

121
2oj.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

DESARROLLO DE SISTEMAS PARA REALIZAR ESTUDIOS
OCEANOGRAFICOS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A N
MARGARITO SANCHEZ BAUTISTA
EFREN GUERRERO GODINEZ
RAFAEL GONZALEZ PLASCENCIA

ASESOR:
M. EN I. LAURO SANTIAGO CRUZ

MEXICO, D. F.

1992

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE GENERAL:

INDICE	Pag.
INTRODUCCION	1
CAPITULO 1 : ANTECEDENTES	4
1.1 Conceptos básicos	5
1.2 ¿Qué es un estudio oceanográfico?	28
1.3 Métodos tradicionales	33
1.4 Características del barco	43
CAPITULO 2 : SISTEMAS DE EXPLORACION OCEANOGRAFICA	50
2.1 Sistemas de Posicionamiento	51
2.1.1 Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance	56
2.1.2 Sistema de Posicionamiento de Largo Alcance	73
2.1.3 Sistema de Posicionamiento por Satélite	93
2.2 Sistema medidor de profundidad	110
2.3 Sistema de mapeo del fondo marino	128
2.4 Sistema de detección de tuberías	144
2.5 Sistema de perfiladores	160
2.5.1 Sistema perfilador somero	167
2.5.2 Sistema perfilador profundo	171
CAPITULO 3 : RESULTADOS OBTENIDOS	186
Introducción	187
Estudio Geofísico Oceanográfico	187

INDICE (Cont.)**Pag.**

CONCLUSION	225
Apéndice A. Transductores	A.1
Apéndice B. Antenas	B.1
Apéndice C. Trilateración	C.1
Apéndice D. Listado de un programa de Posicionamiento	D.1
Apéndice E. Mínimos cuadrados	E.1
Bibliografía	229
Glosario	237

I N T R O D U C C I O N

Con el inicio de la explotación de hidrocarburos en el mar, y posteriormente con las obras marinas de diferente índole, nacieron una serie de inquietudes encaminadas a conocer más con respecto a las condiciones del piso marino, tirante de agua y características someras del subsuelo.

Como respuesta a las necesidades del conocimiento del fondo y subsuelo marino, para fines de diseño de cimentaciones, construcción de obras y perforación de pozos petroleros marinos, se han efectuado en los últimos años una serie de estudios oceanográficos de alta resolución acústica, apoyados en equipos electrónicos de gran precisión. El conocimiento completo del suelo y subsuelo marino requiere del uso en conjunto de 3 tipos de sistemas electrónicos, los destinados a la investigación del tirante de agua, los del fondo marino y los que exploran el subsuelo del mismo. Todos los sistemas son empleados simultáneamente a bordo de una embarcación que se ha adaptado de manera especial y que de acuerdo a un recorrido programado, permite llevar a cabo un estudio geofísico marino.

Así es como surge la necesidad de tomar una serie de medidas tendientes a desarrollar sistemas de exploración oceanográfica con equipos más sofisticados. Inicialmente y de acuerdo con lo que se mencionará en este trabajo, daremos a conocer el desarrollo de los diferentes Sistemas Electrónicos de Sísmica y Detección Submarina que son utilizados frecuentemente para realizar estudios oceanográficos de alta resolución. Asimismo, se determinarán los principios de operación y funcionamiento de cada uno de estos sistemas.

Actualmente, el desarrollo de sistemas electrónicos para efectuar estudios oceanográficos, tanto en exploración petrolera como en otras áreas oceanográficas, ha alcanzado una inmensa proyección a nivel mundial; sin embargo, en nuestro país este tipo de información es poco difundida.

Por lo que el presente trabajo pretende ser un medio para dar a conocer las aplicaciones de la electrónica en ciencias de la tierra como la geofísica y la geología. Además de que se trata de dar a conocer este importantísimo campo de acción profesional a los estudiantes de las diferentes ramas de la ingeniería. Los temas aquí tratados han sido poco difundidos en el país, por lo que el objetivo principal es dar a conocer dicha información en el medio universitario ya que es necesario que los estudiantes de ingeniería conozcan otro campo donde puedan aplicar sus conocimientos.

El presente trabajo está organizado de la manera siguiente:

En el Capítulo 1 se hace mención de una serie de conceptos básicos que se requiere tener presentes, así como de los métodos tradicionales con que se venían realizando los estudios geofísicos de alta resolución, y el tipo de embarcación que se requiere para instalar los sistemas y efectuar los diferentes estudios.

En el Capítulo 2 se dan los parámetros de operación y selección de los diferentes sistemas electrónicos como: los Sistemas de Posicionamiento de Largo Alcance, Corto Alcance y por Satélite, Sistema de Mapeo del Piso Marino, Sistema Medidor del Tirante de

Agua, Sistema Perfilador Estratigráfico (Somero y Profundo) y Sistema Detector de Tuberías. Después de cada apartado se ejemplifica la selección de los dispositivos que forman parte de cada sistema.

En el Capítulo 3 se analizan resultados que se obtienen con los diferentes sistemas, mostrándose registros típicos de los mismos a manera de ejemplo práctico. Aquí mismo se dan conclusiones y recomendaciones.

Al final se anexa un apéndice de transductores, un apéndice de antenas, un apéndice del método de trilateración, un apéndice conteniendo el listado de un programa de posicionamiento, un apéndice sobre el método matemático de mínimos cuadrados y un glosario de términos usados en el presente trabajo. Asimismo se agrega la bibliografía consultada. Con estos tres capítulos, cinco apéndices, un glosario y la bibliografía se integra el presente trabajo.

Es importante mencionar la participación de I.C.A. Ingeniería S.A. de C.V. empresa integrante del Grupo I.C.A.. Dicha empresa tiene aproximadamente 12 años de haber incursionado en la realización de estudios oceanográficos para diferentes dependencias en diversos puntos del país. Desde hace 8 años I.C.A. Ingeniería se dedica, con un barco tipo abastecedor, adaptado especialmente, a realizar diversos estudios oceanográficos con personal 100% mexicano para la empresa paraestatal P E M E X.

Esperamos que el presente trabajo sirva como una introducción a las personas interesadas en el tema.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1.1 CONCEPTOS BASICOS

Los estudios geológicos y geofísicos se apoyan en la observación de las características de los fenómenos naturales que se manifiestan en la superficie de la tierra, los cuales deben ser interpretados de acuerdo a principios, leyes y conocimientos que se encuentran comprendidos en la ciencia.

En el estudio de la naturaleza, toda apariencia o manifestación de algo, constituye fenómenos que pueden ser considerados como experiencias que deben ser analizadas siguiendo una disciplina, los que al presentar comportamientos rigurosos y consistentes, pueden dar origen a conocimientos que organizados integran una ciencia.

Debido a la complejidad de algunos fenómenos propios de la tierra, en muchos casos es necesario considerar simultáneamente conceptos que corresponden a diversas áreas del saber humano. Al manejar el concepto de diversas áreas del saber humano, surgen las ciencias primarias, a partir de las cuales se derivan otros conceptos, y a su vez ciencias particulares con objetivos específicos. En algunas ciencias particulares pueden utilizarse conceptos que pertenecen a tres o más ciencias.

Para nuestro propósito basta con mencionar este primer nivel de interdependencia de las ciencias de la tierra, en la que surge la geofísica marina, (la que agrupa principalmente conceptos de geología, física, matemáticas, electricidad, electrónica, acústica y computación).

Es importante mencionar que en la actualidad los avances en la exploración geofísica del mar permiten armar sistemas electrónicos capaces de proporcionar un fin específico, como puede ser explorar el fondo del mar, siendo posible observar el rastro que dejan las corrientes marinas u objetos depositados en él.

Por lo tanto, para poder comprender los conceptos de desarrollo de estos sistemas electrónicos es necesario conocer ciertos principios básicos. A continuación mencionaremos algunos de ellos.

PRECISION Y EXACTITUD

Es conveniente recordar los conceptos de error de incertidumbre, precisión y exactitud. Los datos de una sola muestra son aquellos en los cuales algunas incertidumbres no pueden descubrirse por repetición, en contraposición con los de varias muestras, los cuales se obtienen de varios experimentos, de tal forma que la confiabilidad de los resultados se puede asegurar por estadística. En el caso de la exploración geofísica, el costo limita la recopilación de datos, por lo que debe tomarse en cuenta este factor en el momento de la calibración de los diferentes sistemas para la adquisición de la información. Los errores reales en los datos experimentales son aquellos factores que son indeterminados hasta cierto punto y que tienen cierta incertidumbre.

