

CONTRIBUCIONES AL ESTUDIO DE
LAS PESQUERIAS DE MEXICO
CEPM: 4

CURSO SOBRE ECODETECCION

POR

DANIEL BERTONE

PROGRAMA DE INVESTIGACION Y
FOMENTO PESQUERO MEXICO/PNUD/FAO

MEXICO 1973

CURSO SOBRE ECODETECCION

Por

Daniel Bertone
Consultor en Detección Acústica

Preparación de este trabajo

Fue preparado por Daniel Bertone, Consultor en detectación acústica del Programa de Investigaciones y Fomento Pesquero México/PNUD/FAO, para todas aquellas personas relacionadas con el nivel extractivo de la industria pesquera interesadas en el tema.

Resumen

Se describe el funcionamiento del sonar y la ecosonda, así como la interpretación de ecogramas.

Distribución.

Autoridades, institutos de investigación, organismos, empresas y personas relacionadas con la pesca.

Cita bibliográfica.

Bertone, Daniel. Curso sobre ecodetectación. Progr. de Invest. y Fom. Pesq. Méx/PNUD/FAO. 1973 Contribuciones al estudio de las pesquerías de México. CEPM: 4. 14 p.

| CONTENIDO | Página |
|--|--------|
| Introducción | 1 |
| Descripción sistema sonar | 1 |
| Unidad registradora | 2 |
| Unidad Transmisora | 3 |
| Transductores | 3 |
| Amplificador de recepción | 3 |
| Frecuencias de transmisión | 4 |
| Operación de la ecosonda | 4 |
| Interpretación de ecogramas | 8 |
| Registro de peces individuales | 8 |
| Registro de peces sobre el fondo | 9 |
| Registro de peces en capas y cardúmenes | 9 |
| Determinación del largo horizontal de los cardúmenes | 10 |

INTRODUCCION

Los aparatos básicos de ecodetección, la ecosonda (de detección vertical) y el sonar (de detección horizontal) que se aplican actualmente en la pesca, tuvieron su origen en la década del 30, en la que se comenzaron a hacer los primeros intentos sistemáticos de detección de peces con ecómetros. Posteriormente estos equipos fueron usados durante la segunda guerra mundial para la detección de submarinos. Datos aportados por marineros ingleses indicaban la aparición en la superficie de cantidades de peces muertos en oportunidades que se dejaban caer cargas de profundidad creyendo haber detectado sumergibles. Partiendo de esta base se trabajó simultáneamente en varios países, Noruega, Inglaterra, Alemania, etc., habiéndose llegado en este momento a un alto grado de perfección en equipos, que están en uso y son herramientas indispensables en todas las grandes flotas pesqueras del mundo.

DESCRIPCION SISTEMA SONAR

El principio de funcionamiento de estos aparatos, llamado "sistema sonar" se basa simplemente en la medición del tiempo transcurrido entre la emisión de un pulso sonoro y el retorno de su eco, multiplicándolo luego por la velocidad conocida del sonido en el agua (alrededor de los 1,500 m/seg), dividiendo este resultado por dos. La ecosonda consta básicamente de cuatro unidades principales (Fig. 1):

1. unidad registradora o base de tiempo
2. unidad transmisora
3. unidad transductor
4. unidad amplificadora de recepción

La interrelación de estos elementos se produce de la siguiente manera: La unidad registradora y base de tiempo consiste en un mecanismo accionado por un motor eléctrico, que en forma coordinada efectúa las marcas en el papel de registro (ecogramas) y acciona el contacto que indica al transmisor que emita un pulso eléctrico hacia el transductor. El transductor actuando en este momento como megáfono convierte la energía eléctrica en energía acústica la cual se propaga a través del agua y luego, actuando como micrófono, recibe los ecos producidos por objetos distantes o el fondo del mar convirtiéndolos, en forma inversa, de señales acústicas en señales eléctricas. Debido a que los ecos recibidos portan solamente una fracción ínfima de la energía del pulso transmitido es necesario la utilización de la unidad amplificadora de recepción que aumentará las débiles señales recibidas en aproximadamente 10^6 veces para poder así efectuar las marcas en el papel de

registro.

