCAS era prácticamente imposible.

Lo rudimentario de los cronómetros y el método en sí, era adecuado solamente para la determinación de grandes profundidades con errores importantes tanto en lo referente a la profundidad como a las coordenadas horizontales

Actualmente se cuenta con ecosondas que emiten ondas de energía mecánica de frecuencias ultrasónicas que se propagan por el agua y al encontrar en el fondo una superficie de cambio de fase, en parte se reflejan hacia la fuente emisora.

Medido el tiempo total utilizado para recorrer el medio y adoptada o conocida una velocidad media de propagación, se determina la distancia del pelo de agua al fondo subacuático.

6.4.3.- Sonda ecoica registradora analógica.

Llamada también ecosonda registradora o sonda ecografía, es un mecanismo que esquemáticamente opera de la siguiente manera (ver fig.6.3):

Un motor eléctrico que gira a revoluciones constantes, mueve en forma circular (en el modelo correspondiente al diagrama de la fig. 6.3) un brazo portaestilo.

Al eje de ese motor se halla acoplado un camión que, en determinada posición, acciona una leva que a su vez acciona un contacto eléctrico .

Por la acción de la leva sobre el contacto eléctrico, se produce el cierre de un circuito que dispara una señal eléctrica, la que a su vez es convenientemente amplificada y modulada y enviada a un transductor que la convierte en una señal mecánica .

El transductor, que se encuentra en contacto directo con el medio de propagación (el agua), le trasmite esa señal mecánica que se traslada en forma de ondas, hasta llegar a una superficie de cambio de fase, donde parte de su energía se refleja.

Asimismo, en el momento de la transmisión, parte de la energía mecánica emitida, ingresa al transductor que la convierte en señal eléctrica la cual, convenientemente amplificada, entra al registrador por el eje del motor, cerrando el circuito por descarga a "tierra".

Esta descarga se hace por intermedio del estilo y pasa a la placa de "tierra" a través de la resistencia producida por el papel registrador (teledeltos).

La resistencia puesta por el papel registrador hace que el estilo lo queme, produciéndose una marca cuyo borde inicial corresponde al instante de emisión (ver fig.6.4).

Una vez llegada parte de la energía mecánica (reflejada por el fondo o superficie de cambio de fase) al transductor, éste la transforma en energía eléctrica la que convenientemente amplificada cierra el circuito a "tierra" vía eje motor → brazo portaestilo → estilo → papel eléctricamente resistente (teledeltos) → placa de "tierra". La resistencia del teledeltos a la corriente eléctrica, como se vio anteriormente, produce una nueva marca en el registro.

La distancia entre los bordes que indican el principio de ambas marcas (la de disparo y la recibida proveniente de la reflexión) es proporcional a la profundidad.

El papel registrador se desplaza (en forma vertical en el caso de la fig.6.3) a velocidad constante, obteniéndose así, un registro continuo de sondajes.

Esta descripción corresponde a un tipo de sonda ecógrafa electromecánica, analógica.

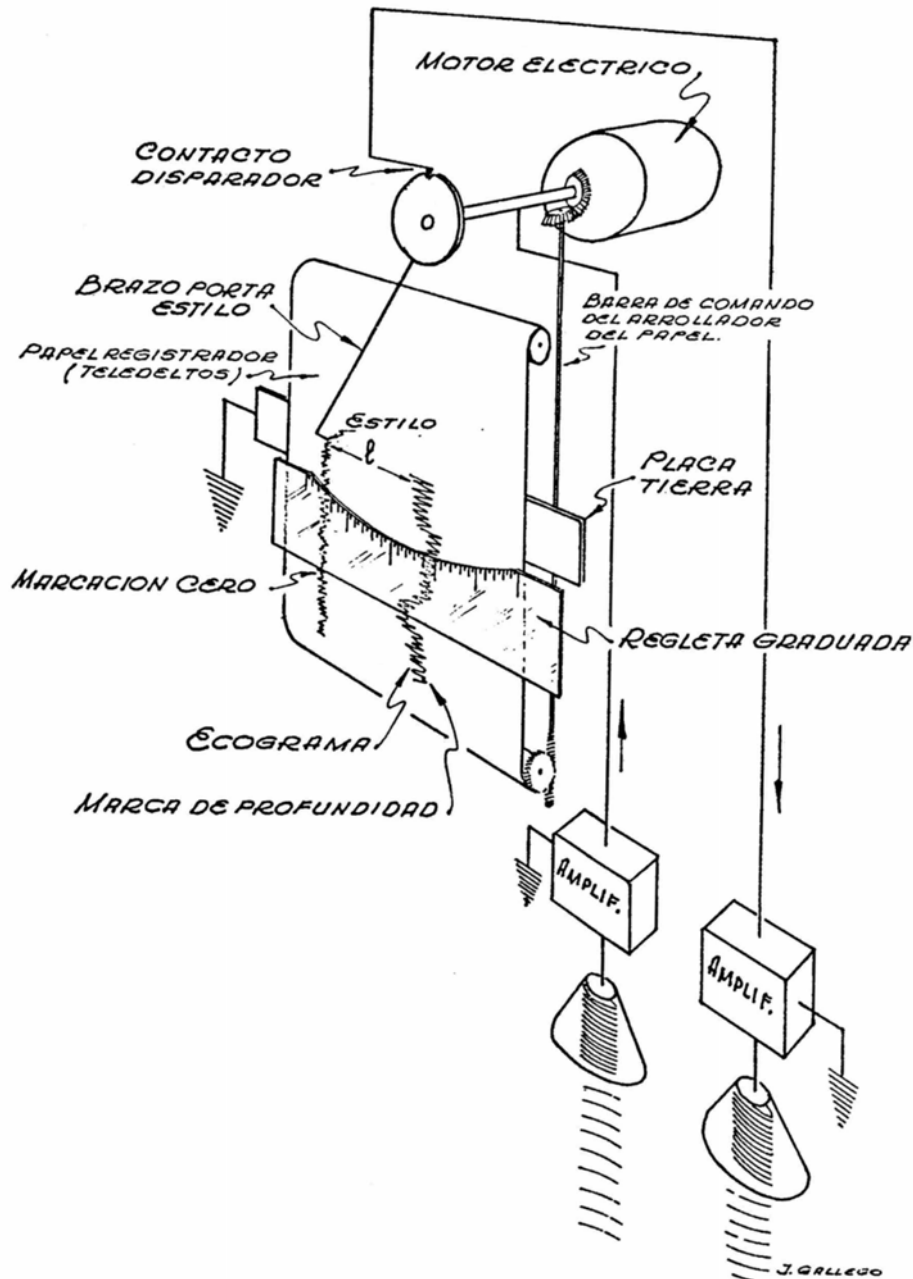


Figura 6.3 - Esquema de una sonda ecógrafa registradora

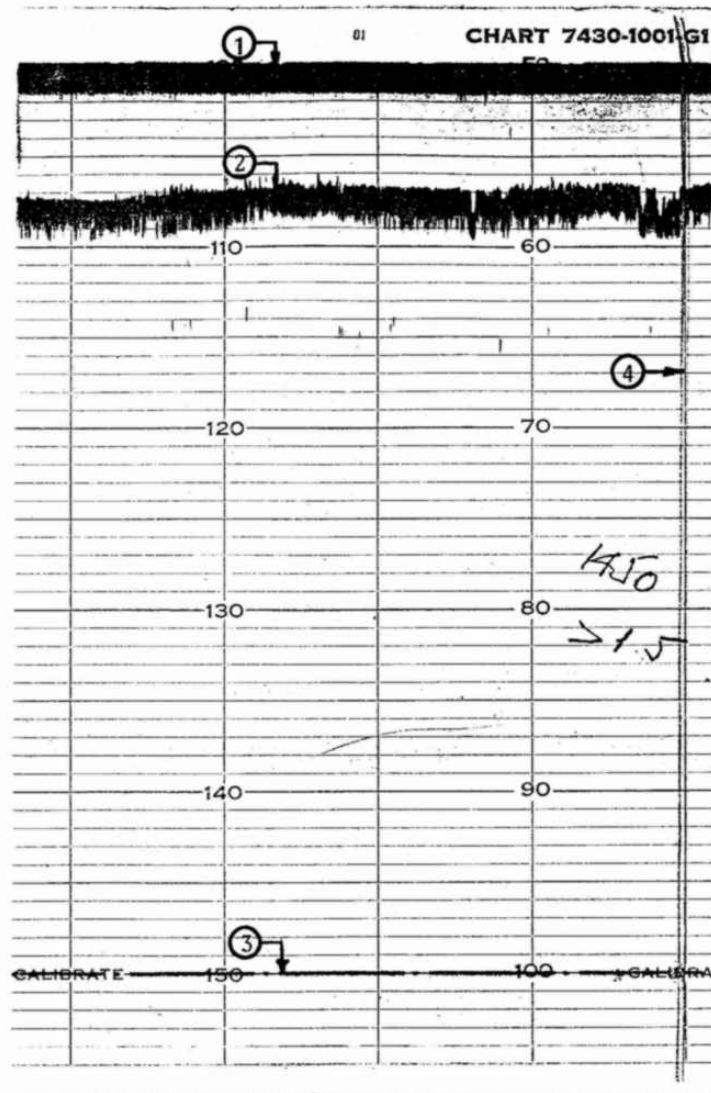


FIGURA 6.4.

- 1-Marca correspondiente al instante del disparo.-
- 2-Marca correspondiente al instante de llegada de la señal reflejada.-
- 3-Marca correspondiente a las condiciones de calibración.-
- 4-Marca correspondiente al instante de producir un "FIX"o punto cuyas coordenadas serán determinadas por algún método de posicionamiento.-

6.4.4.- Sondas ecoicas registradoras digitales.

Las sondas ecógrafas digitales miden directamente el intervalo (por conteo de pulsos de una frecuencia calibrada o por corte de la descarga de un condensador) desde la salida de la señal hasta su llegada. Ese valor, multiplicado por la velocidad de propagación del sonido en el agua y dividido por dos da como resultado la profundidad.

En un display o visor puede observarse directamente el valor de la profundidad.

La parte registradora analógica, en este tipo de sondas es similar al impresor de una computadora. No es como el de la sonda analógica vista anteriormente que es un medidor mecánico de tiempo.

En la sonda analógica electromecánica (fig.6.3), el registro se produce por las marcas continuas que produce en el papel de registro, el estilo, al dejar pasar la corriente producida por la señal de llegada del eco.

En las sondas digitales, el registro se produce por las marcas que hace un cabezal en el lugar que le ordena un dispositivo electrónico y que corresponde al valor de la profundidad calculado electrónicamente.

Existen también dispositivos digitales que se conectan a las sondas analógicas electromecánicas que permiten dar salida digital automática para entrar a los sistemas hidrográficos. Este tipo de digitalizador utiliza de la sonda electromecánica, el instante del pulso de salida y el de entrada. Mide el tiempo entre ambos sucesos (conteo de pulsos de un cristal contrastado para una frecuencia dada y estable) lo multiplica por el valor de la velocidad de propagación que se le ha fijado, lo divide por dos y emite el valor de profundidad como señal digital a un visor numérico electrónico o display y como salida digital a la interfase para PC o al periférico que corresponda.

En general en el display, poseen diales o pulsadores que permiten introducir el valor de la velocidad de propagación y la corrección por inmersión del transductor.

Algunas sondas de este tipo permiten el filtrado de "ruidos" en los registros que pueden dar lugar a importantes errores. Los manuales de operación de las sondas que permiten esta posibilidad explican la forma de operación.

Existen también programas que permiten el filtrado de los sondajes digitales. El uso de los mismos implica el conocimiento de los criterios adoptados para la confección de dichos programas.

La utilización de sondas con salida digital automática no debe eximir del uso del registro analógico que servirá, para dirimir dudas en el caso que hubieren ingresado "ruidos" en vez de verdaderas señales de sondaje y como documento del trabajo batimétrico realizado.

El obviar el registro analógico por confiar ciegamente en el sistema automatizado que se está utilizando, puede ser una imprudencia que tenga serias consecuencias tales como la anulación de un certificado de trabajo o el rechazo de todo un levantamiento batimétrico.

6.5.- BREVE NOCION SOBRE TRANSDUCTORES ELECTROACUSTICOS.-

El transductor (inglés: transducer) es un elemento que convierte señales de energía eléctrica en señales de energía mecánica y viceversa.-

Se compone de un receptáculo o montaje y un elemento vibrador. El elemento vibrador es el que produce la transformación de energía, mientras el receptáculo sirve para mantener el vibrador en su posición correcta, protegiendo y asegurando la aislación eléctrica entre los electrodos. A su vez, compensa y resiste las diferencias de presión del elemento vibrador e impide la formación

de turbulencia frente a su cara sensible.

