

LAS LIMITACIONES DE LA SONDA MONOHAZ Y LAS VENTAJAS DE LA MULTIHAZ.

Si bien es simple y relativamente sencilla su fabricación y fácil de operar, la sonda monohaz tiene un número de limitaciones que la hacen inapropiada para levantamientos batimétricos a escalas grandes.

Estas limitaciones han sido, el gran incentivo para el desarrollo de un sonar más complejo y costoso como lo es el multihaz como el SEABEAM 2100.

El propósito de un levantamiento a escala grande es conseguir una gran cantidad de mediciones de profundidad a puntos que se encuentren muy cercanos unos de otros de manera de poder representar el plano del fondo con la mayor fidelidad.

Para llevar a cabo esta tarea en forma eficiente se necesita que el sonar a utilizar cumpla dos requisitos :

- Que permita la medición precisa de la profundidad a puntos cuyas coordenadas horizontales puedan estar determinadas también con precisión.
- Que permita realizar la medición de un gran número de profundidades en un tiempo razonable.

Como se verá, una sonda monohaz tiene algunos problemas en ambas especificaciones.

Utilizando una sonda monohaz podemos asumir que el tiempo del primer eco determina la profundidad directamente desde un punto del fondo en la vertical del buque.

Es el caso que presenta la Figura 1 El primer eco proviene directamente de un punto del fondo que se encuentra en la vertical de la ecosonda.

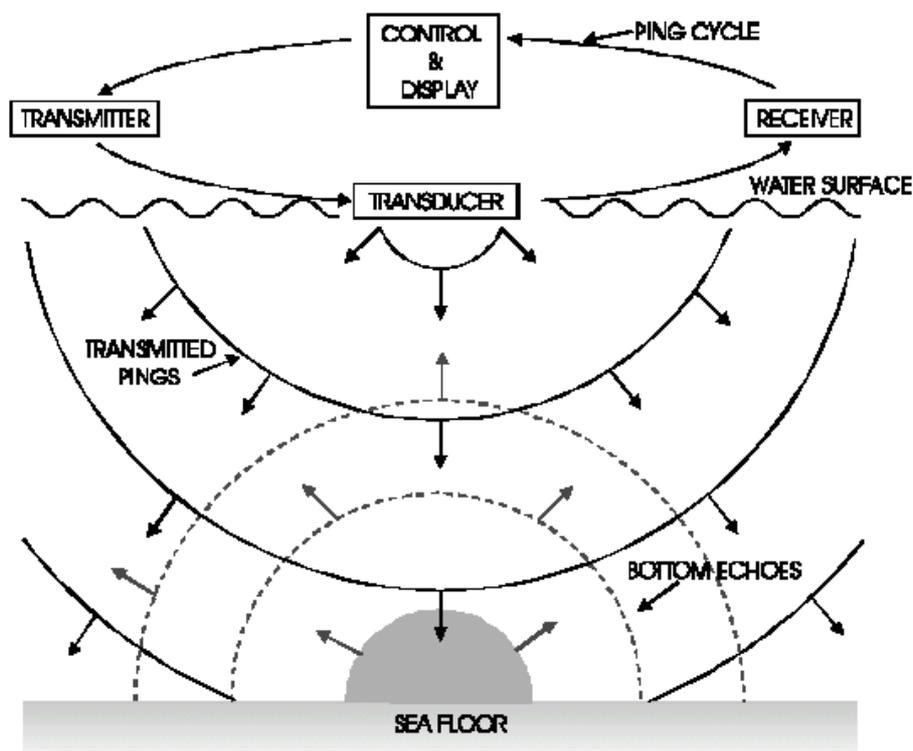


Figura 1

En la figura 2 se muestra un buque de levantamiento sobre un lecho del mar irregular donde el fondo que queda detrás del buque está mas cercano a la sonda que el un punto en la vertical de la misma. La señal de la sonda monohaz se propaga desde el transductor prácticamente en forma esférica con la misma intensidad en todas las direcciones llegando primero al fondo mas cercano.

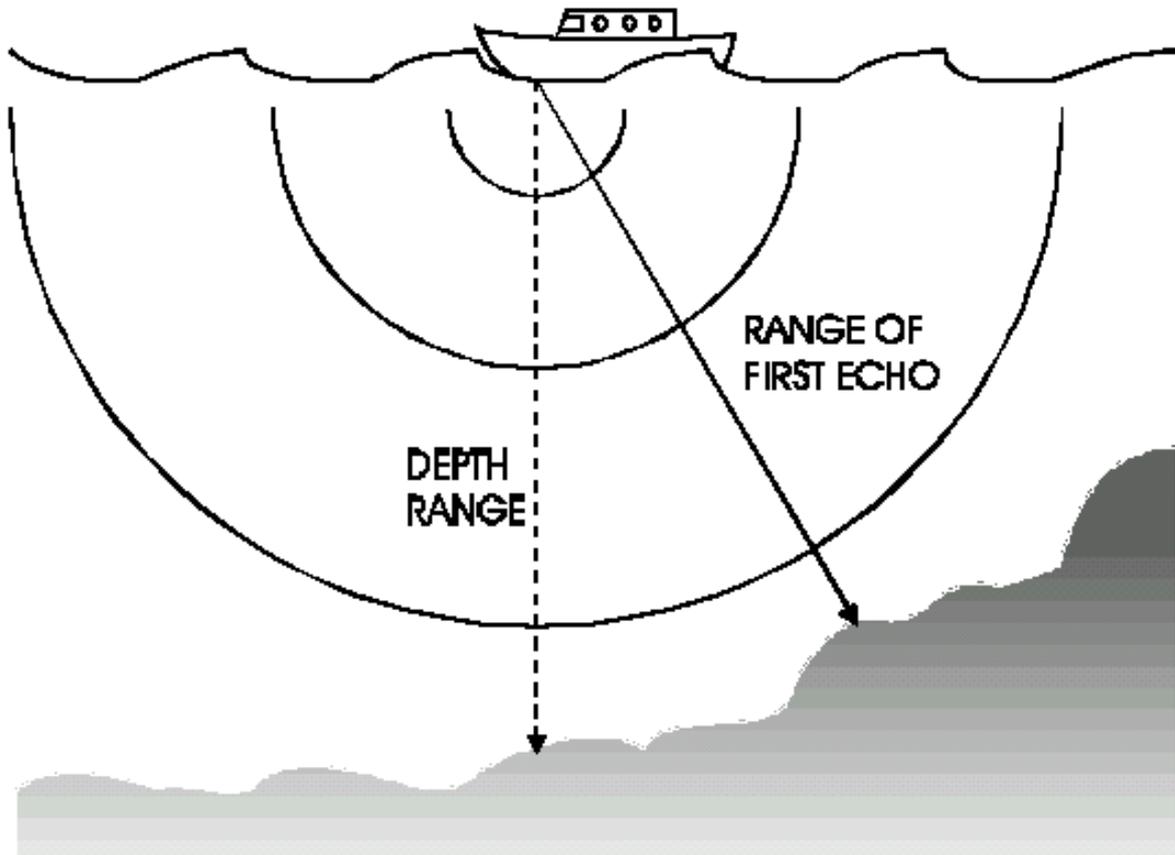


Figura 2

El operador no tiene forma de poder asegurar que la dirección de donde proviene el primer eco no es la vertical al buque. Esta situación como puede verse en la Figura 2 origina un error en la medición de la profundidad en ese punto.

Una sonda monohaz puede diseñarse para resolver parcialmente este inconveniente, introduciendo cierta directividad al haz emisor. En realidad se resuelve afinando el haz de emisión de manera tal que el ping ensonifique un área pequeña del fondo.(ver Figura 3) de manera que puede admitirse que el primer eco que llega a la ecosonda proviene de la vertical.

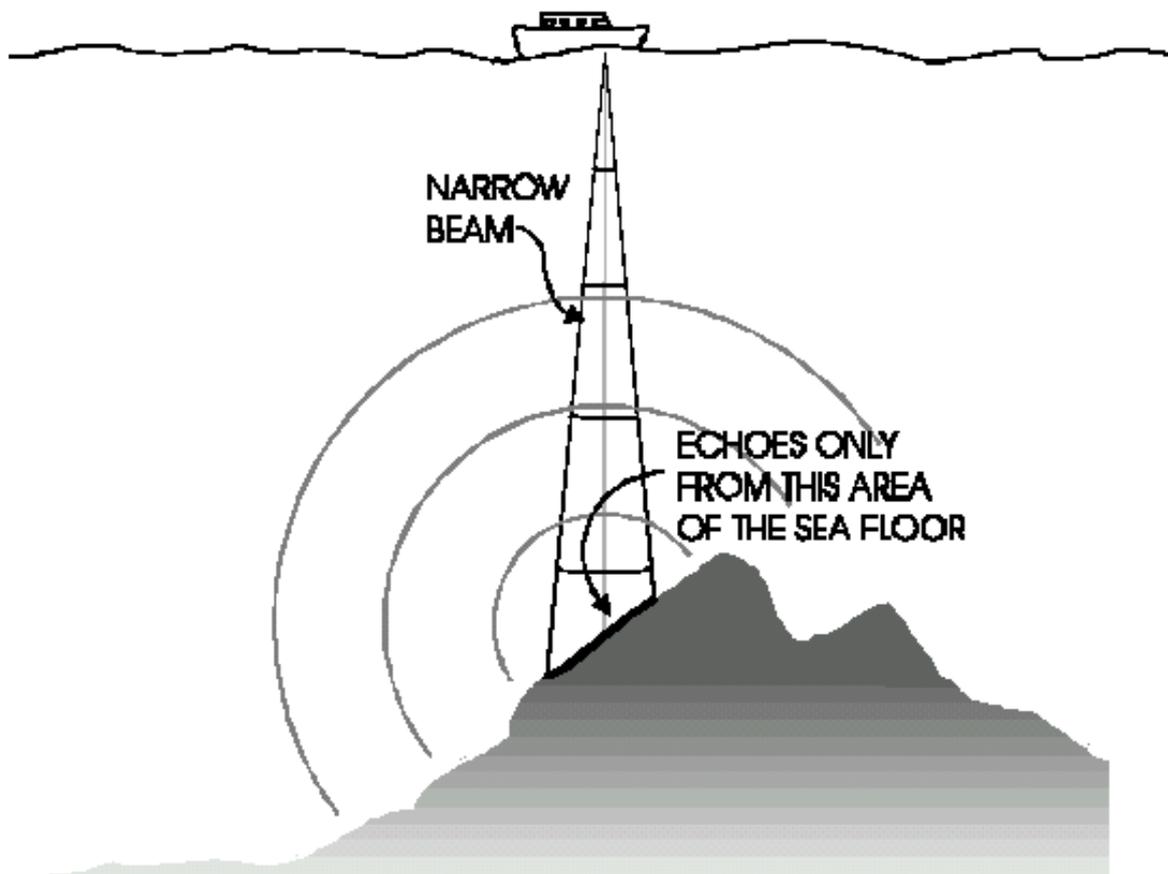


Figura 3

En la Figura 3 puede observarse como una ecosonda de haz fino puede ser utilizada para obtener sondajes mas precisos de un fondo irregular.

No obstante el haz fino de la ecosonda monohaz no resuelve totalmente el problema. Los transductores están fijos al casco por lo que acompañan los movimientos de este ensonificando una zona aleatoria del fondo del mar (ver Figura 4). Este efecto se produce porque el haz no está estabilizado dependiendo este efecto de la magnitud del rolido y el cabeceo del buque, que dependen del estado del tiempo. Un rolido o cabeceo del orden de 10° es probable en un momento de tormenta en altamar .

Por otro lado para obtener un haz angosto debe aumentarse la frecuencia de emisión lo cual significa un aumento en el tamaño del transductor. Para una frecuencia de 12KHz el ancho del haz de emisión es del orden de los 30° y el diámetro del transductor es del orden de los 0.25 m pero requiere un diámetro de aproximadamente 2,95 m para un ancho de haz de 2.5° lo cual aumenta el costo de fabricación.