La exactitud de un dispositivo es el indicador de la desviación de la lectura con respecto a una lectura conocida. Comúnmente la exactitud se expresa como un porcentaje de la escala total.

La precisión de un dispositivo indica la habilidad para reproducir ciertas lecturas con una exactitud dada. La exactitud se puede mejorar por medio de la calibración, pero no más allá de la precisión del equipo. Es conveniente mencionar que la precisión de dispositivo está sujeta a factores complejos, que involucran un análisis particular y laborioso.

SENSIBILIDAD

Es la relación que define la capacidad de un dispositivo de registrar diferencias muy pequeñas y está definida por el cociente de una variable observable en la salida con respecto a la diferencia mínima de variación de una señal de entrada. Por ejemplo, si decimos que la sensibilidad de un termómetro es de $1.03^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ indica con esto que el termómetro tendrá un cambio de 1.03°C cuando la temperatura sufra una variación real de 1°C .

RANGO

Es el intervalo de medición de un instrumento. Se define con dos valores, el menor y el mayor, ambos límites de la escala que se utiliza.

RESOLUCION

Es la característica que permite conocer el valor más pequeño que puede proporcionar un dispositivo con un mínimo de error. Para los

trabajos sísmicos en los cuales la resolución es muy importante, la definición puede ser escrita como la separación mínima entre dos eventos de reflexión.

VELOCIDAD DE PROPAGACION DEL SONIDO

La velocidad de propagación del sonido en sedimentos consolidados y no consolidados (lodo y cieno) varía desde 1500 a 1800 m/s. La velocidad en las capas superiores del subsuelo tiende a ser menor que en las más profundas, esto se atribuye a la disposición de lodo sobre la arena o un gradiente de velocidad positivo en secciones gruesas del mismo material. En el lodo y el cieno la velocidad del sonido puede tener un valor de hasta 1500 m/s.

FRECUENCIA

Es la velocidad de repetición de una forma de onda periódica, es decir, el número de oscilaciones en un período de tiempo dado. En acústica las unidades de tiempo se expresan en segundos y las de frecuencia en Hertz. Por lo tanto 1 Hertz es:

$$1 \text{ Hertz} = 1 \text{ ciclo/segundo}$$

LONGITUD DE ONDA

La definición de longitud de onda es la distancia entre dos puntos de un ciclo de una onda. En acústica la longitud de onda se

relaciona con la frecuencia de la fuente de sonido y la velocidad del sonido en el agua ó en los sedimentos, esta definida por la siguiente relación:

Longitud de onda = velocidad del sonido en el medio / frecuencia

$$\lambda = v / f$$

donde: λ = longitud de onda en metros
 v = velocidad del sonido en el medio en m/s
 f = frecuencia de la señal en Hertz

Las ondas de radio senoidales emitidas por una antena se propagan aproximadamente a la velocidad de la luz (300,000 km/s). Todas las ondas de radio se desplazan a esta velocidad, independientemente de su frecuencia. La característica más importante de una onda de radio es su longitud, que como ya se mencionó, es la distancia recorrida por la onda durante un ciclo de la señal, definiéndose como sigue:

$$\lambda = c / f$$

donde : λ = longitud de onda en metros
 c = velocidad de la luz en km/s
 f = frecuencia de la onda en Hertz

TEORIA DE LA REFLEXION ACUSTICA

Es importante tener presente, a lo largo del desarrollo de los diferentes temas, el concepto de la Teoría de la Reflexión

acústica, ya que los Sistemas de Mapeo del Piso Marino, Detector de Tuberías, Medidor del Tirante de Agua y Perfiladores, basan su principio de operación en tal concepto. Por lo cual a continuación se describe tal concepto con sus parámetros más importantes.

La reflexión de una señal acústica en los medios aire-agua, agua-sedimento o sedimento-sedimento resulta en un cambio de la impedancia acústica, esto implica que porcentaje de la señal emitida va a ser recibida por el receptor debido a la energía atenuada en el medio de estas interfaces. Por lo tanto, desde el punto de vista de la elasticidad, el subsuelo puede considerarse como una sucesión de interfaces. La separación de las capas de estas interfaces se caracteriza por su impedancia acústica. La impedancia acústica es una propiedad intrínseca de todas las sustancias, siendo el producto de la velocidad de una onda compresional a través del material y la densidad volumétrica del material. (Fig. 1.1).

$$Z = \rho C$$

donde: Z = impedancia acústica ($\text{g/cm}^2/\text{seg}$)
 ρ = densidad del medio (g/cm^3)
 C = velocidad de la onda compresional en el medio
(m/seg)

Se ha demostrado que para sedimentos marinos no consolidados, la impedancia acústica es principalmente una función de la velocidad de la onda compresional en los sedimentos, debido a que sólo hay una pequeña variación en su densidad volumétrica. La velocidad de la onda compresional esta dada por la ecuación:

$$C = [(K + 4/3 G) / \rho]^{1/2}$$

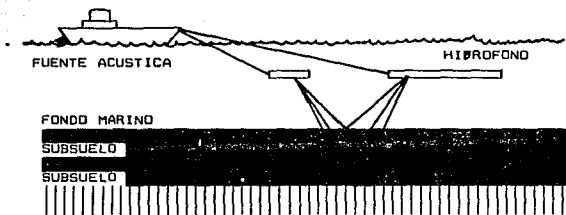


Fig. 1.1. La reflexión acústica en las diferentes capas del subsuelo marino.

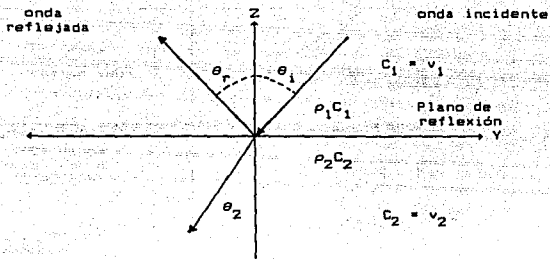
donde: C = velocidad compresional del medio (km/seg)
 K = compresibilidad del medio (din/cm²)⁻¹
 G = rigidez del medio (din/cm²)
 ρ = densidad volumétrica del medio (g/cm³)

A continuación se mencionan algunos conceptos más sobre la Teoría de la Reflexión Acústica, el orden en que se presenta es para proporcionar los antecedentes necesarios para entender la importancia de las características acústicas de varios dispositivos de los diferentes sistemas aquí tratados.

Como ejemplo tomaremos la transmisión de una onda acústica y a la vez su reflexión en un plano, el cual es el límite entre dos medios de diferente densidad, la velocidad de la onda acústica incidente y reflejada serán diferentes.

De acuerdo con la fig. 1.2, se tiene que al llegar una señal acústica al límite de un medio en que se transmite se va a reflejar con un ángulo igual con el que incide sobre el plano de reflexión. A este ángulo como ya se dijo se le denomina ángulo de incidencia θ_i , de manera similar a lo establecido en las leyes de reflexión de la luz. Así mismo podemos señalar la dirección de la onda reflejada y medir el ángulo de reflexión θ_r . Al realizar estas mediciones y comparar los ángulos tendremos lo siguiente: cuando una señal acústica se refleja en una capa geológica, el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión.

Ahora bien si una señal acústica sufre reflexión, cumpliéndose la ley de Snell, debe por lo tanto sufrir refracción al pasar de un



v_1, v_2 = Velocidad del sonido en el medio 1 y 2 respectivamente
 ρ_1, ρ_2 = Densidad del medio 1 y 2 respectivamente

Fig. 1.2. La reflexión y sus ángulos.

medio a otro, por lo que analizaremos lo siguiente: consideremos el caso de una señal acústica viajando en el agua, como se muestra en la fig. 1.3, podemos determinar que las velocidades en los medios 1 y 2 son diferentes, por lo que al cambiar de medio la señal incidente modificará su dirección, en otras palabras, la señal sufrirá refracción al pasar en forma oblicua de un medio a otro, en los que como ya se dijo se propaga con diferente velocidad. Por lo tanto, se tiene que para elementos consolidados y no consolidados, la densidad volumétrica es un factor importante en la variación de la impedancia acústica.