Las unidades registradora, transmisora y amplificadora se encuentran incluidas en el gabinete situado en el puente de mando del buque, y la unidad transductora se encuentra fijada en el fondo del casco con su cara radiante en contacto directo con el agua.

UNIDAD REGISTRADORA

Existen varios tipos de registradores, todos ellos tienen dos funciones principales en común: disparan la transmisión y registran en forma gráfica las eco-señales recibidas. El registro se efectúa mediante un estilo acoplado a un brazo movable o a una correa, que le permite atravesar en forma transversal la superficie de un papel electrosensitivo. Las señales recibidas pasan a través de contactos deslizantes al estilo y de allí al papel de registro (ecograma). La velocidad del estilo sobre el papel ha sido ajustada con respecto a la velocidad del sonido en el agua, de modo que la profundidad de los registros puede leerse directamente en una escala graduada. La máxima velocidad de estilo corresponde a aproximadamente 100 mts de la escala de profundidad para 15 cm de ancho de papel.

El papel de ecograma puede ser húmedo o seco. El primero de ellos está embebido en una solución iodada y las descargas eléctricas recibidas a través del estilo originan la precipitación del iodo produciendo manchas color café, que varían en su tonalidad de acuerdo con la intensidad de la señal que la origina. Este tipo de papel es muy sensible y posee un gran rango dinámico.

El papel seco generalmente de color gris claro, tiene en su parte posterior una película grafitada, electroconductora, que se mantiene en contacto con una placa metálica del registrador, sobre la cual se desliza y cuando una señal es recibida el voltaje entre el fino alambre del estilo y la placa metálica se eleva a tal punto que quema la superficie frontal del papel produciendo marcas de color negro.

Recientemente se ha desarrollado un nuevo método de registro llamado de multiestilos, en el que cientos de finos alambres, alineados en forma de peine, se encuentran en contacto permanente con la superficie del papel. Cada alambre, o estilo, recibe señales separadamente, desde su circuito electrónico asociado. Este sistema, al eliminar los movimientos mecánicos, ofrece la ventaja de que los estilos son recorridos electrónicamente a más altas velocidades, permitiendo un registro más amplio, como por ejemplo, 19 m de la escala en 15 cm de papel.

UNIDAD TRANSMISORA

Cuando en la unidad registradora se acciona el contacto de disparo del transmisor este provee de energía eléctrica al transductor. Para el correcto funcionamiento del equipo esta unidad debe contar con ciertos requisitos:

- a. Salida de energía constante
- b. Frecuencia constante
- c. Longitud de pulso controlada

Un sistema electrónico, de válvulas o de transistores está conectado de tal manera que oscila a la frecuencia correcta para la longitud de pulso y el pico de voltaje cuando entra en acción.

La longitud de pulso puede variar dentro de ciertos límites, de 0.1 a 3 milisegundos en ecosondas y de 1 a 30 milisegundos en sonares.

TRANSDUCTORES

Los transductores más comunes, actualmente en uso, son los llamados magnetostrictivos. Están contruidos con láminas de níquel que se expanden y contraen de acuerdo con la dirección y fuerza de un campo magnético resultante de la aplicación de un pulso eléctrico. Este tipo de transductor es usado hasta frecuencias de alrededor de 100 Khz, para mayores frecuencias de transmisión es necesario el de otros materiales, como por ejemplo el titanato de bario. La característica que exhibe este último es conocida como el efecto electrostrictivo, que significa en términos simples, el cambio de dimensiones en relación al campo eléctrico aplicado. La cara radiante de estos transductores se aísla, generalmente con resinas Epoxy para evitar que se produzca un corto circuito al entrar en contacto con el agua. La posición elegida para la ubicación del transductor en el casco es de mucha importancia para obtener un buen funcionamiento del equipo. Hay que cuidar de que la hélice produzca el mínimo posible de interferencia.