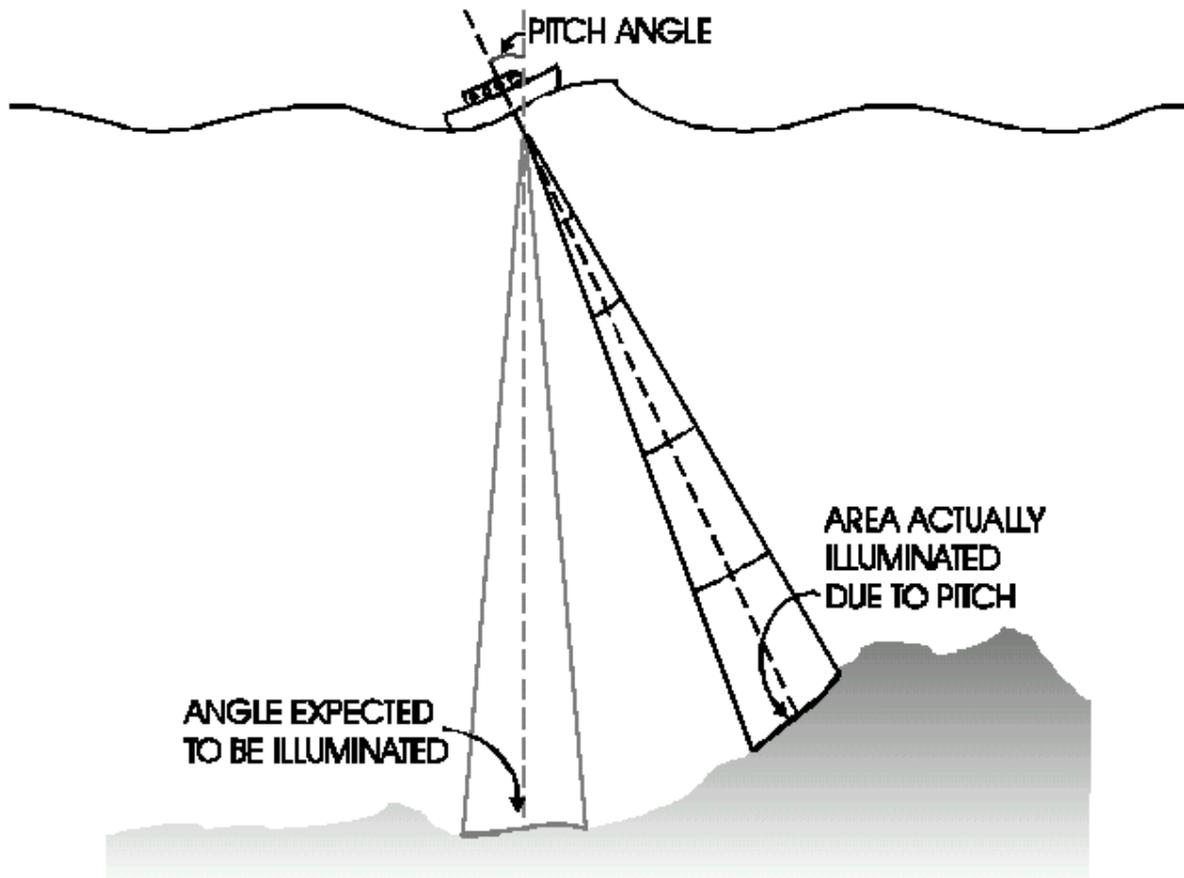


Figura 4

El tamaño del ángulo sólido del haz de emisión determina la precisión con que se determina el posicionamiento de una profundidad. Un observador que utilice una ecosonda puede determinar solamente la parte del fondo que se encuentre dentro de la zona ensonificada por el haz. Es imposible en una ecosonda monohaz extraer una información mejor del fondo.

El valor del ángulo sólido del haz de emisión determina la resolución de la ecosonda pero no lo fija en forma constante debido a que depende de la distancia transductor fondo. La superficie ensonificada por un haz de emisión de un valor fijo, aumenta al aumentar la profundidad (ver Figura 5). La superficie ensonificada es proporcional al valor del ángulo de haz y al cuadrado de la profundidad.

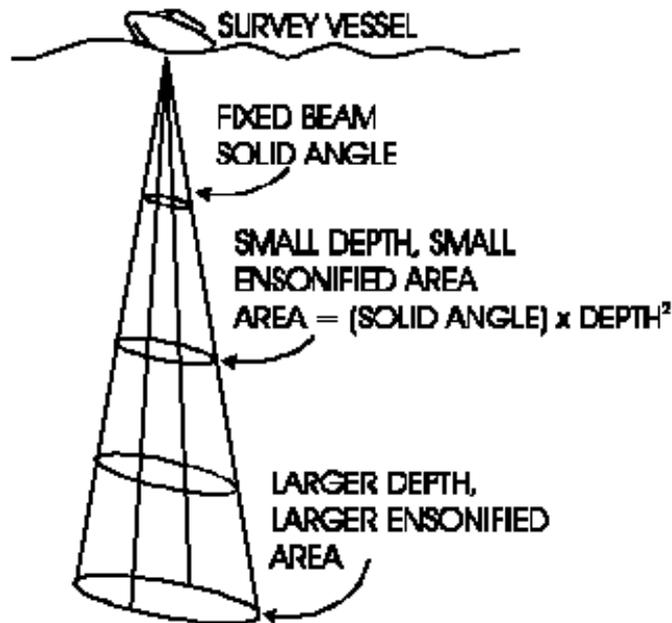


Figura 5

Un levantamiento, para ser rentable debe realizarse en un tiempo determinado. Para que un levantamiento sea hecho en forma correcta debe utilizarse un buque adecuado cuyo precio diario es elevado.

Esto es particularmente válido cuando se opera en aguas profundas donde es necesario disponer de un buque de ciertas dimensiones que tengan una buena respuesta a las condiciones de mar desfavorables y un equipo de profesionales y técnicos que aseguren el cumplimiento de las tareas previstas durante semanas y aun meses. Nunca mas acertado, en el caso de los levantamientos batimétricos, el dicho de “tiempo es dinero”.

La ecosonda monohaz no puede ser considerada como un instrumento eficiente debido a que solamente puede obtener un sondaje por vez. La superficie ensonificada del fondo por la ecosonda monohaz es la única parte del fondo marino que puede considerarse relevada. Para tener información batimétrica de puntos cercanos al relevado es necesario realizar nuevos sondajes.

Recordemos que en el ciclo del pulso, un eco proveniente del fondo debe llegar al transductor antes que sea transmitido el pulso próximo, por lo que la frecuencia de repetición de pulsos no depende del operador sino de la profundidad y de la velocidad de propagación. Si la ecosonda tiene un haz angosto de emisión el levantamiento será hecho con gran precisión individual pero será necesario aumentar la densidad de información, lo que se traduce en un aumento del tiempo de operación.

El proceso puede mejorarse con el uso de una ecosonda de haz ancho que permita ensonificar una superficie mayor a costa de la precisión con detalle y en la determinación de sus coordenadas horizontales.

LA SONDA MULTHAZ

La sonda multihaz es un instrumento que puede llevar a cabo el levantamiento de una zona del fondo del mar con un solo pulso, con una resolución mejor a la de la sonda monohaz. Efectivamente, se comporta como si una sonda común de haz fino actuara sobre diferentes partes del fondo marino al mismo tiempo.

Los lugares del fondo están ubicados de manera tal que permite el levantamiento de una franja de puntos, normal a la dirección de avance del buque de levantamiento. Esta franja se la conoce como barrido y la superficie que abarca como ancho de barrido y sus dimensiones pueden darse en función del ángulo que abarca o de la longitud que barre. Esta longitud de barrido depende del ángulo de barrido, de la profundidad y del alcance máximo (Figura 6).

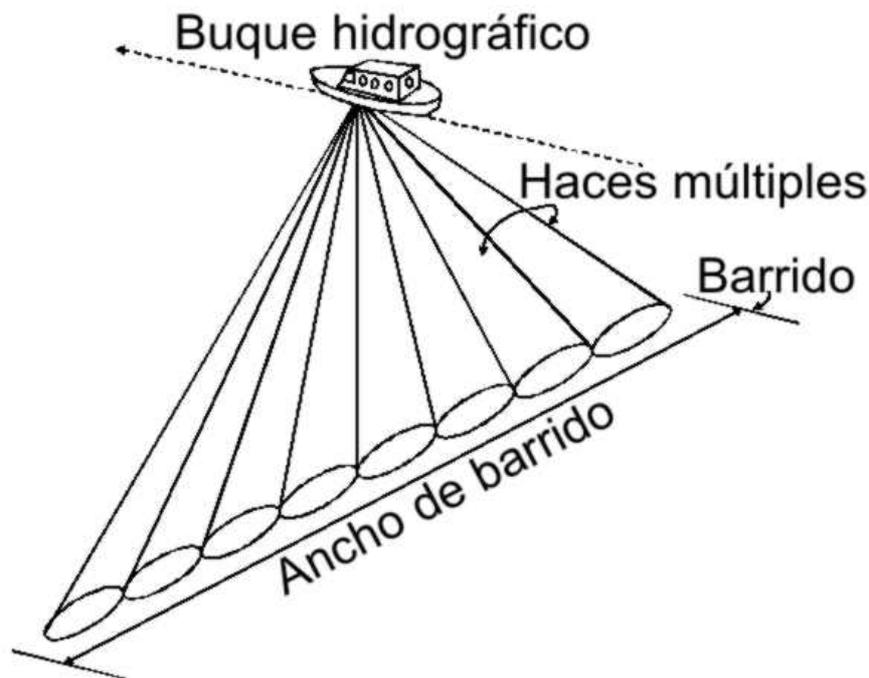


Figura 6

Esta es una gran ventaja de este tipo de sondas. Las sondas multihaz pueden levantar cada franja del fondo en un tiempo que tarda en regresar el eco del punto más alejado de cada barrido. Para una sonda multihaz cuyo ángulo de barrido es de 120° , la frecuencia de repetición de pulso es la mitad de la correspondiente a una monohaz a la misma profundidad pero obtiene 100 sondajes contra uno de la monohaz.

El sistema que implica una sonda multihaz hace que su precio pueda ser varias veces mayor que una monohaz pero ese mayor costo queda compensado con la reducción en la duración de la operación. Como consecuencia de ello, la sonda multihaz es el instrumento de levantamiento que se elige en la mayoría de las operaciones en particular las de alta mar donde el costo operativo de la embarcación de levantamiento es importante. La SEA BEAM 2100 es un sistema multihaz que en cada pulso, permite el levantamiento de 151 puntos cubriendo áreas de kilómetros de ancho en profundidades de unos pocos miles de metros.

INTRODUCCION AL SONAR MULTHAZ –SISTEMAS DE PROYECTOR E HIDROFONO

En lo expuesto examinamos como la sonda multihaz puede asimilarse a una serie de sondas monohaz, introduciendo el concepto de directividad en los proyectores de haz angosto.

En este ítem se describe como:

-el grupo de proyectores llamado arreglo de proyectores y el grupo de hidrófonos llamado arreglo de hidrófonos pueden ser utilizados para transmitir un haz angosto y recibir un eco en forma de haz. Este proceso se conoce como el de formación de haz.

-estos haces angostos pueden ser captados a ángulos predeterminados utilizando un proceso de “direccionalidad.”

-un arreglo de hidrófonos puede registrar el sonido de varios haces dirigidos al mismo tiempo.

-opera un arreglo de proyector e hidrófonos que se combinan en forma de cruz.

-son todas aquellas técnicas que son empleadas en el sistema SEA BEAM 2100.

ARREGLO DE PROYECTOR Y FORMADOR DE HACES

Hemos visto que el pulso que se emite desde una sonda monohaz se expande en forma esférica y que se propaga a través del agua con amplitud uniforme. Esta forma simétrica de propagación se la conoce como expansión isotrópica y el proyector que la produce se lo conoce como fuente isotrópica.

Un buen ejemplo de expansión isotrópica es la formación de ondas en forma circular que se produce cuando una pequeña piedra es arrojada a una superficie de agua quieta (ver Figura 7).

