

7. RASTRAS - SONAR LATERAL- SONDA MULTITRAZ

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

7. -INTRODUCCIÓN

Existen casos de acceso a puertos de fondo rocoso cuya carta náutica ha sido levantada con la información y precisión suficiente para proveer una navegación segura al tipo de embarcaciones empleadas en el tráfico de la zona. Tratándose del tráfico de embarcaciones pequeñas y en el caso de puertos de marea, los levantamientos llevados a cabo con sonda exclusivamente pueden ser satisfactorios. Es muy difícil poder determinar la distancia entre corridas de sondaje con ecosonda para asegurar la detección de bajofondos de roca. Los valores de pendiente a que pueden llegar este tipo de afloramientos, obligarían a sondear adoptando muy pequeñas distancias entre corridas y aún así, no se tendría la certeza absoluta de su detección.

Tratándose de acceso a puerto, de embarcaciones de poco calado, es factible realizar el levantamiento de las formaciones rocosas que presentan peligro para la navegación independientemente del levantamiento batimétrico. Durante los días de temporal, las olas romperán al encontrar en su camino una abrupta disminución del fondo y esas rompientes pueden ser trianguladas desde la costa, determinando así las coordenadas planimétricas de cada punto peligroso.

Una ola generada en aguas poco profundas, rompe cuando la relación entre la profundidad y su altura es:

$$p = 1.28 \cdot h$$

En el acceso a los puertos, de embarcaciones pequeñas cuyo calado máximo es de 2m, la profundidad de navegación puede ser de 2.5m. Una ola de 2.0 m de altura producida por un temporal, romperá sobre una formación rocosa cuya profundidad sea de 2.5 m lo que implicará un peligro para ese tipo de embarcaciones aun cuando el mar se halle totalmente calmo.

Esa rompiente o las que se produjeran, podrán ser trianguladas con teodolitos desde tierra de manera de determinar las coordenadas horizontales del bajofondo que representan, para agregarlas luego, a la cartografía correspondiente.

Si por razones de un aumento en el calado de esas embarcaciones o porque luego de una modificación en las facilidades portuarias, se prevé un aumento en el calado de los barcos que lo utilizarán, es imprescindible una revisión de la información existente. Es muy probable que como resultado de la misma, se llegue a la necesidad de realizar un nuevo levantamiento, mucho más detallado, que provea la información necesaria para dar seguridad a la navegación del nuevo tipo de tráfico previsto.

Los calados proyectados, más una revancha o margen de seguridad, determinarán una profundidad de navegación (al cero o con marea) que deberá asegurarse por medio de un minucioso levantamiento.

Supongamos que el calado del barco de proyecto (previsto para cubrir el tráfico de acceso a un nuevo puerto cuyo fondo es rocoso y cuyo levantamiento no está actualizado) sea por ejemplo de 6m. Va a ser muy improbable que en algún momento se produzcan olas de más de 4.70m para

que rompan en las formaciones rocosas que se encuentren a esa profundidad de navegación y por lo tanto no podrán determinarse los lugares de peligro por simple observación. Es indispensable entonces, un levantamiento que asegure esa profundidad de navegación con un 100% de seguridad y para ello, además de la sonda ecógrafa, debe utilizarse un elemento mecánico llamado rastra o un sonar lateral.

7.1.-RASTRAS

Existen diferentes tipos de rastras. La que puede verse en la figura 7.1 es del tipo Rastra Argentina Mod.1937. Consta de, un cable de fondo o arrastre de $\phi=0.006$ m que como su nombre lo indica, es el que se arrastra a una profundidad establecida por la longitud de los cables de sostén. Este cable se mantiene horizontal por la acción de boyarines (Flot:+5 Kg.) que van amarrados en toda su longitud y por los cables sostén que son soportados por boyones (Flot:+100 Kg) y van unidos horizontalmente por el cable de superficie. Cada cable sostén soporta además un lastre pequeño de 20 Kg. En ambos extremos se hallan los boyones grandes (Flot:+140 kg) que soportan cada uno un lastre grande de 80 kg. En los extremos correspondientes a boyón grande-lastre grande se unen los cables de remolque .

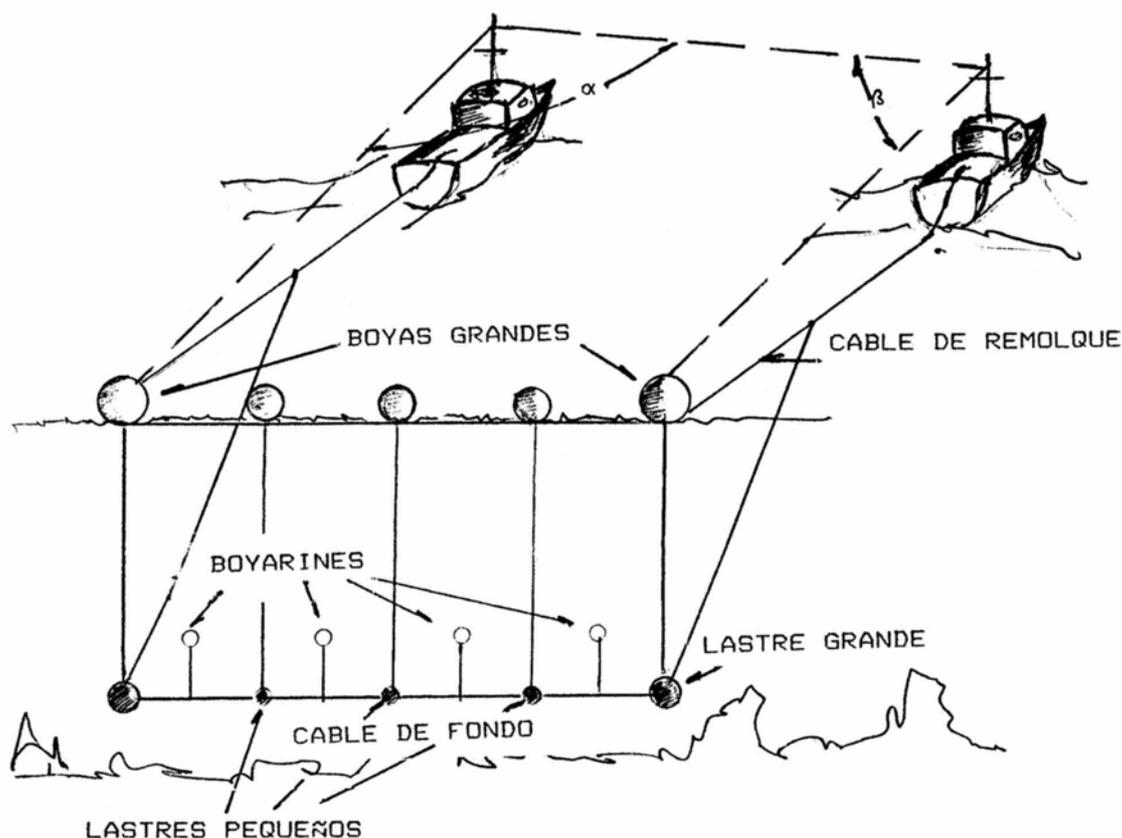


FIGURA 7.1

La o las embarcaciones de remolque son situadas por métodos ópticos o radioeléctricos y desde ellas, se miden los ángulos α y β entre la embarcación vecina y el boyón extremo propio. En el caso de determinarse las coordenadas de una sola embarcación (embarcación guía) las coordenadas de la otra se determinan por acimut y distancia desde ésta.

Debido a que la distancia de remolque es conocida, y medidos los ángulos α y β , pueden

determinarse las coordenadas de los extremos de la rastra.

La utilización de este tipo de rastra requiere embarcaciones de cierta potencia, tripuladas con dotaciones muy bien entrenadas en este tipo de tareas.

Dada la solidez del conjunto y su dificultad de maniobra, en ocasiones se utilizan cables sostén con una longitud determinada por la profundidad al plano de reducción que desea asegurarse mas la amplitud máxima de la marea. En pleamar el cable de rastreo se desplazará por la profundidad de proyecto y en bajamar se desplazará por un nivel inferior al proyectado.-

Esto puede traer aparejado el "enganchar" con la rastra formaciones rocosas que se hallan a una profundidad mayor de la que interesa asegurar, con la consiguiente pérdida de tiempo. Por ello debe hacerse un análisis de los riesgos a efectos de decidir la forma de rastreo.

Las corridas con rastra se proyectan de forma tal de asegurar una adecuada superposición en el barrido. Si la geometría de la zona lo permite, las corridas se proyectan en la dirección de la corriente de la zona, tanto de flujo como de refluo.

Para llevar a cabo este tipo de tarea, se requiera un estado relativamente calmo del pelo de agua. Condición que debe ser tenida muy en cuenta en la planificación , para la asignación de tiempos.

En zonas de poca extensión, puede utilizarse una rastra como la de la figura 7.2. El cable de fondo o de rastreo es suplantado por un caño de 0.05m de diámetro y de 20 m de longitud. La profundidad de rastreo proyectada se consigue con un depresor. Podemos arriesgar una definición vulgar de depresor diciendo que se trata de un "barrilete hidrodinámico". La velocidad y/o la longitud del cable de remolque hacen variar la profundidad del depresor y por ende del rastreo.

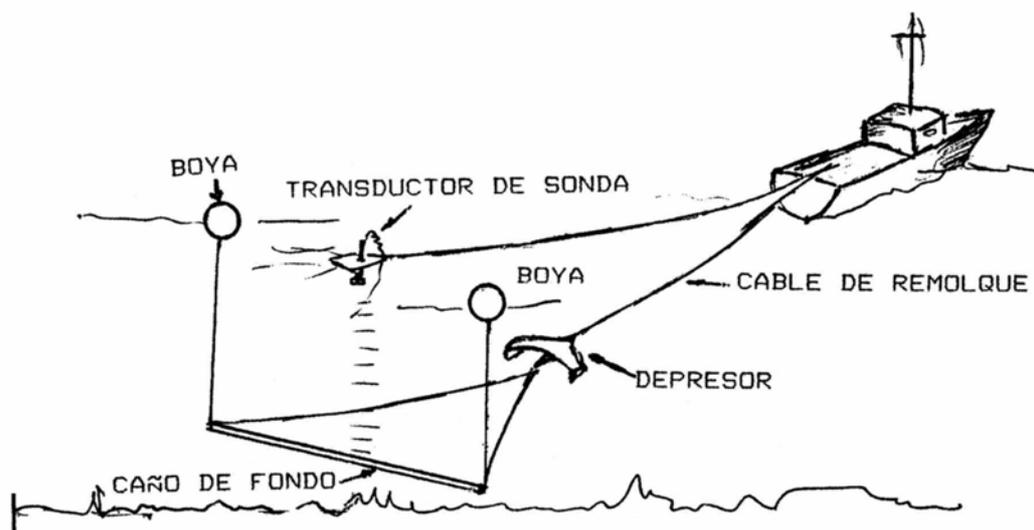


FIGURA 7.2

En este tipo de rastra, su profundidad es controlada por medio de una ecosonda cuyo transductor va remolcado en la superficie del agua, inmediatamente arriba del elemento de rastreo (ver fig.7.2).-

La embarcación, como en el caso anterior, es posicionada por los métodos normales utilizados en

hidrografía y los extremos de la rastra se posicionan indirectamente desde la embarcación de remolque. Puede decirse que en general en nuestras costas marítimas, la operación con rastras no es sencilla.