6.5.1.-Piezoelectricidad.

Existen materiales cristalinos como el cuarzo, la sal de Rochela, el sulfato de Litio etc., que al ser sometidos a un esfuerzo mecánico, inducen cargas eléctricas en su superficie.

El esfuerzo mecánico proveniente de una señal acústica puede producir una señal eléctrica en cualquier circuito externo conectado entre las correspondientes superficies del cristal.

A la inversa, si se ingresa en ese circuito una señal eléctrica, el cristal se deformará vibrando a la misma frecuencia de la señal que le fue introducida.

Este proceso de transducción es llevado a cabo por estos elementos llamados piezoeléctricos.

6.5.2.-Electrostricción

Existen materiales ferroeléctricos como el titanato de Bario o el PZT (circonato de plomo + 10% de titanato de plomo) que al aplicarles un campo eléctrico, alteran sus dimensiones físicas y a la inversa, un esfuerzo aplicado induce una carga eléctrica superficial.

Los elementos que permiten este proceso de transformación se denominan electrostrictivos.

Generalmente son moldeados en titanato de bario o PZT en polvo, elementos que se unen con aglomerantes, sintetizándolos para formar un elemento cerámico isotrópico que permite obtener piezas de diferentes características geométricas.-

6.5.3.-Magnetostricción-

Es un proceso similar al anterior donde se utilizan materiales ferromagnéticos tales como el níquel, hierro y el cobalto

6.6. DETERMINACION DEL SONDAJE EN LAS SONDAS ECOGRAFAS ANALOGICAS.

Llamamos sondaje (s) a la distancia vertical entre la base del o los transductores y el fondo o una superficie reflectora subacuática que es medida en el registro de la ecosonda o por un calculador de velocidad por tiempo.

El tiempo que insume el recorrido de una señal transmitida por la ecosonda, desde su salida del transductor hasta su llegada al mismo luego de haber sido reflejada en el fondo o una superficie de cambio de fase es:

$$t_1[s] = \frac{2 \cdot z[m]}{V_p[m/s]}$$

Donde : z [m] es la distancia vertical entre la base del transductor y el fondo o una superficie

reflectora y V_p [m/s] es la velocidad de propagación del sonido en el agua.-

Cuando en el párrafo 6.4.3. se hizo la descripción general del funcionamiento de una sonda ecógrafa analógica, se dijo que en el registro se producían dos marcas fundamentales, una correspondiente al instante del disparo y la otra en el momento de recibirse la señal reflejada.

El tiempo transcurrido entre la producción de los dos bordes iniciales de ambas marcas es:

$$t_2[s] = \frac{s[m]}{V_e[m/s]}$$

Donde s [m] es la distancia medida sobre el registro entre los comienzos de las dos marcas mencionadas y V_e [m/s] es la velocidad de desplazamiento del estilo sobre el papel de registro.

Dado que $t_1 = t_2$ por corresponder al mismo hecho, será:

$$z[m] = \frac{s[m] \cdot V_p}{2 \cdot V_e} \quad (5)$$

El valor de "s" se encuentra limitado por las dimensiones físicas del papel de registro razón por la que debe asignarse una relación (escala) entre z y s de manera tal que sea lo suficientemente pequeña como para que la representación pueda llevarse a cabo dentro de las dimensiones físicas de un instrumento portátil.

Ese valor $V_p / 2V_e$ es la escala (E) de registro de la sonda. El papel está impreso para leer en el, directamente el valor del sondaje siempre y cuando la relación de velocidades tenga el valor de la escala elegida por el fabricante.

El fabricante de la ecosonda, fija el valor de escala adoptando un valor medio de V_p (normalmente 1470 m/s) y diseñando el motor eléctrico del registrador para que haga desplazar el estilo con una velocidad V_e , de forma tal que, haciendo uso de una regleta transparente (ver fig. 6.3) que cumple funciones de escalímetro, pueda leerse en forma directa sobre el registro, la distancia del transductor al fondo (el sondaje).

La velocidad de diseño del motor eléctrico que comanda el estilo en el registrador de la sonda será:

$$V_e = \frac{V_p}{2 \cdot E} \quad (6)$$

Ejemplo:

En una sonda construida para registrar a escala E 1:100, si se adopta una velocidad media de propagación del sonido en el agua de mar $V_p = 1470$ m/s, la velocidad de desplazamiento del estilo V_e sobre el papel registrador deberá ser:

$$V_e[m/s] = \frac{V_p[m/s]}{200} \quad (7)$$

$$V_e[m/s] = 1470 [m/s] / 200 = 7.35 [m/s]$$

$$V_e = 7.35 \text{ m/s}$$

Por ejemplo :

La sonda RAYTHEON DE 719E produce en el papel del registro (en forma continuada y automática) dos marcas fijas, una correspondiente a la marca denominada "cero" y otra que se produce 0.020833 seg después, según datos del manual de operación de esa sonda. Esta última marca (si la marca "cero" se ha hecho coincidir con el origen de la graduación del papel de registro) coincide con la graduación impresa en el papel de registro y está representada además por una línea gruesa que se interrumpe con la palabra "CALIBRATE".

El fabricante adopta una velocidad de propagación $V_p=4822'$ /s (1470 m/s).

La distancia entre la primer línea del registro y la correspondiente a "calibrate" es de 150mm correspondiente a la graduación del papel registro=15m.

Por lo tanto la velocidad del estilo V_e será 7.2001m/s

$$E = \frac{1470 \text{ m/s}}{2 \cdot 7.2001 \text{ m/s}} = 102$$

Cuando se llevan a cabo levantamientos batimétricos de precisión, se adopta la escala E:1/100 y se utiliza para la lectura, un escalímetro milimetrado. Para lograr esto debería modificarse la velocidad del estilo de manera que sea $V_e = 7.3250$ m/s. En el parágrafo 6.9 se verá la operación que hay que llevar a cabo para determinar el verdadero valor de la escala de trabajo.

6.7. LA VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO EN EL AGUA.

El sonido se trasmite a través del agua mucho mas fácilmente que a través del aire, dado que la absorción de energía en éste es mucho mayor que en el agua. Esta característica ha sido aprovechada para la medición vertical de la profundidad y para la medición horizontal de distancias como complemento de búsqueda de objetos (sonar) o como parte de sistemas de posicionamiento submarino.

La velocidad de propagación del sonido en el agua es independiente de la longitud de onda, excepto para el ruido producido por la detonación de una carga explosiva de considerable potencia, en cuyo caso, la velocidad con que se inicia el recorrido, debido a la gran cantidad de energía liberada, puede llegar a ser un 30% mayor que la velocidad normal.

La velocidad de propagación del sonido en un líquido depende de la densidad y elasticidad del mismo:

$$V_p = \sqrt{\frac{\text{elasticidad}}{\text{densidad}}}$$

$$V_p = \sqrt{\frac{\gamma}{\rho \cdot K}}$$

donde:

- $\gamma = c_p / c_v$ relación entre calores específicos a presión y a volumen constante respectivamente. Coeficiente utilizado debido a que la energía mecánica del sonido se

- propaga como una onda de compresión, transfiriendo calor durante su trayecto.
- ρ = densidad del medio.
 - K = compresibilidad del medio.

Estas tres variables dependen de la temperatura(T), la presión (p) y la salinidad (S).-

Para $T = 30^\circ$; $S = 0.038$; $p = 0$ se obtiene :

$$\rho = 1.021637 ; \gamma = 1.0207 \text{ y } K = 4.196 \cdot 10^{-11}$$

De manera que $V_p = 1543 \text{ m/s}$

La V_p varía fundamentalmente con la temperatura y la salinidad. Tratándose de transmisiones verticales como lo es el caso de las sondas ecógrafas, debemos considerar también la variación de la V_p con respecto a la profundidad.

En el diseño de la mayor parte de las sondas, como se dijo anteriormente, se considera la velocidad de propagación del agua V_p constante: 1470 m/s.

Cuando se realizan tareas batimétricas con fines científicos, en áreas de gran profundidad, a través de masas de agua donde la distribución de la salinidad y temperatura no es constante, se realiza una observación vertical de estos parámetros y se determina una velocidad media.

Para ello se utiliza un T.S.D.(Temperatura - Salinidad - Profundidad) que es un instrumento que se sumerge en el agua y que va registrando en su trayectoria vertical descendente, los valores de salinidad y temperatura en función de la presión o profundidad, con los que se calcula la V_p utilizando la ecuación:

$$V_p[\text{m/s}] = 1410 + 4.24 T[^\circ\text{C}] - 0.037 T^2 [^\circ\text{C}]^2 + 1.14 S[\text{ppm}]$$

y en el caso de utilizar sondas graduadas en pies, se utiliza la ecuación:

$$V_p [\text{pies/seg}] = 4626 + 13.8 T[^\circ\text{C}] - 0.12 T^2[^\circ\text{C}]^2 + 1.14 S [\text{ppm}]$$

Obtenidos los diferentes datos de salinidad y temperatura correspondientes a las profundidades oceanográficas standard (10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 1000, 1200, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000 de aquí, cada 1000 m hasta el fondo) se determina la velocidad media de la vertical desde la superficie al fondo.

Actualmente existe en el mercado un instrumento denominado SVP 25 (Sound Velocity Probe) que permite registrar la velocidad de propagación del sonido en el agua (desde 1350 m/s hasta 1600 m/s), la profundidad (desde la superficie hasta los 2500 m) y la temperatura (desde 0° a 45°C). Es provisto con el programa que permite editar los gráficos de velocidad en función de la profundidad. Sus dimensiones son 745 mm de longitud, 100 mm de diámetro y su peso es de 8 Kg.

6.8.- DETERMINACION DE LA PROFUNDIDAD

Llamaremos profundidad "p" a la distancia vertical entre el pelo de agua y el fondo del mar, lago o río cuyas características morfológicas se desea determinar.-

En la parte final del párrafo 6.6 se describió la forma de determinar la velocidad del estilo a efectos de cumplir con la escala de lectura de los sondajes prevista por el diseñador del instrumento.

De esa manera, con ayuda de la regleta (escalímetro) adosada, se podrá leer el valor del sondaje, en la unidad en que opera la sonda, de manera que :

$$z = s$$

Por ejemplo, si la regleta está marcada en metros y decímetros, el sondaje se leerá en metros y decímetros.

La profundidad p será entonces:

$$\begin{aligned} p &= z + b \\ \text{ó} \quad p &= s + b \end{aligned} \quad (8)$$

donde b es la distancia entre la superficie emisora del transductor y el pelo de agua.

Esta distancia b , es definida en los manuales de operación de las sondas y por algunos autores, como "corrección al sondaje por calado" o "corrección por calado" y esto se debe a que en los barcos que disponen sondas instaladas en forma permanente, los transductores están fijos en la parte inferior del casco, próximos a la quilla.

El calado del barco (distancia desde el pelo de agua a la quilla) sería en este caso el mismo que la distancia del pelo de agua a la superficie emisora del transductor y de allí la denominación de esta constante.

Por razones que se expondrán mas adelante, no parece conveniente utilizar esta denominación sobre todo cuando se está operando con sondas portátiles desde embarcaciones pequeñas o con transductores fuera de borda aún en barcos de considerable tamaño.

Para que se cumpla la ecuación (8), deberá cumplirse :

$$E = \frac{V_p}{2 \cdot V_e}$$

donde E es la escala determinada por el fabricante y que es el valor utilizado para graduar la regleta que utiliza la sonda para la lectura directa del sondaje.

Generalizando la ecuación (8) puede decirse que :

$$p = a \cdot s + b \quad (9)$$

donde el coeficiente a , como se acaba de ver, debería ser igual a 1 como condición de diseño. En realidad esto sólo sucede cuando se está trabajando con una V_p y una V_e cuya relación corresponda al valor de escala fijado por el fabricante.

Las sondas oceanográficas poseen un comando que permite graduar en un visor, el valor de la V_p , determinado o calculado en el lugar del levantamiento.

En realidad lo que se hace al graduar ese valor, es variar la V_e (velocidad de rotación del motor eléctrico que comanda el portaestilo) correspondiente a esa V_p , de manera que se cumpla la

relación correspondiente a la escala adoptada por el fabricante.

En otras sondas el manual de operación provee el N° de RPM del motor que comanda el estilo dando los diferentes valores de RPM correspondientes a cada V_p medida o adoptada.-

El valor de las RPM se modifica accionando un regulador de velocidad de rotación del motor.

Cuando las especificaciones de un levantamiento generalmente en alta mar, así lo requieran, se deberá efectuar una observación de TSD y la correspondiente determinación de la V_p media.