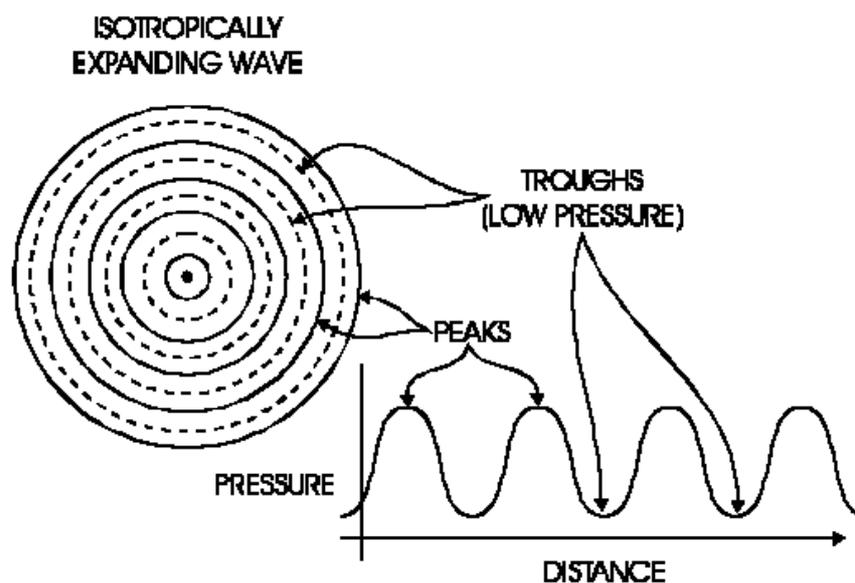


Figura 7

Una fuente isotrónica no es una fuente ideal para ser utilizada en una sonda por dos razones:

- a).-El pulso que se propaga en forma esférica choca con el fondo en todas direcciones. No hay forma de determinar la dirección de la que proviene un eco del fondo por lo que no puede discernirse la información.
- b).- La potencia de emisión también se propaga en todas las direcciones de manera tal que ensonifica áreas que pueden no interesar.

Afortunadamente, los grupos de fuentes isotrónicas llamadas arreglo de proyectores, pueden ser utilizados para la transmisión de ondas no isotrónicas u ondas sonoras cuya amplitud varíe en función de su ubicación angular (aunque se expandan en forma esférica) permitiendo la emisión de pulsos que tienen un cierto grado de directividad.

Los pulsos dirigidos pueden ser utilizados para ensonificar áreas específicas del fondo del mar causando ecos fuertes de esos puntos de interés. Las distancias a los mismos generan una mayor y más detallada información del fondo.

También se ha visto que las ondas sonoras están compuestas por una serie de oscilaciones de presión. La líneas circulares de la Figura 7 presentan los picos de alta presión. Espaciadas en media longitud de onda se encuentran los puntos de baja presión que han sido representados por la línea de trazos.

Idealmente un proyector simplificado en un punto produce una onda que se expande en forma isotrónica. Operando en una frecuencia constante se creara una serie continua de puntos equidistantes de máxima presión y de mínima presión en forma similar a la de la Figura 7.

Si dos proyectores cercanos están emitiendo señales idénticas expandidas isotrónicamente, sus respectivas ondas se superpondrán e interferirán una con otra. Esta situación está graficada en el figura 8.

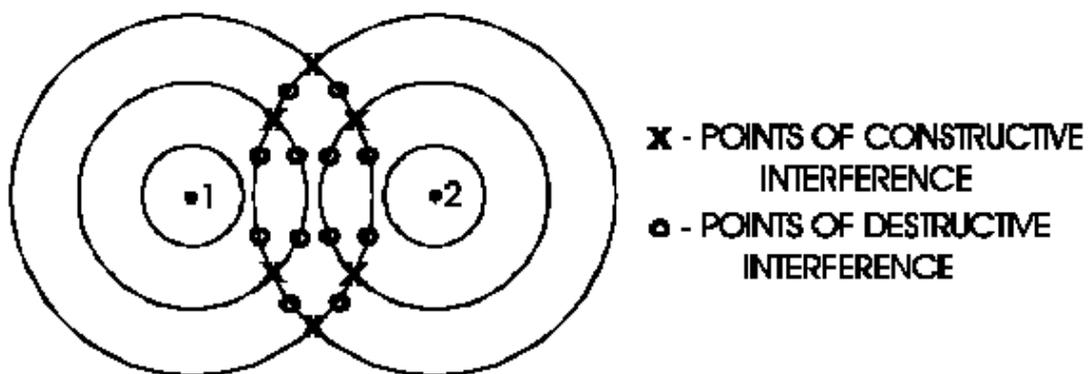


Figura 8

En algunos puntos, las crestas de una onda coinciden con las de la otra, se suman y crean una onda de mayor intensidad. Los valles que coinciden con valles, crean valles más profundos y onda de mayor intensidad. Ambas interferencias son constructivas.

En otros puntos los valles de una onda coinciden con las crestas de la otra onda cancelándose ambas ondas. Este tipo de interferencia se llama interferencia destructiva.

En general las interferencias constructivas se producen en los puntos cuyas distancias a ambos proyectores es la misma o cuando la diferencia entre ambas es igual a un número entero de longitudes de onda.

La interferencia destructiva se produce en los lugares donde la diferencia entre las distancias a ambos proyectores es igual a media longitud de onda o un número impar de medias longitudes de onda.

Si colocamos un hidrófono en un punto donde se produce una interferencia constructiva, la amplitud de la onda resultante tendrá una amplitud doble de la emitida por cada uno de los proyectores.

Pero si lo colocamos en un punto donde se produce la interferencia destructiva, la intensidad de la onda resultante será nula. Dónde se encuentran estos lugares?.

En la Figura 9 pueden observarse dos proyectores separados a una distancia d que llamaremos elemento de distancia.

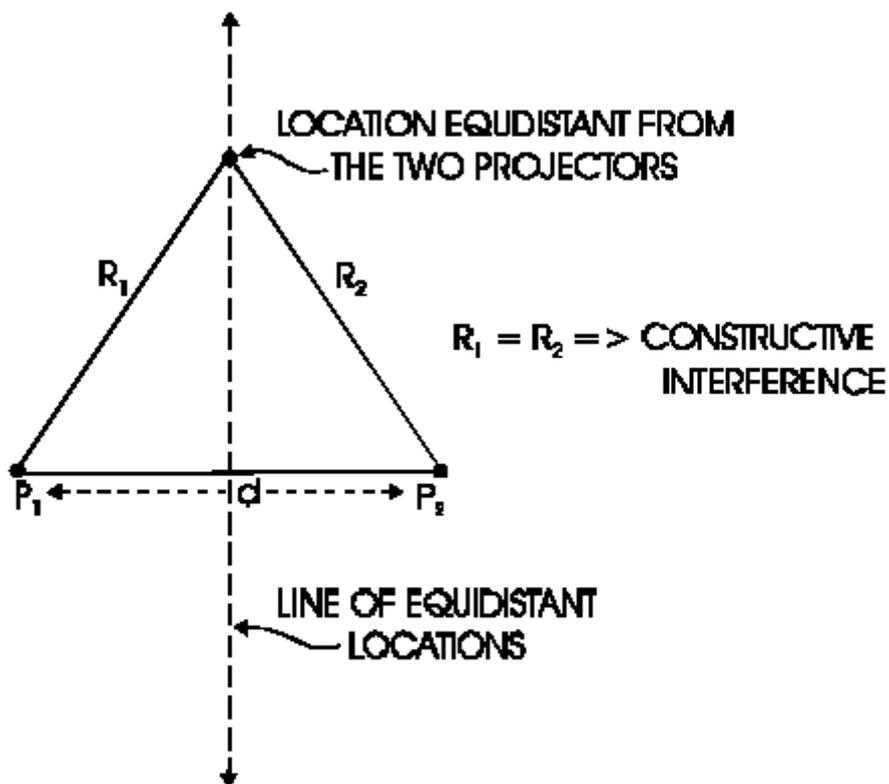


Figura 9

Dado un punto situado a una distancia R_1 de P_1 y R_2 de P_2 si es colocado sobre la bisectriz del segmento $P_1 P_2$, en cualquier posición se encontrará equidistante de P_1 y de P_2 por lo tanto será lugar de interferencia constructiva.

Otros lugares donde se produce la interferencia constructiva no son tan obvios de determinar, pero pueden hallarse empleando simples soluciones geométricas.

En la Figura 10 los proyectores P_1 y P_2 se hallan separados a la distancia d . Sea un punto situado a la distancia R_1 de P_1 y a la distancia R_2 de P_2 , suficientemente alejado como para considerar paralelas las direcciones desde el punto de interés a los proyectores P_1 y P_2 (la distancia del punto a los proyectores es muy grande con respecto a d).

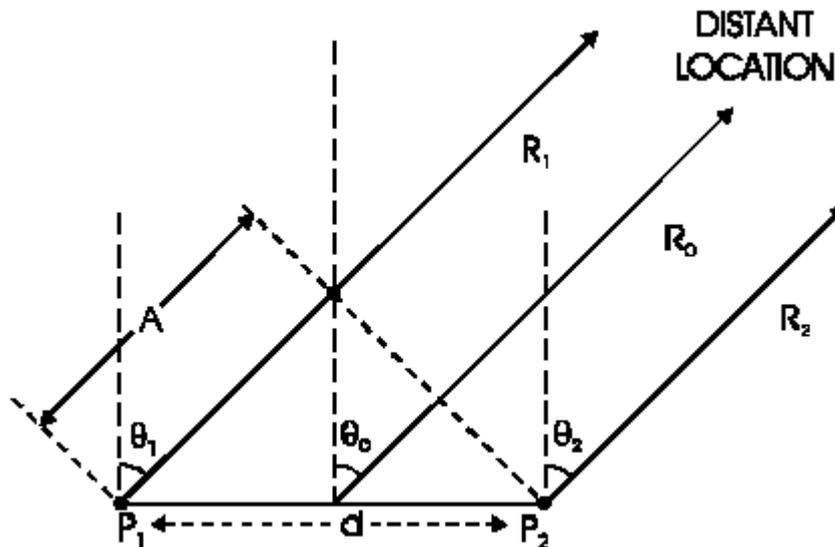


Figura 10

Supongamos una dirección general R_0 con origen en el punto medio del segmento P_1P_2 y que forma un ángulo θ_0 con la mediatriz del mencionado segmento.

Luego se cumplirá que:

$$\theta_0 = \theta_1 = \theta_2$$

La diferencia de distancias al punto intersecado desde P_1 y P_2 será la distancia A entre las líneas punteadas en la Figura 10 y su valor será:

$$A = d \cdot \cos(90^\circ - \theta_0) :$$

$$A = d \cdot \text{sen } \theta_0 \quad (1)$$

Recordando que la interferencia constructiva se produce cuando A es un número entero de λ ($A / \lambda = 0,1,2,3,4,\dots$) y reemplazando el valor de A en la ecuación (1):

$$d / \lambda \cdot \text{sen } \theta_0 = 0,1,2,3,4,5,\dots, \text{ etc}$$

En forma similar podemos determinar que la interferencia destructiva se produce cuando:

$$d / \lambda \cdot \text{sen } \theta_0 = 0.5, 1.5, 2.5, 3.5, 4.5,\dots, \text{ etc} \quad (2)$$

Analizando estas ecuaciones podemos ver que tanto la interferencia constructiva como la destructiva se produce en lugares que dependen de la distancia d entre proyectores, de λ ,

longitud de la onda emisora y del ángulo θ de la dirección al lugar.

Tanto d como λ son constantes de construcción y diseño de la sonda, la única variable es θ . Esto significa que un par de proyectores configurados como se ve en la figura, transmitirán ondas que produzcan interferencias constructivas (o sea de gran amplitud) solo en ciertas direcciones mientras en otras, la interferencia destructiva que producen hará que la onda sea de intensidad nula.

Conociendo valores de d en función de λ , pueden determinarse cuales son las direcciones donde se producirán interferencias constructivas o destructivas.