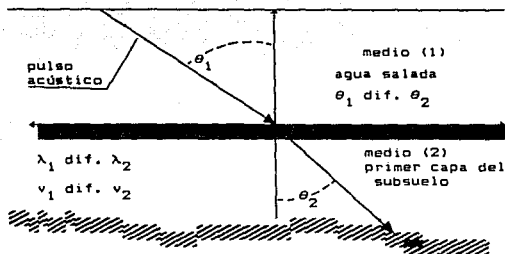


Fig. 1.3. Parámetros de refracción.

La consolidación ó litificación de materiales no consolidados es el resultado de: 1) Saturación del agua por sedimentos, hielo, etc., 2) Disección de sedimentos por bajos niveles de agua, 3) Cementación por carbonatos de sílice, calcio, encontrados en las soluciones porosas, 4) Procesos de regeneración por medio de disolución química, produciéndose nuevos minerales que incrementan la coherencia de los sedimentos.

La relación de amplitud de la onda reflejada a la amplitud de la onda incidente, en un plano incidente y en el límite entre dos medios de diferente impedancia acústica, es expresada por el coeficiente de reflexión de Rayleigh (R). En una incidencia normal (Fig. 1.4), el coeficiente de reflexión de Rayleigh está dado por:

$$R = A_r / A_i = (Z_2 - Z_1) / (Z_2 + Z_1)$$

donde; R = Relación de amplitudes ó Coeficiente de Rayleigh

A_r, A_i = Amplitud de la señal reflejada y amplitud de la señal incidente respectivamente
 Z_1, Z_2 = Impedancia acústica de un medio y del otro lado de la interfaz.

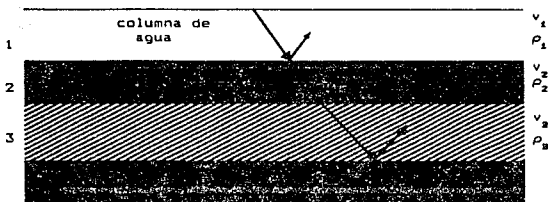


Fig. 1.4. En el gráfico se muestra el contraste resultante entre diferentes impedancias acústicas, como se observa el medio 2 no refleja por lo que indica falta de impedancia acústica, la señal continúa al siguiente medio.

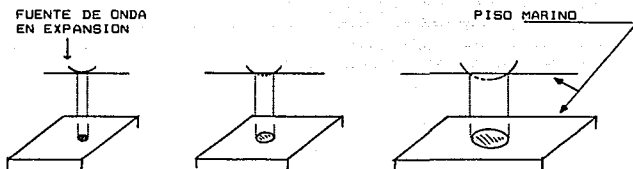
Para un mayor contraste en la impedancia acústica, como lo sería la interfaz aire - agua (la densidad del aire es aproximadamente 0.001 de la del agua y la velocidad del sonido en el aire es aproximadamente 0.25 de la del agua), casi toda la energía incidente normalmente es reflejada. Por otro lado la energía reflejada en la interfaz sedimento - sedimento será muy pequeña, donde las impedancias acústicas sean casi iguales, y si son iguales la señal se transmitirá a través de la interfaz sin reflejarse (Fig. 1.4).

Debe tomarse en cuenta que en el coeficiente de Rayleigh sólo toma en consideración la impedancia acústica para una incidencia normal. Otros factores que tienen un efecto profundo en la amplitud de la señal reflejada son: el ángulo de incidencia, la atenuación de la señal acústica por los sedimentos, las pérdidas por difusión esférica de la señal acústica, debidas a que el transmisor ó fuente acústica emite en todas las direcciones, las pérdidas de señal por dispersión, consecuencia de las irregularidades de la superficie y capas inferiores del suelo marino.

ASPECTOS FISICOS DEL PROCESO DE REFLEXION

En los párrafos anteriores sólo se habló de los efectos con un rayo acústico. Ahora lo haremos para un frente de onda formado en una fuente de sonido, que se difunde esféricamente y se mueve a través de la columna de agua . Cuando el frente de onda hace contacto con el piso marino , una área larga es isonificada con energía acústica (Fig. 1.5). Sin embargo, solamente una área relativamente pequeña de la superficie irradiada es graficada en el registro sísmico. (Equivocadamente llamado punto de reflexión).

El tamaño de esta área es conocida como la primera zona de Fresnel de la óptica, y depende de la longitud de onda de la energía acústica y de la profundidad o tirante de agua. Específicamente es la energía acústica que se recibe en la superficie de reflexión durante un medio ciclo de la señal acústica.



AREA DE LA SUPERFICIE ISONIFICADA POR EXPANSION DEL FRENTE DE ONDA
 Fig. 1.5. Representación, de izquierda a derecha, de como determinada área del piso marino es isonificada por un frente de onda acústico. Esta área se incrementa con el tiempo debido a la difusión esférica del frente de onda.

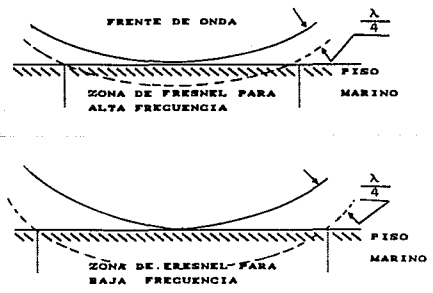


Fig. 1.6. La zona de Fresnel la cual es dependiente de la frecuencia, define el área involucrada en el proceso de reflexión.

Por lo tanto el frente de onda de la energía acústica que se difunde esféricamente a través de la columna de agua va a dar a un área circular cuyo centro y límite externo están determinados por un cuarto de la longitud de onda (Fig. 1.6). Una señal acústica de alta frecuencia (con longitud de onda corta) tendrá una zona de Fresnel pequeña, comparada con una señal de baja frecuencia (longitud de onda mayor) la cual tendrá una zona de Fresnel mayor. En la fig. 1.7 se ilustra la relación entre el radio de la zona de Fresnel, la frecuencia de la señal acústica y la profundidad del horizonte reflector.

SECCION GEOLOGICA DE UN REGISTRO SISMICO

Un registro de reflexión sísmica es una sección transversal de una capa geológica. El grado de veracidad con el cual se representa la sección geológica está en función de la instrumentación y la complejidad de respuesta de las diferentes capas geológicas a la señal acústica. La forma común de representarlo es en el eje vertical del registro sísmico se pongan las unidades de tiempo, ó la sección geológica este en unidades de longitud (profundidad en metros), mientras que en el eje horizontal la distancia recorrida en metros. Rara vez los registros sísmicos se obtienen en escala 1 : 1, entre sus ejes vertical y horizontal. La escala horizontal de navegación en el registro será determinada por el sistema de posicionamiento y sus unidades podrán ser metros como ya se dijo.

Posteriormente en el tema de perfiladores estratigráficos se hará referencia a la Teoría de la Reflexión Acústica donde se aplican los conceptos anteriores.

PROFUNDIDAD
(M)

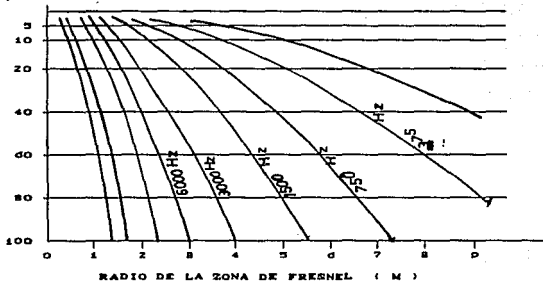


Fig. 1.7. La gráfica muestra la relación del radio de la zona de Fresnel, de la frecuencia acústica y la profundidad del horizonte reflector.

Por último, diremos que los fenómenos sonoros están relacionados con las vibraciones de los cuerpos materiales. Como consecuencia, siempre que escuchemos un sonido hay un cuerpo ó material que vibra y lo produce. La forma en que se propaga es por medio de una onda longitudinal. Por lo tanto podemos concluir que el sonido es una onda longitudinal que se puede propagar en un medio sólido, gaseoso ó líquido y cuya frecuencia está comprendida entre los 20 Hz y 20,000 Hz (Fig. 1.8).

La velocidad de propagación de una onda depende del medio en el cual se propaga, lo cual también sucede con el sonido. Por ejemplo, el sonido en el agua se propaga a un velocidad que va desde 1365 m/s hasta 1540 m/s, viéndose afectada esta velocidad por el grado de salinidad, temperatura del agua, etc.