No solamente se producen inconvenientes al "enganchar" una roca o una formación rocosa, las algas o cachiyuyos (normalmente los del tipo macrosites) que afloran desde las formaciones rocosas a veces a profundidades de 20 m, llegan hasta la superficie, formando una espesa cortina en las que continuamente puede enredarse la rastra. La maniobra de liberar estos elementos de las algas, constituye una ardua tarea que se suma a la ya pesada operación de rastreo.-

7.2.- SONAR LATERAL (SIDE SCAN SONAR).-

7.2.1.-Generalidades.-

Las ecosondas como se vió anteriormente son instrumentos que emiten ondas de energía mecánica de frecuencia ultrasónica según un haz cuyo eje principal es vertical a efectos de obtener por reflexión, información del fondo subácuo . El sondaje continuo registrado permite determinar un perfil bidimensional.

El sonar lateral da como resultado una representación casi fotográfica del fondo, permitiendo una mejor interpretación de su morfología. Es una forma de exploración acústica continua, barriendo lateralmente la superficie del fondo marino, la que queda registrada en un ecograma. Constituye una herramienta valiosa para la rápida identificación de la forma e irregularidades del fondo del mar, pero no es todavía un instrumento para usos batimétricos precisos.

Con el conjunto de registros puede llegar a confeccionarse un mosaico parecido al fotográfico de manera que puede servir para estudios de morfología, sedimentación, circulación de corrientes oceánicas de fondo por interpretación de los rastros que estas imprimen en los fondos subácuos, búsqueda de peligros para la navegación, ubicación de tuberías submarinas, etc.

La siguiente Tabla muestra los usos y frecuencias de los distintos sonares laterales.

USO	FRECUENCIA	ALCANCE
Localización de cables submarinos, búsqueda de obstrucciones en un canal, búsqueda de naufragios y formaciones rocosas, etc.	100 a 300 KHz	300 m
Investigación geológica.	~ 36 KHz	1000 a 1500 m
Investigación geológica en aguas profundas.	~ 6,5 KHz	22 Km

7.2.2.-Breve reseña histórica.-

En el año 1958, apareció en la revista Acústica, Vol 8,pp 825 un artículo sobre una ayuda acústica a los levantamientos del fondo del mar, escrito por CHESTERMAN, CLYNIK y STRIDE. Estas ideas fueron desarrolladas por el NIO (National Institute of Oceanography). TUCKER y STRUBBS, diseñan entonces, el primer instrumento fabricado luego por KELVIN HUGHES.

Los primeros levantamientos llevados a cabo fueron:

- Detección de parches de arena en las afueras de Plymouth (STRIDE-1959) lo que permitió el levantamiento de la traza de sedimentos transportados por las corrientes costeras del sur de las Islas Británicas.(STRIDE 1963).
- Levantamiento geológico de las zonas marinas costeras de Dorset (STRIDE-1960; DONOVAN et al-1961).
- Estudio detallado sobre el desove del arenque en el banco Ballantrae, Scotland (STUBBS & LAWRIE-1962).

En 1965, el Institute Français de Pétrole (IFP) desarrolló también, un sonar lateral (SONAL) con características similares y buena capacidad de operación (Frec: 36.5 Khz; Long de pulso: 1ms; Ancho horizontal del lóbulo : 2°; Ancho vertical del lóbulo: 20°; Distancia máxima a cada banda: 1500m; Máxima profundidad de arriado: cercano al fondo; Velocidad de remolque: 5Nds)

En 1970,el NIO del Reino Unido desarrolla el proyecto GLORIA (Geological LOnG Range Inclined Asdic) utilizado para estudios geológicos (Frec: 6.5 kHz; Long de pulso: 12ms; Ancho horizontal del lóbulo: 2.7°; Ancho vertical del lóbulo: 10°; Distancia máxima a cada banda: 22000m; Máxima profundidad de arriado: bajo la termoclina; Velocidad de remolque: 4.6Nds). El transductor va instalado en un cuerpo de 15m de longitud y pesa en el agua 7 Tm. Su potencia de emisión es de 50 Kw y emite una vez por banda con un intervalo entre pulsos de 30s.

En general todos los sonares laterales existentes en plaza, de menores dimensiones y potencia que los que se acaban de describir, son eficientes en el cumplimiento de su objetivo, no obstante presentan unos más ventajas que otros en ciertos aspectos.

Por ejemplo el conjunto cable - "pescado" del SSS de ORE (Ocean Research Equipment Company) permite su remolque hasta 8Nds. de velocidad, mientras que las Empresas EG&G (Edgerton, Germeshausen & Grier) o KLEIN Associates se han dedicado al desarrollo de muy buenos registradores.

7.2.3.-Partes componentes- Descripción.

La emisión del sonar lateral se lleva a cabo según un haz muy angosto con respecto al plano horizontal y lo suficientemente ancho según el plano vertical como para obtener una buena respuesta de las reflexiones producidas en puntos que se hallan situados a ambos laterales (incluyendo el fondo) hasta una distancia máxima (en los modelos comerciales en uso actualmente) de 500 m.

La emisión y recepción se realiza en forma continuada, por medio de transductores situados en un cuerpo hidrodinámico ("pescado" o tow fish en inglés) que se remolca desde la embarcación de levantamiento (ver fig.7.3, fig 7.4 y fig. 7.a).

Como resultado de la recepción de señales provenientes de los "blancos" o superficies reflectantes, se obtiene en la unidad registradora, un ecograma que es una imagen sónica con posibilidades métricas .

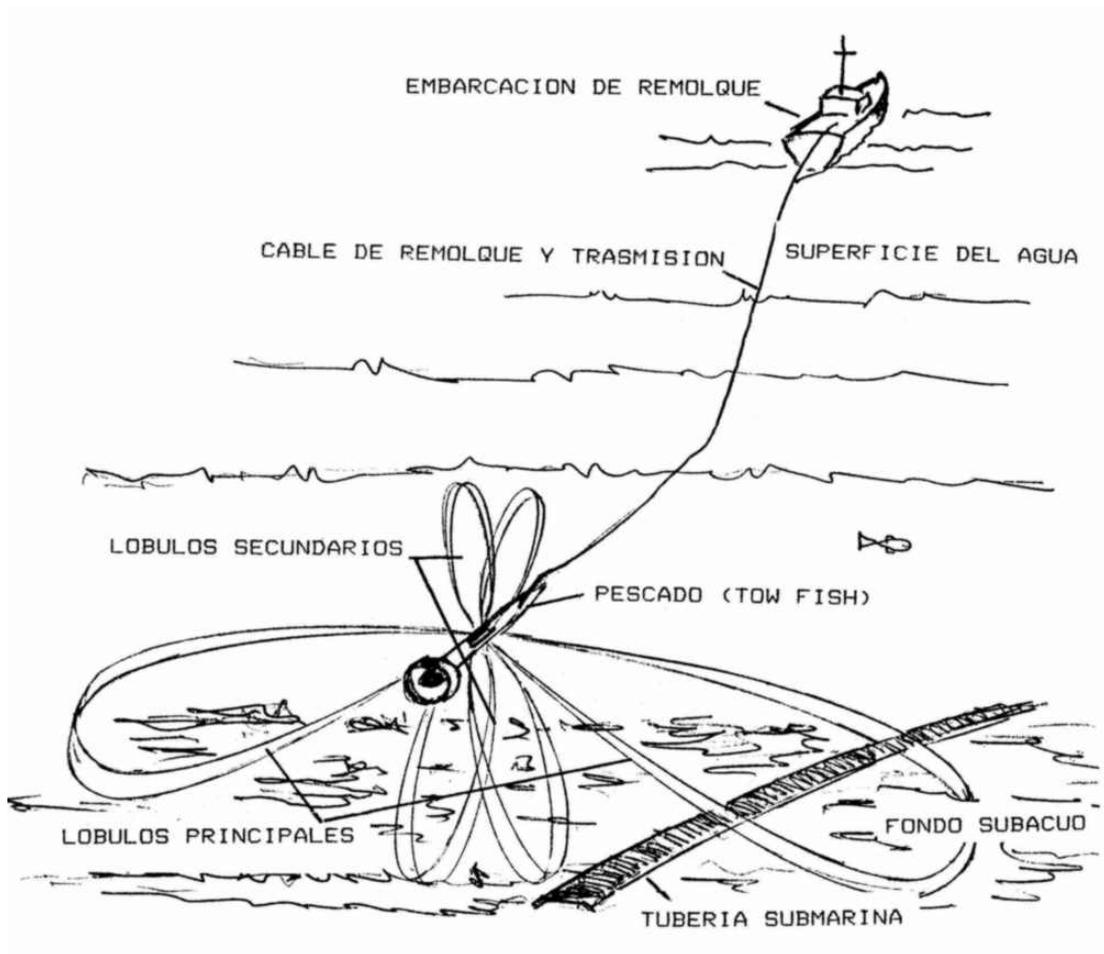


Figura 7.3



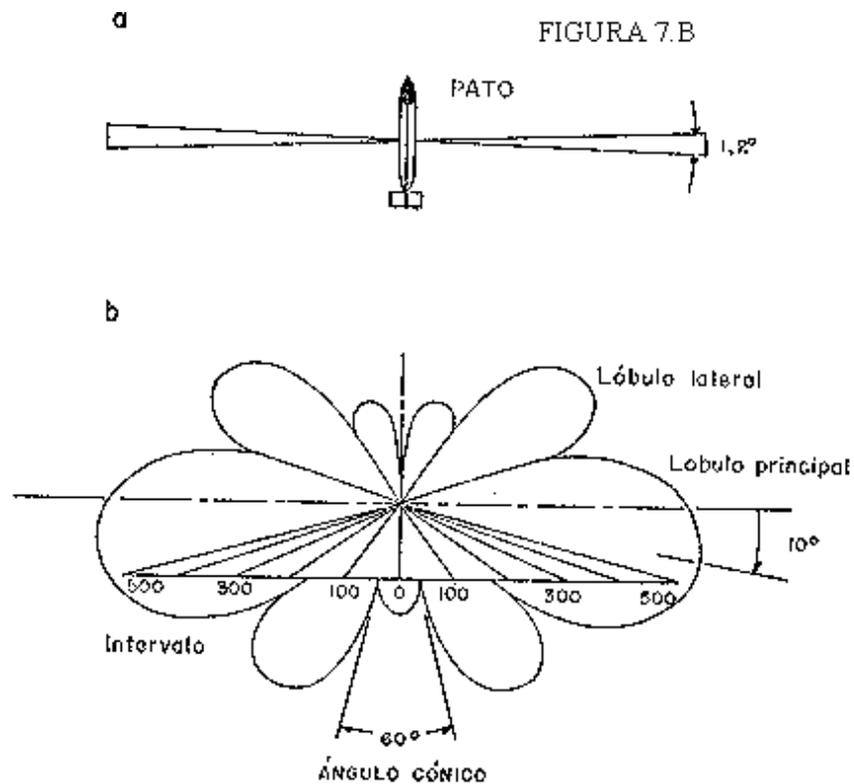
Figura 7.a - Sonar de barrido lateral.
Componentes: registrador, "tow fish" con transductores y cable.