En general las sondas tienen un espaciamiento $d = \lambda / 2$ entre proyectores. Utilizando este valor, la solución de la ecuación (2) sería:

Interferencia constructiva: $\theta = 0^\circ, 180^\circ$

Interferencia destructiva: $\theta = 90^\circ, 270^\circ$

De esta manera, el arreglo de dos transmisores emitirá la energía máxima en las direcciones $\theta = 0^\circ$ y 180° y en las direcciones $\theta = 90^\circ$ y 270° la emisión quedará anulada (ver Figura 11)

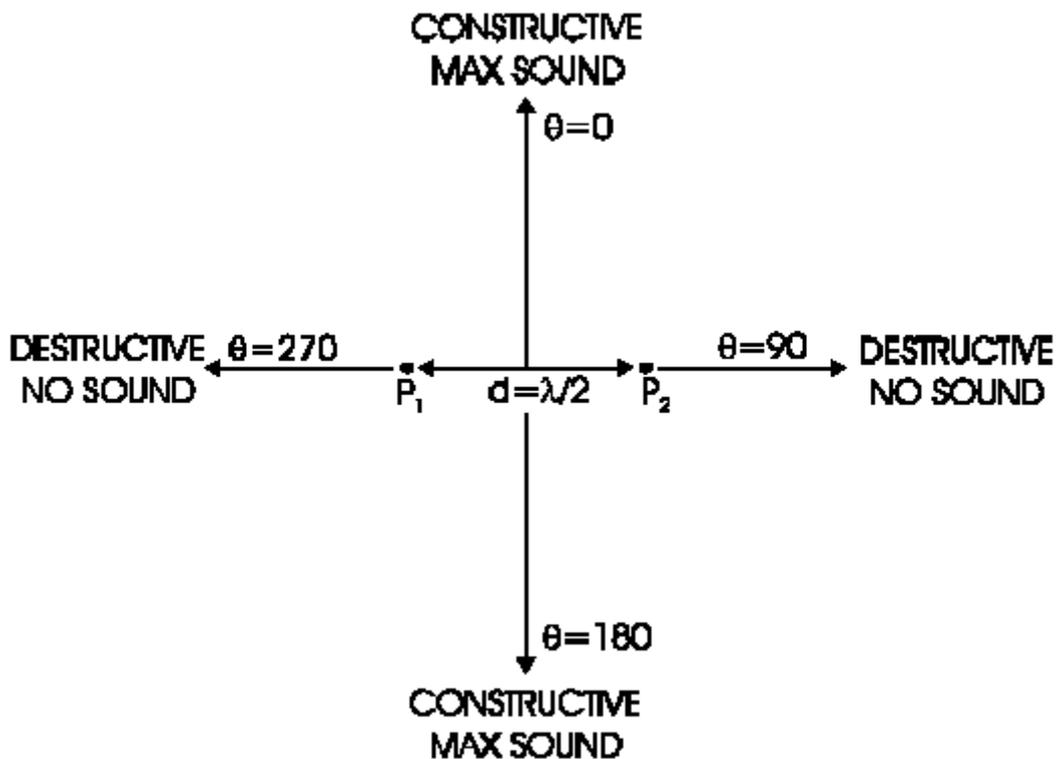


Figura 11

La emisión de este sistema puede ser registrada por un hidrófono ubicándolo a diferentes ángulos en diferentes puntos alrededor del sistema. Se registrará la máxima intensidad a 0° y a 180° mientras que a las direcciones 90° y 270° no se registrará señal alguna.

En las direcciones intermedias se producirá una mezcla de interferencias constructivas y destructivas de amplitudes intermedias.

Trasladando el hidrófono por una serie de radios y diferentes ángulos alrededor del arreglo de proyectores puede registrarse la amplitud del sonido emitido en las diferentes direcciones. En la figura 12 se han planteado amplitudes registradas en función del ángulo para un arreglo de dos proyectores, es un gráfico polar donde se han registrado las amplitudes medidas a lo largo de líneas radiales a partir del centro.

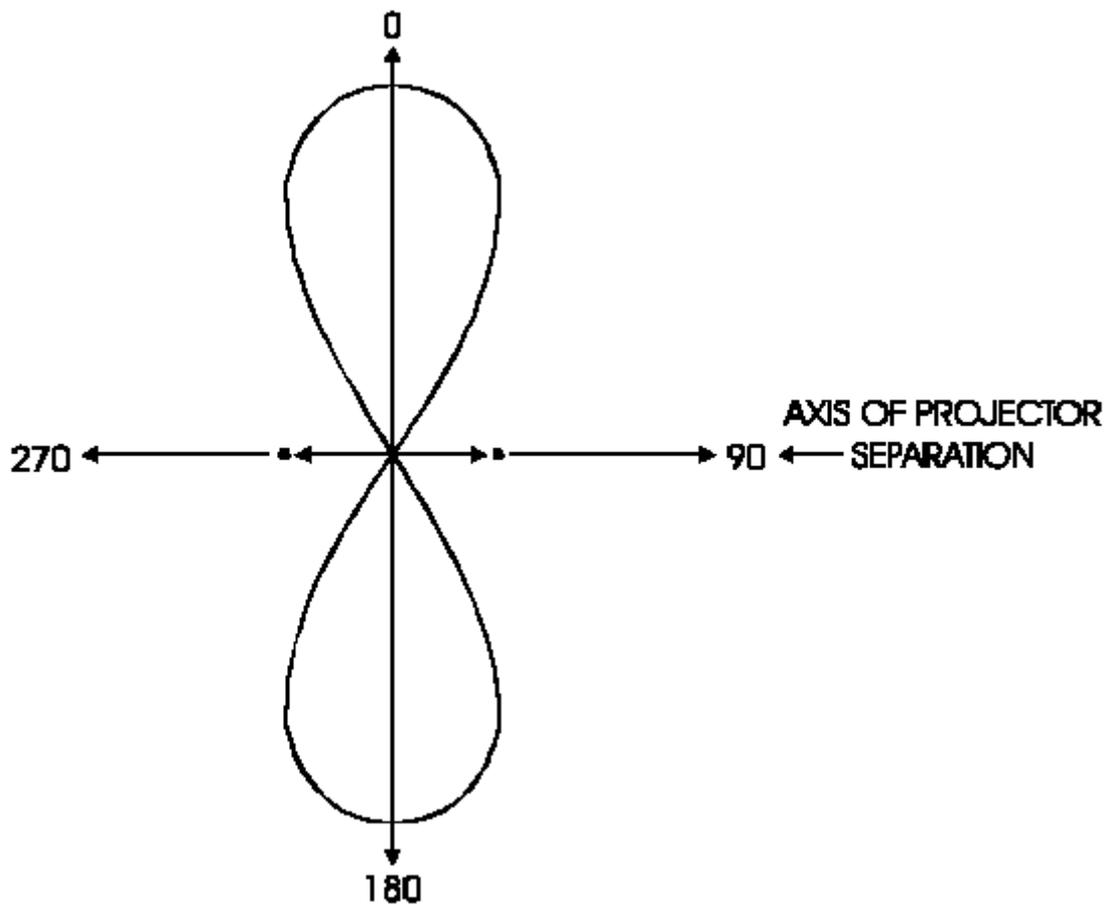


Figura 12

Este gráfico es conocido como configuración de haz, configuración del arreglo y algunas veces configuración de potencia. Este gráfico muestra claramente que el grueso de la energía emitida por el arreglo de los dos proyectores se propaga perpendicularmente al eje de separación de los proyectores.

Recordemos que los proyectores operan en 3D de manera que para representar la configuración del haz en forma precisa, debe rotar la Figura 12 sobre el eje de separación de los proyectores que a su vez es eje de simetría del haz (ver Figura 14)

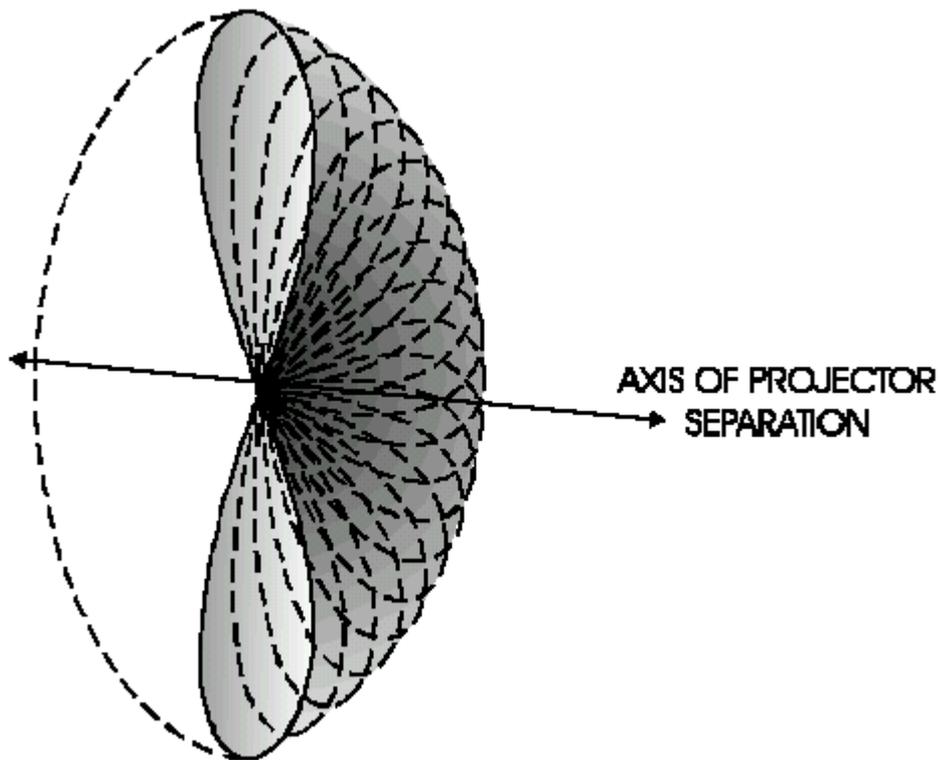


Figura 14

Debido a la dificultad de interpretar un dibujo tridimensional los gráficos se hacen normalmente en 2D.

Para aquellas representaciones de haces con eje de simetría, los dibujos en 2D proveen una descripción completa. Configuraciones más complejas y asimétricas son representadas por medio de una serie de dibujos cada uno de los cuales representa la sección transversal del haz a diferentes ángulos.

La Figura 13 puede interpretarse como un ploteo del ángulo al que se dirige la energía de un pulso acústico. En la figura, el nivel más alto de energía acústica corresponde a la dirección perpendicular al eje de separación de los proyectores. Los objetos que se encuentran en esa dirección son ensonificados con la mayor energía y se reflejan como fuertes ecos. Los objetos situados en otras direcciones se reflejan como ecos débiles. A esta forma de selección de la energía se la denomina *directividad*.

El diagrama del haz provee una forma de medir la directividad del sistema. El arreglo de proyectores que dirigen el grueso de la energía dentro un ángulo pequeño, se le considera como de alta directividad.

En la práctica los arreglos de proyectores tienen más de dos elementos y producen un complejo diagrama de energía.

Una configuración común es una simple expansión del arreglo de dos proyectores. Un arreglo de más de dos proyectores alineados se denomina arreglo lineal.

En la Figura 15 puede observarse el diagrama de un arreglo de elementos múltiples:

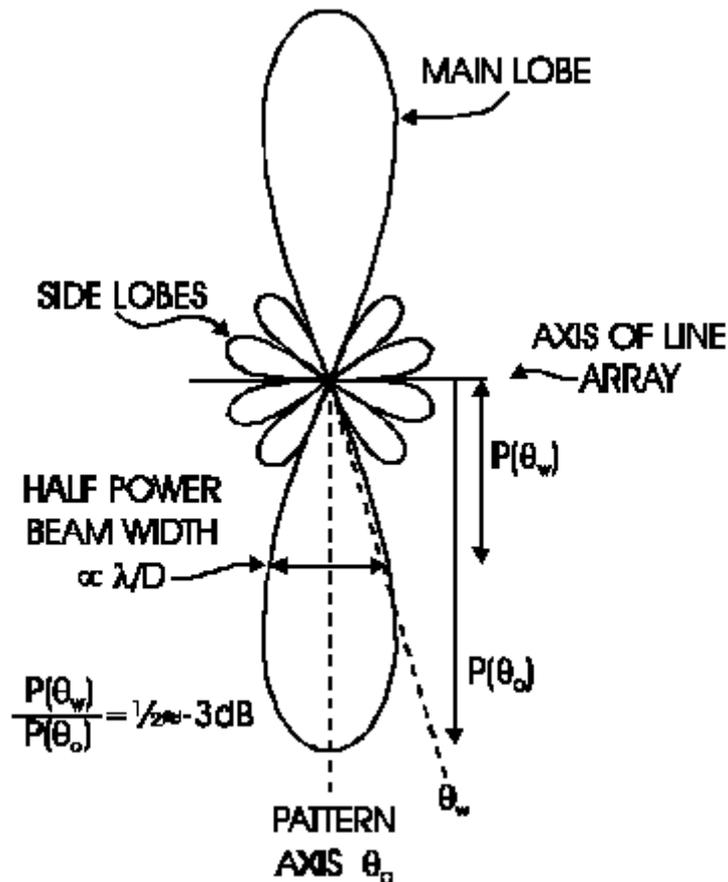


Figura 15

Para la confección de este diagrama se requiere un proceso matemático detallado como una ampliación del razonamiento utilizado para llegar al arreglo de dos proyectores. Este complejo diagrama puede ser utilizado para resaltar las características de otros diagramas.