PROPAGACION ELECTROMAGNETICA

Desde de la época en que Maxwell dedujo las ecuaciones de la Teoría Electromagnética, se ha generado un gran avance en los conocimientos relacionados con las ondas electromagnéticas. De tal forma que en la actualidad sabemos que se tienen varios tipos de onda, clasificados a pesar de tener la misma naturaleza. Como se sabe una onda electromagnética está compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético, los cuales son perpendiculares entre sí y normales a la dirección de propagación.

La clasificación de estas ondas está hecha con base en su frecuencia, como en el espectro acústico. Por lo tanto podemos tener señales de radio, T.V., ondas infrarrojas, rayos x, etc. Al

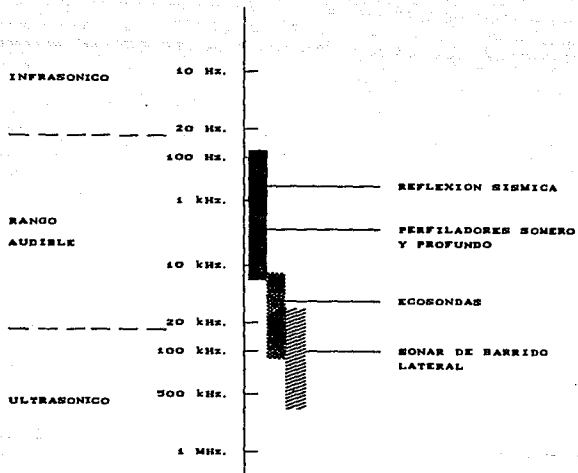


Fig. 1.B. Espectro Acústico.

conjunto de estas ondas se le denomina Espectro Electromagnético (Fig. 1.9). Todas las ondas que constituyen esta gama se propagan en el vacío a la misma velocidad, aproximadamente 300,000 km/s. Dicha velocidad es originada por la aceleración de una carga eléctrica. Entonces siempre que una carga eléctrica es acelerada, radía cierto tipo de onda electromagnética, lo cual depende del valor de aceleración de la carga.

Aquí podríamos extendernos en la descripción de la Teoría Electromagnética más a fondo pero no es el objetivo del trabajo, por lo que a continuación se mencionarán algunos parámetros de importancia. Para el medio ambiente terrestre, las ondas electromagnéticas se propagan por diversas trayectorias, esto no sólo depende de sus propiedades, si no también del medio ambiente.

Las ondas generalmente viajan en línea recta, excepto en donde la superficie terrestre y la atmósfera misma tienden a alterar su trayectoria. Normalmente las ondas arriba de la banda HF viajan en línea recta. Existen ondas que se les denomina ondas troposféricas, por propagarse en la tropósfera, capa de la atmósfera cercana a la corteza terrestre. Las ondas abajo de la banda HF se propagan siguiendo la corteza terrestre, a este tipo de ondas se les denomina ondas de superficie, por ejemplo la señal de una radiodifusora recibida durante el día se propaga por medio de ondas de superficie

Las ondas con frecuencia mayor a la banda HF se reflejan en las capas ionizadas de la atmósfera, a este tipo de ondas se les denomina ondas espaciales. Su mecanismo de propagación consiste en reflejarse en la capa superior a la atmósfera y regresar a la

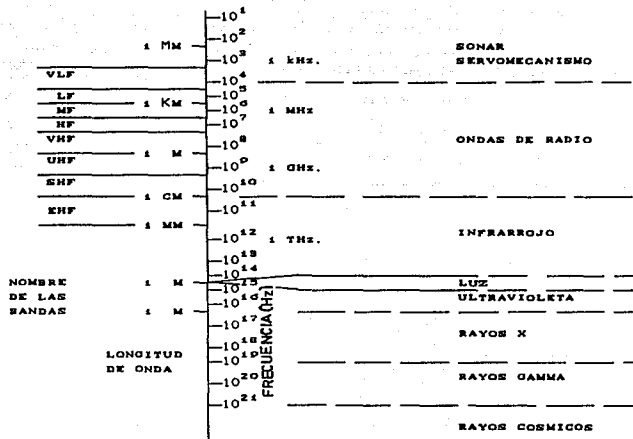


Fig. 1.9. Espectro electromagnético.

tierra, pudiéndose tener el efecto de múltiples reflexiones, logrando conseguir con ello alcanzar un receptor que se encuentre al otro extremo de la tierra.

Cuando la propagación es cercana a la tierra deben tomarse en cuenta las siguientes consideraciones, las ondas podrán reflejarse en las construcciones y montañas. También se refractarán en las capas ionizadas de la atmósfera, debiéndose principalmente a las diferentes grados de ionización de las mismas. El ángulo de refracción va a depender de la diferencia de densidad de un medio a otro. Por lo tanto el ángulo de propagación de la señal al refractarse de un medio otro va a ser diferente.

TRANSDUCTORES ELECTRICOS

Los transductores se definen en general como dispositivos que convierten energía o información de una forma a otra. Son utilizados ampliamente en el campo de las mediciones debido a que no todas las cantidades a medir se pueden observar fácilmente. Los transductores eléctricos son muy comunes en la actualidad, debido a que las señales eléctricas poseen muchas cualidades que son convenientes en el campo de las mediciones. La primera de éstas es que la instrumentación eléctrica está muy desarrollada, por lo que pueden utilizarse varios métodos diferentes para convertir gran parte de las cantidades físicas en señales eléctricas. Además, si una señal débil se convierte a una forma eléctrica, ésta se puede amplificar hasta observarse fácilmente. Finalmente, hay dispositivos para registrar y observar señales eléctricas que pueden seguir variaciones de muy alta frecuencia. Por tanto una cantidad no eléctrica que tiene una variación de muy alta

frecuencia se puede convertir a una forma eléctrica y registrarse exactamente.

Existen, en general, tres elementos principales que son comunes a la mayoría de los sistemas de medición. El primero de estos es el elemento detector (o sensor). El propósito de este elemento es el de responder (señal de salida) a la magnitud (o cambios en la magnitud) de la cantidad que se está midiendo (señal de entrada). El segundo elemento es el modificador de la señal. Este elemento recibe la señal de salida del elemento detector y la modifica ya sea amplificándola o cambiando su forma de onda.

Cuando la señal emerge del modificador de señal, debe tener la forma apropiada para ser desplegada o registrada. El tercer elemento es el dispositivo registrador. En los sistemas eléctricos, los dispositivos registradores incluyen instrumentos tales como los medidores, tubos de rayos cátodicos, registradores de papel, grabadores, registradores X-Y y computadoras digitales.

Si el sistema de medición es tal que una cantidad no eléctrica se va a medir, convirtiéndola a una forma eléctrica, se utiliza un transductor eléctrico como elemento detector. El transductor eléctrico es llamado transductor activo, si es capaz de producir una señal sin necesidad de una excitación eléctrica. Si el transductor es capaz de producir una señal de salida únicamente cuando se usa con la fuente de excitación, el transductor es pasivo.

GUIAS PARA LA SELECCION Y USO DE TRANSDUCTORES

Cuando una medición de una cantidad no eléctrica se va a llevar a cabo, convirtiendo la cantidad a una forma eléctrica, se debe seleccionar un transductor (o una combinación apropiada de ellos) para llevar a cabo la conversión. El primer paso en el proceso de selección es el de definir claramente la naturaleza de la cantidad a medir. Esto también incluye el conocimiento del rango de magnitudes y frecuencias que se espera que la cantidad exhiba. Cuando el problema se ha establecido, se deben examinar los principios fundamentales de funcionamiento del transductor aconsejable para el tipo de medición. Si uno o más transductores son capaces de producir una señal satisfactoria, debemos decidir si construir uno o utilizar uno disponible en el mercado.

Cuando las especificaciones de un transductor particular se van a examinar, los siguientes puntos se deben considerar para determinar su conveniencia para una medición:

- 1.- Rango. El rango del transductor debe ser lo suficientemente grande para abarcar todas las magnitudes esperadas de la cantidad a medir.
- 2.- Sensibilidad. Para obtener un dato significativo, el transductor debe producir una señal de salida suficiente por unidad de la entrada medida.
- 3.- Características de la salida eléctrica. Las características eléctricas (tales como la impedancia de salida, la respuesta de frecuencia y la respuesta en el tiempo) de la señal de

salida del transductor deben ser compatibles con el dispositivo registrador y el resto del equipo del sistema de medición.