El Sonar Lateral (Side Scan Sonar) para uso en levantamientos, está compuesto por:

- i- transductores remolcados, comúnmente llamado "pescado" (tow fish) o pato.
- ii- un cable de acero reforzado que actúa como transmisor de señales y remolque simultáneamente.
- iii- una unidad registradora doble canal.

El "pescado" (tow fish) consiste en un cuerpo alargado, balanceado hidrodinámicamente, de aproximadamente 1m de longitud y que contiene los transductores.(ver fig.7.3, 7.a y 7.b).



- Figura lobular (exagerada) de un haz de sonar

a = Vista Horizontal

b = Vista Vertical

Este elemento va normalmente remolcado por el barco o embarcación de levantamiento a una distancia del mismo y a una velocidad que depende de la altura con respecto al fondo a la que se ha previsto operar el "pescado".

La representación polar de la energía irradiada y recibida tiene forma oblonga, formando un haz principal y algunos secundarios. La abertura de este haz en el plano horizontal es de $1^{\circ}.2$ a 2° y en el plano vertical es de 20° (ver fig.7.3 y 7.b). El alcance de este tipo de instrumental es de 500m.

La resolución transversal D_t , que es la distancia a la que deben estar separados dos objetos en la dirección del movimiento, para ser registrados como dos elementos diferentes, depende de la distancia al transductor a la que se hallan los objetos y el ángulo que caracteriza el ancho del haz, en el plano horizontal.-

Por ejemplo, para que dos objetos que se hallan a 200m del transductor (sobre uno de los costados) sean registrados como dos elementos diferentes, siendo la abertura horizontal de haz de $1^{\circ}.2$, deberán estar separados a una distancia mínima de:

$$Dt = 200m \cdot \sin 1^\circ = 4.19m$$

A una distancia menor, serían registrados como un solo elemento.

La resolución en distancia D_d , que es la distancia a la que deben estar separados dos objetos (situados en la dirección normal al movimiento) para ser registrados como dos elementos diferentes, depende de la escala gráfica seleccionada para el registro, como veremos posteriormente.

El cable de remolque y señal que permite la transmisión de las señales entre la unidad registradora (receptor-transmisor) y el cuerpo de los transductores o "pescado" y al mismo tiempo cumple la función mecánica de remolcar el "pescado".

Normalmente este cable va adujado (enrollado) en un guinche especial que aumenta o disminuye la longitud de remolque, de acuerdo a la distancia al fondo a la que se desee hacer desplazar el "pescado".

El intercambio de las señales eléctricas entre la unidad de registro (transmisión y recepción) y el cuerpo con los transductores ("pescado") se lleva a cabo por intermedio de los diferentes conductores que componen el cable de remolque y señal.-

Estos conductores son reemplazados en el guinche, por anillos conductores (aislados eléctricamente entre ellos) colocados en su buje y en su eje, que permiten la continuidad eléctrica al cable de remolque y señal enrollado en el mismo; uno de cuyos extremos va conectado al eje del guinche y el otro al "pescado".

La unidad registradora doble canal contiene toda la parte electrónica del equipo, la transmisora, la receptora y la registradora propiamente dicha (Fig. 7.4).

El transmisor en general envía pulsos de frecuencia ultrasónica (100 a 200 kHz) y de corta duración (0.1ms) a los transductores instalados en el "pescado".

Las señales reflejadas en los diferentes "blancos" que se hallan dentro del volumen de detección son recibidas por los transductores, convertidas en señales eléctricas y enviadas a la parte receptora donde son convenientemente amplificadas y enviadas al registrador en forma de corriente de intensidad variable.

Esta corriente ingresa en un tambor rotativo en cuya superficie se encuentra un electrodo helicoidal que está en contacto con la cara inferior del papel sensible (resistente a la corriente eléctrica) y por intermedio del cual la corriente cierra su circuito a tierra por medio de otro electrodo que hace contacto con la cara superior del papel sensible (ver fig. 7.5 y fig. 7.d).

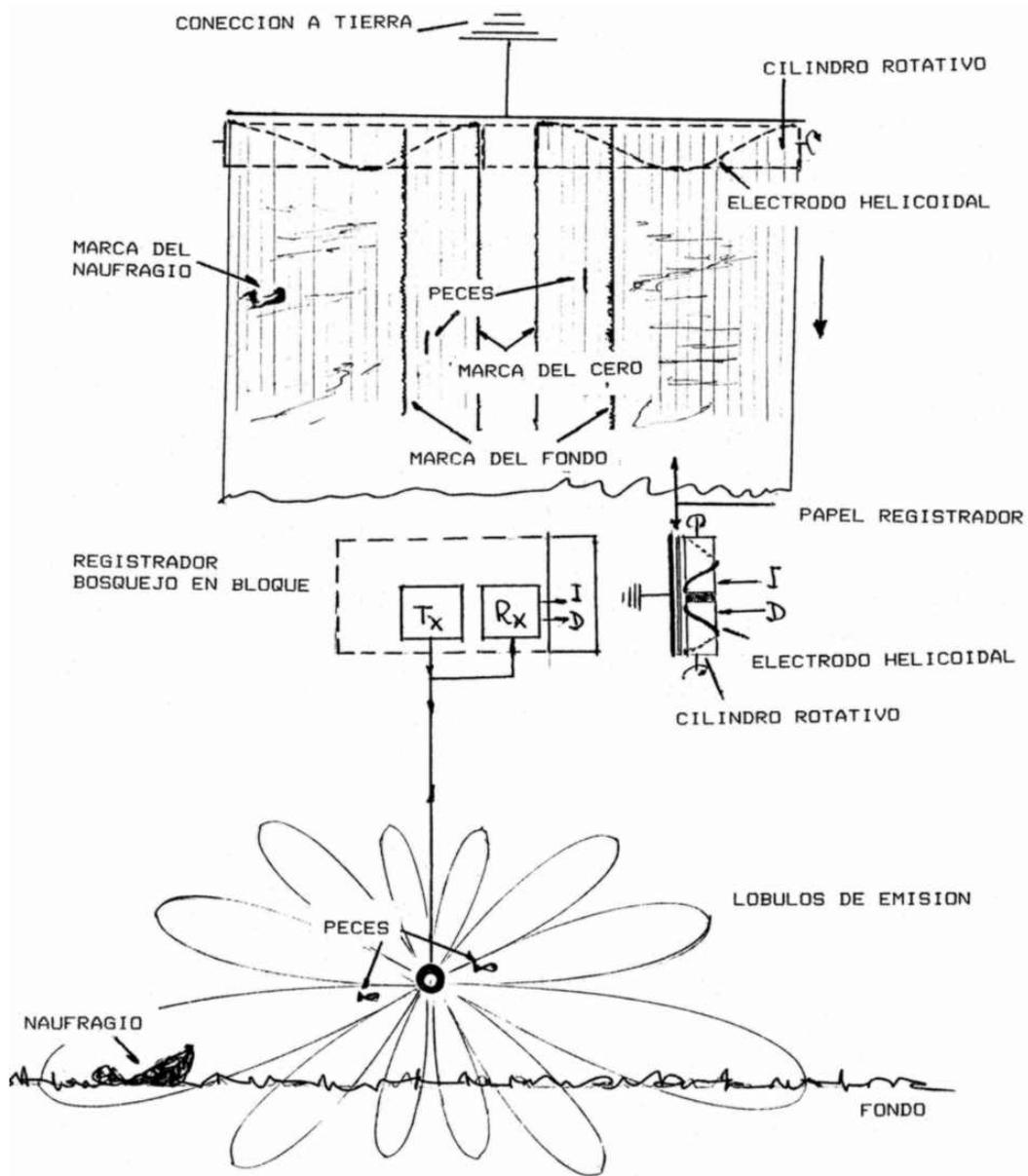


Figura 7.5

El tambor rota a velocidad constante y el punto de contacto del electrodo helicoidal con el papel también se desplaza a velocidad constante. El pasaje de la corriente a través del papel registrador (resistente al pasaje de la misma) deja una marca cuya intensidad es proporcional a la de la corriente que la produce y por lo tanto a la señal reflejada por el "blanco".

En las sondas convencionales hidrográficas de emisión vertical, el estilo se desplaza sobre el papel sensible (registrador) haciendo el contacto necesario (en la cara superior del mismo) para permitir el paso de la corriente hacia una placa fija (en contacto con la cara inferior del papel sensible de registro) cerrando de esa manera el circuito a tierra. En este tipo de sonda, lo que se desplaza es el punto de contacto del electrodo helicoidal con la cara inferior del papel sensible. A

su vez, un electrodo filar en contacto con la otra cara del papel registrador, cierra el circuito a tierra.

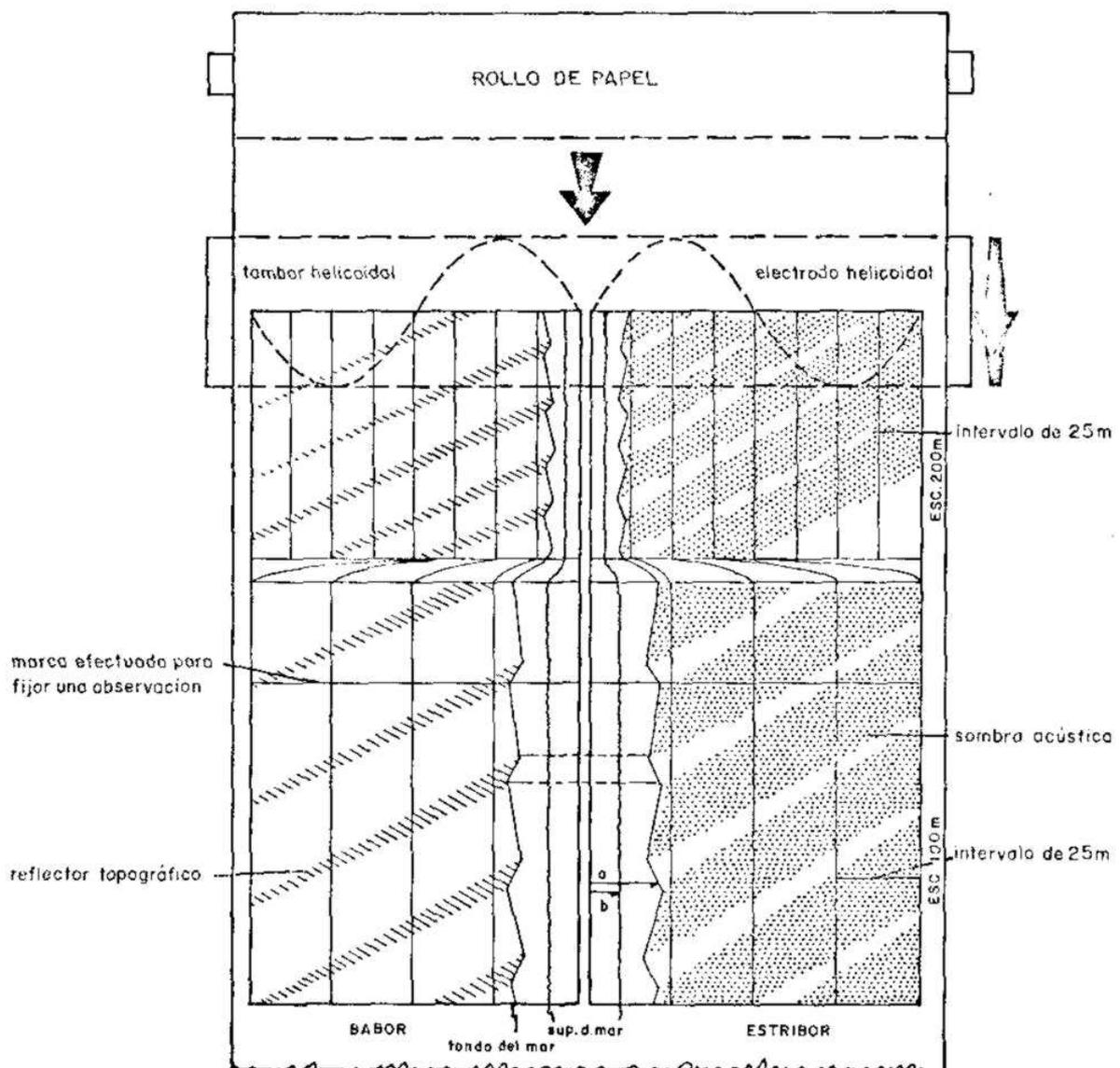


FIGURA 7.D

- Figura esquemática que ilustra varios principios de
registro

a = Altura del "pato" por encima del fondo del mar.

b = Profundidad del "pato" por debajo de la superficie del mar.

a+b = Profundidad total del agua.