En otras ocasiones puede ser suficiente, aunque no aconsejable, el valor de la V_p media en el mar, función de la estación del año y la posición geográfica, que puede obtenerse en las Tablas MATHEWS. MATTHEWS divide la superficie oceánica en 52 áreas. No se conoce exactamente el criterio seguido para la delimitación de las áreas, pero si se sabe que el conocimiento físico de los océanos en ese entonces (1939) era ínfimo si se lo compara con la información que actualmente se dispone. La comparación de los valores de la Tabla MATTHEWS con los obtenidos en campañas de alta densidad de muestreo muestran una significativa diferencia entre los valores de velocidad media obtenidos con la tabla y los obtenidos empíricamente con los valores de los parámetros físicos medidos "in situ".

Como vimos en 6.7 el SVP (Sound Velocity Probe) soluciona el problema en forma rápida hasta los 2500 m de profundidad..

En estos dos últimos casos se utilizarán sondas de gran potencia en las que es posible introducir la V_p media de operación como se vio anteriormente.

Cuando se realizan trabajos hidrográficos en aguas interiores a la plataforma, en ríos o lagos y se opera para obtener información de cierta precisión, la sonda **DEBE CALIBRARSE**.

En aguas someras, hasta 40 o 50 metros de profundidad puede adoptarse el criterio de que la masa de agua es homogénea y la temperatura no varía, por lo que una calibración hasta los 10 metros puede ser suficiente.

De cualquier manera hay que conocer las características físicas del lugar donde se trabaja, para saber si los errores que podemos cometer en las mediciones de profundidad están dentro de los tolerados por el objetivo del trabajo.

En la boca del Río de la Plata, por ejemplo, no es difícil encontrar masas de agua estratificadas verticalmente debido al cambio de salinidad, influencia de los vientos las corrientes y la poca profundidad.

6.9.-Calibración de las sondas.-

Como se vio en el acápite anterior, las sondas están diseñadas para registrar el sondaje en una determinada escala, que es función de la relación V_p/V_e . Cuando se va a efectuar un trabajo batimétrico de cierta precisión debe determinarse esa relación en forma empírica efectuando una calibración

Para ello es necesario disponer de una barra o placa reflectora que se arría a diferentes profundidades bajo el o los transductores de la sonda. (bar-check o plate-check).-

En el caso que la sonda posea transductores internos, se utiliza una barra y en el caso que posea transductores fuera de borda, una placa (ver fig.6.5).

La barra reflectora puede ser un tubo de hierro de diámetro y material que evite el pandeo al que se le adosa una chapa reflectora fina. Su longitud debe ser mayor que la manga (ancho) del barco en la sección donde se encuentra instalado el o los transductores. En cada extremo se fija una cadenilla o cable, graduado con una señal cada metro o cada medio metro.

La placa reflectora puede ser un trozo de chapa lisa de hierro de 0.5 m² de superficie o bien puede utilizarse cualquiera de las placas especiales que ofrecen los fabricantes, formando parte de los accesorios de la sonda. La chapa puede soldarse a una barra de arriado graduada como se dijo anteriormente o a una cadenilla con tiros.

Tanto la barra como la placa reflectora (según se trate de sondas con transductores dentro o fuera de borda) se arría bajo los mismos a diferentes profundidades medidas desde la superficie del pelo de agua (ver fig.6.5) obteniendo el registro de los valores correspondientes (ver fig. 6.6).

Este registro que aparece como una escalera, es la figura producida por la operación de arriado e izado del reflector (chapa o barra).

Con la regleta o escalímetro propio de la sonda, se procede a leer los registros obtenidos y se confecciona una lista de ellos junto a la profundidad correspondiente de arriado de la superficie reflectora.

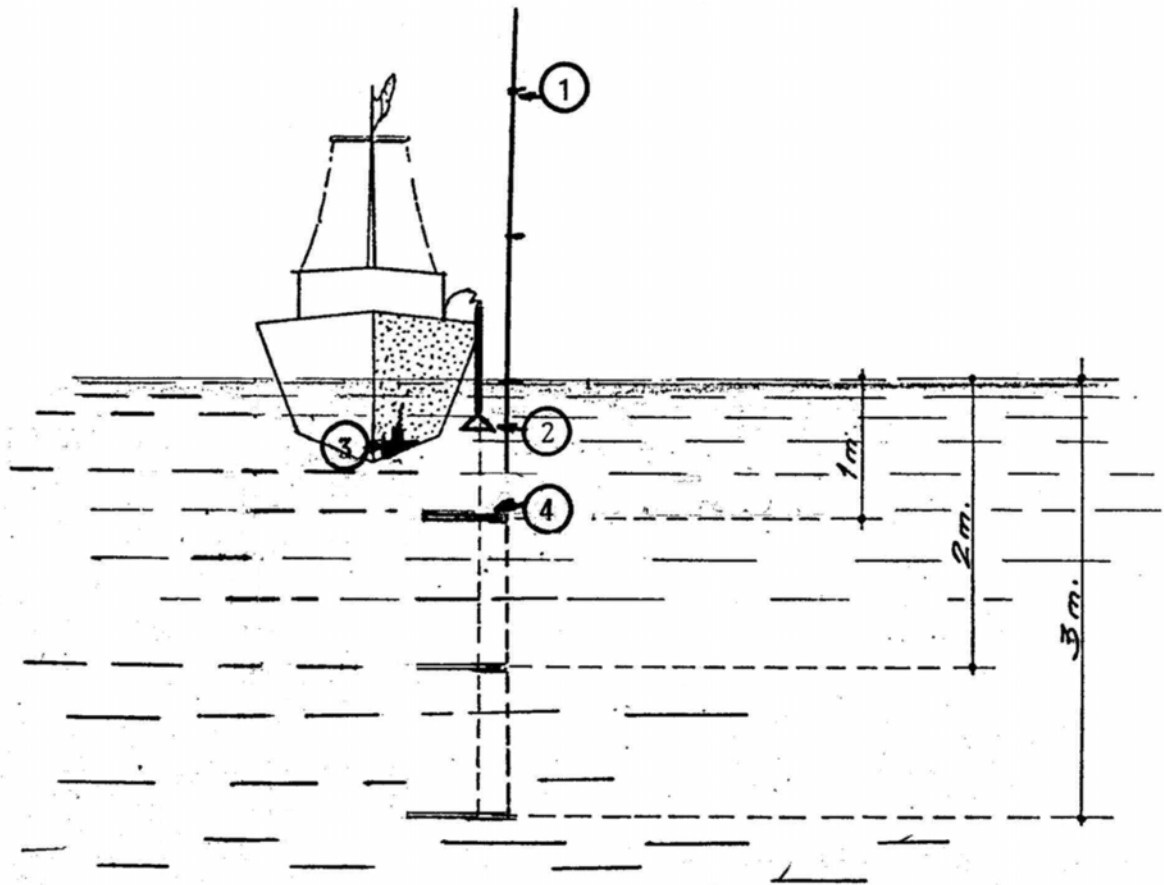


FIGURA 6.5

- 1-BARRA GRADUADA.
- 2-TRANSDUCTOR DE LA SONDA, FUERA DE BORDA .
- 3-TRANSDUCTOR DE LA SONDA, DENTRO DE BORDA.
- 4-PLACA REFLECTORA.

REGISTRO DE CALIBRACION DE UNA SONDA REGISTRADORA

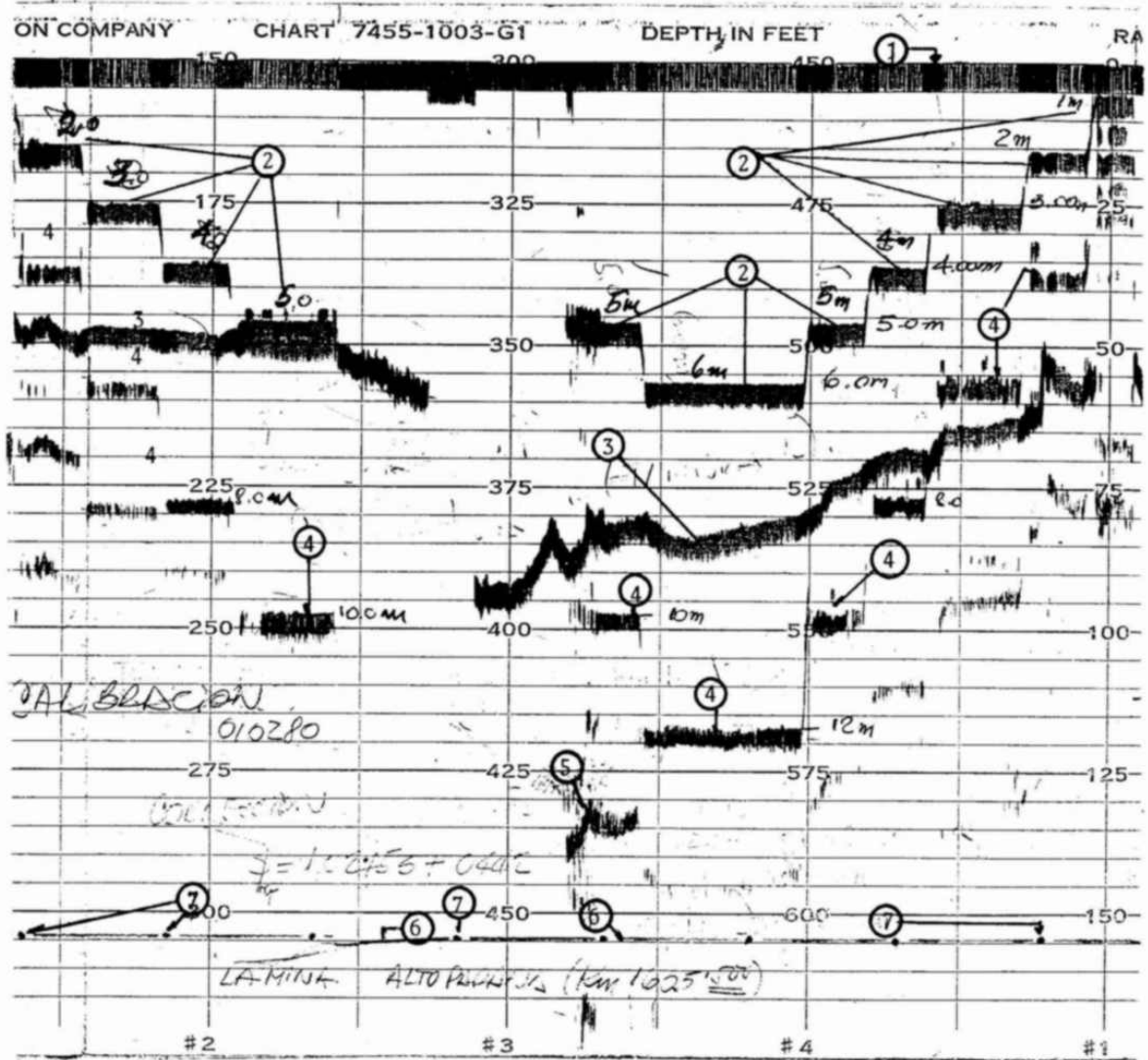


FIGURA 6.6

- 1-Marca de inicio o disparo de la señal.
- 2-Marca del sondaje correspondiente a la reflexión de la placa sumergida bajo el transductor.-
- 3-Marca del sondaje correspondiente al fondo.
- 4-Segunda reflexión de la placa de calibración.
- 5-Segunda reflexión del fondo.
- 6-Marca de calibración.
- 7-Marca indicadora de la velocidad del papel de registro y de la escala en que se está registrando.-

A continuación se muestran los resultados de dos calibraciones realizadas en diferentes condiciones y lugares. En los dos casos se utiliza la misma sonda y la misma placa reflectora arriada a las mismas profundidades con respecto a la superficie del pelo de agua. En una zona se han registrado los valores de s_1 y en la otra valores s_2 . En ambos casos se ha verificado que el motor de la sonda trabajó a la velocidad indicada por manual, lo que significa que se leerán los sondajes a escala si la velocidad de propagación del sonido en el agua en ese lugar es $V_p = 1463$

m/s valor adoptado de diseño.

p[m]	s ₁ [m]	s ₂ [m]	p[m]	s ₁ [m]	s ₂ [m]
1	.5	.5	7	6.5	6.0
2	1.5	1.4	8	7.5	6.9
3	2.5	2.3	9	8.5	7.9
4	3.5	3.2	10	9.5	8.9
5	4.5	4.2	11	10.5	9.7
6	5.5	5.1	12	11.5	10.7

En el primer caso se han obtenido diferentes valores de s₁ (sondajes), que corresponden a valores de p (profundidad de arriado de la placa reflectora en valores enteros (en metros). Introduciendo los valores observados, en la ecuación (9) pueden determinarse los valores de a y b por el método de mínimos cuadrados :

$$p = s.a + b$$

En este caso puede observarse rápidamente que el valor de b es constante (b=0.5 m) y que: a = 1

Si bien no se ha determinado el valor de V_p en el lugar y en forma directa, puede inferirse que la relación entre la velocidad del estilo y la de propagación en el agua en ese caso es la correspondiente a la escala definida por el fabricante. Además se determina la distancia entre el transductor y el pelo de agua que es de 0.5 m.