- 4.- Ambiente físico. El transductor seleccionado debe ser capaz de soportar las condiciones ambientales a las cuales puede estar sujeto mientras hace las mediciones. Parámetros tales como la temperatura, humedad y químicos corrosivos pueden dañar algunos transductores.
- 5.- Errores. Los errores inherentes en la operación del transductor o aquellos causados por las condiciones ambientales deben ser lo suficientemente pequeños ó controlables de tal forma que no sean significativos en los datos tomados.
- 6.- Precisión, exactitud, voltaje de alimentación, etc.

Una vez que el transductor se ha seleccionado e incorporado dentro del diseño del sistema de medición, se deben observar las siguientes guías para incrementar la exactitud de las mediciones:

- 1.- Calibración del transductor. La salida del transductor se debe calibrar con respecto a algún patrón conocido. Esta calibración se debe efectuar regularmente, dependiendo de las condiciones de operación.
- 2.- Los cambios en las condiciones ambientales del transductor se deben registrar continuamente. Si se sigue este procedimiento, los datos obtenidos se pueden corregir más tarde tomando en cuenta los cambios en las condiciones ambientales.

- 3.- Se pueden reducir los posibles errores de un transductor controlando artificialmente el medio ambiente. Ejemplos del control artificial del medio ambiente del transductor incluyen su colocación en un gabinete a temperatura controlada o aislar el dispositivo de las vibraciones y choques externos.

1.2 ¿ QUE ES UN ESTUDIO OCEANOGRAFICO ?

El océano es un sistema amplio y complicado al que se le debe de dar un enfoque multidisciplinario, considerando para esto su origen e historia, sus procesos, mecánica, circulación, composición y vida, así como las consecuencias socioeconómicas de su utilización y explotación.

La oceanografía no es en sí misma una ciencia, sino una compleja agrupación de varias ramas de la ciencia y la tecnología que atañen al mar. Estas tienen por común denominador su carácter interdisciplinario, el cual demanda la constante cooperación entre científicos e ingenieros de diferentes ramas de la ciencia como las matemáticas, la meteorología, la física, la química, la geografía, la geología, la geofísica, la biología, la ingeniería civil, la electrónica, la computación, etcétera.

El enfoque interdisciplinario permite comprender al mar como un todo y, en consecuencia, decidir el uso y explotación de sus recursos. Durante los últimos años, el mar territorial ha adquirido gran importancia como factor de desarrollo socioeconómico, lo cual se refleja en la prioridad que actualmente

se le concede en todo el mundo a su estudio. Gracias al gran avance tecnológico se han desarrollado refinados y complejos métodos de observación, medición y muestreo que amplían la capacidad de explorar, evaluar y aprovechar el mar.

La investigación marina es costosa, exige de recursos humanos calificados y materiales muy caros (embarcaciones adaptadas especialmente, instalaciones, equipos, mantenimiento y operación).

La exploración y explotación de los recursos vivos y no renovables se incrementa constantemente. Contándose la pesca entre los primeros y los hidrocarburos y minerales entre los segundos. La zona costera es una amplia región de interfaz entre el continente y los oceános. Por lo tanto, los países que cuenten con amplias zonas costeras y tengan además los recursos tecnológicos y económicos, serán en la región los que se desarrollen en la exploración y explotación de los recursos marinos. Su administración racional consiste en la compatibilidad de sus diversos usos y en el aprovechamiento armónico de sus recursos, evitando conflictos entre sus diferentes empleos competitivos, tales como la exploración y explotación de hidrocarburos, todo con el propósito de obtener los mejores beneficios a corto, mediano y largo plazo.

El océano es un gran depósito de energía, más del 30 % de la producción de hidrocarburos y en especial una gran parte de la producción nacional proviene de la plataforma submarina en la Sonda de Campeche, México.

Para poder explotar los hidrocarburos en la zona marina se requiere de una gran infraestructura, la cual consta de instalaciones fijas e instalaciones móviles. Para dichas instalaciones es necesario contar con información geológica y geofísica del lugar elegido. El estudio preliminar del lugar, no es otro más que un estudio geofísico de alta resolución, el cual con los resultados que arroje servirán para instalar con seguridad una estructura marina. El estudio geofísico de alta resolución es parte de la oceanografía, como se sabe esta ciencia se encarga de estudiar los fenómenos biológicos y geológicos de los mares. Ahora bien, la geofísica de alta resolución permite obtener información de la columna de agua, de la topografía e irregularidades del piso marino. Asimismo se obtiene de una manera bastante precisa la estratificación de los primeros 300 metros bajo el lecho marino.

De manera general podríamos decir que la realización de un estudio geofísico tiene la estructura mostrada en la Fig. 1.10.

Es importante señalar que la secuencia de un estudio geofísico se puede describir como sigue: la Planeación permite determinar el lugar y los objetivos que se pretenden y queda descrito a continuación.

PROPOSITO DEL LEVANTAMIENTO

Exploración petrolera, para rutas de tendido de ductos y estructuras submarinas, estudios fundamentales para conocer la geología de la zona en cuestión, topografía del suelo, tirante de agua, etc.

El siguiente paso señalado como levantamiento geofísico, es la obtención de los objetivos fijados en el paso anterior, los cuales son: batimetría, mapeo del piso marino y perfilamiento (estratificación somera y profunda). Durante esta fase es generada la información que posteriormente es interpretada y analizada, la cual da lugar al siguiente paso de la secuencia. Esta fase puede recibir el nombre de evaluación de los datos obtenidos.

SECUENCIA DE UN ESTUDIO GEOFISICO

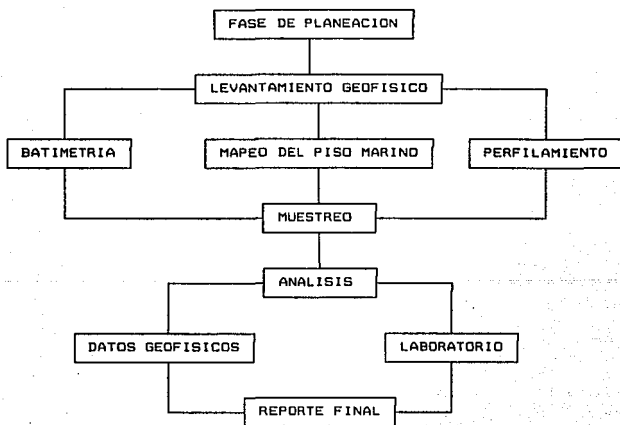


Fig. 1.10. Secuencia de un Estudio Geofísico.

EVALUACION DE LOS DATOS OBTENIDOS

Esta evaluación se basa en el conocimiento del medio ambiente, geología, oceanografía, principios de ingeniería, requerimientos de navegación, etc.

SELECCION DE LA INSTRUMENTACION Y EL METODO UTILIZADO

Para elegir la instrumentación del sistema de posicionamiento debe tomarse en cuenta los siguientes parámetros; alcance máximo, exactitud, precisión, un usuario o multiusuario, escala, etc. Para la profundidad: profundidad máxima, precisión, exactitud, resolución, escala, mareas, etc. Para el Mapeo del piso marino: la profundidad del lugar, precisión, exactitud, amplitud en metros de barrido lateral (rango del canal).

PERSONAL, EQUIPO, INFRAESTRUCTURA Y APOYO LOGISTICO

Otro factor que debe mencionarse es que para poder efectuar los estudios se requiere de las instalaciones y equipo adecuado, siendo de manera general el siguiente: un barco con espacio y alojamiento suficiente para equipo y personal, sistemas electrónicos integrados para obtener los fines buscados. Así como el apoyo logístico necesario para travesías de 14 días o más. (alimentos y transporte de personal). Debe contarse además con refacciones y personal capacitado, para poder efectuar calibración, reparación y mantenimiento del equipo, ya que en caso de falla sería muy costoso desplazar el equipo a un centro de servicio.

1.3 METODOS TRADICIONALES

Durante los últimos años, los estudios sísmicos oceanográficos han adquirido una importancia creciente, debido a que proporcionan datos para el diseño sísmico de estructuras. Varias técnicas sísmicas han evolucionado, permitiendo a los geofísicos obtener datos suficientes para determinar algunas propiedades de los materiales, todo esto con el apoyo de ingenieros de otras áreas, pero principalmente con los ingenieros electrónicos.

En el diseño de todo tipo de trabajo exploratorio, se requiere de una cuidadosa planeación de la ejecución de los estudios, tanto más si es un levantamiento con fines de ingeniería. Las técnicas geofísicas, apoyadas con los sistemas electrónicos, quedan incluidas dentro del marco de los métodos sísmicos cuyo fundamento está basado principalmente en provocar pequeñas descargas artificiales y medir sus efectos.