La primera señal que aparece en cada uno de las bandas del registro, corresponde, como en las sondas convencionales, al instante "cero" de transmisión.(ver fig.7.5; 7.6; 7.7). A partir de allí aparecerán las marcas producidas por las reflexiones a los diferentes "blancos" a una distancia de la señal "cero" que será la que corresponde al tiempo de trayectoria multiplicado por la velocidad de propagación del sonido en ese medio.

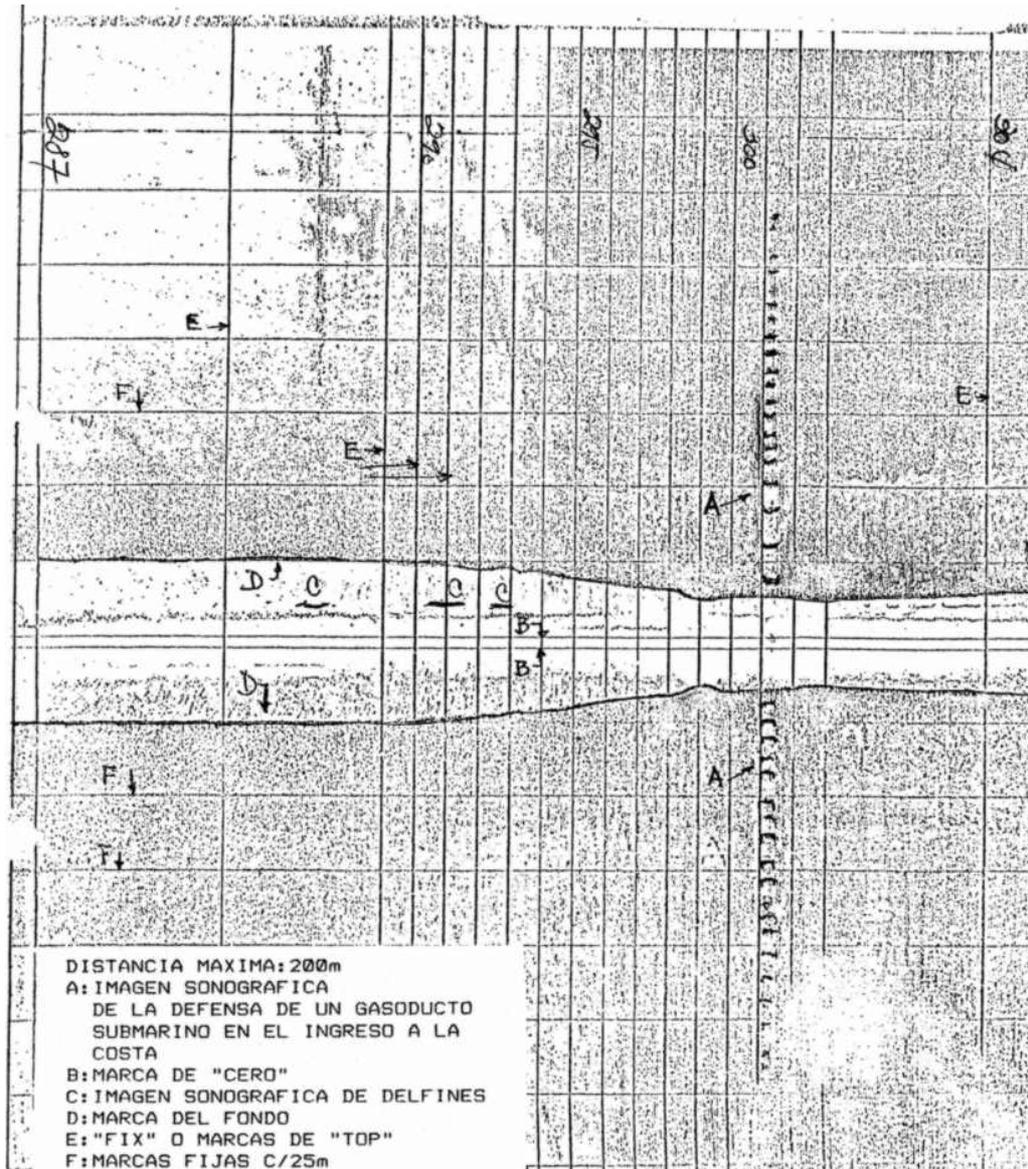


Figura 7.6

En las sondas convencionales de transmisión vertical, la señal mas fuerte y continua es la proveniente del fondo y la distancia a la que aparece, con respecto al "cero", es lo que hemos definido como sondaje. En el Sonar Lateral, la reflexión puede provenir de cualquier parte de la sección transversal abarcada por los lóbulos de radiación, agua o superficie del fondo, razón por la que la distancia medida no es sobre el fondo sino la distancia directa de transductor a "blanco". El papel registrador se mueve en la dirección de la flecha de la figura 7.5, es decir, hacia afuera del equipo. En general, los registradores están diseñados para trabajar en 6 rangos o distancias de máximo registro: 500m-250m-200m-125m-100m-50m.

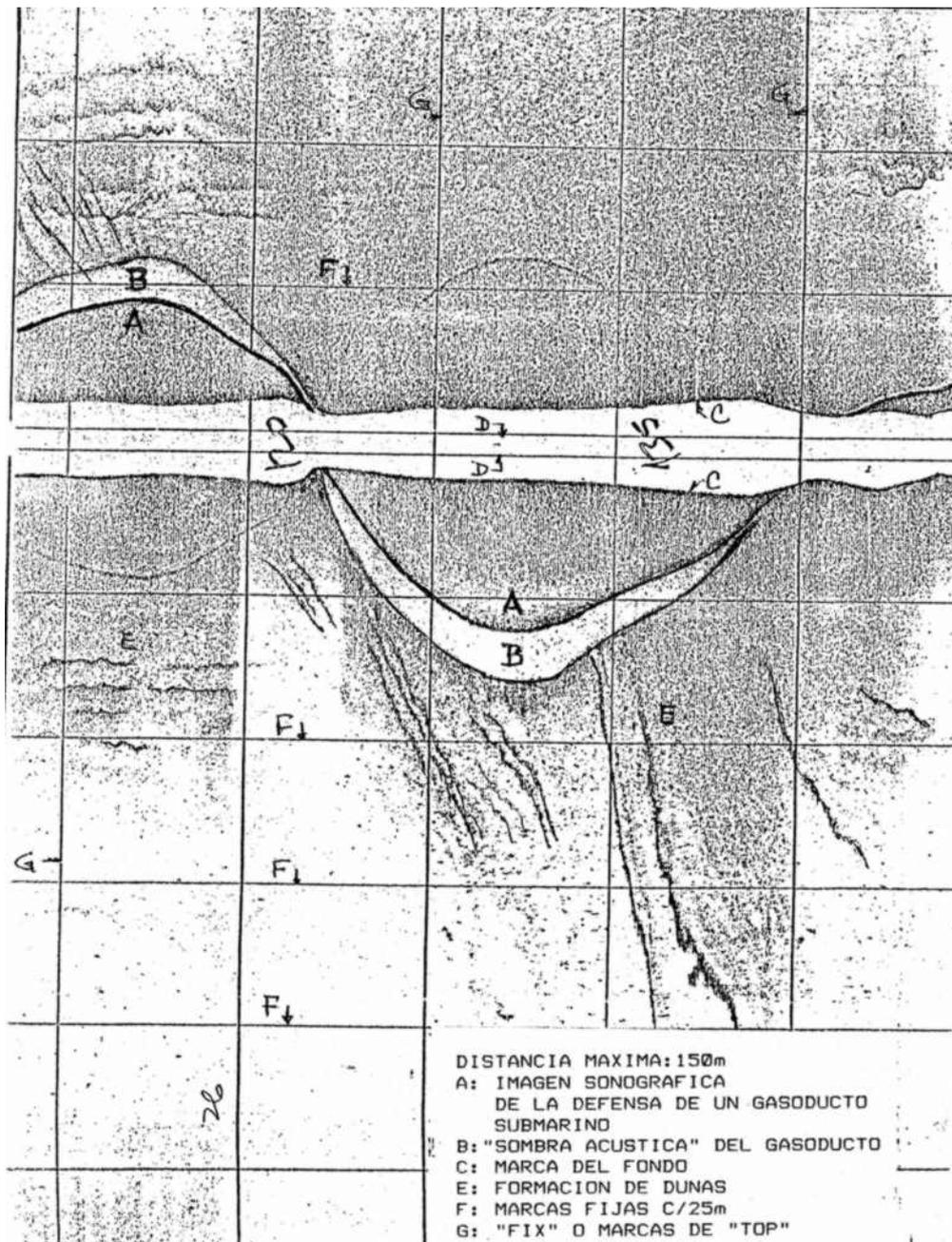


Figura 7.7

En las sondas convencionales de emisión vertical, la V_e (velocidad del estilo) está diseñada para que se opere a una escala fija y cuando la distancia al fondo que se está registrando aumenta (mas allá de lo que llamamos escala básica) desplazamos el "cero", que es la marca de transmisión, a efectos de que se registre información solamente dentro de la gama de los valores de sondaje que nos interesa. Por ejemplo, si la escala básica de nuestra sonda es de 00-15m y el registro del fondo los supera, se pasa a escala 15-30m para poder seguir registrando. La marca "cero" queda "15m" antes de empezar el registro. No nos interesa registrar lo que existe entre la superficie del transductor y los 15m porque el fondo que queremos levantar se encuentra a mayor profundidad. Desplazamos el contacto de transmisión pero no cambiamos la escala. No obstante, la mayoría de las sondas poseen características que permiten registrar sondajes a profundidades múltiples de 10.

Por ejemplo, si se está operando con una sonda convencional en el rango 0-15m, puede

registrarse un fondo a 130m cambiando la escala de 1:1 a 1:10 la escala básica será 0-150m. La V_e pasará a ser $V_e/10$ de manera que en la regleta (escalímetro) podemos leer el valor de los sondeos, multiplicando por diez.