AMPLIFICADOR DE RECEPCION

Debido a la dispersión y absorción del sonido en el agua las señales recibidas de los terminales del transductor suelen ser muy débiles, algunas veces de solamente unos pocos microvoltios y antes de ser usadas para efectuar marcas en el papel de registro deben ser aumentadas en amplitud 10^6 veces o más (Fig. 2). Esto lo realiza el amplificador de recepción.

Varios controles que veremos más adelante, como el control de amplificación, línea blanca y supersión inicial actúan sobre esta unidad.

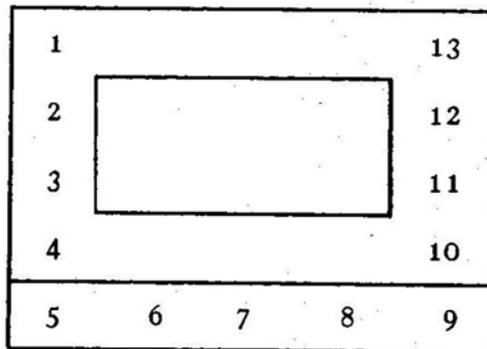
FRECUENCIAS DE TRANSMISION

En la mayoría de las ecosondas modernas se usan ultrasonido (más de 20 Khz) en vez de sonido audible (16 a 20,000 c/s), especialmente en las diseñadas para detectar peces. Existen ecosondas en una variada gama de frecuencias, desde 3.5 Khz hasta 200 Khz, esto no es solamente debido a las distintas finalidades de su uso, sino que también permite la utilización de dos o más aparatos al mismo tiempo en una embarcación sin que se produzca interferencia entre ellos.

OPERACION DE LA ECOSONDA

Existen numerosas marcas y tipos de ecosondas, pero se describirá la ecosonda modelo científico Simrad 38 por estar ésta instalada a bordo de los buques que realizan investigaciones en aguas mexicanas, "Antonio Alzate" y "Alejandro de Humboldt".

CONTROLES Y USO



1. Selector de ancho de haz acústico. Posición 1: haz angosto (7°); Posición 2: haz ancho (20°) en sentido de cruzía para transductor 15 x 30/10 cm; Posición 3: reserva.
2. Esta llave pone el equipo en funcionamiento, posición ON y controla la intensidad de iluminación.

- Colocar el selector en la escala deseada, A, B ó C, luego el control en rango básico (posición 1) o en fases 2 3 ó 4, según sea necesario. Posición EXT reserva.

ESCALA EN METROS

| Escala | 5 Marcas de Profundidad en intervalos de: | Escala básica (Posición 1) | F a s e s | | |
|--------|---|----------------------------|-----------|-----------|-------------|
| | | | 2 | 3 | 4 |
| A | 25 m | 0 - 125 m | 100-225 | 200-325 | 300-425 |
| B | 50 m | 0 - 250 m | 200-450 | 400-650 | 600-850 |
| C | 100 m | 0 - 500 m | 400-900 | 800-1,300 | 1,200-1,700 |

- Selector de velocidad del papel, 25 mm/minuto, hacia la izquierda y 40 mm/minuto hacia la derecha (Escala A); en escalas B y C la velocidad de papel se reduce a la mitad y a un cuarto respectivamente.
- Seleccionar TVG and GAIN de acuerdo a la clase de registro deseado. La posición 20 db impide la saturación del receptor en aguas someras. En la ecosonda de 38 Khz la función 20 log R opera entre 3 y 500 mts y la función 40 log R entre 3 y 230 mts.

La posición 20 log R se usa con preferencia en registros de ecos del fondo y peces dispersos, mientras que la posición 40 log R se usa principalmente cuando se desea el registro de peces individuales en un nivel de eco constante, independiente de la profundidad.

- Discriminador. Este control regula la potencia de señal necesaria para producir el efecto de línea blanca (WL), y también influencia las posiciones BPS, DG y CL del Selector de modos (7).