En la planeación de los levantamientos exploratorios intervienen como factores principales: el objetivo de la investigación y el grado de detalle requerido. Adicionalmente a estos factores existen los requerimientos técnicos de los equipos, los rasgos geológicos del área, sus características oceanográficas y los sistemas de navegación a emplear. Con la conjugación de todos estos factores, la planeación contempla la forma de los levantamientos, la distancia entre líneas de exploración que habrá de recorrer la embarcación, la dirección de las mismas, la distancia entre puntos coordenados de referencia y la determinación de los parámetros y rangos de operación bajo los cuales deberán funcionar los equipos electrónicos y los sistemas

de navegación, que permitirán llevar al barco en la ruta proyectada.

Como ejemplo de los tipos de levantamientos oceanográficos geofísicos que pueden efectuarse se pueden citar, los estudios de selección de trayectoria para tuberías submarinas, obras portuarias, retículas de exploración para la instalación de plataformas petroleras, localización de tuberías y objetos hechos por el hombre. Una vez determinado el tipo de trabajo que se pretende realizar, se conjuntan una serie de sistemas electrónicos, los cuales están diseñados para trabajar con base en la teoría de transmisión de ondas acústicas en un medio líquido y operan en la parte del espectro radioeléctrico comprendido entre los 20 Hz a 1 Mhz., como se muestra la figura 1.8.

Todos estos sistemas y equipos son colocados en una embarcación (Fig. 1.11), con el fin de determinar indirectamente las características propias del lugar, logrando con ello lo siguiente:

- a) Obtención de la profundidad del lugar.
- b) Conocimiento de las principales características del piso marino.
- c) Investigación del subsuelo marino, por medio de la obtención de registros de estratificación somera y profunda del sitio, con el fin de conocer todos los eventos que representen riegos no sólo para la instalación de plataformas y tendido de ductos, sino también para el desarrollo de la perforación exploratoria hasta los 500 metros bajo el piso marino.
- d) Posición geográfica o puntos de coordenadas en cada sitio de muestreo.

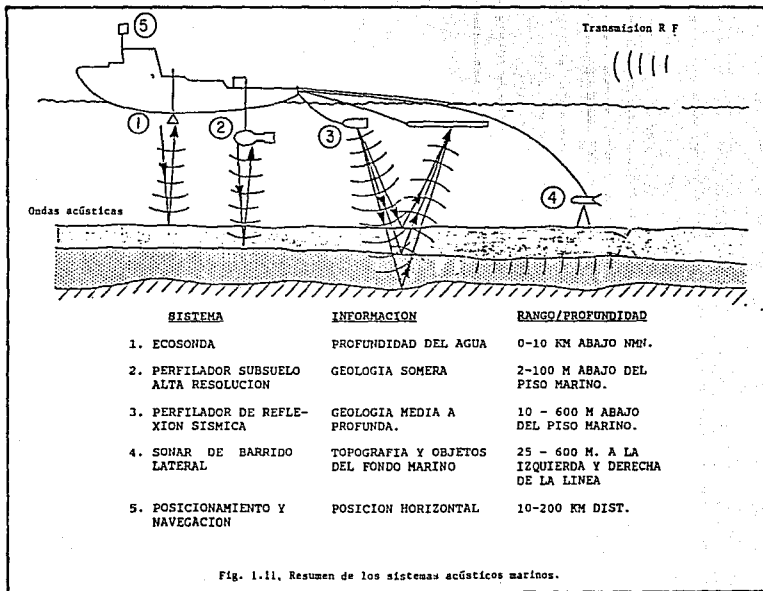


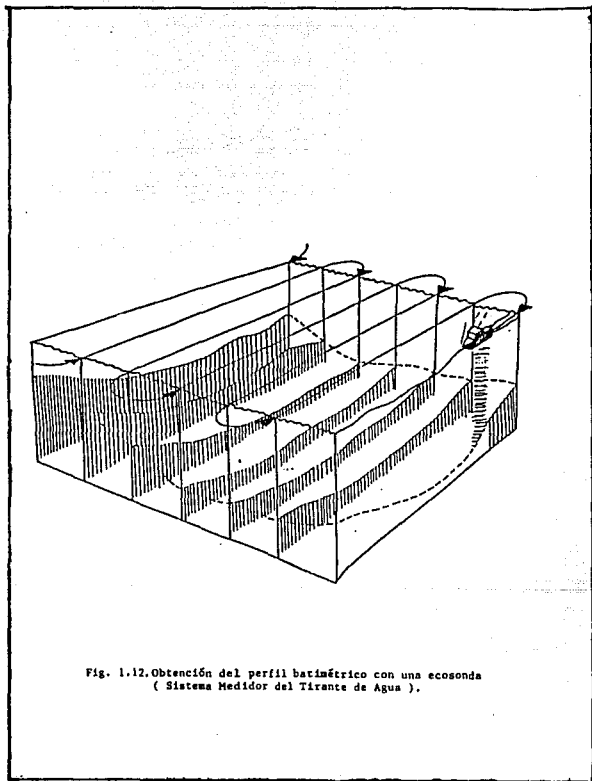
Fig. 1.11. Resumen de los sistemas acústicos marinos.

METODO PARA OBTENER LA PROFUNDIDAD DEL LUGAR

El método utiliza, principalmente, equipos llamados ECOSONDAS, los cuales basan su operación en la emisión de pulsos acústicos verticales de muy alta frecuencia (200 KHz), que al chocar con una superficie se reflejan en forma de eco, para ser recibidos por el transductor que los emitió. Si se mide electrónicamente el tiempo entre la emisión y recepción, y se supone constante su velocidad en el agua, se está en condiciones de conocer el tirante de agua considerando su frecuencia normal de operación. El haz vertical que emite esta ecosonda permite obtener sólo el perfil batimétrico del fondo del mar (Fig. 1.12).

METODO PARA CONOCER LAS CARACTERISTICAS DEL PISO MARINO

Para llegar al conocimiento indirecto del fondo marino se emplean, conjuntamente con la ECOSONDA, los SONARES DE BARRIDO LATERAL. Como su nombre lo dice, su funcionamiento se basa también en la emisión de pulsos acústicos de alta frecuencia (100 ó 500 KHz) que al chocar con cualquier objeto, o superficie del fondo, se reflejan en forma de eco y que son recibidos por un arreglo de transductores. El sonar emite una serie de pulsos acústicos en ambos lados del transductor, con un grado de inclinación vertical prefijado, lo cual permite obtener una fotografía acústica del fondo a algunas centenas de metros a babor y estribor de la embarcación (Fig. 1.13).



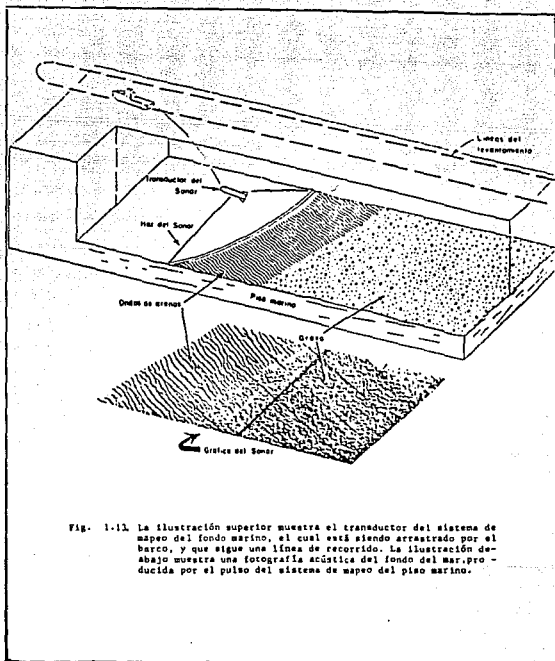


Fig. 1-13. La ilustración superior muestra el transductor del sistema de mapeo del fondo marino, el cual está siendo arrastrado por el barco, y que sigue una línea de recorrido. La ilustración de abajo muestra una fotografía acústica del fondo del mar, producida por el pulso del sistema de mapeo del piso marino.

METODO PARA CONOCER LAS CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO MARINO

Dentro de los equipos y dispositivos para investigar el subsuelo marino existen dos equipos similares, variando solamente las frecuencias de emisión. El primero es un dispositivo denominado perfilador somero; el segundo, perfilador profundo, los cuales basan su operación en los principios de sismica de reflexión acústica submarina.