Cuando utilizamos el Sonar Lateral en el rango de mayor valor, por ejemplo 500m si nos interesa registrar todo lo que se encuentra desde la superficie del transductor hasta los 500m y entonces en los 125mm de ancho de papel de cada canal, se registrarán los ecos de los "blancos" que se encuentren desde el transductor a ambas bandas y hasta la máxima distancia (en este caso 500m).

Esto significa que para cada rango debe cambiarse la escala de registro y por lo tanto la V_e , debido a que la V_p será constante. Dado que el ancho del papel de registro para cada canal es de 125mm (ver fig.7.6) a cada rango corresponde una escala gráfica diferente:

RANGO(R)	ESCALA GRÁFICA
50	1:400
100	1:800
125	1:1000
200	1:1600
250	1:2000
500	1:4000

ESTOS VALORES DE ESCALAS SOLAMENTE PUEDEN SER UTILIZADOS PARA MEDIR EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR AL MOVIMIENTO DEL PAPEL DE REGISTRO.

El registrador cuando opera, produce en forma automática, líneas paralelas en el sentido y dirección del movimiento del papel. La separación de estas líneas es de 25m. Para cada rango (R) se producirán automáticamente en el registro, un número de líneas diferente:

RANGO (R en m)	NUMERO DE LÍNEAS
50	2
100	4
125	5
200	8
250	10
500	20

En una sonda convencional el cambio de V_e , traería aparejado también el cambio en la velocidad de pasada del papel de registro. A efectos de no densificar la información de forma tal que se enmascare, al aumentar la V_e , se aumenta la velocidad de pasaje del papel registrador.

En el sonar lateral esto no se lleva a cabo en forma automática como podría hacerse en una sonda convencional de transmisión vertical, mas aún no es sencillo a nivel operador, el cambio de la velocidad del papel. Algunos fabricantes han asumido una velocidad de papel de manera que una cierta cantidad de líneas por centímetro permite la formación de una buena imagen. Otros, lo

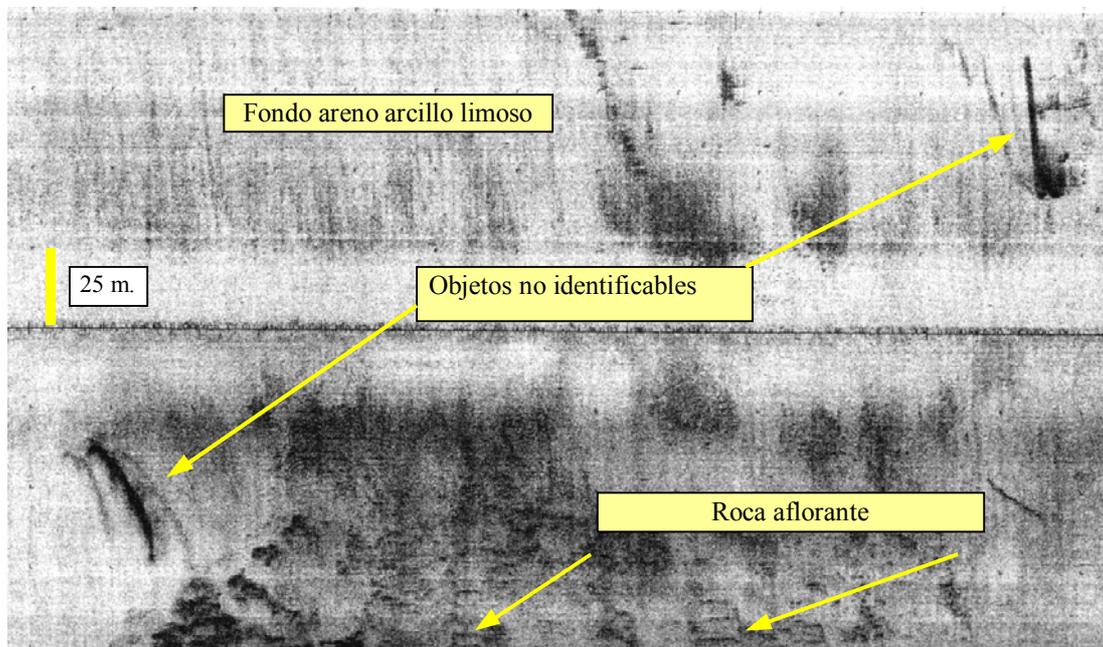
han automatizado de manera que cuando se aumenta el valor de la escala, por ejemplo el pase de 500 a 250, la velocidad de papel aumenta.

En la descripción de los transductores se definió la resolución transversal D_t . Definiremos ahora la resolución en distancia D_d , como la distancia mínima a que deben hallarse dos objetos en la dirección transversal al movimiento del transductor para que puedan ser detectados como elementos diferentes. Para ello podemos asumir como cierto que dos objetos en el papel de registro se identifican separadamente, cuando se hallan distanciados en más de 1mm .

De esta manera para cada rango o escala, tenemos un valor diferente de resolución en distancia:

RANGO (R en m)	D_d (en m)
50	0.4
100	0.8
125	1.0
200	1.6
250	2.0
500	4.0

En el siguiente ejemplo el relevamiento con sonar de barrido lateral permitió “visualizar” numerosos objetos no identificables apoyados sobre el fondo. Estos escombros de material metálico poseen dimensiones muy diversas y en los sonogramas aparecen como fuertes reflectores de coloración negra. Por la dificultad que los mismos pueden acarrear a las tareas de dragado, la ubicación de todos ellos se ha volcado en un plano morfosedimentológico. También, se debe destacar el hallazgo de dos grandes objetos. Estas estructuras de forma elongada tipo cañería, poseen un largo de unos 40 m y un ancho del orden de 2 m. El siguiente sonograma de muestra la ubicación relativa de los mencionados objetos.



Registro de sonar lateral con afloramiento rocoso y objetos no identificables

7.2.4. Distancia horizontal y altura de un "blanco" (ver fig.7.8 y fig. 7c)

Si bien no es estrictamente un instrumento de características métricas, es posible determinar la distancia horizontal y la altura de los "blancos" registrados.

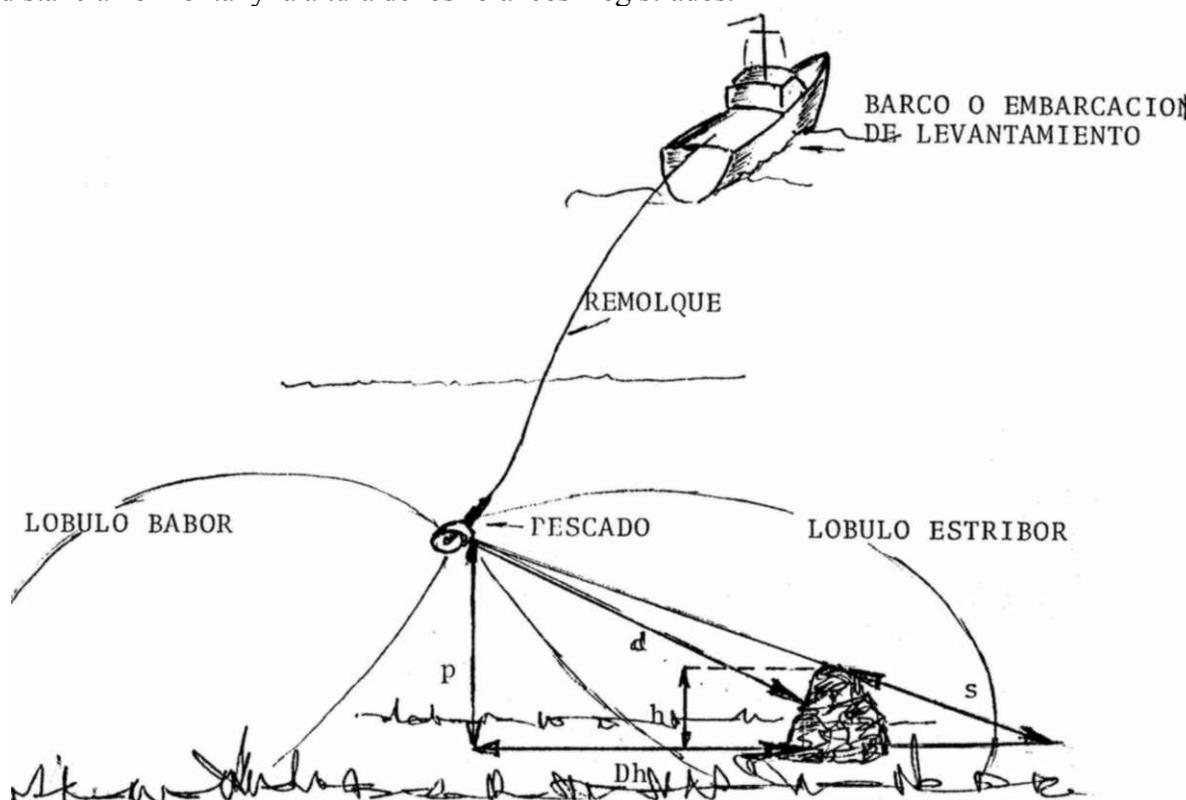


Figura 7.8

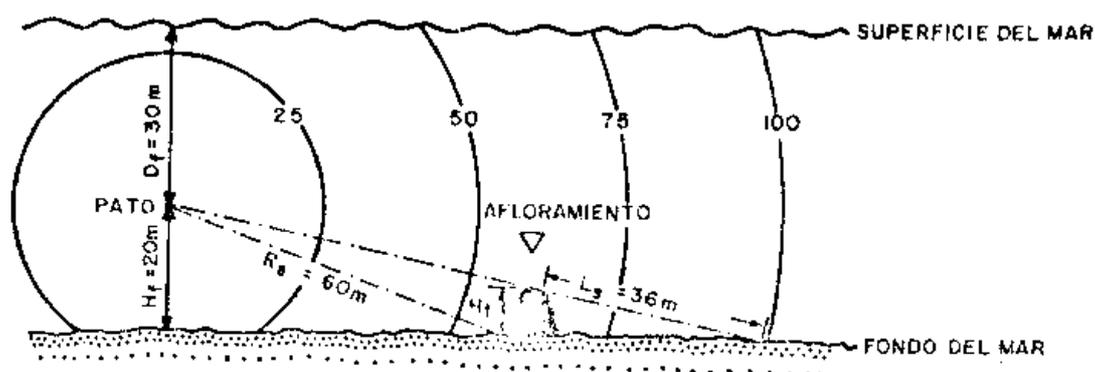


FIGURA 7.C - Cálculo de la altura de un objeto

$$H_t = \frac{L_s \times H_f}{L_s + R_s} = \frac{36 \times 20}{36 + 60} = 7,5 \text{ m}$$

Valiéndonos del teorema de Pitágoras, podemos determinar la distancia horizontal D_h (desde la vertical del transductor en la superficie del fondo al blanco):

$$D_h = \sqrt{d^2 - p^2}$$

donde:

D_h : distancia horizontal

d : distancia directa transductor-"blanco" que se obtiene del sonograma.

p : distancia transductor-fondo que también se obtiene del sonograma.

Asimismo, es posible obtener también del registro o sonograma la altura del "blanco".