Resumiendo: $p = s + 0.5$ es la ecuación que define las condiciones de escala de operación de esa sonda.-

En el segundo caso la determinación no es tan evidente, la diferencia entre los valores de s y p no son constantes lo que indica que la escala de trabajo de la sonda no es la correcta (la relación $V_p/2V_e \neq E$, escala elegida por el fabricante)

Suponiendo que el valor de V_p de diseño de la sonda fuera 1470 m/s y se estuviera operando con el valor de V_e correcto para cumplir con la escala, estas desigualdades entre las diferencias de p y s, indican que el coeficiente a, no es igual a 1, por lo que deberá variarse el valor de V_e para que la relación de velocidades ($V_p/2.V_e$) permita operar con la escala de diseño. Es decir, que los sondajes que se lean directamente en el papel del registro coincidan realmente con las longitudes verticales entre la superficie emisora del transductor y la superficie reflectora.

En general las sondas hidrográficas poseen un dial o perilla que permite variar la V_e de manera que una nueva calibración permita obtener una valor de a=1 y determinar el valor de b.-

Cuando se efectúa esta última operación deberá tenerse sumo cuidado, máxime si la calibración de verificación luego de haber variado la V_e se lleva a cabo en aguas de poca profundidad. En esta recalibración podrán obtenerse valores tales como los que siguen:

p [m]	s ₃ [m]
1	.5
2	1.5
3	2.5
4	3.5

de manera que satisfacen la condición de a = 1 b =0.5.-

Pero si esta misma recalibración se lleva a cabo en aguas de mayor profundidad y se efectúa la lectura del registro con mayor precisión podremos obtener los siguientes valores:

1	.50
2	1.50
3	2.50
4	3.50
5	4.45
-----	-----
9	8.40
-----	-----
12	11.20

No es sencillo graduar con el dial o el botón de corrección, una V_e que cumpla perfectamente la condición de $a = 1$; siempre queda un error residual. En éste caso se determinarán valores de a y de b :

$$a=1.02 ; b=050$$

de manera que los sondajes deberán corregirse de acuerdo a la ecuación:

$$p[m] = 1.02s + 0.50[m]$$

que nos indica que los sondajes son registrados con un error del 2% menor que la profundidad real.

Cuando se trata de levantamientos batimétricos de precisión, por ejemplo para la determinación de volúmenes dragados, estudios de sedimentación etc., debe llevarse a cabo una minuciosa calibración.

Si se está utilizando un sistema integrado electrónico esta ecuación debe introducirse en el proceso de cálculo.

Finalizada ésta operación debe registrarse el valor de RPM indicado en el tacómetro y mantenerlo durante toda la operación.

En el caso de utilizar una sonda del tipo de la del registro de la fig.6.4 o 6.6, finalizada la calibración y determinados los coeficientes, debe mantenerse durante toda la operación, la distancia entre la marca "cero" y la marca de calibración que quedó graduada, que puede coincidir o no con la leyenda "calibrate" que figura en el papel de registro.

Al final de cada día de trabajo, al finalizar la tarea o cuando se tienen dudas sobre el comportamiento de la V_e , debe efectuarse una calibración.

Cuando se utilizan baterías para dar alimentación eléctrica a la sonda debe verificarse, antes de comenzar a trabajar, el estado de carga y durante la tarea, debe vigilarse que esté entregando la carga correcta. Una anomalía en la alimentación eléctrica produce un cambio en la V_e , cambio que un operador avezado, detecta inmediatamente por el aumento o disminución de las RPM del motor de la sonda.

Se ha visto que el valor de la constante b que físicamente es la distancia vertical desde la

superficie emisora del transductor al pelo de agua, es calculado y no medido y su valor queda registrado como valor constante en la ecuación de calibración. Algunos autores y manuales indican que el valor de b debe introducirse en la sonda de manera de defasar la marca de disparo una distancia igual al calado, pudiendo de esa forma, leer directamente en el papel de registro el valor de la profundidad p .

En algunos casos esta forma de trabajar puede resultar práctica pero no conveniente, máxime cuando se trata de trabajos de precisión. Más aun, en esos casos, debe tenerse en cuenta también la disminución de calado que sufre el barco cuando navega, por disminución de la carga a consecuencia del consumo de agua y combustible.

En algunos manuales de operación se sugiere graduar el valor de inmersión llevando la placa de contraste por ejemplo a 2.00 m bajo el pelo de agua y allí, correr la marca de transmisión hasta que la señal o eco producido por la placa de contraste se encuentre coincidente con la graduación 2.00m del papel de registro de esa manera se agrega el valor de inmersión del transductor. Posteriormente se lleva la placa a una profundidad relativamente grande (6 o mas metros) y operando con el regulador de "Velocidad de sonido" se hace coincidir la señal o eco producido por la placa de contraste con la graduación del papel de registro a la profundidad a que ha sido arriada.

En estos casos pueden producirse errores puesto que se está graduando la sonda en base a un solo punto que define la recta cuya pendiente es el coeficiente a . No es aconsejable para trabajos de precisión.

Las sondas electrónicas digitales actuales tienen un menú para la calibración de manera que, con los valores registrados de arriado de la placa reflectora van calculando en forma directa el valor de la V_p .

CUANDO A LAS SONIDAS ANALÓGICAS SE LES ASOCIA UN MEDIDOR ELECTRÓNICO PARA OBTENER SALIDA DIGITAL DE PROFUNDIDAD, ESTE DEBE CALIBRARSE COMO SI SE TRATASE DE OTRA SONDA INDEPENDIENTE

El procedimiento de corrección es sencillo puesto que permiten la entrada de la corrección por calado b y de V_p .

Realizada la calibración, se multiplica el valor de V_p que se hallaba ya graduado en el digitalizador por el coeficiente a obtenido y el resultado es introducido digitalmente en el display como V_p actual. El valor de b se introduce directamente.

6.10 CORRECCIONES AL SONDAJE

6.10.1. Corrección por squat o aumento relativo de calado.-

Una vez efectuada la calibración correspondiente y determinado el coeficiente b , se procede a buscar un punto de la zona de trabajo donde el fondo sea lo mas plano y horizontal posible.

En ese punto se fondeará un boyarín y se obtendrá un sondeaje con la embarcación parada. Luego, con el barco navegando a la velocidad de trabajo, se pasará por el punto (señalado por el boyarín) varias veces, obteniendo varios sondajes de ese punto. El sondeaje promedio, será comparado con el obtenido con el barco parado. La diferencia será la corrección por asentamiento a ser sumada a la constante b .

Cuando esta operación se realiza en el mar, debe hacerse en condiciones de mar calmo y debe tenerse en cuenta la variación de altura del pelo de agua, si los valores de amplitud de marea así lo aconsejan.

Como se dijo anteriormente, en los barcos de cierto porte, debe controlarse la diferencia de calado producida por el consumo de agua y combustible.

6.10.2.- Corrección por rolido, cabeceo y movimientos verticales

Cuando la embarcación sondadora, portadora de la sonda ecoica gira sobre su eje longitudinal por efectos del oleaje se produce un movimiento llamado rolido. Este movimiento hace que el haz emisor de la sonda (solidaria al casco de la embarcación) haga un movimiento pendular y por lo tanto el sondaje registrado será la longitud tomada a un punto del fondo que se encuentra a babor o estribor de la embarcación y por lo tanto mayor que la profundidad vertical.

Cuando la embarcación gira sobre un eje normal al longitudinal por efectos del oleaje, se produce un movimiento llamado cabeceo. La proa de la embarcación sube y su popa baja y viceversa. Este movimiento produce un efecto similar al anterior, pero el sondaje corresponde a una medida tomada en forma inclinada a puntos del fondo adelante o atrás de la embarcación.

El movimiento angular de cabeceo es menor que el de rolido.

Independientemente de los movimientos de rolido y cabeceo, las olas producen un movimiento de elevación y depresión que aumentan o disminuyen el valor del sondaje verdadero.

Todos los errores en la obtención de los sondajes que se producen por los movimientos naturales del mar pueden ser corregidos con acelerómetros y métodos electrónicos de cálculo. En algunos casos la salida de los acelerómetros comandan la plataforma oscilante en la que se halla instalado el transductor de manera de mantenerla estable y horizontal. En otros sistemas las señales de salida de los acelerómetros, ingresan a un programa que permite la llevar los valores de sondajes medidos oblicuamente a sondajes verticales.

El valor comercial de estos sistemas es elevado razón por la que debe analizarse la necesidad de su utilización en condiciones de mar gruesa o esperar condiciones de mar calmo para efectuar el trabajo batimétrico

Las correcciones al sondaje por rolido, cabeceo y movimientos verticales pueden ser obtenidas utilizando un esquema de tres antenas receptoras GPS instaladas, en tres puntos alejados unos de otros en la superestructura de la embarcación sondadora. Las coordenadas XYZ obtenidas simultáneamente en cada uno de los puntos donde se hallan instaladas las antenas, permiten determinar los valores de los ángulos de rotación y desplazamientos verticales del plano definido por esos tres puntos.

Una forma de disminuir estos efectos es utilizando sondas remolcadas con dos transductores verticales, uno apuntando hacia la superficie del mar y otro hacia el fondo. Si bien se minimizan los efectos del rolido y cabeceo, debe tenerse en cuenta que al haber una conexión elástica entre embarcación y sonda, pueden producirse errores en el posicionamiento horizontal si no se dispone (aparte de la corrección por off-set) de un elemento acústico que permita la medición permanente desde la embarcación a la sonda remolcada.

6.11.- FRECUENCIA DE EMISION

6.11.1.- Su incidencia en el registro de fondos de diversa calidad.

La intensidad de una onda plana de energía sónica, decrece exponencialmente en función de la distancia recorrida desde el foco donde fue emitida, según la ley:

$$I_x = I_i \cdot e^{(-\alpha x)}$$

Donde: I_x es la intensidad a la distancia x del foco emisor.

I_i es la intensidad en el foco emisor.

e es la base de los logaritmos neperianos.

α es un coeficiente dependiente de la frecuencia

x es la distancia al foco emisor.

Haciendo una muy apretada síntesis, puede decirse que a igualdad de potencia de transmisión de una fuente ultrasónica, las frecuencias altas se verán mas amortiguadas que las bajas. A igualdad de potencia de transmisión de una fuente ultrasónica, una señal de alta frecuencia tendrá menos alcance que otra de baja frecuencia. Pero la frecuencia también identifica en cierta medida el tipo de fondo que detecta.

La reflexión de una parte de la energía de las señales ultrasónicas y en general de cualquier señal de energía, se produce en la superficie de cambio de fase o discontinuidad de densidad de los materiales por los que se propagan.

El cambio de fase líquida - sólida que se produce en una superficie subacuática, produce la reflexión de una señal ultrasónica y también lo produce el cambio de fase agua - aire en la superficie del pelo de agua, razón por la que en ciertas ocasiones se producen segundas y terceras reflexiones (ver fig.6.6).

Existen fondos subacuáticos cuyas características morfológicas no son tan definidas. En el Río de la Plata y en la Ría de Bahía Blanca por ejemplo, hay zonas donde los sedimentos finos son sacados de su estado de reposo por la acción de las corrientes de marea, de las olas o las fuertes corrientes producidas por las hélices de buques y embarcaciones que surcan las inmediaciones. Todo ello va formando una masa de sedimentos, en suspensión cierto tiempo y luego en lenta consolidación, cuyo espesor puede llegar a ser considerable (mayor de 1 m) y donde la densidad se distribuye en función de la profundidad.

Diferentes frecuencias de emisión, se reflejan a diferentes profundidades debido a la distribución vertical de la densidad de los sedimentos.

Puede verse en la figura 6.7 que las señales emitidas en altas frecuencias, encuentran la superficie de reflexión donde la densidad relativa es menor, donde los sedimentos están menos consolidados.