Normalmente este control debe estar en un punto suficientemente alto como para mantener una línea blanca estable.

- Posiciones del Selector de modos.

- NORM. Registro proporcional.

Este es el tipo standard de registro cuando no se requieren

funciones especiales. Puede ser usado para navegación o durante la búsqueda de peces pelágicos. Por registro proporcional se entiende que el nivel (intensidad, color de marcas) del papel de registro es proporcional al nivel de las eco-señales.

b. W.L. Línea blanca.

Durante el registro de línea blanca, el eco del fondo es parcialmente bloqueado por una zona blanca. El contorno del fondo se reproduce por medio de una fina línea negra, seguida por un área blanca, luego el resto del eco del fondo se reproduce normalmente. Cualquier ensanche o engrosamiento de esta línea indica ecos de objetos cercanos al fondo. La potencia de eco necesaria para producir el efecto de línea blanca depende del control de discriminación (6) que el operador debe experimentar.

c. B.P.S. Registro de capas de fondo sedimentarias.

Las ondas de ultrasonido penetran cierta distancia en el fango y capas sedimentarias, dependiente de la frecuencia de transmisión. En el modo B.P.S. es posible registrar varias de estas capas de sedimentación, teniendo los controles de la ecosonda correctamente ubicados. Observar que los controles (6) discriminador y (10) amplificación de registro de fondo, estén correctamente ajustados. Hay dos controles adicionales de B.P.S. dentro de la ecosonda que deben ser tenidos en cuenta.

d. D.G. Amplificación dual.

Cuando es de particular interés registrar simultáneamente peces pelágicos y estudiar la naturaleza del fondo en dos diferentes niveles de eco, se coloca el selector de modo en posición D.G. La amplificación del receptor cambiará entonces automáticamente entre dos niveles. Primero se ajusta el control (11) a una posición relativamente alta para el mejor registro de ecos de peces, luego se ajusta el control (10) a una posición que registre los ecos del fondo con la intensidad requerida. (El control (10) es operativo solamente con el selector de modo en posición D.G.)

e. C.L. Línea de contorno.

Puede ser a veces conveniente eliminar del ecograma los ecos superfluos del fondo y registrarlos solamente como una línea de contorno. El discriminador (6) debe ajustarse convenientemente para un registro óptimo de línea de contorno.

f. EXP. Aumento de la dinámica del papel.

En la posición EXP el rango dinámico del papel se extiende artificialmente. Aumento de potencia de señal produce registros

más intensos, como en NORM, hasta un punto definido que es cercano al nivel de saturación del papel de ecograma; si entonces la potencia de señal aumenta aún más, la coloración del registro decrece y se convierte en blanca para señales muy fuertes.

8. Seleccione ancho de banda y longitud de pulso.

ANCHO DE BANDA

| Longitud de Pulso Milisegundos | WIDE 3 Khz | NARROW 1 Khz | Longitud de Pulso Milisegundos |
|-----------------------------------|---------------|-----------------|-----------------------------------|
| 0.3 | _____ 1 | | |
| 0.6 | _____ 2 | 2 _____ | 0.6 |
| 1.0 | _____ 3 | 3 _____ | 1.0 |
| 3.0 | _____ 4 | 4 _____ | 3.0 |

Normalmente se usa banda ancha (WIDE) y pulso corto durante condiciones favorables del mar. Durante condiciones adversas (ruidos) usar banda angosta (NARROW) reduciendo así el ancho de banda a 1/3 y por lo tanto cortando el espectro de ruido.

La selección del largo de pulso depende de la resolución requerida.

| | | |
|------------------|---|----------|
| 0.3 milisegundos | = | 0.45 m |
| 0.6 | " | = 0.90 m |
| 1.0 | " | = 1.5 m |
| 3.0 | " | = 4.5 m |

9. Seleccione el poder de salida en 1/1 para 1 KW ó en 1/10 para 0.1 KW. EXT reserva.
10. Este control de amplificación para debajo del fondo es efectivo solamente en la posición D.G. del selector de modo. Estando el selector de modo en D.G. ajuste el control de amplificación hasta que los registros superfluos del fondo se reduzcan a un nivel conveniente.
11. Ajustar la amplificación de registro a un nivel normalmente alto.