Valiéndose de la "sombra acústica" (ver fig.7.7 y 7.8) es posible determinar la altura de un "blanco" teniendo en cuenta las relaciones geométricas tal como se puede ver en la fig.7.8 y 7.c.

$$h = \frac{p \cdot s}{d + s}$$

donde:

h : altura del "blanco"

p : distancia transductor - fondo medida en el sonograma

s : longitud de la "sombra acústica" medida en el sonograma

d : distancia directa transductor - "blanco" medida en el sonograma.

7.2.5. Obtención de un perfil continuo del fondo.

Los lóbulos verticales inferiores permiten, cuando la distancia del fondo al transductor es menor que la máxima seleccionada de registro, obtener un perfil continuo del fondo.

La distancia desde la línea continua que produce la marca de salida de la señal hasta el registro correspondiente al fondo (referencia D en fig.7.6 y referencia C en fig.7.7) es una distancia vertical directa desde el transductor al fondo. En algunas ocasiones, el lóbulo superior vertical permite registrar la superficie de cambio de fase agua-aire, pudiéndose obtener la distancia vertical directa desde el transductor hasta el pelo de agua. La suma de ambas distancias nos permite determinar el valor de la profundidad.

ESTE VALOR ES MERAMENTE INFORMATIVO, DADO QUE NO ES OBJETO DE ESTE TIPO DE INSTRUMENTO EL OBTENER PROFUNDIDADES PARA LEVANTAMIENTOS.

No obstante, ésta información es muy importante cuando se producen cambios en la forma de registro del fondo. El registro del pelo de agua nos permitirá determinar si se trata de un cambio morfológico o un cambio en la profundidad de remolque del "pescado" debida a una variación en la velocidad de remolque, o por aumento o disminución de la longitud del cable de remolque. En general, los cambios de rumbo pronunciados traen aparejado una disminución de la velocidad de remolque, razón por la que el "pescado" aumenta su profundidad y esto se verá reflejado en el registro del fondo como una disminución de profundidad. Pero si es posible tener el registro del pelo de agua, se podrá verificar que la distancia a éste, ha aumentado, lo cual significa que no ha variado la profundidad del fondo sino la posición del "pescado" con respecto a él. Si la profundidad real del fondo (no la registrada) se mantiene constante, obviamente la suma de distancias desde la señal "cero" a los registros del pelo de agua y al fondo, también permanece constante .

7.2.6.-Coordenadas de los "blancos".

A efectos de poder obtener las coordenadas horizontales de "blancos" determinados, es necesario conocer la posición del "pescado" y luego obtener la distancia horizontal desde el transductor a los "blancos" de referencia. El acimut del "blanco" con respecto al "pescado" es la suma del rumbo del remolque (sensiblemente igual al rumbo del barco) más 90° (Figura 7.9).

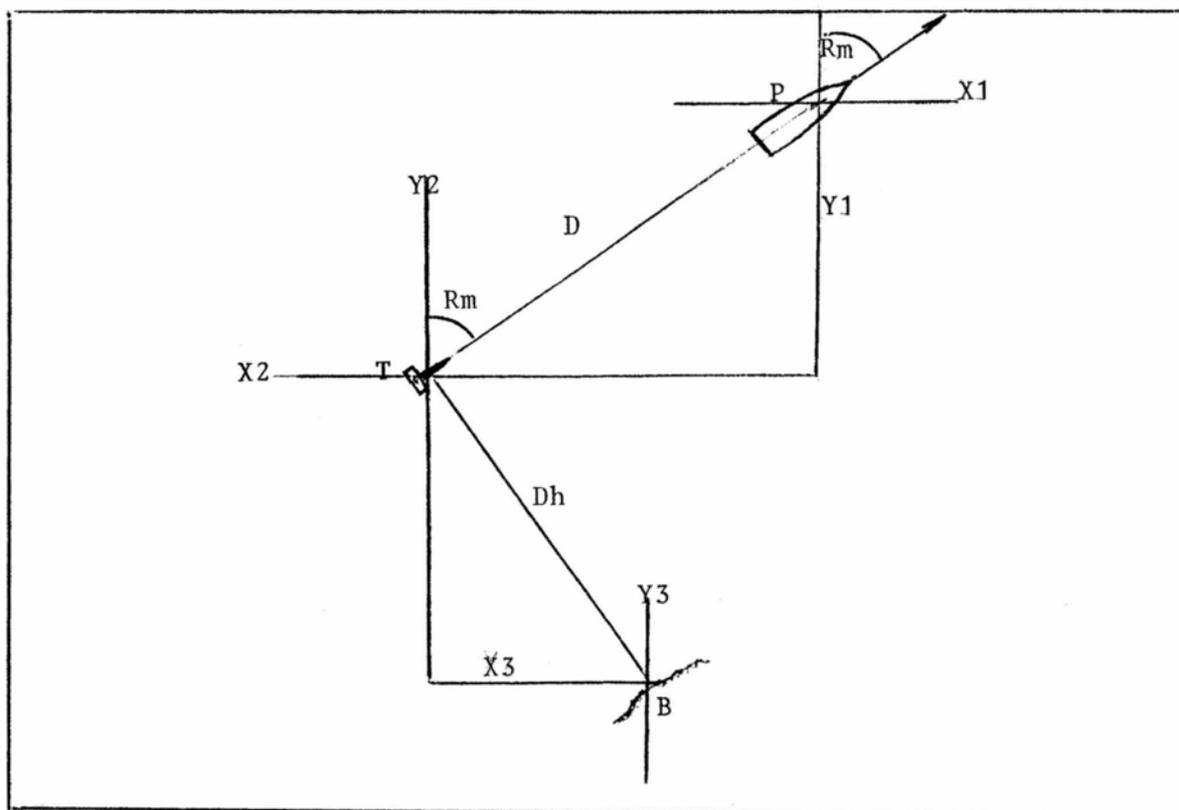


FIGURA 7.9

Normalmente el barco o embarcación de levantamiento estará equipada con un sistema de radiolocalización que determinará y registrará con una cadencia prefija, las coordenadas horizontales del elemento receptor o centro electrónico del sistema (su similar en los levantamientos terrestres sería la señal topográfica). Dado que el transductor no se encuentra en ese punto, debe hacerse la corrección por off-set en base al rumbo de la embarcación y la distancia desde el punto de referencia del sistema de radiolocalización al transductor.

En la figura 7.9, las coordenadas horizontales X1 e Y1 corresponden al punto P en un instante determinado, que es la posición de la antena de la estación Maestra del sistema de radiolocalización, ubicada en un punto del barco o embarcación de levantamiento. En ese mismo instante, en T se encuentra el punto proyección del "pescado" sobre la superficie del agua. Sus coordenadas X2 e Y2 se determinan (por radiación) en base a:

- las coordenadas X1 e Y1 (obtenidas en base al sistema de radiolocalización)
- la distancia horizontal D, entre P y T (obtenida por tablas en función de la velocidad y longitud de remolque).

- la dirección de P a T (que a los fines prácticos es el que corresponde a la dirección de la proa del barco de levantamiento) más 180° .
- Esta dirección y esta distancia componen lo que comúnmente se llama corrección por off-set.-

En ese mismo instante también, se estará registrando el punto B perteneciente a un "blanco" cuyas coordenadas X3 e Y3 se determinan en base a :

- las coordenadas X2 e Y2 del "pescado"
- la distancia horizontal Dh (ver fig.7.8)
- la dirección desde el pescado al "blanco" que será sensiblemente igual al rumbo del barco de levantamiento más 90° .-

(EL REGISTRO OBTENIDO POR EL SONAR LATERAL ES SIEMPRE RELATIVO, ES DECIR QUE EL ORIGEN DE LAS COORDENADAS POLARES ES EL TRANSDUCTOR, EL ÁNGULO SIEMPRE ES DE $\pm 90^\circ$ CON RESPECTO AL RUMBO DE REMOLQUE Y LA DISTANCIA HORIZONTAL A PARTIR DE LA VERTICAL DEL PUNTO DONDE SE ENCUENTRA EL "PESCADO").

Esto puede confirmarse en la fig.7.7 correspondiente a un segmento de tubería submarina cuya traza es prácticamente recta. La curva que se observa, perteneciente al registro de la tubería y que pasa del canal derecho al izquierdo, se debe al movimiento del barco de levantamiento que maniobra cruzando dicha estructura con un ángulo distinto de 90° .

Cuando se está efectuando un levantamiento con sonda hidrográfica, sonda perfiladora y sonar lateral; normalmente la primera, está instalada relativamente cerca de la antena del sistema de radiolocalización por medio del que se obtienen las coordenadas horizontales. Por esa razón, el valor de off-set para la sonda hidrográfica, puede obtenerse con buena precisión.

Existe otra manera de obtener el valor de la distancia horizontal de remolque para la corrección por off-set. Cuando se pasa por sobre una estructura conspicua, natural o artificial del fondo, es detectada en primer lugar en el registro de la sonda hidrográfica, instante en el que se induce un "fix" pudiendo de esa manera obtener las coordenadas horizontales de ese punto.

Cuando esa misma estructura es detectada en el registro del sonar lateral, se induce un nuevo "fix". Dado que el punto registrado por ambos equipos es físicamente el mismo, la diferencia de coordenadas entre ambas determinaciones correspondientes al mismo punto, nos permite obtener el valor de la distancia de off-set entre la sonda y el "pescado" del sonar lateral. Conocido el off-set de la sonda, se determina el off-set del sonar lateral.

En el registro del sonar lateral (SSS) se producen marcas o fixes, similares a los tops de los que ya se habló anteriormente (ver fig.7.6 y 7.7). Cuando se utilizan sistemas automáticos, los tops son comandados directamente por un sistema electrónico a los diferentes registradores de los equipos que se están operando para el levantamiento de acuerdo a la cadencia que se ha seleccionado. No obstante, cuando se observa un "blanco" cuyas coordenadas horizontales se desean establecer, se produce un "top" manualmente de manera de simultaneizar el registro con el sistema de localización que se utilice. Con ello podremos determinar posteriormente las coordenadas del "pescado" correspondiente a ese "top" como ya dijimos.

7.2.7.-Distorsiones de los registros.-

Los registros sufren distorsiones en la dirección paralela a la de remolque, de acuerdo a la velocidad de remolque del pescado .

Al aumentar la velocidad de remolque, las figuras se van acortando y esto es obvio puesto la velocidad del papel de registro es prácticamente invariable.

Supongamos una estructura que se halla en el fondo subácuo de la zona de levantamiento, es de forma rectangular, con su base mayor de 100m de longitud y paralela al movimiento del barco de levantamiento. El levantamiento se está llevando a cabo a una velocidad de 8Nds.(4 m/s). La estructura será registrada durante 25s. Pero si la velocidad de levantamiento fuera solamente de 2Nds (1m/s) el tiempo de registro será de 100s. Dado que la velocidad de papel de registro es constante, a mayor tiempo de registro se producirá una imagen mas extendida del "blanco" en el sentido del movimiento.

Asimismo, los ángulos reales que forman los "blancos" de aspecto lineal con respecto a la dirección del movimiento son distorsionados en el registro también en función de la velocidad de remolque.