Al disminuir el valor de la frecuencia de emisión, la superficie donde se efectúa la reflexión, se va corriendo a las profundidades donde la densidad relativa es mayor. Esto ha permitido el desarrollo de sondas oceanográficas, que pueden determinar espesores de masas de agua de

diferente densidad, resultado de la mayor o menor concentración de sedimentos en suspensión. Puede observarse también en la figura 6.7 que el escandallo de la sonda manual es el que llega a la mayor profundidad, correspondiente a la superficie del fondo duro, donde se han consolidado los sedimentos. La superficie de reflexión para las señales de 14 KHz, se encuentra próxima a la de detención del escandallo. De todo esto surge la importancia de llevar a cabo un serio análisis para elegir la ecosonda mas adecuada a cada tipo de trabajo batimétrico.-

Para realizar un levantamiento con fines de navegación, se elegirá una ecosonda de baja frecuencia (aproximadamente 10 KHz) cuya señal es reflejada por el horizonte correspondiente a la densidad 1.25 g/cm^3 , correspondiente a una masa de sedimentos no consolidados que si bien no causan la varadura de un buque, provocan dificultades en su maniobra. También puede utilizarse una sonda de esta frecuencia para levantamientos pre - dragado. La operación de dragado, produce la suspensión de los sedimentos finos, razón por la cual, para la realización de los levantamientos batimétricos pos - dragado, debe tenerse en cuenta el tiempo de consolidación.

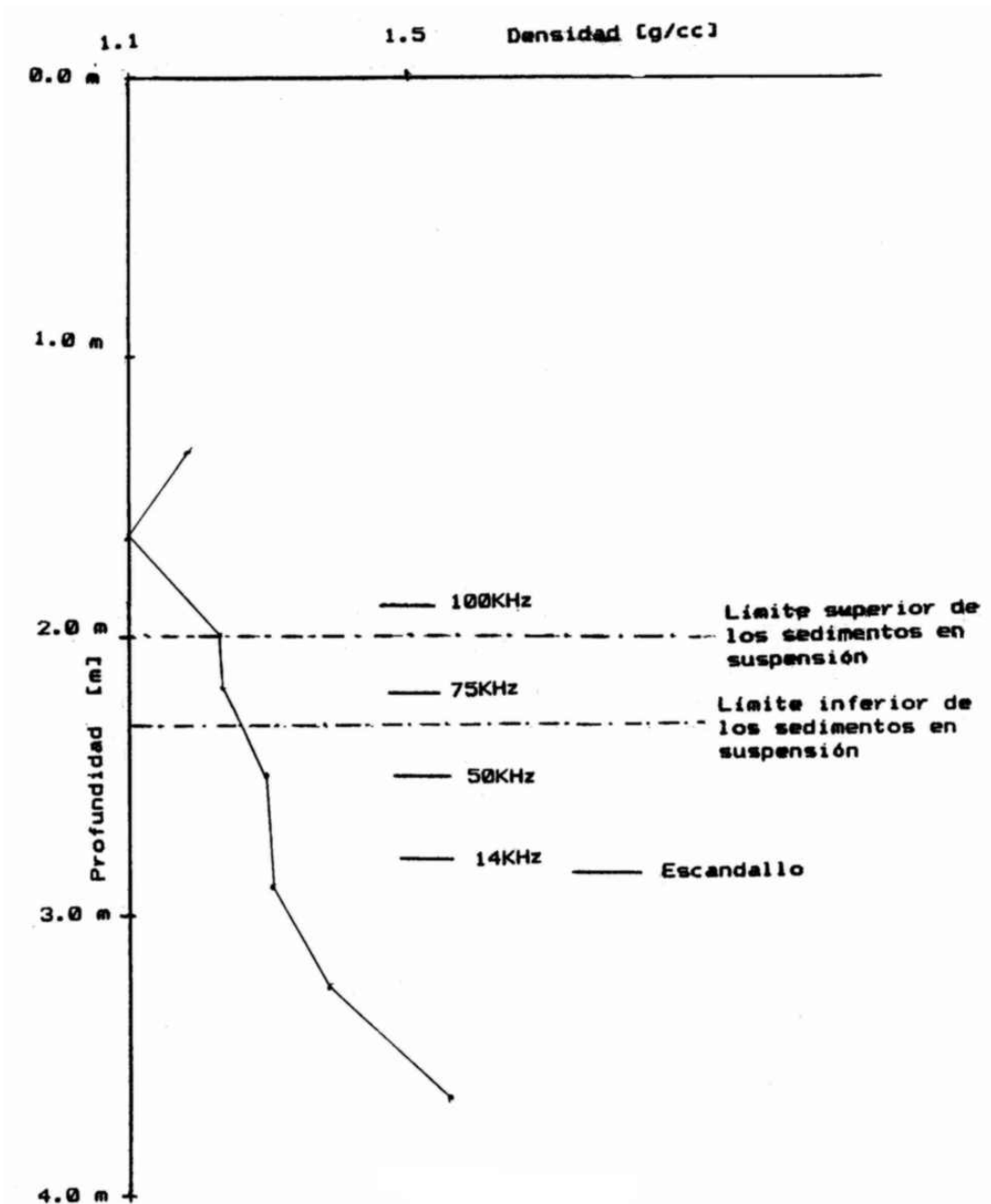


Figura 6.7 - Profundidades de la superficie de reflexión para diferentes frecuencias de emisión y densidad de sedimentos.

6.11.2.- Su incidencia en la forma de emisión y fidelidad de registro.

La señal que emite una ecosonda, se propaga a través del agua aproximadamente en forma esférica y es generalmente descrita por una ecuación de onda suponiendo que las variaciones de presión que causa en el medio son infinitesimales. Su energía se puede intensificar en una determinada dirección, diseñando convenientemente el transductor en función de la frecuencia de emisión.

Aunque no está generalizada a nivel comercial se ha experimentado la emisión de una frecuencia diferencial que permite reunir en una sola ecosonda las ventajas de las altas frecuencias

direccionales y de las bajas frecuencias de mayor penetración en bajas densidades, dado que se trata de una baja frecuencia de emisión con una alta directividad (haz de emisión angosto) utilizando transductores de tamaño reducido.-

A frecuencias altas, corresponden haces de emisión finos y viceversa, para frecuencias de emisión bajas corresponden diagramas de emisión de haz grueso.

Las ecosondas que operan con bajas frecuencias (del orden de los 10 a 20 KHz) son utilizadas normalmente para levantamientos batimétricos con fines cartográficos debido a que:

- con una potencia moderada pueden alcanzarse buenas profundidades (operando con 12KHz pierde la mitad de su potencia a los 3000m de la fuente).
- su ancho haz de emisión de 15° o mayor (medido desde la vertical del transductor) permite obtener información batimétrica de una mayor superficie "iluminada " o "sonificada".-

Pero también operar con una frecuencia que produce un haz de emisión ancho, tiene como consecuencia negativa el "iluminar" las partes del fondo que no se hallan exactamente en la vertical pero que son detectadas como si lo estuvieran, produciendo un registro distorsionado (ver fig.6.9).

Las ecosondas que operan con frecuencias relativamente bajas (7 a 3.5 KHz) pueden operar con mayor potencia de emisión y son utilizadas para detectar discontinuidades bajo la superficie del fondo por lo que se las denomina sondas perfiladoras de subfondo (sub-bottom profiler).

RECUERDE SIEMPRE QUE LAS COORDENADAS PLANAS DE LOS PUNTOS PERTENECIENTES A LAS SUPERFICIES SUBACUÁTICAS, SON LAS DETERMINADAS PARA SUS RESPECTIVAS PROYECCIONES EN LA SUPERFICIE DEL AGUA, POR LO QUE, EL PUNTO A RELEVAR Y SU PROYECCIÓN, DEBEN ENCONTRARSE EN LA MISMA VERTICAL

Este tipo de sonda, puede detectar también, estructuras sobresalientes de la superficie del fondo que si bien no se encuentran directamente bajo la vertical de la sonda, son "iluminadas" por el ancho haz de emisión.-

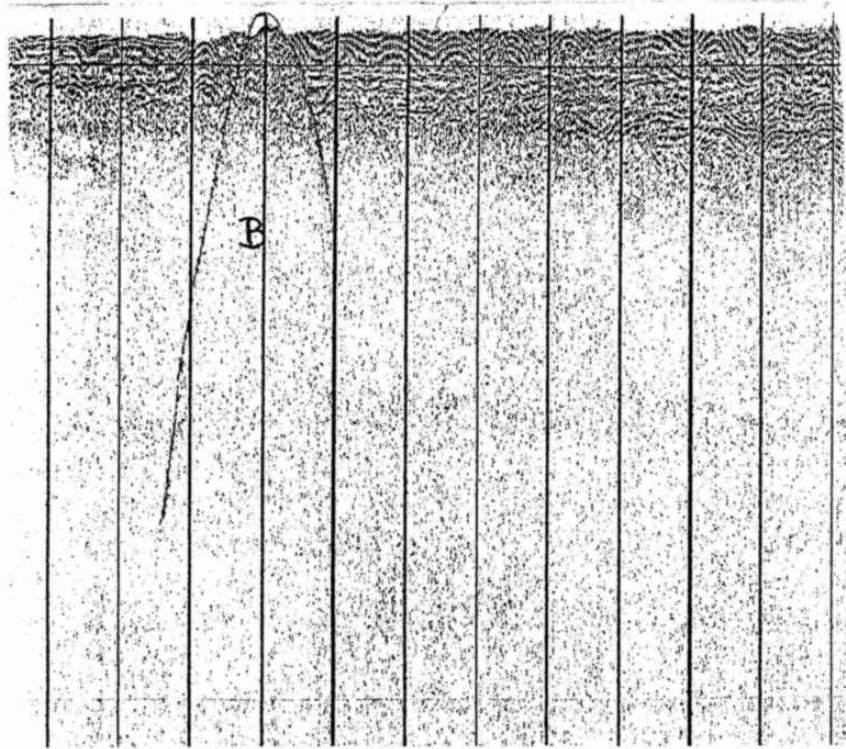
Estas superficies reflectoras son registradas a distancias mayores a las que se encuentra el fondo, produciéndose dos marcas en el registro, una correspondiente a la distancia directa al fondo y otra a la distancia desde el transductor a esa superficie reflectora (En el registro de la sonda todo sucede como si la superficie sobresaliente que está "iluminando" el haz de emisión, se hallara bajo el punto del fondo que se está sondando y en la misma vertical) (ver fig. 6.10 y fig.6.11).-

La continuidad del registro hace que las marcas que se producen por la recepción de las señales de esa estructura formen una figura hiperbólica (ver fig. 6.10 y fig.6.11) .-

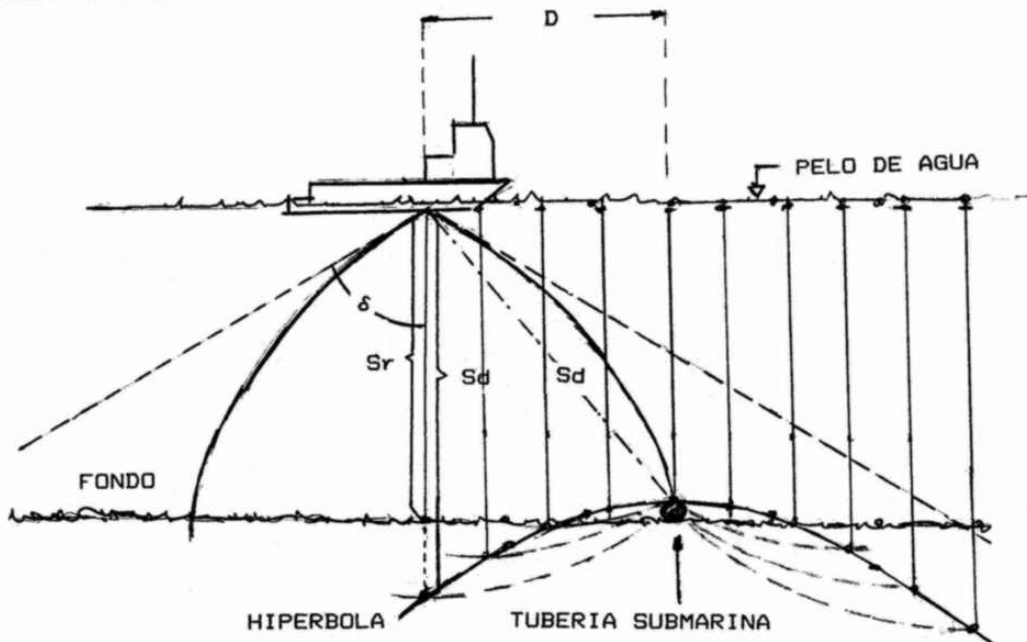
FIGURA 6.10

TRAZO HIPERBOLICO PRODUCIDO POR UN OBSTACULO SOBRESALIENTE DEL FONDO (En éste caso un gasoducto submarino)

REGISTRO DE UNA SONDA PERFILADORA (SUB BOTTOM PROFILER)
FRECUENCIA DE EMISION: 3.5 KHz.