12. Control de amplificación inicial de registros (capa superior de agua), aumenta amplificación hacia la derecha, disminuye hacia la izquierda. A veces puede ser ventajoso aumentar (o reducir) el registro de plankton, burbujas o capas de agua de distinta temperatura. Este control provee una variación de ± 10 db en la característica de amplificación de las capas superiores de agua.
13. Marcador. Oprimiendo este botón se efectúa una línea vertical en el ecograma para identificación de eventos.

INTERPRETACION DE ECOGRAMAS

Para una correcta interpretación de los ecogramas hay que tener siempre en cuenta tanto la velocidad de la embarcación, como la velocidad de desplazamiento del papel en la ecosonda. Variaciones de estos dos factores producen variaciones en el registro gráfico, a mayor velocidad de navegación o menor velocidad de papel se obtendrá un registro más comprimido e inversamente a menor velocidad de navegación o mayor velocidad de papel se obtendrá un registro más ampliado en sentido horizontal, tal como se puede observar en la (Fig. 3); esto influye en el registro de la conformación del fondo y en las dimensiones de los cardúmenes. La dimensión vertical del registro es exacta y se mide en la escala graduada de la ecosonda, en metros o en brazas.

REGISTRO DE PECES INDIVIDUALES

El registro de peces individuales puede variar en apariencia entre distintos tipos de ecosondas y diferentes modos de operación. Cuando la embarcación está detenida, peces individuales que permanezcan dentro del haz acústico serán registrados como trazos en forma de línea horizontal. A poca velocidad estas líneas se acortan y curvan, y a alta velocidad se convierten en pequeñas manchas o puntos.

Los trazos en forma de línea curva o de V invertida que aparecen en los registros efectuados a una velocidad de navegación relativamente baja son típicos de peces individuales. Se producen de esta forma debido al hecho de que la distancia pez-transductor es mayor cuando el pez está en la periferia del haz acústico que cuando se encuentra directamente debajo del transductor (Fig. 4).

El ángulo de emisión del transductor tiene influencia en estos registros, cuanto más grande es mayor es la posibilidad de efectuar el mencionado tipo de marcas. Como el largo vertical de la marca está

relacionado con la longitud de pulso transmitido, es conveniente utilizar el pulso más corto, logrando así una mejor resolución. Sabemos que si dos peces se encuentran verticalmente a una distancia menor que la mitad del largo de pulso sus ecos se sobreponen (Fig. 5); por lo tanto, al utilizar una longitud de pulso corta obtendremos el registro en forma individual de peces que están muy cerca entre sí.

REGISTRO DE PECES SOBRE EL FONDO

Peces muy cerca del fondo son más difíciles de detectar que los pelágicos debido a la complicación adicional de distinguir entre ecos de peces y ecos del fondo mismo. Esta dificultad es debida en gran parte a la existencia de la llamada "zona muerta" que se produce en el haz sonoro sobre el fondo del mar (Fig. 6), ocasionando que se fundan en una sola marca ecos de peces con el fondo mismo.

El tamaño de la "zona muerta" disminuye reduciendo el ancho del haz acústico de la sonda. Con un largo de pulso de 5 a 8 cm, un pez como el bacalao debería ser siempre detectado, al menos en el eje de transmisión.

El sistema de "línea blanca" ayuda a distinguir peces que están cerca del fondo.

REGISTRO DE PECES EN CAPAS Y CARDUMENES

Cuando la densidad de los peces excede el límite del poder de resolución de la ecosonda usada, el registro toma la forma de trazo de ecos múltiples, que puede aparecer como una capa o como un distintivo trazo sólido.