Las distancias horizontales entre los objetos o formaciones características del fondo, en dirección normal a la de levantamiento o remolque, también son distorsionadas y esta distorsión depende de la distancia del objeto de interés a la vertical del "pescado", y la relación p/R entre la distancia del "pescado" al fondo (p) y el rango (R) o distancia máxima de registro con que se está operando. Podemos aclarar este concepto viendo la fig.7.10 en la que para sintetizar, se representa un solo canal del registro (canal derecho con respecto al movimiento del remolque o canal de estribor).

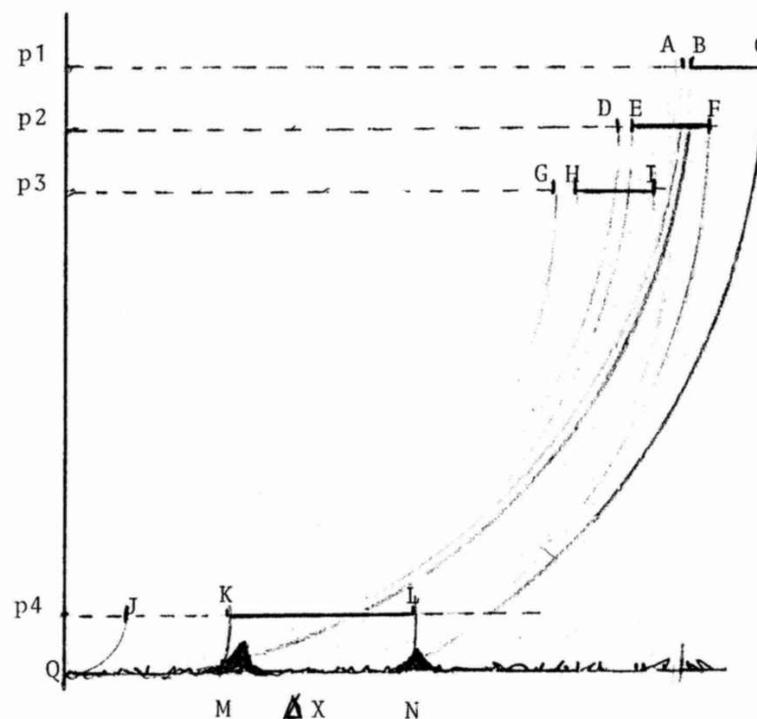


Figura 7.10

Supongamos que transversalmente a la dirección del levantamiento, se encuentran en el fondo

dos estructuras M y N separadas una distancia $\Delta x=150\text{m}$.

Pueden presentarse diferentes casos:

1er caso Se remolca el "pescado" a una distancia p_1 del fondo igual al rango máximo seleccionado. Supongamos $p_1 = 500\text{m}$, rango $R= 500\text{m}$ ($p/R = 1$). Entonces observaremos:

- a) La marca correspondiente al fondo aparecerá en el punto A que es el borde del registro. Es lógico, puesto que el tiempo de tránsito de la señal para cubrir la distancia p_1Q ida y vuelta, es el mismo que el que insume el registrador en producir la señal del fondo en el punto A, que se encontraría teóricamente en el borde del registro.
- b) No se registrarían las marcas correspondientes a M ni a N por encontrarse a una distancia del transductor mayor que la de éste al fondo (distancia máxima que se ha seleccionado para operar).-

2do caso Se remolca el "pescado" a una distancia del fondo $p_2 = 450\text{m}$, manteniendo el rango máximo de operación en $R = 500\text{m}$ ($p/R = 0.9$).

Entonces observaremos:

- a) La marca correspondiente al fondo aparecerá en el punto D ya no en el borde del registro sino mas hacia el interior del mismo.
- b) A partir de allí y hacia el borde exterior del registro se podrá obtener información del fondo.
- c) La marca E, corresponde a la señal proveniente de M pero no hay suficiente tiempo en el registro como para detectar señales provenientes de la estructura N.

3er caso Se remolca el "pescado" a una distancia del fondo $p_3 = 400\text{m}$, manteniendo el rango de operación $R=500\text{m}$ ($p/R = 0.8$)

Entonces observaremos:

- a) La marca correspondiente al fondo aparecerá en el punto G.
- b) A partir de allí y hacia el borde exterior del registro, se podrá obtener información del fondo.
- c) Las marcas H e I corresponden a la respuesta de las estructuras M y N.

4to.caso Se remolca el "pescado" a una distancia del fondo $p_4 = 50\text{m}$, manteniendo el rango de operación $R=500\text{m}$ ($p/R = 0.1$)

Entonces observaremos:

- a) La marca correspondiente al fondo aparecerá en J.
- b) A partir de allí y hacia el borde exterior del registro, se podrá obtener información del fondo.
- c) Las marcas K y L corresponden a la respuesta de las estructuras M y N.

En todos los casos se ha mantenido constante el rango de operación o lo que sería lo mismo hemos realizado los registros con la misma escala gráfica.

En la figura 7.10, vemos que la distancia entre las estructuras M y N han sido representadas en cada registro por segmentos de longitud diferente, aumentando ésta a medida que el "pescado" disminuye su distancia al fondo, lo cual significa que la distorsión de las distancias horizontales en la dirección normal a la del remolque, aumenta al aumentar la relación p/R.

Veamos las distorsiones que se han provocado para un $\Delta X=150\text{m}$ y distancias desde la vertical del "pescado" a cada estructura (ver fig.7.10) Las distancias horizontales (distancias en el fondo) verdaderas son:

$$QM = 125\text{m} ; QN = 275\text{m} \therefore \Delta X = 150\text{m}.$$

Q es la proyección de la posición del pescado, en el fondo.

En el papel de registro se obtienen las siguientes distancias (a escala):

Distancias	p/R	El pescado se encuentra a
p1A=500m (no se detectan señales de M ni de N)	1.0	500m del fondo
p2D=450m p2E=460m DE=10m	0.9	450m del fondo
p3G=400m p3H=415m p3I=480m GH=15m HI= 65m	0.8	400m del fondo
p4J= 50m p4K=130m p4L=280m JK=80m KL=150m	0.1	50m del fondo

p/R: Relación distancia al fondo del "pescado"/distancia máxima de detección.

En la primera fila de la tabla se registra solamente la distancia vertical del "pescado" al fondo. Por ser la distancia máxima de detección, no hay señales provenientes de M ni de N.

En la segunda fila de la tabla se registran las distancias directas del "pescado" al fondo D .La distancia directa de la estructura M es en el registro la distancia p2E . La distancia DE medida en el registro es de 10m mientras que la distancia horizontal verdadera entre Q y M es de aproximadamente 125m. La estructura N se encuentra fuera del alcance máximo y por lo tanto no se registra.

En la tercera fila de la tabla se registran las distancias directas del "pescado" , al fondo Q (p3G), a la estructura M (p3H) y a la estructura N (p3I)ambas en el fondo. Nótese que la distancia registrada entre el fondo Q y la estructura M (GH) es ahora de 15 m mientras en el renglón anterior era de 10m. La distancia registrada HI entre ambas estructuras MN es de 70m.

En la cuarta fila de la tabla las distancias registradas (p4K) (p4L)del pescado a la estructura M y a la estructura N son respectivamente 130m y 280m lo que permite determinar la distancia horizontal aproximada entre ambas estructuras de (KL) 150m aproximadamente igual a la distancia horizontal verdadera .Compárese con la obtenida en las condiciones de inmersión del pescado del tercer renglón.

Resumiendo, las distorsiones de las medidas horizontales en la dirección transversal al movimiento de remolque, dependen de la relación p/R y de la distancia horizontal a la vertical del "pescado". Existen sistemas digitales integrados, con programas especiales, donde ingresan las señales digitales del sonar lateral, sistema de radiolocalización, rumbo y distancia del remolque, etc. que permiten corregir estas distorsiones no lineales de las distancias, así como también pueden confeccionar un mosaico compuesto por ecogramas enderezados (no en el sentido fotogramétrico, sino en el sentido de una imagen orientada, por ejemplo con respecto al Norte)

7.2.8.- Profundidad máxima de remolque.

En la figura 7.8 podemos ver que la distancia horizontal D_h es igual a la distancia directa D solamente en la línea horizontal que pasa por el "pescado".

A efectos de cubrir la mayor parte del registro con información del fondo, debemos remolcar el "pescado" a una profundidad conveniente y como lo hemos visto en el párrafo anterior, con ello también disminuimos la distorsión de las distancias horizontales.

Lógicamente, si disminuimos la altura de manera que el "pescado" se arrastre por el fondo, se comenzaría a recibir información prácticamente desde la distancia cero. Pero por razones de seguridad, esto es imposible.

A continuación se dan los valores de rango de operación mas adecuados a cada altura de remolque del "pescado". También se dan los valores de resolución transversal (D_t) y de resolución en distancia (D_d) en función del rango de operación. En la última fila se dan los valores de altura de "pescado" mas conveniente para cada rango, que como se dijo anteriormente es aproximadamente $0.1R$.

RANGOS ADECUADOS						
Altura sobre el fondo [m]	50 m	100 m	125 m	200 m	250 m	500 m
10-25	X	X	X	X	X	X
25-50	-	X	X	X	X	X
50-80	-	-	X	X	X	X
80-120	-	-	-	X	X	X
120	-	-	-	-	X	X
160	-	-	-	-	-	X
300-500	-	-	-	-	-	-
D_t [m]	1.05	2.09	2.60	4.19	5.20	10.40
D_d [m]	0.40	0.80	1.00	1.60	2.00	4.00
Alt.óptima [m](*)	5/10	10	10/12	20	25	50

(*) Altura del "pescado" sobre el fondo (en metros) para la operación óptima.

Siempre es necesario hacer un análisis del área en la que se vaya a operar, teniendo en cuenta qué es lo que se desea registrar y parámetros tales como dimensiones de las estructuras a registrar, profundidad promedio, calidad de fondo (fango, arena, piedra), morfología del fondo (fondo movido con afloramientos u obstrucciones abruptas o fondo llano).

Asimismo deben conocerse muy bien las posibilidades de maniobra, tanto del instrumental como del barco de levantamiento. Esto es fundamental cuando por razones de escala de trabajo y estructuras que se desean registrar, es necesario operar con el "pescado" a baja altura o escasa distancia del fondo. Una obstrucción o un afloramiento de aparición repentina no darán tiempo a izar el "pescado" produciéndose su pérdida o avería grave. Aún no existiendo esta posibilidad, debe contarse con un guinche de rápida maniobra de manera de poder izar en poco tiempo el "pescado" al registrarse una disminución mas o menos rápida del fondo, sobre todo cuando se acerca a la costa. Es muy importante el aviso con tiempo de las maniobras del barco de

levantamiento. Un cambio de rumbo o una caída abrupta, producen una rápida disminución en la velocidad de avance y por lo tanto de remolque, produciéndose con esto, una rápida disminución en la altura del "pescado", pudiendo éste chocar con el fondo teniendo como resultado graves averías o pérdida del mismo.-

7.2.9.- Interferencias en los registros.

Los instrumentos sísmicos utilizados en simultaneidad con el sonar lateral pueden causar interferencias en el registro. Esto se soluciona manteniendo los respectivos transductores a prudencial distancia unos de otros. Con un buen arreglo, es posible utilizar al mismo tiempo, el sonar lateral (200kHz) remolcado a mas de 100m , un subbottom profiler (3.5kHz) remolcado a 20m y una sonda hidrográfica a bordo. De esa manera se puede operar adecuadamente obteniendo buena información del fondo y subfondo, cualitativa y cuantitativa.