Los perfiladores someros son equipos de mayor resolución y mayor frecuencia en sus señales de emisión, lo que permite penetraciones relativamente pequeñas. El sistema más simple funciona con la vibración discreta de un diafragma activado electrónicamente. El rango de frecuencias de operación de este perfilador se encuentra entre los 400 a 4000 Hz.

De los perfiladores profundos, los más difundidos son los que funcionan produciendo una descarga eléctrica, que crea un pulso acústico en el agua salada, así como los que funcionan mediante la explosión de gases a través del uso de válvulas neumáticas. Los perfiladores operan a una frecuencia que fluctua entre los 20 y 600 Hz (Fig. 1.14).

La diferencia entre un perfilador y el otro está en el tipo de registro que se obtiene, para un perfilador somero se requiere graficar la información en los primeros 200 metros bajo el piso marino, mientras que el profundo requiere de 300 a 400 metros aproximadamente.

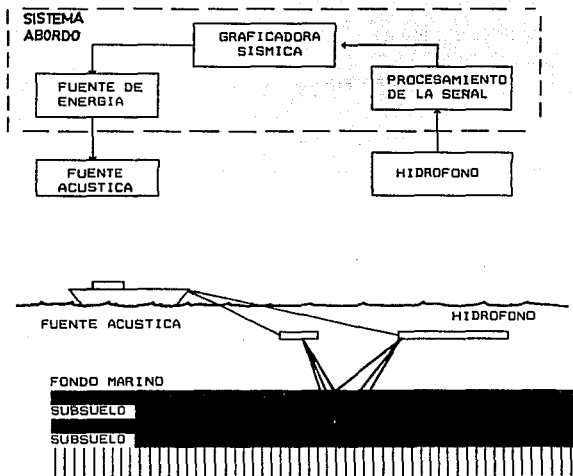


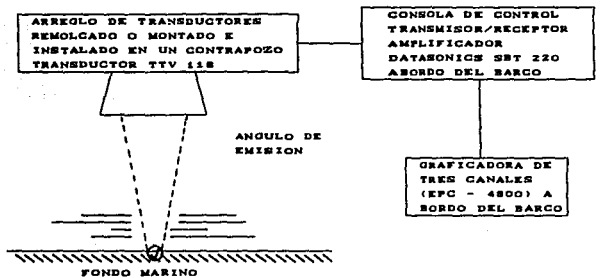
Fig. 1.14. Sistema de perfilación de sísmica continua.

SISTEMA DETECTOR DE TUBERIAS

El Sistema Detector de Tuberías es una variante del perfilador somero, el cual utiliza el mismo principio de operación, sólo que se requiere más resolución dentro de los primeros 30 metros, lo cual se aprovecha a la hora de obtener un registro, para detectar los ductos metálicos depositados en el fondo marino. La manera en que se detecta es por medio de la difracción de la señal, a la hora de reflejarse en el ducto. Una vez procesada esta señal al graficarse lo hará en forma de una parábola. Con este principio se pueden detectar ductos de 8 hasta 48 pulgadas de diámetro.

La capacidad de detección va a depender de la potencia que se este manejando en el transductor y por supuesto de la frecuencia. Normalmente las frecuencias de operación son del orden de 3.5, 5 y 7 KHz y con un manejo de potencia de 200 W a 12 KW. Este sistema requiere para su operación transductores del tipo piezo-eléctrico, los cuales funcionan como emisor-receptor, pero también puede hacerse uso de un arreglo de hidrófonos (Fig. 1.15).

Los transductores utilizados son de haz vertical y pueden remolcarse en un vehículo, instalarse a una de las bandas del barco y también puede instalarse de manera permanente en el casco del barco. Dado que los elementos del Sistema son pocos y portátiles, se pueden instalar en un barco de unos cuantos metros de eslora (de hasta 5 ó 7 metros), lo cual lo hace adecuado para aplicaciones en lagos, ríos, lagunas, bahías, puertos y darsenas.



CONSOLA DATASONICS SBT 220
- FRECUENCIAS 2, 5, 7, 12, 30, 200 KHz
POTENCIA 200 W - 1.5 KW

TRANSDUCTOR SINTONIZADO PINGER

Fig. 1.15. Sistema detector de tuberías (Transductor Sintonizado)

OBTENCION DE COORDENADAS DE LA ZONA DE LEVANTAMIENTO

Adicionalmente a la información que se obtiene con los sistemas anteriores es necesario conocer la situación geográfica del lugar, por lo que se requiere de un sistema de radioposicionamiento que permita regresar al lugar sin ayuda de una referencia visual (Fig. 1.16). El Sistema de Radioposicionamiento trabaja con base en la medición del tiempo que tarda en ir y venir una señal de radio a un grupo de estaciones fijas, permite con un software adecuado calcular la posición en todo momento de la embarcación.

1.4 CARACTERISTICAS DEL BARCO

Es necesario contar con una embarcación que reúna ciertas características para instalar los sistemas antes mencionados, además de que permita realizar los trabajos relacionados con los mismos y otros, como lo es la realización de estudios geotécnicos, trabajos de inspección de buceo, etc.. Estas actividades sólo podrán efectuarse temporalmente a petición del cliente.

Para el desarrollo de estas actividades se requiere de la utilización de un barco tipo abastecedor, adaptado convenientemente para la ejecución de todos los trabajos. Como ejemplo de ello, mencionaremos al Barco abastecedor del GRUPO ICA, llamado " EL INGENIERO ", que actualmente realiza estudios geofísicos en la Sonda de Campeche, el cual reúne los requisitos y tiene las siguientes características (Si se desconocen los términos enlistados consulte el glosario al final del trabajo):

COLOCACION PERMANENTE A LO LARGO DE LA COSTA

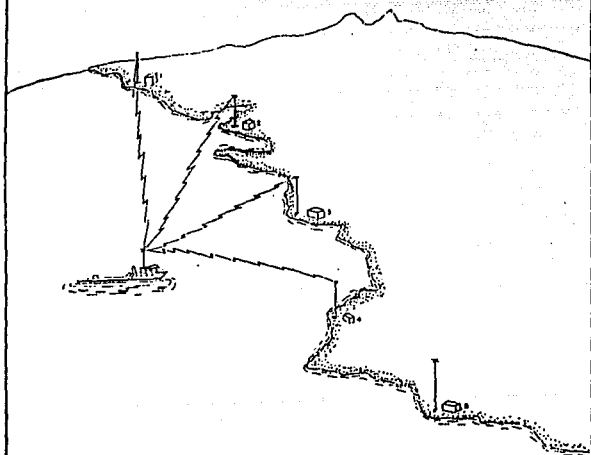


Fig. 1.16. Puntos de estaciones a lo largo de la costa, para un sistema de Radio posicionamiento.

ESLORA	:	54.86 metros
MANGA	:	12.19 metros
PUNTAL	:	4.26 metros
CALADO	:	12.0 pies
DESPLAZAMIENTO	:	624.2 toneladas
PESO BRUTO	:	486.47 toneladas
CAPACIDAD DE CARGA	:	300.00 toneladas
VELOCIDAD	:	14.00 nudos
ALOJAMIENTO	:	34 camarotes
EQUIPOS DE NAVEGACION :		Piloto automático, giroscópica, dos radares, loran, navegador p/ satélite, radiogoniómetro, radios banda lateral única y banda marina VHF.

El barco " EL INGENIERO " cuenta además con comedor, baños, cocina, puente de mando, en el que se encuentran instalados los equipos de los diferentes sistemas y un laboratorio electrónico bien equipado, para su reparación, calibración y mantenimiento. En la figura 1.17 se muestra un diagrama esquemático del barco " EL INGENIERO", con su distribución específica. Asimismo, en las figuras 1.18a y 1.18b se puede observar la disposición geométrica (esquemática) en perfil y en planta de todos los sistemas electrónicos. Actualmente con estos equipos se pueden realizar con éxito entre otras actividades:

- 1.- Localización y Posicionamiento de Embarcaciones.
- 2.- Localizaciones para tendido de ductos submarinos.
- 3.- Identificación y levantamiento de ductos submarinos.
- 4.- Determinación del tirante de agua desde el Nivel del mar hasta el piso marino.
- 5.- Perfiles estratigráficos del piso marino hasta los 500 m.

del subsuelo. (Localización de domos, fallas estructurales en los sedimentos, espesores de lodo, sedimentos sueltos o de poca compactación, antiguos canales, etc.)