El grueso de la energía en el diagrama de haz correspondiente a un arreglo lineal corresponde al llamado lóbulo principal. El eje del lóbulo principal es denominado eje de máxima respuesta y el ancho del lóbulo o del ángulo sólido es una medida de la direccionabilidad o directividad del arreglo.

A su vez este ángulo es el doble del ángulo desde el eje del punto de media potencia en el diagrama, ángulo en el que la potencia es la mitad de la del eje. Esto se conoce como el ancho de haz medido al punto -3dB donde la potencia del proyector es -3dB en el eje. Estos puntos tienen el mismo valor.

El lóbulo principal del arreglo lineal es mas fino que el que corresponde al arreglo de dos proyectores.

En general alargar el arreglo del sistema de proyección en una dimensión, significa afinar el lóbulo principal del haz que se proyecta en la normal de la dimensión que se alargue.

Una primera aproximación para determinar el ángulo θ determinado por el ancho D del lóbulo principal del diagrama (donde D en el caso de una sonda monohaz es el tamaño del transductor

y en el caso de una sonda multihaz de N elementos separados a una distancia d , es $(N - 1)d$ transmitiendo con una frecuencia de longitud de onda λ , es:

$$\theta = 50.6 \cdot \lambda / D$$

Esta ecuación ilustra alguna de las consideraciones de diseño que se tuvieron en cuenta para la construcción del sistema de un sonar.

Si se desea un sistema sonar de alta resolución es necesario un haz fino. El ancho de haz puede reducirse haciendo mas largos los arreglos de los proyectores pero hay límites físicos que no pueden superarse.

Existe la alternativa de utilizar altas frecuencias aunque estas sufren una gran atenuación en el agua (como fue descrito anteriormente).

Pero la atenuación puede superarse aumentando la potencia de transmisión aunque existen límites para que un simple proyector pueda transmitir el grueso de la potencia manteniendo una señal pura en el agua.

A ambos lados del lóbulo principal hay una serie de lóbulos laterales donde también tienen lugar interferencias constructivas parciales. En general el propósito de los arreglos es ensonificar blancos en la dirección del lóbulo principal. Los lóbulos laterales, tienen la desventaja no solamente de dispersar la energía del proyector en otras direcciones sino que los ecos provenientes de ellos no pueden ser identificados confundiéndolos con los provenientes del lóbulo principal.

El mas cercano de los lóbulos laterales de cada lado del principal, se llama primer lóbulo lateral y así sucesivamente segundo lóbulo lateral etc.

El nivel de los lóbulos laterales medidos en dB, es la relación entre la potencia que se proyecta en ellos y la que se proyecta en el lóbulo principal. Para un arreglo donde los proyectores emiten todos con la misma potencia, el nivel del primer lóbulo lateral será aproximadamente de - 13dB.

Los lóbulos laterales son imposibles de evitar, aun aumentando la energía de las señales emitidas por los proyectores de los elementos centrales del arreglo y disminuyendo la de los bordes del arreglo. Esta técnica es conocida como sombreado (*shading*) y *el nivel de sombreado* esta dado por la relación entre la energía proyectada por cada proyector y la máxima proyectada por el elemento pico.

Existe una gran variedad de algoritmos para determinar el valor de sombreado a aplicar a cada uno de los elementos del arreglo. Diferentes combinaciones de valores de sombreado producen diferentes estructuras de lóbulos laterales.

Para llevar a todos los lóbulos laterales a un mismo valor de sombreado, se utiliza el esquema conocido como de DOLPH-CHEVYSHEV.

En teoría, este *nivel de sombreado* puede tener cualquier valor pero por prácticas son limitados a un valor máximo de - 40dB debido a que no sólo puede reducir los lóbulos laterales sino

que al mismo tiempo aumenta el ancho del lóbulo principal, haciendo decrecer la directividad del sistema con lo cual se disminuyen las ventajas de un arreglo grande.

En la tabla que sigue puede compararse, el ancho aproximado de los lóbulos principales para diferentes longitudes de arreglos .

NUMERO DE ELEMENTOS	ANCHO DE HAZ	
	SIN SOMBREADO	CHEBYSHEV
20	5.1°	6.8°
40	2.5°	3.3°
48	2.1°	2.8°
80	1.3°	1.6°
96	1.1°	1.4°

En la segunda columna se encuentran aquellos a los cuales no se les ha introducido el método de sombreado (nivel del primer lóbulo lateral = -13dB). En la tercera columna se encuentran los valores correspondientes a la introducción del método CHEVYSHEV.

Descubrir el balance apropiado entre el *sombreado*, la longitud del arreglo y la distribución de los elementos del arreglo que permitan la máxima “directividad” con la mínima producción de lóbulos laterales es un arte muy complicado.

ARREGLO DE LOS HIDROFONOS

En las secciones anteriores se ha visto como pueden utilizarse los arreglos de proyectores a efectos de generar un haz angosto que ensonifique pequeñas zonas del fondo del mar.

Los hidrófonos pueden distribuirse en arreglos tal como los proyectores. Los arreglos de proyectores emiten sonido en haces finos y los hidrófonos son utilizados para recibir el sonido proveniente de esos haces.

Es sencillo ver como trabajan. Desde la Figura 16 a la 21, se analiza un arreglo lineal de hidrófonos en dos situaciones.

En la Figura 16 una fuente perpendicular al eje del arreglo lineal, se encuentra produciendo ondas acústicas . La fuente de estas ondas esta lo suficientemente alejado de manera que los frentes de onda arriban al arreglo de los hidrófonos según una serie de líneas paralelas. Cada hidrófono hace una medición independiente de la onda que recibe. La señal medida por cada hidrófono es medida en función del tiempo y puede ser ploteada como *traza de la señal*.

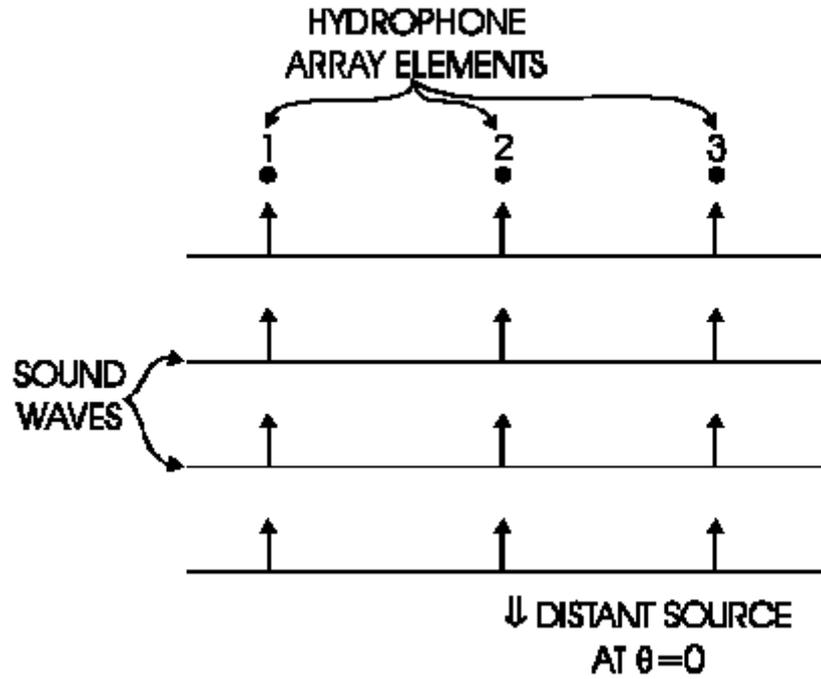


Figura 16

La Figura 17 muestra las trazas de tres señales provenientes de tres hidrófonos diferentes.

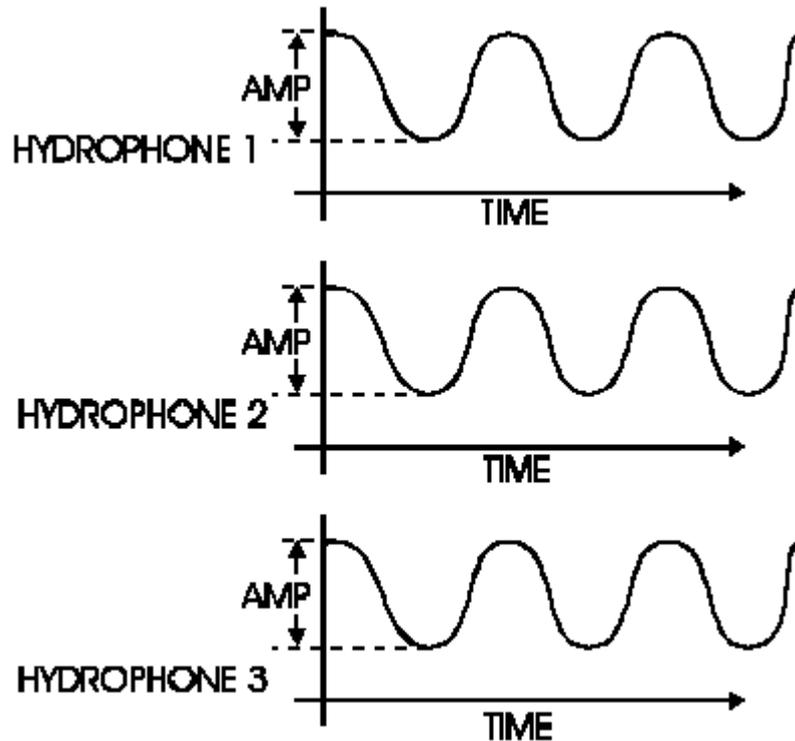


Figura 17

Debido a la distancia de la fuente y a que los frentes de onda son paralelos llegan a los hidrófonos todos al mismo tiempo produciendo tres ploteos exactamente iguales de manera que

los picos y los valles ocurren en el mismo instante en todos los hidrófonos. Esto significa que las tres trazas se encuentran en fase. Sumando las amplitudes de las tres trazas se obtiene una traza resultante de la misma frecuencia que las tres originales pero con una amplitud tres veces mayor (ver Figura 18).

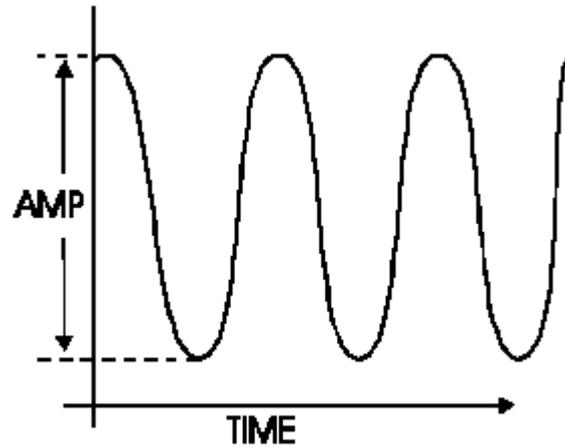


Figura 18

La medición de las señales de los tres hidrófonos se suma como interferencias constructivas. En forma general, el arreglo hidrofónico es altamente sensible a los sonidos provenientes de esa dirección.

La Figura 19 muestra el mismo arreglo hidrofónico que recibe las ondas sonoras desde una fuente que se encuentra a un ángulo θ desde la perpendicular.