EFFECTOS PRODUCIDOS EN EL REGISTRO DE LAS ECOSONDAS QUE OPERAN CON BAJAS FRECUENCIAS (HAZ ANCHO DE EMISION) POR ESTRUCTURAS SOBRESALIENTES (PUNTOS ILUMINADOS) DEL FONDO, NATURALES O ARTIFICIALES



δ : semiángulo del haz de emisión

En el registro se produce una hipérbola similar a la de la fig.6.10 cuya ecuación es:

$$Sd^2/Sr^2 - D^2/Sr^2 = 1$$

Donde: Sr es el sondaje real del fondo en la vertical.-

Sd es la distancia directa desde el transductor a la superficie reflectora que aparecerá en el registro como un eco del subfondo.-

FIGURA 6.11

6.12.- SONDAJE, PROFUNDIDAD Y COORDENADA ALTIMETRICA.-

El objetivo de cualquier tipo de levantamiento de una parte de la superficie terrestre, es determinar las coordenadas de puntos pertenecientes a esa superficie que permitan su representación gráfica lo mas fielmente posible.

En el caso de tratarse de superficies subacuáticas o sub - subacuáticas, las coordenadas horizontales representativas de los puntos son las correspondientes a sus respectivas proyecciones en la superficie del agua, materializadas por una señal (en el caso de utilizarse métodos ópticos) o por una antena o centro eléctrico de varias antenas (en el caso de utilizar métodos electrónicos).

La profundidad, es la distancia vertical que existe entre la superficie del pelo de agua y el fondo a relevar en el punto cuyas coordenadas horizontales deben determinarse. En el caso de utilizarse

una sonda mecánica, el sondaje obtenido coincide con la profundidad, pero si se utiliza una sonda ecoica, se está obteniendo un sondaje, que es la distancia entre la superficie emisora del transductor y la superficie del fondo. Para convertir ese valor en profundidad, habrá que sumarle la distancia existente entre el pelo de agua y la superficie de emisión del transductor como se ha visto en párrafos anteriores.

La superficie del agua no es estable, sufre movimientos verticales. En el mar, los movimientos verticales producidos por acción de las mareas. En los ríos y lagos, los períodos de crecidas y estiajes o bajantes. Por ello debe definirse una superficie del pelo de agua cuya cota sea invariable y a la cual sean referidos los valores de profundidad.

En los levantamientos batimétricos con fines de navegación, ésta superficie de referencia (PR: Plano de reducción de sondajes, en inglés: chart-datum) se elige a una cota lo suficientemente baja como para que, solamente en raras ocasiones, el pelo de agua se encuentre debajo de ese valor establecido.

Cuando se está llevando a cabo un levantamiento batimétrico, es fundamental el conocimiento en todo momento de la cota del pelo de agua.

En nuestras costas marítimas, un levantamiento realizado sin observación simultánea de mareas, debe ser anulado. La amplitud de las mareas y/o la influencia meteorológica en las mismas no permiten la utilización de los datos predichos y tabulados, para la reducción de sondajes.

Cuando se trabaja en los ríos o lagos debe observarse también la altura del agua, máxime cuando se está en presencia de una onda de crecida natural o antrópica (producida por la salida de una presa) o en la parte de los ríos donde se hace sentir el efecto de la marea.

6.13.- PROFUNDIDAD DE NAVEGACION.- (ver fig. 6.12 - 6.13)

Cuando se trata de trabajos o proyectos de vías navegables (canales y/o puertos) es muy común utilizar un concepto que hasta ahora no hemos visto, la profundidad de navegación.-

La profundidad de navegación es la necesaria para que un buque navegue con seguridad y está íntimamente ligada a las otras dimensiones de una vía navegable o de un canal de navegación:

$$P_n = c + r$$

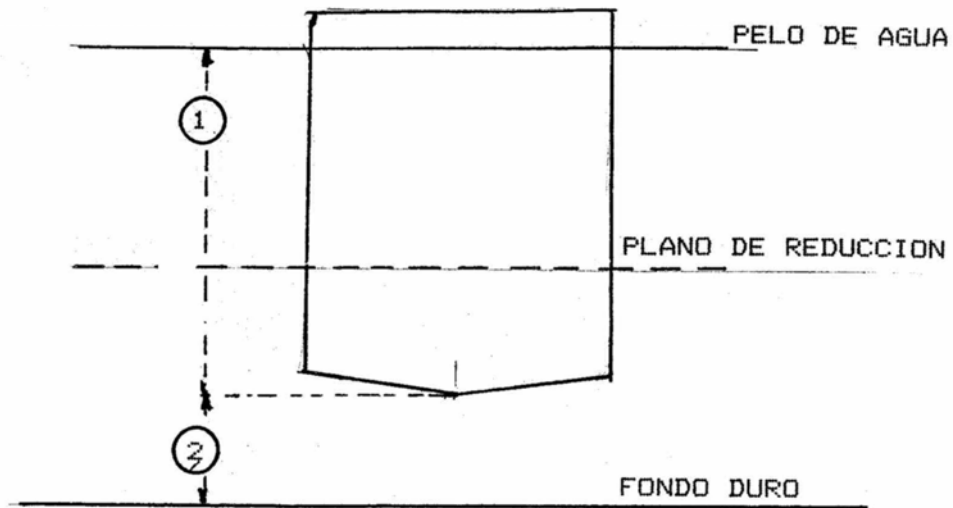
P_n : profundidad de navegación en metros y decímetros o en pies y pulgadas inglesas.

c : calado del buque o embarcación (distancia vertical desde la línea de flotación hasta la quilla, en metros y decímetros o pies y pulgadas).

r : revancha (distancia vertical entre la quilla y el fondo duro, en metros y/o decímetros o pies y/o pulgadas inglesas) que en algunas ocasiones se lo denomina "pie piloto".

Es sumamente difícil definir cuantitativamente el valor numérico de la revancha, por cuanto existen variados criterios para elegir y evaluar los parámetros que intervienen en su determinación:

PROFUNDIDAD DE NAVEGACION



① CALADO: Distancia pelo de agua (línea de flotación)-quilla.

② REVANCHA: Distancia quilla-fondo duro.-

FIGURA 6.12

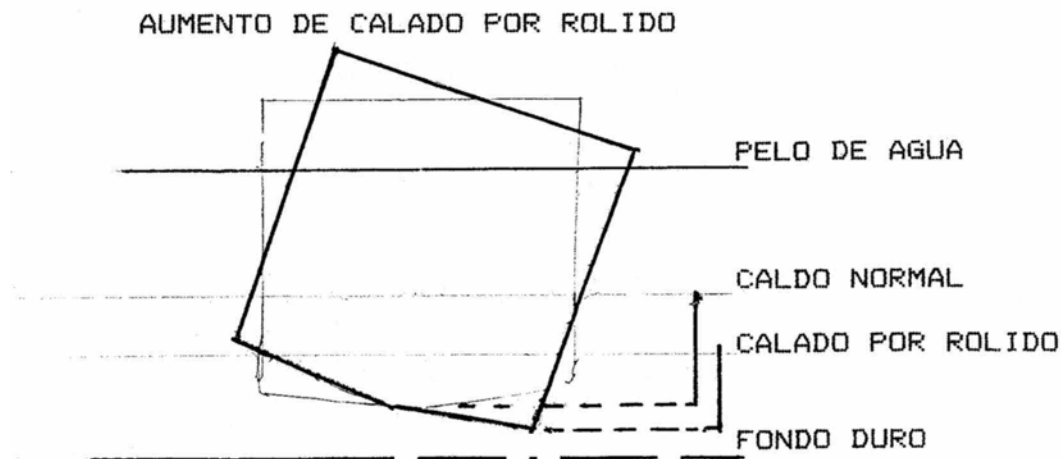


FIGURA 6.13

- i.- **Condiciones de oleaje de la zona y tipo de buque o embarcación (respuesta del buque al oleaje).** El oleaje aumenta el calado relativo cuando el buque o embarcación se halla en el valle de una ola. En los buques de gran manga (ancho) los efectos del rolido se traducen en aumentos de calado. Un supertanque de 50 m de manga, que rola 5° puede llegar a aumentar su calado en 2.20 m (ver fig.6.13).
- ii.- **Tipo de fondo de la vía o canal.** Un fondo rocoso o de arena obliga a tomar un margen o revancha mayor que en el caso de un fondo de barro blando, debido a los daños que puedan producirse por el toque del casco con el mismo. Lógicamente las averías son mayores a consecuencia de un toque con un fondo duro que con uno blando.
- iii.- **Velocidad de navegación (squat).** Un buque navegando en un canal o vía restringida por efectos hidráulicos, sufre un asentamiento, aumentando su calado relativo relacionado en cierta medida con la velocidad de navegación.
- iv.- **Tasa de sedimentación.** La fecha del último levantamiento llevado a cabo en la vía o canal y el conocimiento de la tasa de sedimentación permiten estimar la disminución de profundidades en función del tiempo.
- v.- **Precisión del levantamiento que dio origen a la carta o plano de navegación.** El conocimiento de la precisión con que se realizan los levantamientos de la vía o canal también permite determinar en parte el valor de la revancha.

A cada uno de estos ítems (cuya enumeración no es taxativa) se le da un valor parcial cuya suma da como resultado el valor de la revancha o pie piloto.

Esta profundidad de navegación se determina para la operación del buque o embarcación tipo, que se considera para el diseño de la vía o canal navegable ("flotador de cálculo"). Cuando se desea que los buques operen en forma permanente, ésta profundidad se refiere al plano de reducción de la zona y si fuera necesario, deberá dragarse para conseguirla en toda la vía.

En general en los puertos con amplitudes de marea importantes, se aprovecha esta circunstancia para disminuir la profundidad de la vía o canal referida al plano de reducción local, llevando a cabo el tráfico en los períodos en que la suma de la profundidad al cero mas la altura de marea es igual o mayor a la profundidad de navegación prevista. Esta alternativa, si las condiciones económicas de operación lo aconsejan, puede hacer llegar a ahorrar considerables volúmenes de dragado.

En un buque, mercante o de guerra el capitán o comandante tiene la responsabilidad intransferible de su seguridad. Por esta razón, cuando la información sobre una vía navegable no es confiable, el capitán o comandante, se ve obligado a tomar un margen o revancha bajo la quilla de no menos del 10% del valor de su calado actual.

6.14.- PROFUNDIDAD DETERMINANTE (ver fig. 6.14)

Para este concepto valen las consideraciones que se han hecho para el caso del párrafo anterior.

La profundidad determinante es la mínima profundidad de un canal o vía navegable en un tramo considerado. Su valor está íntimamente ligado al ancho del canal o vía. Los valores actualizados para nuestros ríos y canales son publicados semanalmente por la Dirección Nacional de Construcciones Portuarias y Vías Navegables en el Boletín Fluvial.-