Existe por supuesto una transición continua desde capas dispersas o bandas, donde los ecos de un gran número de peces individuales puede ser todavía identificado, hasta densas capas y cardúmenes. Un carácter distintivo de los trazos "tipo capa", que a menudo producen los peces, es la presencia de trazos de peces individuales en el borde superior e inferior de la capa. Esta misma característica se usa para distinguir los registros en forma de capa producidos por peces de otros producidos por organismos pequeños (larvas de peces o plancton), cuyo vigor de blanco individual se halla por debajo del límite de detección de la ecosonda.

Los cardúmenes bien definidos no se diluyen en los bordes. Es típico en el registro de cardúmenes pelágicos densos que los trazos sean

seguidos de una "cola" de reverberación de sonido. El sonido se dispersa dentro del cardúmen y parte es reflejado hacia el transductor después del regreso del eco directo de la parte más profunda del cardúmen. La altura del trazo de un cardúmen no es, por lo tanto, la medida directa de la altura verdadera del cardúmen. Muchas especies de peces forman cardúmenes durante el día y se dispersan en capas difusas durante la noche. Estas capas suelen permitir el registro de trazos de peces individuales.

DETERMINACION DEL LARGO HORIZONTAL DE LOS CARDUMENES

Existen fórmulas que nos posibilitan obtener la longitud horizontal de los cardúmenes partiendo del eco-registro. Una de ellas es:

$$L_c = \frac{l \times V_b}{V_p}$$

Donde: L_c = longitud del cardúmen en metros
 l = longitud del eco-registro en milímetros
 V_b = velocidad del buque en metros/minuto
 V_p = velocidad del papel en milímetros/minuto

Usando esta fórmula pueden confeccionarse tablas de conversión que son sumamente útiles en trabajos de evaluación. La siguiente tabla fue preparada para ecosondas con velocidad de papel de 25 mm/min.

TABLA DE CONVERSION

Ecosonda Simrad Scientific E K
 Escala "A" 0 - 125 m; velocidad de papel 25 mm/min.
 Sub-escalas 100 - 225, 200 - 325, 33 - 425 m.

| Velocidad del buque Nudos | Longitud del cardumen en metros * | | | |
|---------------------------------|-----------------------------------|------|-------|-------|
| | Longitud de los ecoregistros | | | |
| | 1 mm | 5 mm | 10 mm | 25 mm |
| 2.0 | 2.4 | 12 | 24 | 60 |
| 2.5 | 3.0 | 15 | 30 | 75 |
| 3.0 | 3.6 | 18 | 36 | 90 |
| 3.5 | 4.2 | 21 | 42 | 105 |
| 4.0 | 4.8 | 24 | 48 | 120 |
| 4.5 | 5.4 | 27 | 54 | 135 |
| 5.0 | 6.0 | 30 | 60 | 150 |
| 5.5 | 6.6 | 33 | 66 | 165 |
| 6.0 | 7.2 | 36 | 72 | 180 |
| 6.5 | 7.8 | 39 | 78 | 195 |
| 7.0 | 8.4 | 42 | 84 | 210 |
| 7.5 | 9.0 | 45 | 90 | 225 |
| 8.0 | 9.6 | 48 | 96 | 240 |
| 8.5 | 10.2 | 51 | 102 | 255 |
| 9.0 | 10.8 | 54 | 108 | 270 |
| 9.5 | 11.4 | 57 | 114 | 285 |
| 10.0 | 12.0 | 60 | 120 | 300 |
| 10.5 | 12.6 | 63 | 126 | 315 |
| 11.0 | 13.2 | 66 | 132 | 330 |

* Para escala "B" multiplicar x 2
 Para escala "C" multiplicar x 4

Para obtener la verdadera medida horizontal debe descontarse del resultado obtenido al usar la tabla anterior, el ancho del haz acústico en la profundidad que se encuentra el cardumen que estamos midiendo (Fig. 7). Esta medida aumenta conforme aumenta la profundidad. Mediante la fórmula $2 \operatorname{tg} A \cdot Dm$ se obtiene el ancho del haz acústico en la profundidad deseada. Estos datos se pueden tabular para distintas profundidades. La siguiente tabla de corrección ha sido efectuada para el transductor 15 x 30/10 de los buques de investigación Alejandro de Humboldt y Antonio Alzate.