Partículas de sedimentos en suspensión de ciertas dimensiones, enmascaran el registro haciendo, en ocasiones, imposible la operación con este tipo de sensor. Por ejemplo, en el río Paraná , se han notado estos efectos nocivos en una operación llevada a cabo a poco de haberse producido una fuerte crecida.

La turbulencia producida por las hélices durante el pasaje de barcos en las cercanías del "pescado" también producen una fuerte interferencia aunque es fácilmente identificable.

7.2.10.- Operación del equipo e interpretación de los registros.

El resultado de la interpretación de los sonogramas depende, de la experiencia del intérprete y de la calidad del registro.

La calidad de registro a su vez depende de la habilidad del operador en la maniobra de remolque y la del observador en el manejo de los controles del registrador.

La habilidad del observador, se adquiere con una intensiva práctica, resultado de la experimentación con gran número de sonogramas para obtener la mejor imagen con la combinación correcta, para cada caso, de los valores a dar a cada uno de los controles del registrador.

La interpretación de sonogramas en sí, como la fotointerpretación, es el resultado de una detallada observación por parte de un especialista con muchas horas de registro. Asimismo, la evaluación e identificación de los elementos que puedan aparecer en los ecogramas, se basa en identificaciones llevadas a cabo en oportunidades anteriores por otras fuentes de información como podría ser la fotografía subácuo o la información proveniente de tareas de buceo.

7.3.- Sonda multihaz

La sonda multihaz dispone de un sistema de transductores cuyas dimensiones dependen de la potencia de transmisión y por lo tanto de su alcance máximo. Cada uno de los transductores se comporta como una sonda monohaz. El conjunto de emisiones se comporta como un ancho haz que barre una zona del fondo en forma normal al movimiento del buque de levantamiento. (ver

Fig. 7. 11) No obstante cada transductor recibe una señal individual. Cada una de estas señales es registrada digitalmente y luego corregida por la angularidad correspondiente a cada transductor de manera de proveer el valor de profundidad de cada punto “iluminado” por cada haz..
Dado que el conjunto de transductores se encuentra solidariamente unido al casco de la embarcación, el conjunto de haces de emisión sigue los movimientos que las olas producen en cualquier embarcación.

de cabeceo (giro φ)
de rolido (giro χ)
de desplazamiento (vector Z)

Estos movimientos son corregidos en forma automática por un programa donde ingresan los valores registrados de φ , χ y Z por un sistema inercial.



Figura 7,11

Se está experimentando con un conjunto de tres receptores GPS que suplantarían a los sistemas inerciales , probablemente con ventajas en cuanto a costos y mantenimiento.

Las frecuencias de operación varían de estos sistemas varían entre los 30 KHz y los 200 KHz.

El ecosondador multihaz (Figura 11) para fondos someros EM1000, al igual que la EM12S-120, es una sonda batimétrica multihaz que se utiliza para realizar mapas del fondo marino. Está diseñada para trabajar en aguas poco profundas (entre 3 y 1 000 m) y utiliza una frecuencia de trabajo de 95 kHz.

El array de transductores de la EM1000 está dotado de un sistema retráctil (Figura 7,12). Cuando está en reposo está protegido por la barquilla, al empezar las operaciones en operación se arria hasta dejar los transductores por debajo del nivel de la barquilla. La velocidad máxima de trabajo con el transductor arriado es de 10 nudos. El transductor incorpora un estabilizador de cabeceo servomecánico con un rango de $\pm 15^\circ$.

El número de haces que se utilizan para cubrir el fondo y el ángulo de cobertura de cada uno depende del modo de trabajo seleccionado, con una apertura máxima de 150° en aguas someras, lo cual implica una cobertura máxima de 7.4 veces la profundidad con una precisión equivalente a un 0.3% del valor de la profundidad o 15 cm (el valor que sea mayor).

Las sondas multihaz disponen de software que permite realizar el postproceso de los datos adquiridos y realizar mapas batimétricos, estudios de la composición del terreno, cálculos volumétricos, etc (Figuras 7.12 y 7.13).

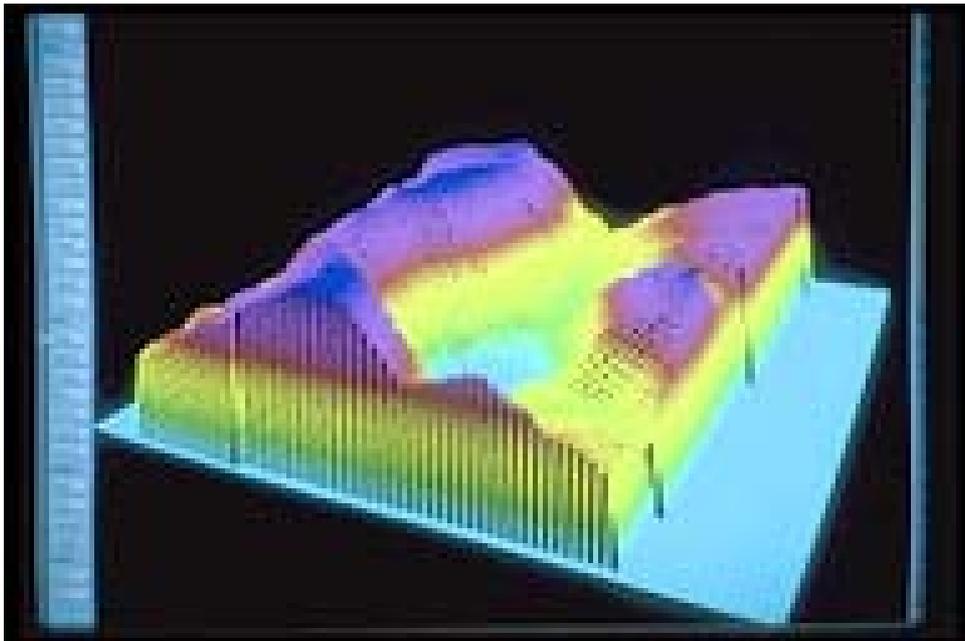


Figura 7.12

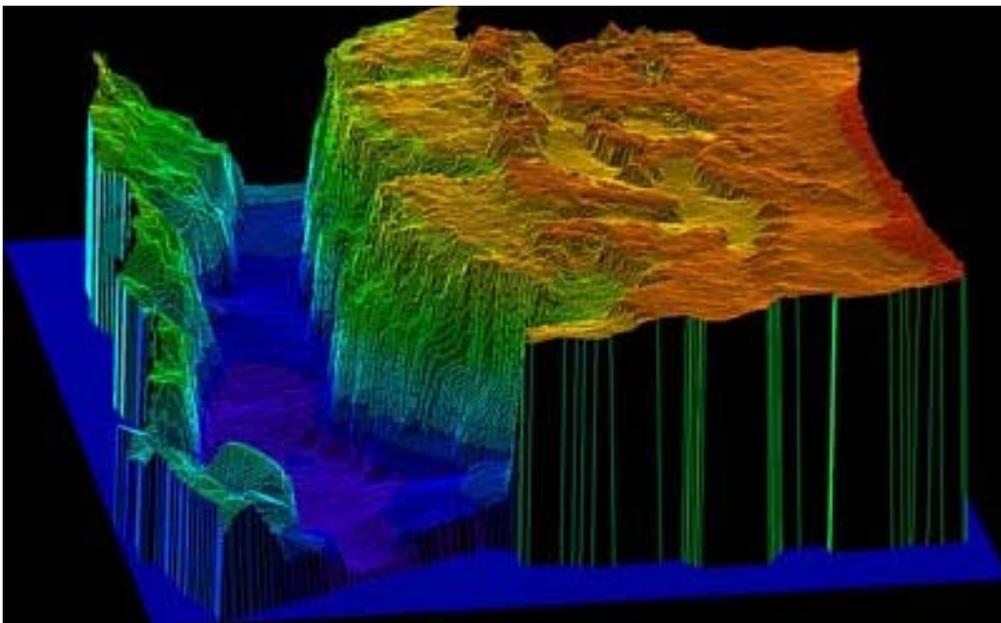


Figura 7.13

BIBLIOGRAFIA.-

- Notas Sobre Levantamientos con Rastra Hidrográfica(EDGELL)HIR Vol.XIII N°1 Jan.1936.-
- Nota sobre la Rastra Hidrográfica M-1931(BRUNEL)IHR Vol.XIV N°2 Jul.1937.-
- Levantamientos con Rastra Hidrográfica en las Costas del Pacífico(RITTEMBURG)IHR Vol.XV N°2 Jul.1938.-
- Rastra Hidrográfica Mark 4 del Almirantazgo Británico-IHR Vol.XVII N°1 Jan 1940.-
- Observaciones de Rastréo con Rastras en Groenlandia durante 1959(WORN-LENHARDT)HIR Vol.XXXVII N°1 Jan.1960.-
- Hidrografía (SUAREZ)Esc.Naval Rio Santiago.-Argentina
- Anales Hidrográficos-Tomo V-Servicio de Hidrografía Naval -Argentina
- Instrucciones Generales Hidrográficas para Comisiones Hidrográficas-Servicio de Hidrografía Naval -1928- Argentina.
- Wire Drag Operations in Greenland(WORM-LEONARD)IHR Vol.XXXVII N°2 Jul.1969.-
- Admiralty Mannual of Hydrographic Surveying-Publ.NP 134b-Hydrographer of the Navy - Royal British Navy.-
- Side Scan Sonar, a Comprehensive Presentation(EG&G-Enviromental Equipment Division-151 Bear Hill Road-Waltham,Mass. 02154 U.S.A.)
- Comparative Side Scan Sonar and Photographic Survey(WHONG-CHESTERMAN-SPOMHALL) IHR Vol XLVII N°2 Jul.1970.-
- A Long Range Side Scan Sonar-GLORIA(RUSBY)IHR Vol. XLVII N°2 Jul.1970.-
- Tape Recording of Side Scan Sonar Signals(HOPKINS)IHR Vol.XLIX N°1 Jan.1972.-
- A Note on Method of Producing Corrected Side Scan Sonar Records to a Linear Display(HOPKINS)HIR Vol.XLIX N°2 Jul.1972.-
- Transformation of Side Scan Sonar Records to a Linear Display(BERKSON & CLAY)HIR Vol.L N°2 Jul.1973.-
- Side Scan Sonar(LENHARDT)IHR Vol.LI N°1 Jan.1974.-
- Side Scan Sonar for Hydorgraphy(BRYANT)IHR Vol.LII N°1 Jan.1975.-
- Side Scan Sonar(FLEMMING)IHR Vol.LIII N°1 Jan.1976.-
- Dual Channel Side Scan Sonar,its Use and Operation in Hydrographic Surveying(RUSSELL)IHR Vol.LV N°1 Jan.1978.-
- A Sideways-Loocking Towed Depth Measuring System(LOET-HURST-EDWARDS PHILLIPS-DUNCAN) JIN Vol.35 N°3-1982.-

NOTA:

IHR: International Hidrographic Review :Revista editada por la OHI Organización Hidrografica Internacional o Bureau Hidrográfico Internacional.(PRINCIPADO DE MONACO)

JIN: Journal of the Royal Intitute of Navigation (LONDRES - REINO UNIDO)