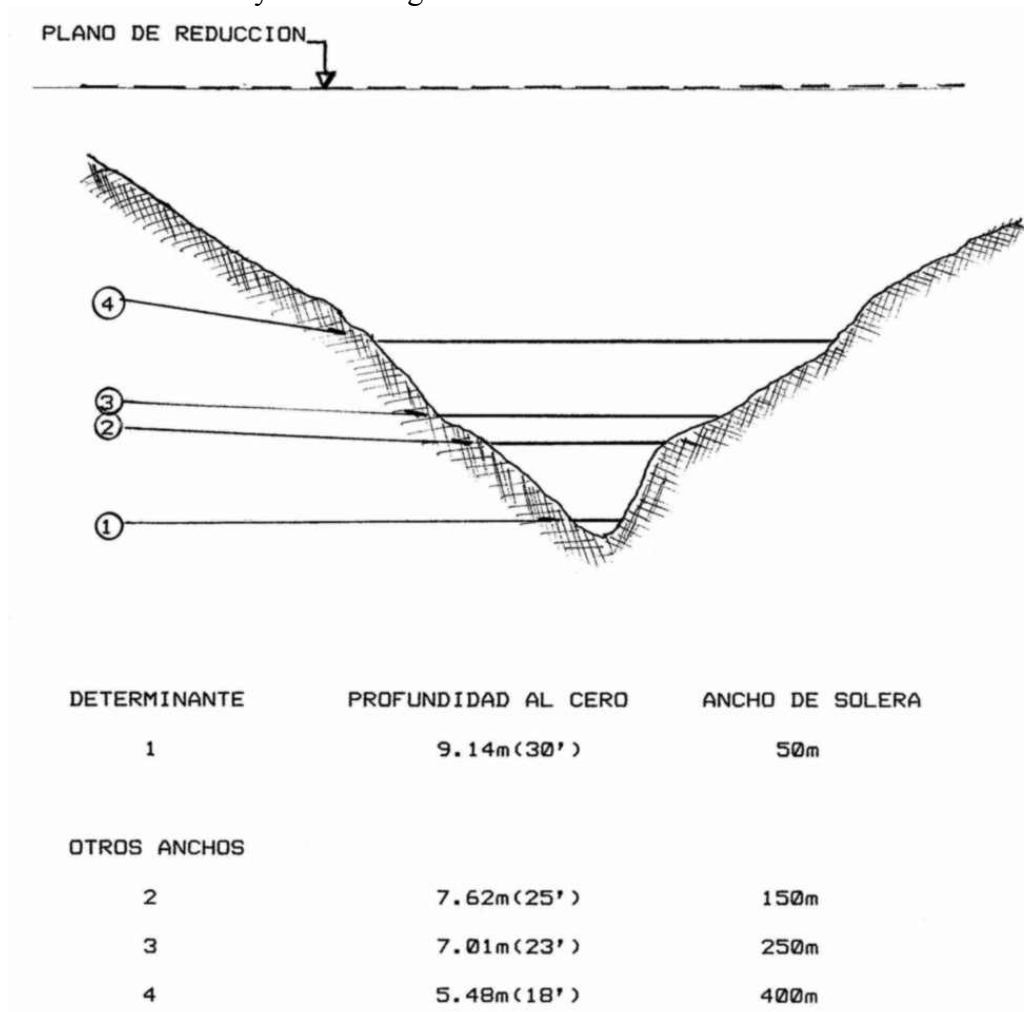


Figura 6.14 - Profundidades determinantes

6.15.-PRECISION.-

La precisión de la profundidad depende de:

- a) La precisión con que se ha leído la faja de sondajes (registro de sondajes o ecograma). Cuando se trata de levantamientos de precisión es conveniente que la lectura sea hecha por mas de un operador, tomándose la media de las lecturas como mejor valor. Cuando se trate de registros digitales deben efectuarse periódicas verificaciones de manera de cotejar los valores registrados electrónicamente y los correspondientes leídos en el registro analógico.
- b) La precisión con que se han obtenido los valores de los coeficientes de la ecuación de calibración.
- c) La precisión de la corrección por marea.

En cada punto de corte de corridas de sondajes, se verifica la eficacia de la operación llevada a cabo. El valor de la profundidad (referida al plano de reducción adoptado) en un punto, obtenida durante una corrida principal, debe coincidir con aquel que fue obtenido para el mismo punto durante una corrida de comprobación. La discrepancia en estos cortes da un índice de la precisión con que se ha trabajado.

En la figura 6.15 se da un ejemplo de punto de corte para comprobación:

- La embarcación sondadora pasa a las 1310 (H+3) por el punto A, navegando sobre una corrida principal y obtiene un sondaje corregido de 20.50 m.
- El mismo día a 1450 (H+3) pasa por el mismo punto A navegando sobre una corrida de comprobación, normal a la corrida principal, obteniendo un sondaje corregido de 25.50 m.
- El mareograma de pie de página (fig.6.15) se ha obtenido por observación de la marea en la zona de trabajo.
- La cota del PR ya ha sido determinada y es la que corresponde al origen de las alturas de la curva de mareas.
- A las 13:10 Hs la altura del pelo de agua con respecto al PR es de 1.50 m y a las 14:50 Hs su altura es de 6.50 m.-
- Las profundidades en cada caso serán:

$$13:10 \text{ Hs.} \dots\dots\dots 20.50 - 1.50 = 19.00 \text{ m}$$

$$14:50 \text{ Hs.} \dots\dots\dots 25.50 - 6.50 = 19.00 \text{ m}$$

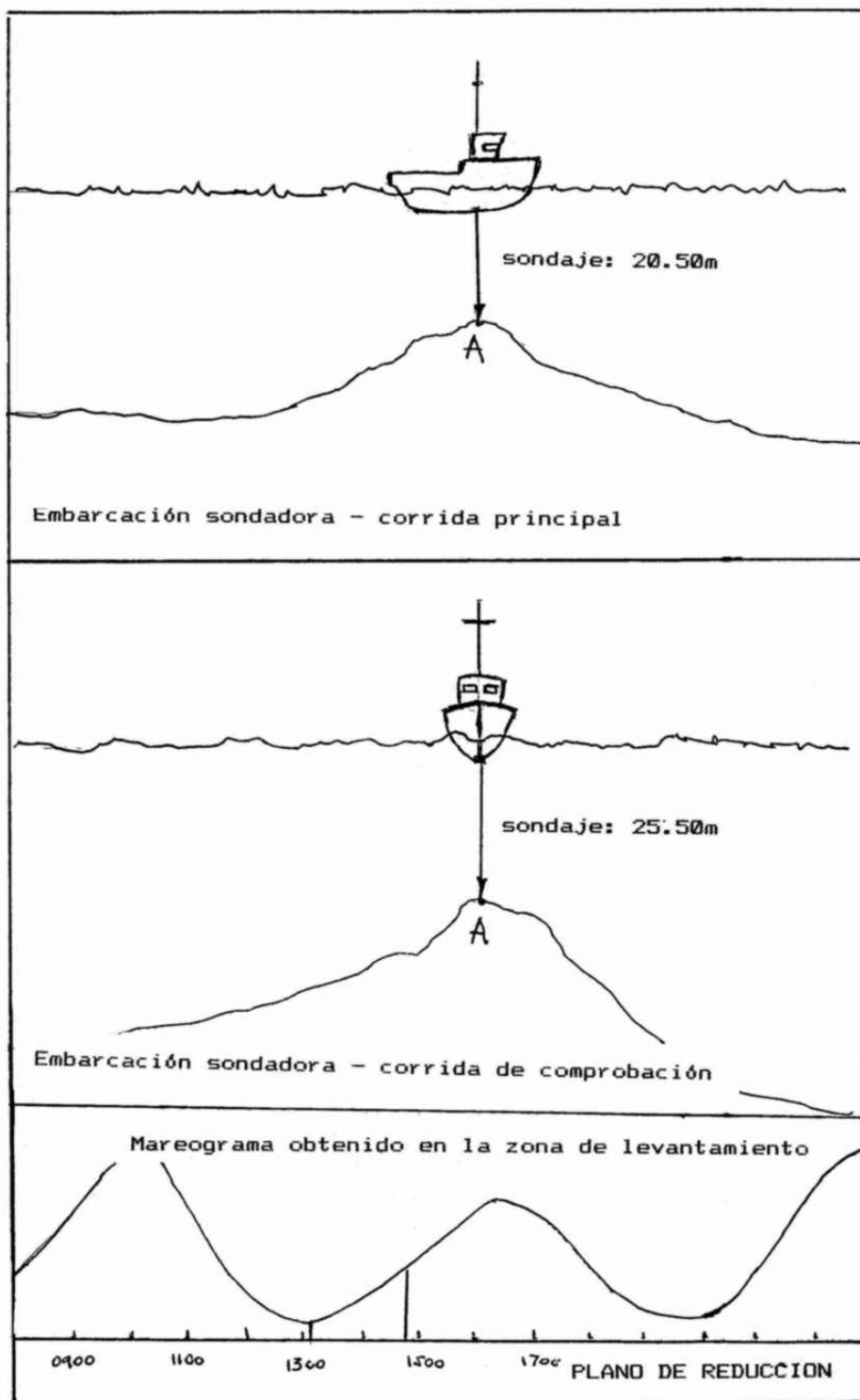
El valor de la profundidad obtenido en un mismo punto pero según dos corridas cruzadas, es el mismo. Con esta operación se comprueba la precisión con que han sido obtenidos los sondajes. De haber una diferencia entre ambas observaciones acotada dentro de las tolerancias determinadas para el levantamiento, se adoptará el promedio entre ambas.

Si la discrepancia de profundidades supera la tolerancia establecida. debe llevarse a cabo una exhaustiva verificación de las coordenadas planimétricas de ambos puntos. Si ésta verificación indica sin duda que se trata del mismo punto, deberán verificarse los valores de altura de marea observada.

Cuando se utilizan mareómetros a cargo de un observador, puede ocurrir que por cualquier razón, éste haya dejado de registrar por un tiempo durante el cual, fenómenos meteorológicos

hayan producido una variación anormal en la altura de la marea. Posteriormente ese observador, a efectos de disimular esta inconducta, "dibuja" la curva, con valores obtenidos e interpola los faltantes. Es muy conveniente utilizar observadores con poca o ninguna experiencia en observación. Pueden ahorrarse muchas horas de verificación.

Figura 6.15



El B.H.I ha dado recomendaciones sobre las tolerancias que deben observarse en los cortes (tanto en profundidad como en las coordenadas horizontales) en función de la clasificación del trabajo

según el objetivo del mismo (Publ.Especial N°44 ed.1997):

- TOLERANCIAS PARA LOS LEVANTAMIENTOS HIDROGRÁFICOS

ORDEN	ORDEN ESPECIAL	1° ORDEN	2° ORDEN	3° ORDEN
Ejemplos de áreas típicas	Puertos, áreas de atraque, canales de navegación de aguas restringidas	Puertos, canales de acceso. Areas costeras de tráfico recomendado, áreas costeras de menos de 100m de profundidad	Areas no contempladas como de primer o segundo orden o áreas con profundidades hasta 200m	Areas mar adentro no comprendidas en las ordenes anteriores
Precisión de las coordenadas horizontales (con el 95% de probabilidad) .	2m	5m + 5% de la profundidad	20m + 5% de la profundidad	150m + 5% de la profundidad
Precisión de las profundidades reducidas (con el 95% de probabilidad)	a = 0.25 m (1) b = 0.0075	a = 0.5 m b = 0.0013	a = 1.0m b = 0.0023	a = 1.0m b = 0.0023
Levantamiento del 100% de la superficie del fondo	Obligatorio (2)	En áreas seleccionadas (2)	Puede ser requerido en áreas seleccionadas	No es aplicable
Capacidad del sistema de detección	Volúmenes que sobresalen del fondo mas de 1m	Volúmenes que sobresalen del fondo mas de 2m en profundidades ≤ de 40m (3)	Idem 1°orden	No es aplicable
Separación máxima entre corridas de sondajes (4)	No es aplicable debido al requerimiento del levantamiento total de la superficie del fondo	Tres veces el valor de la profundidad media o 25 m si ese valor es mayor.	Tres a cuatro veces la profundidad media o 200 m si ese valor es mayor.	Cuatro veces la profundidad media.

Nota: (1)- Los valores de a y b para el cálculo del error en profundidad deben ser introducidos en la ecuación:

$$e = \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2}$$

donde:

a: Es la suma de todos los errores constantes

b: coeficiente de error

d: profundidad

(2):En los levantamientos de orden especial y 1°orden se considera suficiente , garantizar una profundidad segura para la navegación , obtenida por medio de rastras mecánicas.

(3) El valor 40m se ha elegido en base al máximo calado proyectado.

(4)La distancia entre corridas puede aumentarse si se asegura una adecuada densidad de sondajes.

6.16.- DENSIDAD DE SONDAJES

En trabajos batimétricos con fines de navegación, la tarea de sondeos se lleva a cabo según corridas especificadas (Publicación del BHI SP44) que aseguran una adecuada densidad de información.

A las corridas de sondeo que podrían denominarse corridas principales se les agrega las de comprobación que en general se llevan a cabo de manera tal que su dirección sea sensiblemente normal a la de las principales aunque su espaciamiento es mucho mayor. En los puntos de corte se verifican las coordenadas planimétricas y la profundidad como se vio en el párrafo 6.15.

Las corridas principales se llevan a cabo comúnmente, siguiendo la dirección general de la máxima pendiente o lo que sería lo mismo, la dirección normal a las isobatas. Lo que se trata siempre es de mantener la uniformidad geométrica de las líneas de sondeo a efectos de asegurar una distribución uniforme de la información y una adecuada densidad.

Cuando los levantamientos son de cierta precisión, las corridas de sondeo se llevan a cabo según grillas.

En grandes ríos navegables como el caso del Río Paraná, las corrientes de fondo arrastran sedimento (por rodadura o saltación) produciendo dunas de hasta 2m de altura y 50 a 100m de base. Las crestas de estas formaciones son sensiblemente arqueadas y perpendiculares a la corriente razón por la que las corridas deben hacerse también en forma longitudinal.

De no procederse de esta forma, cuando se editen las isobatas, podrán aparecer con formas aparentemente anormales que podrían obligar a un exhaustivo análisis del levantamiento en búsqueda de errores inexistentes.