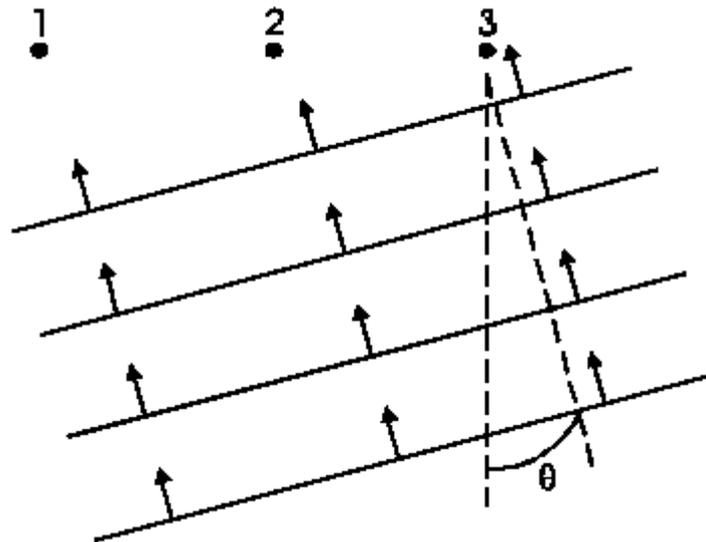


Figura 19

Debido a la angularidad de la fuente, las ondas paralelas provenientes de esa fuente, los hidrófonos del arreglo reciben la misma onda en tiempos diferentes. Cada pico o cada valle es recibido por cada uno de los hidrófonos en tiempos diferentes como puede verse en la

Figura.20.

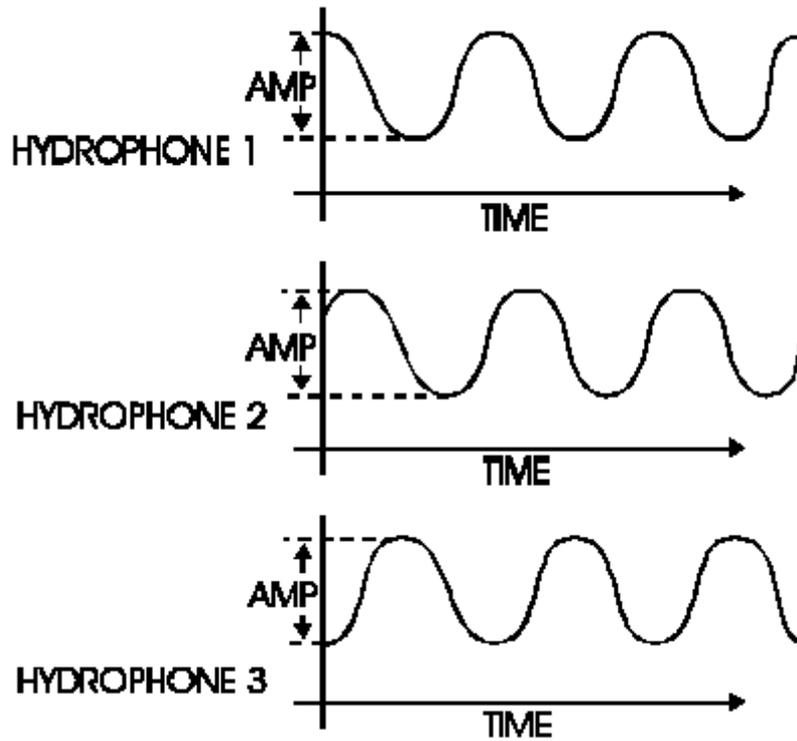


Figura 20

Los tres registros se encuentran fuera de fase. Las sumas de los picos y los valles parecen eliminarse unos a otros de modo que se producen interferencias destructivas (ver Figura 21).

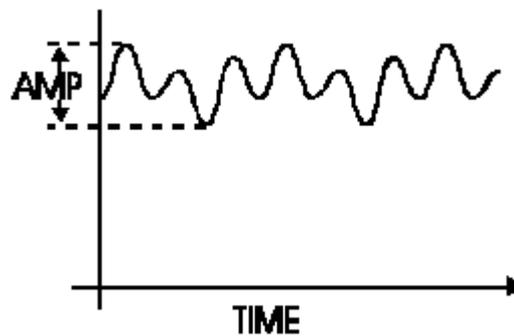


Figura 21

En forma general, el arreglo hidrofónico no es sensible a sonidos provenientes de esa dirección. Colocando la fuente a una distancia suficientemente grande pero a diferentes ángulos alrededor del arreglo hidrofónico y registrando las sumas de las señales que arriban a los hidrófonos se puede generar un diagrama similar al de la Figura 22.

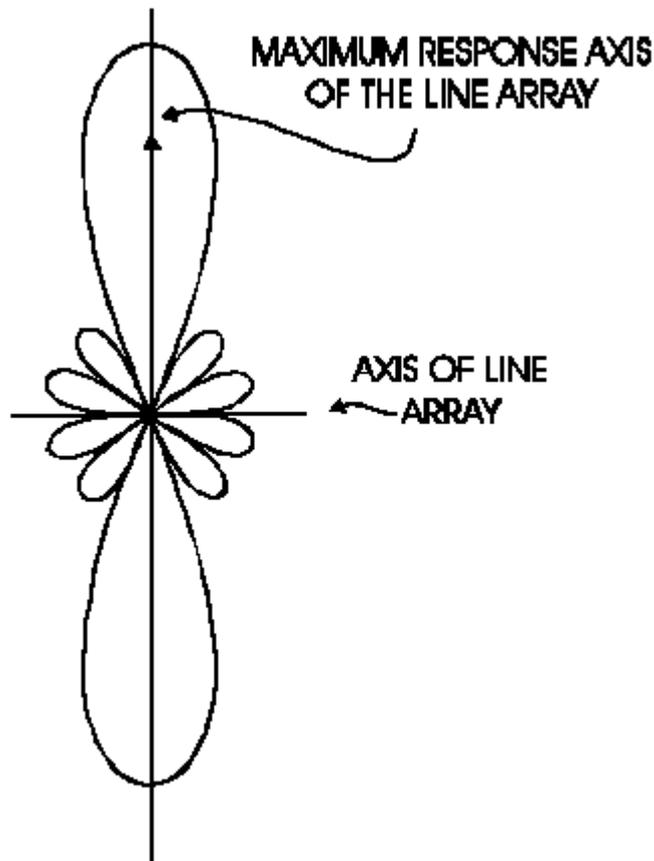


Figura 22

Esta figura muestra el diagrama resultante de tal serie de medidas para un arreglo hidrofónico lineal y como en el caso de los arreglos de proyectores estos gráficos se denominan diagramas de haz y comparten muchas características y terminología asociada a los proyectores como lóbulo principal, lóbulos laterales, ejes, sombreado, anchos de haz, todos ellos definidos con el mismo sentido.

En efecto, si queremos medir el diagrama de haces de un arreglo de transductores operando como proyectores o como hidrófonos indistintamente, los diagramas serán idénticos. Esto se conoce como *principio de reciprocidad* debido a que un arreglo de hidrófonos sigue exactamente las mismas reglas que un arreglo de proyectores.

Resumiendo, los puntos importantes a recordar acerca de los diagramas de haz, tanto de proyectores como de hidrófonos son los siguientes:

Aumentando la longitud del arreglo se afina el ancho del lóbulo principal en el plano normal al del arreglo.

El ancho del lóbulo principal se mide en el punto de mitad de potencia.

Los lóbulos laterales son indeseables pero inevitables.

Los lóbulos laterales pueden atenuarse con técnicas de sombreado pero a costa del

ensanchamiento del lóbulo principal.

El patrón del haz de un arreglo de transductores actuando como proyectores es el mismo que cuando actúan como hidrófonos.

HAZ DIRIGIDO

Anteriormente se vio como un arreglo de hidrófonos puede ser utilizado para recibir preferentemente sonidos desde una dirección normal al arreglo.

En este ítem se describirá como puede alterarse un arreglo para que reciba preferentemente sonidos provenientes desde un número cualquiera de direcciones. Esta técnica se llama de *haz dirigido*.

Efectivamente esta técnica permite que el ángulo del eje del diagrama de haz, tal como se ve en la Figura 23 pueda ser cambiado.

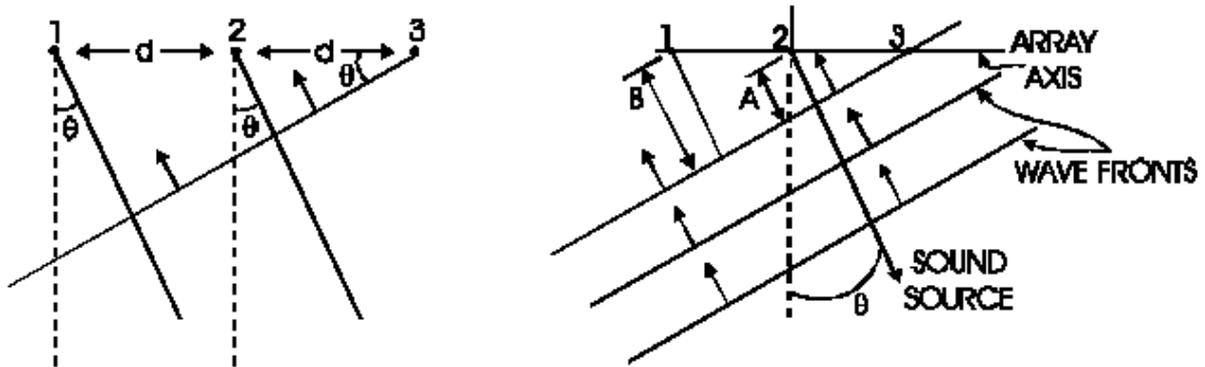


Figura 23

Una vez mas consideraremos un arreglo lineal de receptores que reciben de una fuente angulada un valor arbitrario θ° con respecto a la normal al arreglo (ver Fig.23).

El sonido proveniente de esta fuente angulada arriba a los elementos que forma el arreglo de hidrófonos, fuera de fase, causando en diferentes hidrófonos una interferencia destructiva. La razón de que esto ocurra es que las ondas acústicas en este caso, deben recorrer caminos de diferente longitud hasta llegar a cada hidrófono.

En la Figura 23 la primera onda que llega lo hace al hidrófono 3 debiendo recorrer además la distancia A para llegar al hidrófono 2 mas la distancia B para llegar al hidrófono 1. Estas distancias se determinan en función de la distancia entre hidrófonos (que asumimos que sea igual a d) y el ángulo igual a θ .

$$A = d \cdot \text{sen } \theta$$

$$B = 2d \cdot \text{sen } \theta$$

El tiempo suplementario, requerido para que el frente de onda arribe a cada hidrófono, a partir de la llegada al primero, depende de las distancias y de la velocidad de propagación del sonido en el lugar (c) :

$$T_2 \text{ (tiempo al hidrófono 2)} = A/c = (d \cdot \text{sen } \theta)/c$$

$$T_1 \text{ (tiempo al hidrófono 1)} = B/c = (2d \cdot \text{sen } \theta)/c$$

Conociendo esta diferencia de tiempo o defasaje de la onda se puede inducir al arreglo hidrofónico para que tenga su máximo de sensibilidad a las señales provenientes desde la dirección θ° por la suma de las lecturas individuales de cada hidrófono levemente retrasadas en tiempo de manera que el frente de onda presente una interferencia constructiva.

En este ejemplo podemos sumar la lectura del hidrófono 3 con la del hidrófono 2 retrasada en T_2 y la lectura del hidrófono 1 retrasada T_1 . Esto es lo que se llama *introducción de retardo*. Esto produce un “angulamiento” del lóbulo principal de manera que su eje quede dirigido al ángulo θ° tal como puede verse en la Figura 24.

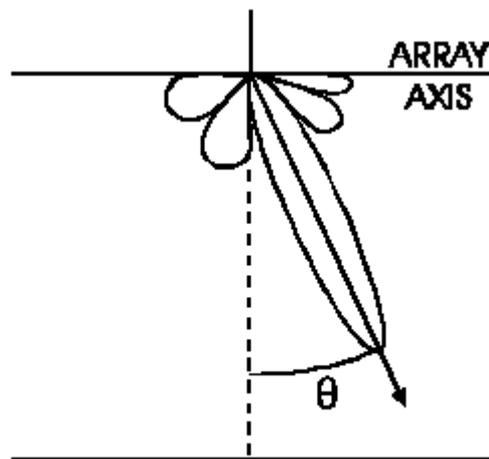


Figura 24

Aplicando los retardos o alternativamente el defasaje equivalente a las lecturas de los hidrófonos y sumándolas puede “angularse” un arreglo hidrofónico para maximizar su sensibilidad receptiva a cualquier ángulo θ .

Nótese que “apuntando” o “angulando” un arreglo hidrofónico para aumentar su sensibilidad a un ángulo dado no se cambia ni se varía ningún elemento constitutivo del mismo solamente se altera la interpretación de la información que registra.