TABLA DE CORRECCION LONGITUDINAL

Simrad Scientific EK 38 Kc - Transductor 15 x 30/10

| Profundidad | Sentido de crujía | |
|-------------|-------------------|-------------------|
| | Haz ancho 20° | Haz angosto 7° |
| 10 m | 3.5 m | 1.1 m |
| 20 m | 7.0 m | 2.3 m |
| 30 m | 10.5 m | 3.6 m |
| 40 m | 14.0 m | 4.8 m |
| 50 m | 17.5 m | 5.7 m |
| 60 m | 21.0 m | 7.0 m |
| 70 m | 24.5 m | 8.2 m |
| 80 m | 28.0 m | 9.2 m |
| 90 m | 31.5 m | 10.2 m |
| 100 m | 35.0 m | 11.3 m |
| 110 m | 38.5 m | 12.7 m |
| 120 m | 42.0 m | 13.8 m |
| 130 m | 45.5 m | 15.0 m |
| 140 m | 49.0 m | 16.0 m |
| 150 m | 52.5 m | 17.0 m |

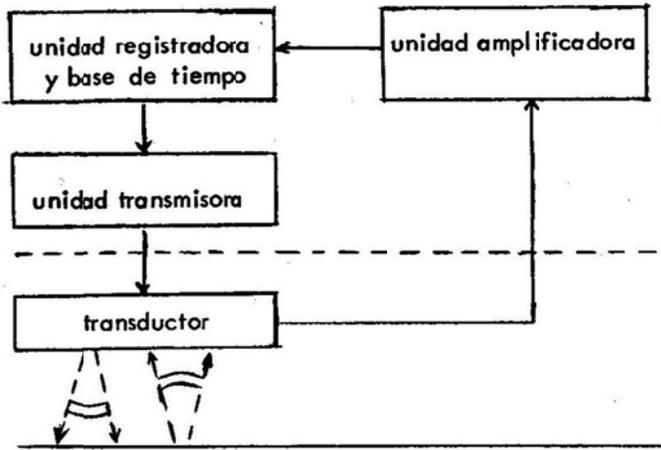


Figura 1

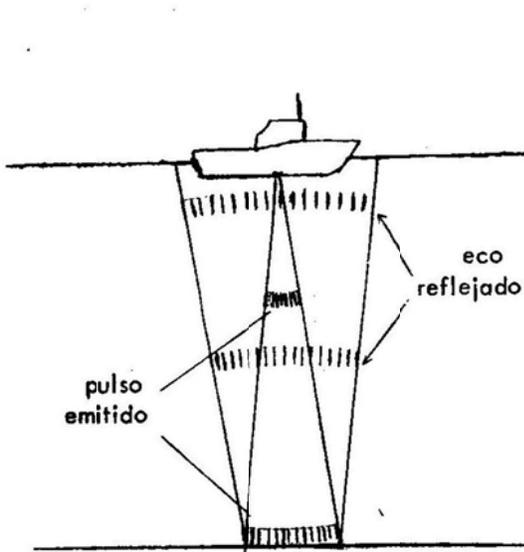


Figura 2

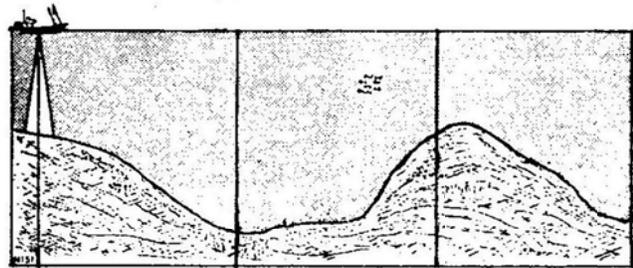


Figura real del fondo del mar



Figura 3

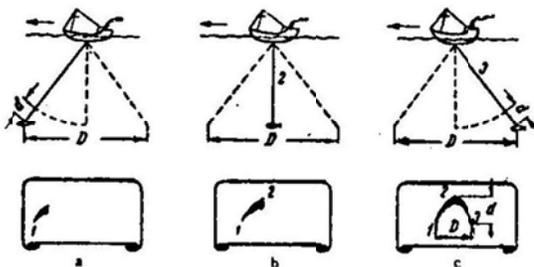


Figura 4

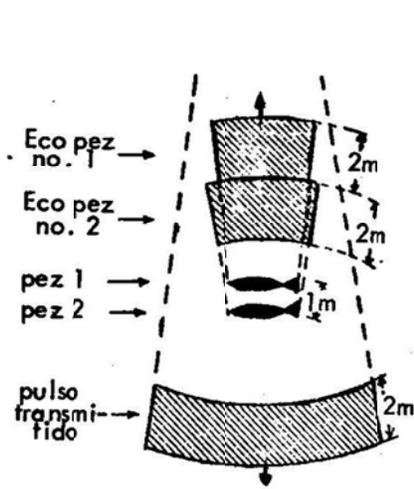


Fig. 5

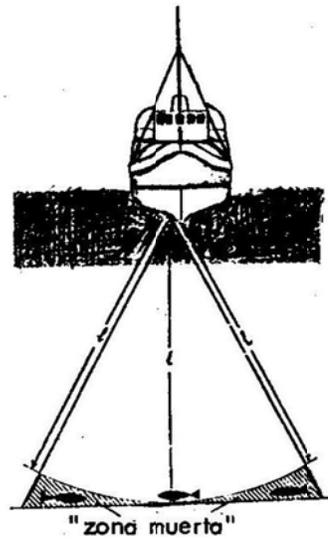
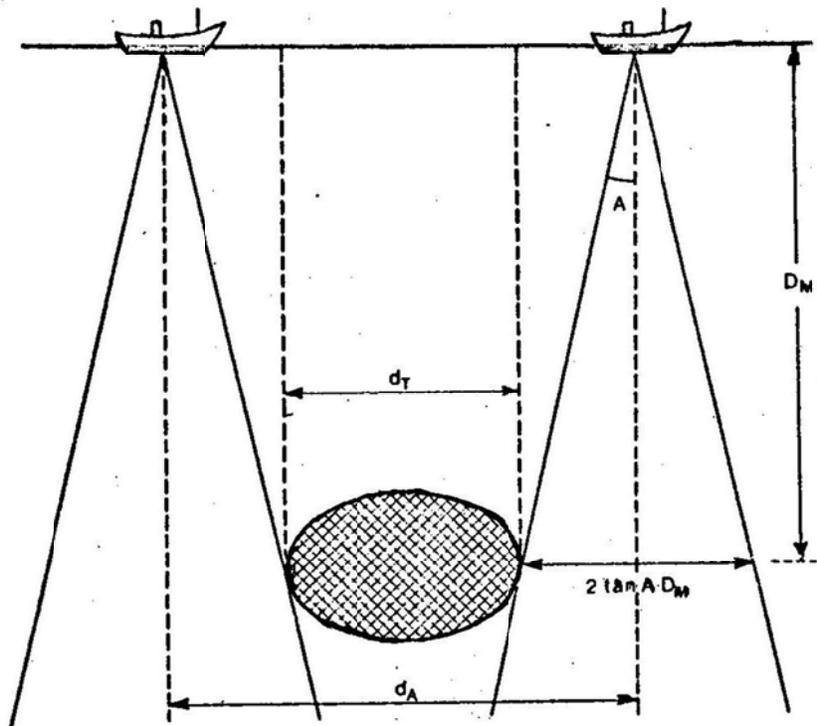


Fig. 6



d_r = diámetro real del cardumen
 d_A = diámetro aparente del cardumen

Fig. 7