Trabajando con sistemas integrados, se ingresan los puntos límites de cada corrida (way points).

El equipo de posicionamiento (radioeléctrico, DGPS, TRISPONDER, MINIRANGE SYLADIS etc.) determinará en forma casi continuada las coordenadas actuales y las introducirá en el sistema el cual comparará dicha posición con la planificada, indicará la discrepancia y emitirá una orden directa al mecanismo del timón para que lleve la embarcación por la corrida prefijada.

6.17.- DISTANCIA ENTRE CORRIDAS DE SONDAJE

Como ya se ha visto, no todos los levantamientos se llevan a cabo con fines de navegación, por lo que las tolerancias cuyos valores son recomendados por la OHI (BHI), si bien pueden servir como guía, a veces, por razones económicas no pueden ser cumplidos inflexiblemente.

Por razones de claridad de dibujo, las corridas de sondeo deben figurar en el plano final del levantamiento, con una distancia de 10 mm. de separación entre ellas.

De acuerdo a esto, la distancia real (en metros) de separación entre corridas que se llevan a cabo durante el levantamiento, será el producto de M (denominador en miles de la escala de dibujo) por 10. El problema surge en la determinación de M.

Antes de comenzar las tareas batimétricas y durante el período de planificación es necesario identificar la composición geológica del fondo por observación del material y morfología de la costa. Si se cuenta con un levantamiento anterior, puede estimarse el ángulo de caída (ϕ) del material existente, en reposo. Con ésta misma información previa, también se podrá determinar para cada zona, de una cierta profundidad media, el valor de la distancia entre corridas que asegurará la identificación de un bajofondo.

Cuando se trata de fondos rocosos se utilizan métodos de información complementaria como ser por ejemplo sonares laterales.

A efectos de aclarar estos conceptos ver fig.6.16. El bajofondo **OCE** se ha formado en una zona de profundidad media **p** (AB en la figura 6.16). Dicho bajofondo está formado por material cuyo ángulo de caída es ϕ . La profundidad de navegación necesaria para los buques que transitan por la zona es **d** (calado) + **c**(revancha o margen bajo la quilla) (AC en la figura).

Debe verificarse entonces que durante la mas baja marea, haya profundidades un 10% superiores a **d** ($c \geq 0.1d$) que será la profundidad de seguridad ($AC = 1.1d$) que debe determinar el levantamiento.

La distancia entre corridas debe ser tal que permita la detección de ese bajofondo.

$$W[m] = \frac{AB[m] - CB[m]}{\text{tg } \phi}$$

El numero de miles del denominador de la escala de trabajo (M) será el que surja del cociente :

$$M = \frac{h[\text{mm}]}{\text{tg } \phi \cdot 10\text{mm}}$$

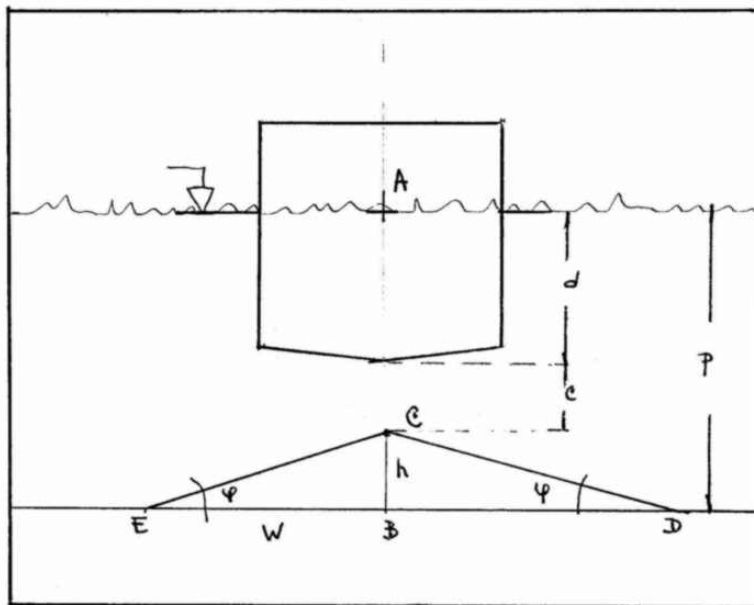
El valor de M. se redondea a valores enteros p.ej: 1, 2, 2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 50 etc.

Suponiendo que se ha estimado el valor del ángulo ϕ y determinada la profundidad de navegación **d**, se ha llegado a un valor de distancia entre corridas para el levantamiento: **W** = 138 m . Ello significa que si la separación entre las corridas que se dibujen en el plano de levantamiento es de 10mm, el denominador en miles de la escala será: $M = 13.8$ y la escala será 1:13800. Es indudable que el valor de esta escala no es práctico por lo cual se adoptará la cifra mas próxima hacia de valor mas bajo : $M = 10$.

La distancia entre corridas será entonces **W**: 100 m para mantener la norma de una corrida cada 10 mm de distancia en el plano.

La escala de la carta náutica que se confeccione con los datos obtenidos de esta levantamiento será de dos a tres veces menor .

FIGURA 6.16



AB profundidad media de la zona: p
AC profundidad asegurada: $1.1 d$
CB altura del bajofondo respecto del plano EBD: h
EB distancia entre corridas de sondaje: W
 φ ángulo de caída natural del material de fondo
d: calado del barco que navega por la zona

EJEMPLO:

Datos: ángulo de caída del material $\varphi = 1^{\circ}05'$
 calado del barco que navega $d = 8.50 \text{ m}$
 profundidad media de la zona $p = 10.0 \text{ m}$

Determinaciones:

-profundidad asegurada $1.1*d = 1.1*8.50 = 9.35 \text{ m}$
 -altura del bajofondo

$$h = p - 1.1*d = 10.0 - 8.58 = 1.42 \text{ m}$$

-distancia entre corridas de sondajes:

$$W = \frac{h}{\tan \varphi} = \frac{1.42 \text{ m}}{0.0189} = 75 \text{ m}$$

$$W \text{ adoptado} = 50 \text{ m}$$

En este caso, la escala podría ser 1:20000, 1:25000 o 1:30000. Este criterio no es limitativo.

Sintetizando, para determinar la escala de un plano de levantamiento con fines náuticos (sin la posibilidad de contar con una sonda multihaz que nos permita obtener relevado el 100% del fondo) debemos:

- i) Determinar la profundidad media de la zona a levantar (p).
- ii) Determinar la profundidad de navegación que debe asegurarse con el levantamiento,

en función del calado (d) de los buques usuarios y la revancha (c).

iii) Estimar o medir u obtener de la cartografía existente, el valor del ángulo de caída natural de los materiales del fondo de cada zona a sondear.

iv) En base a lo determinado en i) y ii) determinar la altura h del banco a detectar con el levantamiento y que pudiera presentar un peligro para la navegación.

v) En base a lo determinado en iii) y iv) determinar el valor W de la separación entre corridas.

vi) Teniendo en cuenta el valor prefijado de 10mm de separación entre corridas en el plano de levantamiento, determinar el valor del denominador en miles (M) de la escala de trabajo.

vii) Redondear la cifra a un valor práctico.

Cuando el objetivo del levantamiento es por ejemplo, la instalación de una plataforma de explotación petrolera, se requiere otro tipo de información. En el caso de plataformas de gravedad que van asentadas en el fondo, requieren un valor mínimo de pendiente entre puntos de apoyo de cada pata. La distancia entre corridas, independientemente de la profundidad media local, depende de la distancia entre las patas de la torre. Existe la posibilidad de llevar a cabo un levantamiento batimétrico en una zona de 150 m de profundidad media, con corridas según una grilla de 25 o 50 m de lado.

En canales de acceso a puertos o en canales interiores de ancho limitado, pueden utilizarse transductores múltiples (no confundir con sondas multihaz) instalados sobre perchas que se colocan atravesadas a la embarcación sondadora y que permiten abarcar un ancho del orden de los 20 a 30 metros por corrida.

En los casos en que el BHI – OHI exigen el levantamiento completo del fondo, es necesario utilizar sonares laterales o sondas multihaz ambos instrumentos que serán vistos en la unidad siete.

6.18.- DISTANCIA ENTRE SONDAJES DE UNA MISMA CORRIDA.

Cuando el levantamiento se lleva a cabo con fines de navegación las profundidades **en el plano de levantamiento** deberán figurar dentro de cada corrida a distancia no mayor de 5 mm.

Utilizando sondas digitales es necesario confeccionar un programa de selección de sondeos a efectos de hacer figurar aquellos realmente significativos.

6.19.- MODELOS BATIMETRICOS.

Actualmente existen programas que permiten modelar el fondo habiendo obtenido un cierto número de sondeos.

Con tres o cuatro corridas mas o menos perpendiculares a la dirección general de las isobatas, de 400Km de longitud cada corrida y con una separación entre ellas de 100Km, puede obtenerse un

modelo de terreno de un área de 400Km X 400Km y asimismo un sistema de isobatas con la equidistancia que se desee.

NO HAY QUE EQUIVOCARSE un modelo determinado con una entrada de esa categoría produce una salida sumamente pobre y poco seria. Si no hubiera otra opción debe aclararse perfectamente las limitaciones de ese resultado.

La densidad de sondajes para poder obtener un buen modelo batimétrico en parte está dada en la SP44. Inclusive en esa misma publicación se dan las tolerancias en los cortes utilizando modelos batimétricos.

La utilización de sondas multihaz permiten la obtención de un modelo batimétrico de excelentes resultados.

BIBLIOGRAFIA

- The Oceans (SVERDRUP et al) Prentice Hall Inc. New York-1942.-
- Hydrographic Surveys: The Purpose and the Choice of Scale (DAY) Rev.B.H.I. Vol.XXXII.Nº1 - May 1955.-
- A Note on Depth When the Bottom is Soft Mud (OWAKI,N) Rev.BHI,Vol XL Nº2-Jul.1963.-
- Concerning the Margins Between the Draughts of Ships and the Depths of Fairways (FAGERHOLM,P.O.) Rev.BHI,Vol XLIII Nº1-Ene.1966.-
- Suggestions for Probing a Soft Mud Bottom (LEENHARDT,O)Rev.BHI,Vol XLIII Nº1-Ene 1966.-
- Applied Underwater Acoustics (TUCKER - GAZEY) Pergamon Press - 1966 US Congress Catalog Card Nº66. 18403.
- Narrow-beam Echo Sounding in Marine Geomorphology (KRAUSE,D.C.-KANAIEV,V.F)Rev.BHI Vol.XLVII Nº1-Ene.1970.-
- Precise Echo Sounding in Deep Water (MAUL,G.A.)Rev.BHI,Vol.XLVII Nº2-Jul.1970.-
- A New Technique for Echo Sounding Corrections (RYAN,T.V.& GRIM,P.J.) I.H.R.VOL.XLV Nº2 July 1968.-
- Finite Amplitude Sonar Techniques (WALSH G.M.)Rev.Electronic Progress-Vol.XIII Nº1 - Spring 1971-Raytheon Company-Lexington, Mass.USA.-
- The Use of a Dual Frequency Echo Sounder in Sounding an Irregular Bottom (Mc.Q.WEEKS)Rev. BHI Vol.XLVIII Nº2-Jul.1971.-
- High Resolution Bathymetry for Analyses of Seabed Flatness (GOULMY,A.L.G.)Rev.de Ingenieur/J.R.G.88/NR 48/25 Nov 1976.-
- Multibeam Sonar (Theory of Operation)(L3 Communications SeaBeam Instruments)1997

TRABAJO PRACTICO

1.- Determinación de los valores de calibración.

La figura 6.6 corresponde a un trozo de ecograma registrado en una sonda RAYTHEON .

En el mismo ha quedado registrada la operación de calibración

En base a los datos que figuran se deberá determinar la escala del ecograma y el valor de la inmersión del transductor.

2.- Determinación de **M** denominador de miles de la escala de trabajo batimétrico.

Se va a llevar a cabo un levantamiento en una zona en la cual, por trabajos anteriores se ha determinado que el fondo se compone de una mezcla de arenas finas y limo cuyo ángulo φ se estimó en $0^{\circ}31'$.

El trabajo consiste en una densificación de la zona comprendida entre las isobatas de 20 y 40 metros. Se desea una profundidad de seguridad $d+c=10$ metros.

1º- ZONA de 20 metros de profundidad.

Datos **d+c:** 10 m
p: 20 m
 φ : $0^{\circ}31'$

Determinar:

- W** distancia entre corridas.
- M** el denominador de la escala del plano de levantamiento.
- Redondear el valor de **M**
- W** distancia en que se realizarán las corridas.
- D** escala de la carta náutica

2º-Idem para la zona de 40 metros de profundidad.