Haciendo cambios en el procesamiento de la información, el mismo arreglo hidrofónico puede ser “apuntado” o “angulado” para observar cualquiera de un gran número de direcciones utilizando la misma información registrada por el arreglo hidrofónico.

En efecto, utilizando la misma información registrada por los elementos del arreglo hidrofónico, pueden utilizarse diferentes formas de procesamiento para examinar los sonidos

provenientes de diferentes ángulos en forma simultanea.

De esta manera un arreglo hidrofónico puede utilizarse para analizar los ecos producidos por un solo ping provenientes de varios lugares. El producto de este proceso (las series de trazas de haces dirigidos $B_{\theta_1}(t)$, $B_{\theta_2}(t)$, $B_{\theta_n}(t)$) pueden ser tratados como una serie de medidas independientes de señales provenientes de diferentes direcciones entre θ_1 y θ_n . Efectivamente, la direccionalidad de los haces se utiliza para crear una serie de arreglos hidrofónicos virtuales cada uno sensible a un ángulo diferente (ver Figura 25).

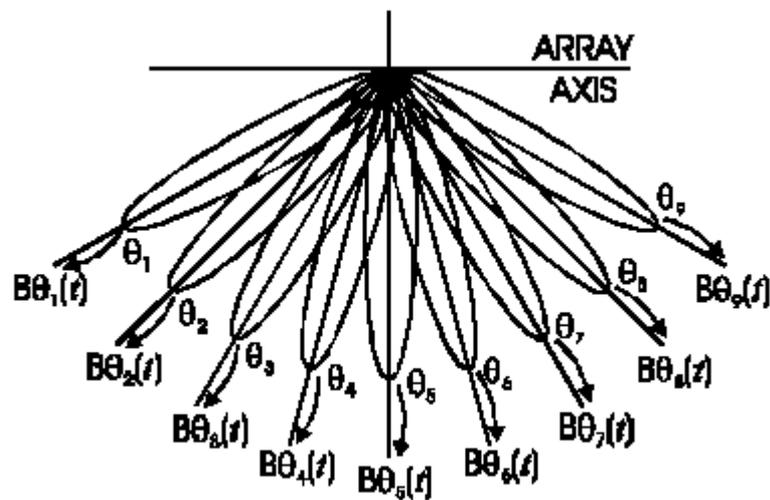


Figura 25

LA TÉCNICA DE LOS TRANSDUCTORES CRUZADOS O EN ARREGLO “ASPAS DE MOLINO”.

En las Figuras 15, 22, 24 y 25, los diagramas de haz son bidimensionales representando una realidad tridimensional. En cada uno de esos casos, se puede obtener el diagrama verdadero, rotando las figuras sobre el eje del arreglo (ver Fig. 13 y 14).

Un arreglo lineal de proyectores transmite señales acústicas en todas direcciones preferiblemente en el plano normal al eje del arreglo, ensonificando una franja del fondo oceánico (ver Figura 26).

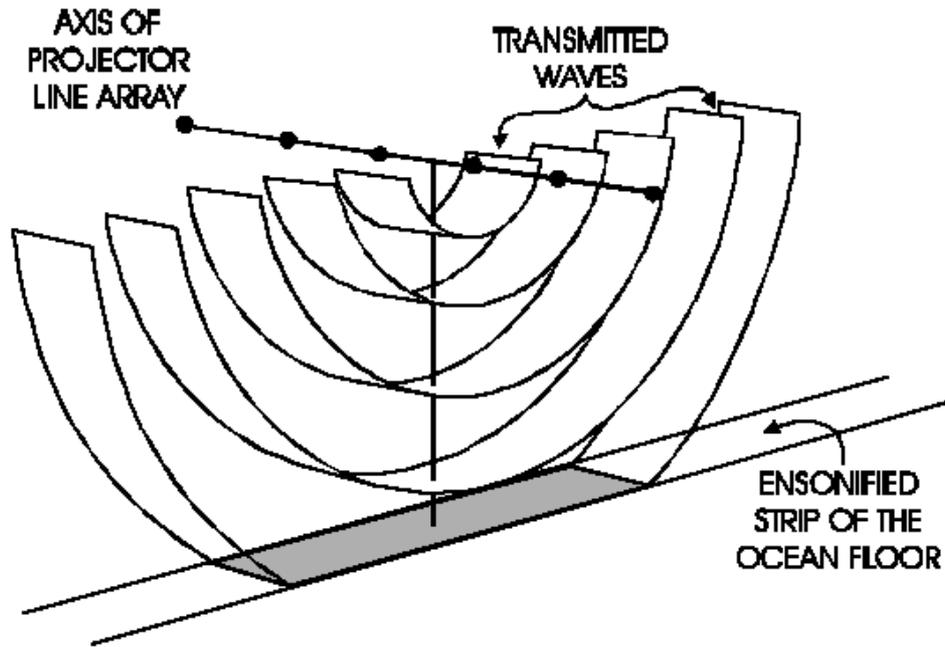


Figura 26

De la misma manera, un arreglo lineal de hidrófonos, paralelo al arreglo de proyectores, recoge los ecos de todos los puntos de la misma franja ensonificada.

Si el objetivo es determinar la posición precisa de los puntos de donde provienen los ecos, este sistema no es adecuado, no se puede saber, de que punto de la franja proviene cada eco. No obstante, si el arreglo de hidrófonos y el de proyectores se instalan según direcciones normales, la franja ensonificada en el fondo del mar coincidirá con la franja observada por los hidrófonos.

Esto ocurre en una pequeña área cuyas dimensiones corresponden aproximadamente al ancho de haz del proyector y el hidrófono (ver Figura 27).

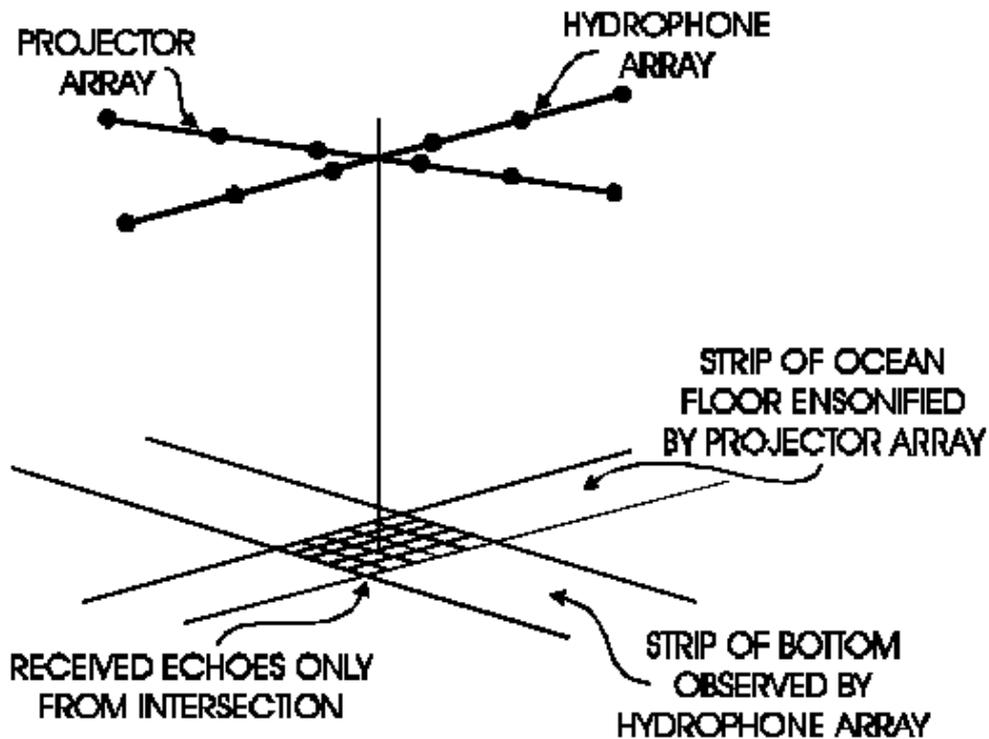


Figura 27

Mientras los ecos provienen del total de la franja ensonificada y el sonido puede ser recibido de toda el área observada, la única zona del fondo que es al mismo tiempo ensonificada por el arreglo de los proyectores y observada por el arreglo hidrofónico, es aquella en la cual se superponen ambos haces.

El arreglo perpendicular del proyector con la línea de hidrófonos es llamado de “aspas cruzadas” o “aspas de molino”.

Recordemos que los haces dirigidos observan los ecos generados desde múltiples ángulos generados en el arreglo hidrofónico. Luego los diferentes ángulos permiten observar franjas paralelas del fondo las cuales, utilizando el sistema de “aspas cruzadas” intersectan la zona ensonificada en una serie de áreas pequeñas (ver Figura 28).

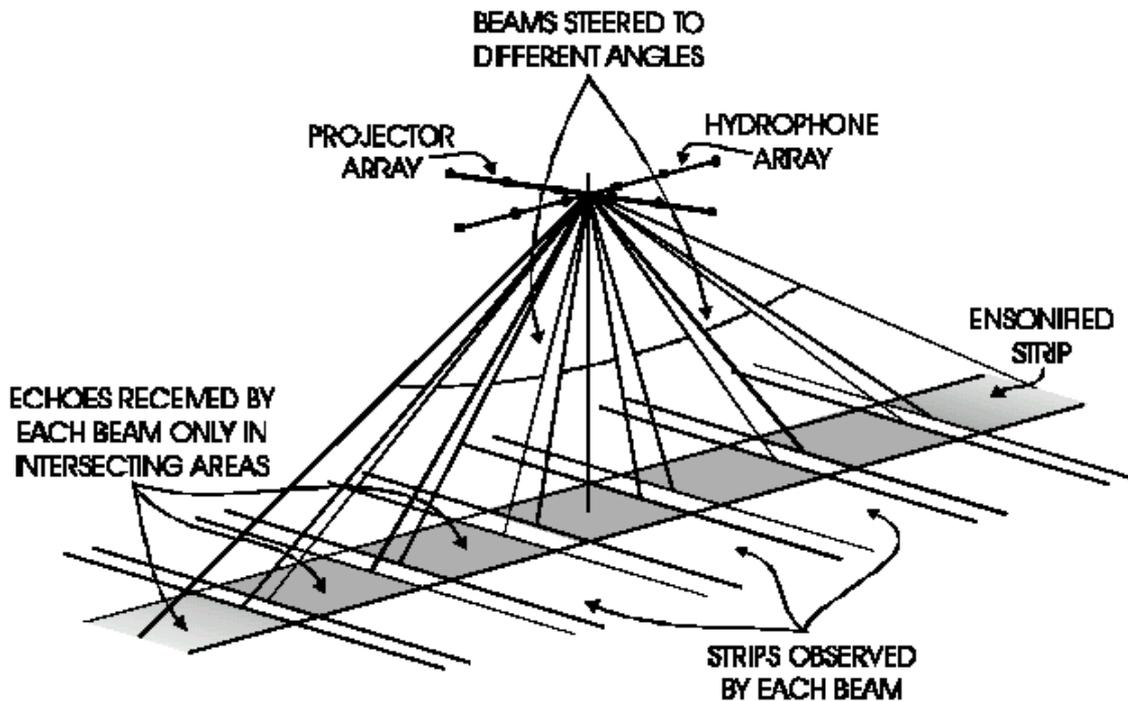


Figura 28

PERIFÉRICOS NECESARIOS PARA UNA MULTIBEAM

Mediante el Sistema de posicionamiento (GPS) situamos en el plano horizontal (X Y) la situación del barco en todo momento y por lo tanto la posición del origen transmisor de los ecos de la multibeam. Partiendo de este punto hemos de procurar corregir todos los movimientos (además del desplazamiento ya detectado por el GPS) a que esta sometido un barco en condiciones de navegación.

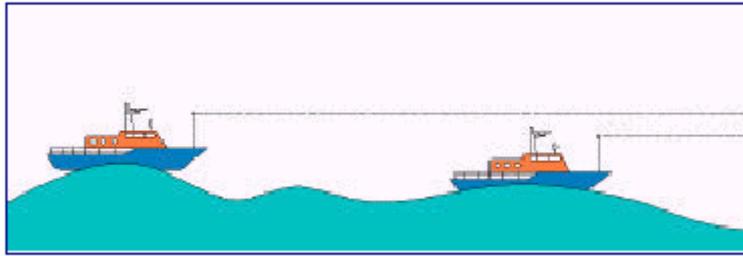
Los distintos movimientos son:

Altura del Nivel del Mar:

Las mareas. Hoy día hay soluciones basadas en Gps es decir utilizar el valor de altura proporcionado por el Gps para calcular las variaciones de altura entre la antena Gps y el Geoide. Para ello deberemos contar con un receptor RTK y además tener modelizado el geoide de una forma precisa en la zona donde vamos a trabajar. De lo contrario lo mas recomendable es utilizar el tradicional Mareógrafo.

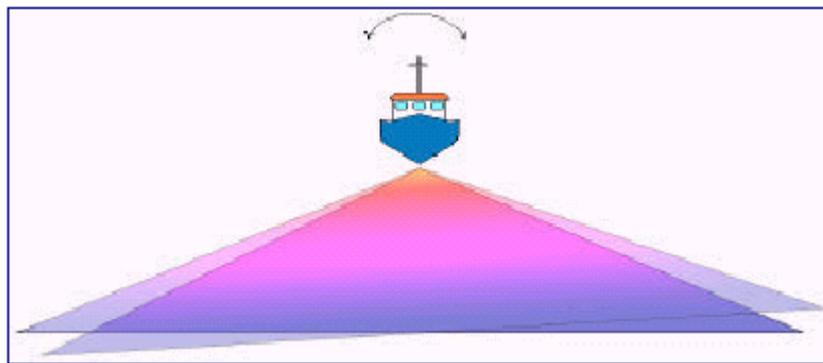
Ascenso y descenso:

Desplazamiento en el eje vertical, esto es debido al oleaje. Para corregir este movimiento se usan sensores de movimiento. Estos son dispositivos que tienen unos acelerómetros y miden a una velocidad de unos 200 Hz todos los desplazamientos en los tres ejes espaciales, proporcionando esta información al sistema informático el cual se encarga de hacer las correcciones pertinentes.



Cabeceo y balanceo (rolido)

Al igual que en el punto anterior para la detección y corrección de estos movimientos se usan sensores de movimiento.



Guiñada (o caída de proa):

Este movimiento esta producido por dos causas, una de ellas es debida al gobierno propio del barco, es decir el cambio de rumbo producido por el patrón de la embarcación de forma consciente y el otro es el cambio de orientación de la proa a causa de las distintas corrientes que se producen a nivel de la superficie del mar. Para detectar este movimiento se utiliza el girocompás (basado en el giróscopo).

Salinidad

Hay un factor adicional a corregir. Debido a la salinidad y a la temperatura la velocidad con que se propaga el sonido en el agua varia según las zonas y la profundidad. Así estas variaciones son especialmente drásticas en zonas de intermareales como por ejemplo en desembocaduras de ríos o amplios estuarios (Rías Gallegas, Río de la Plata) o lugar de transición entre mares (estrecho de Gibraltar) donde el intercambio de aguas con distinta salinidad y temperatura hace que los haces acústicos varíen su comportamiento dependiendo de la capa que se encuentren en su recorrido en cada momento.

Para ello se usa las sondas “Probe” o SVP (Sound Velocity Profiler). Consisten en un dispositivo que se sumerge mediante un cabo hasta el fondo para después recuperarlo. En el



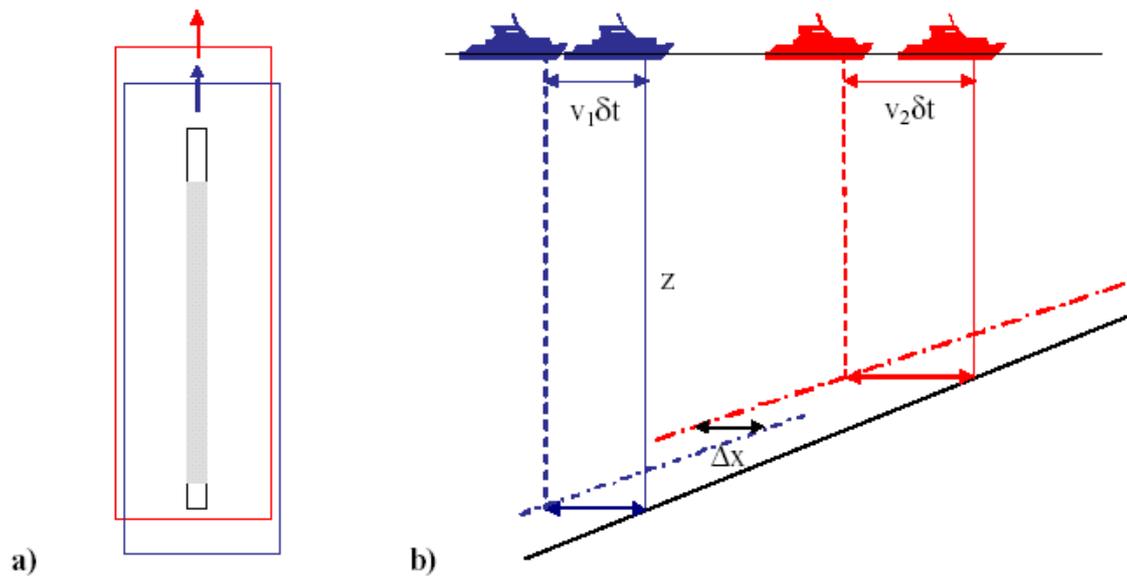


Fig. 3.36 "Time delay calibration.
 a) Top view of the two lines;
 b) Longitudinal section where the separation of the two sounding profiles from the actual seafloor is visible. "

$$\delta t = \frac{\Delta x}{v_2 - v_1}$$

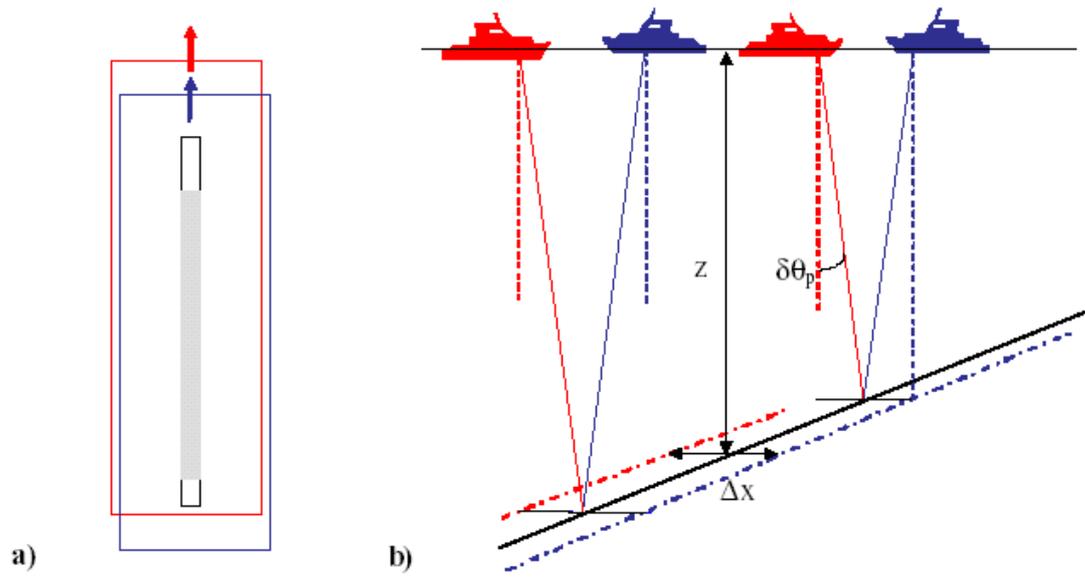


Fig. 3.37 "Pitch offset calibration.

- a) Top view of the two lines;
- b) Longitudinal section where the separation of the two sounding profiles from the actual seafloor due to pitch offset are visible."

$$\delta\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{2 \cdot z}\right)$$

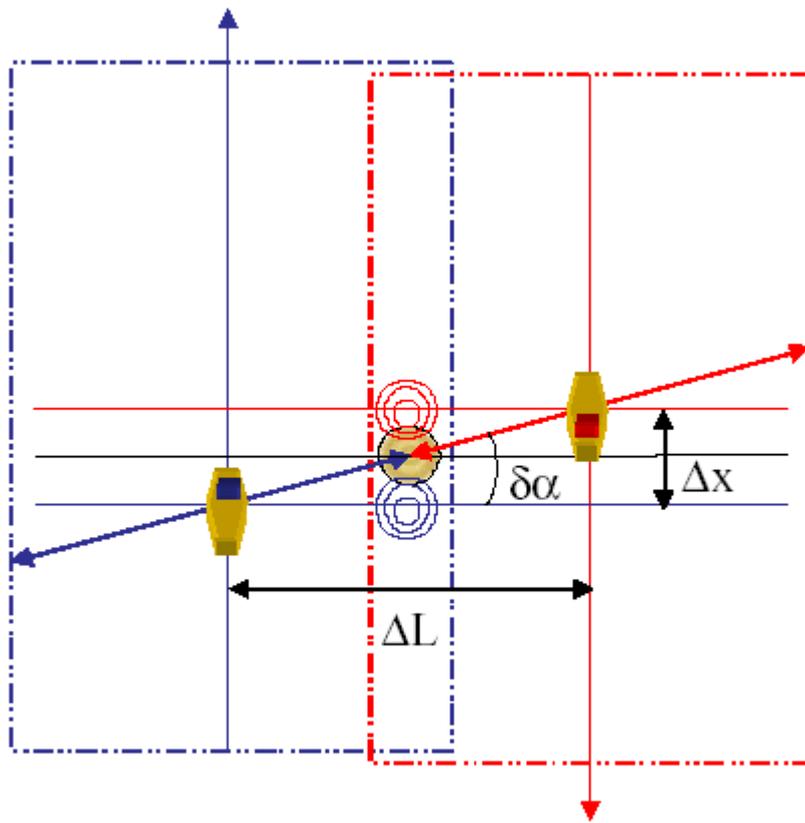
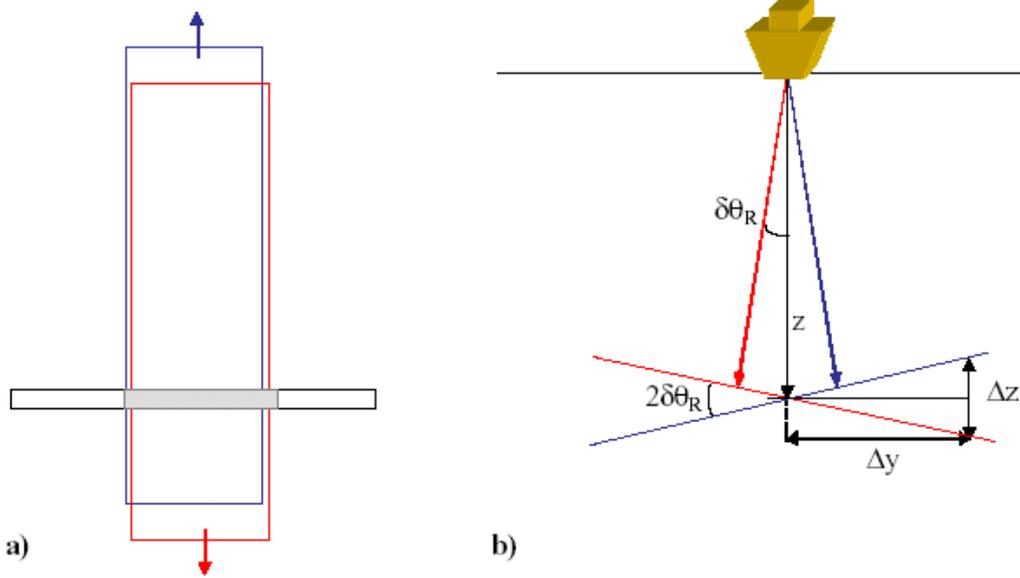


Fig. 3.38 "Azimuthal offset calibration"

$$\delta\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta L}\right)$$



**Fig. 3.39 "Roll offset calibration.
a) Top view of the two reciprocal lines;
b) Cross section where the pronounced separation of the sounding profiles from nadir to the outer beams due to roll offset are visible."**

$$\delta\theta_R = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta z}{2 \cdot \Delta y}\right)$$

falta de verticalidad del eje de la sonda
latencia del GPS
latencia de la sonda
squat
sonido