- 6.- Correlación estratigráfica entre pozos de columna geológica conocida.
- 7.- Determinación de las condiciones de un lugar, para llevar a cabo el diseño de plataformas de perforación.
- 8.- Mapeo del fondo marino.

En el siguiente capítulo se describe el principio de operación de los sistemas mencionados, parámetros de selección de los dispositivos de cada uno, un ejemplo de selección de un sistema y las especificaciones de los mismos.

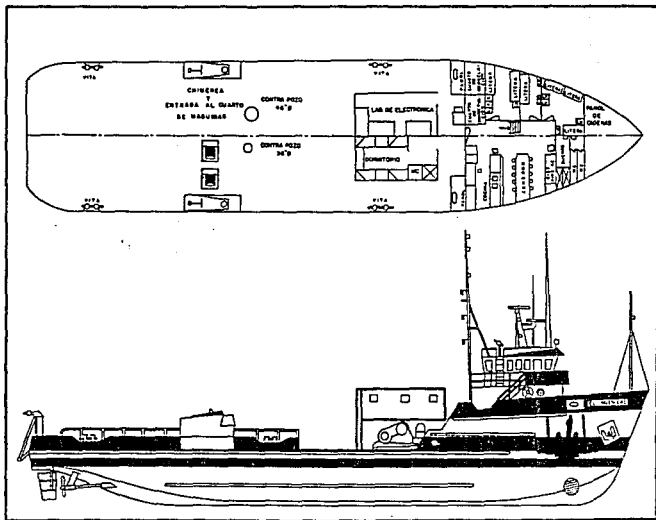


Fig. 1.17. Distribución del barco " EL INGENIERO "

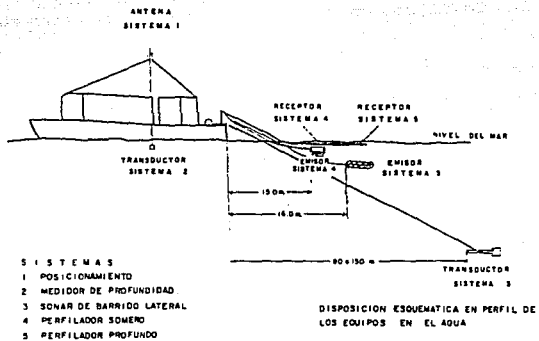


Fig. 1.18a. Distribución en perfil de los sistemas electrónicos del barco "El Ingeniero".

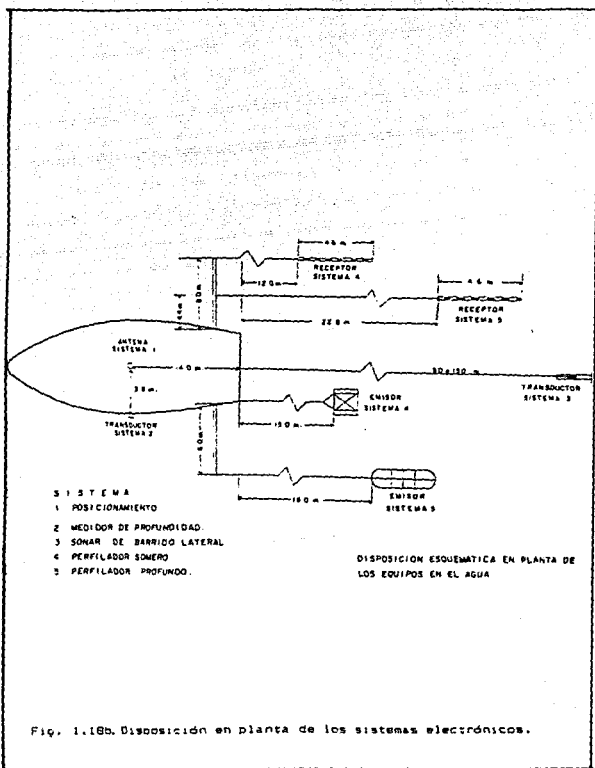


Fig. 1.18b. Disposición en planta de los sistemas electrónicos.

CAPITULO 2
SISTEMAS DE EXPLORACION
OCEANOGRAFICA

2.1 SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO

La navegación y el posicionamiento son parte integral de las operaciones de la industria marítima, incluyendo actividades de exploración, desarrollo y producción. Los científicos necesitan conocer los lugares donde fueron obtenidos los datos sísmicos, así como, la posición de los barcos y sensores que realizan los registros batimétricos del suelo marino. Todo esto es esencial para colocar las barrenas de exploración de los barcos, las plataformas de producción y las tuberías marinas en el lugar deseado. Todas estas actividades para conocer "dónde están y como regresar al mismo lugar" deben ser realizadas en la costa con precisión y en forma oportuna, frecuentemente sin la ayuda de puntos de referencia visual.

Debido a que el lector probablemente no está familiarizado con las técnicas y requerimientos para la navegación y el posicionamiento, se mencionarán en forma breve algunos conceptos relacionados con la exactitud en la industria marítima y los principios básicos de radioposicionamiento.

* Exactitud absoluta. Dentro de un sistema de navegación es la capacidad de predicción, con la cual se puede determinar la posición con respecto a un sistema de coordenadas ya definido. En la industria marítima las referencias son normalmente datos geodésicos ó coordenadas (X,Y) referidas a datos geodésicos. Las coordenadas comunes son latitud, longitud y elevación sobre el nivel del mar.

* Exactitud repetible. Es la exactitud con la cual el navegador puede regresar a la posición cuyas coordenadas han sido deducidas previamente por el mismo sistema.

* Exactitud relativa. La exactitud relativa se refiere a la exactitud con la cual un navegador podría determinar su posición relativa con respecto a la posición de otro navegador, utilizando el mismo sistema de posicionamiento en el mismo tiempo. La resolución y precisión son términos que a menudo se confunden con el de exactitud. Por lo que trataremos nuevamente de dejar claros estos conceptos:

Resolución: En la medición de una distancia, es la capacidad del sistema para entregar una lectura con un mínimo de error. Por ejemplo, si se lee una distancia a una estación 1 de 12832 metros, la resolución del sistema, como podrá observarse, será del orden de metros.

Precisión: Es el grado de refinamiento para poder repetir una lectura ya conocida.

PRINCIPIOS BASICOS DE RADIOPOSICIONAMIENTO

Los principios básicos para determinar la posición mediante las ondas de radio son muy simples. Las complejidades son introducidas dependiendo del medio ambiente en el cual se va a trabajar, los lugares donde se localicen los radioreceptores, el software y el hardware asociados al sistema.

De la física básica sabemos que la distancia es igual a la velocidad multiplicada por el tiempo. En radioposicionamiento esto se traduce en:

$$\text{Alcance} = c * \Delta t$$

Donde:

Alcance: es la distancia de una posición conocida del radiotransmisor al radioreceptor del usuario.

"c": es la velocidad de propagación de la energía electromagnética (aproximadamente la velocidad de la luz).

Δt : es la medición del tiempo en que la onda de radio se propaga a través de la distancia que separa al usuario del transmisor.

La determinación de la medición de la distancia dependerá de que tan bien conozcamos "c" y con que exactitud podamos medir Δt .

GEOMETRIA. Las mediciones directas de tiempo o fase en los sistemas de radioposicionamiento colocan al usuario en líneas circulares de posición (LOP: Lines Of Position). La intersección de dos LOP's "reconstruye" la posición (Fig. 2.1).

Tomando la diferencia entre dos tiempos directos, ó mediciones de fase, colocamos al usuario en líneas de posición hiperbólicas (Fig 2.2). En este caso, la posición es reconstruida por el cruce de dos LOP's hiperbólicas. En la práctica, LOP's redundantes (tres o más) son combinadas normalmente para reconstruir la posición. Esto se hace para detectar errores grandes en un LOP individual y mejorar la exactitud con técnicas matemáticas como la de mínimos cuadrados.

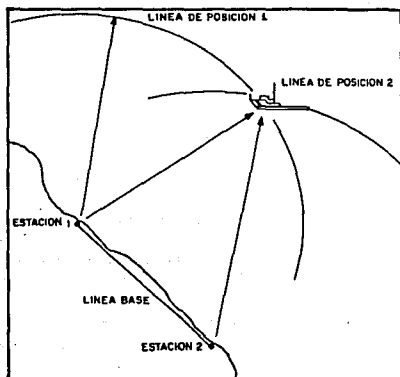


Fig. 2.1. Posición Fija usando líneas de posición circular.

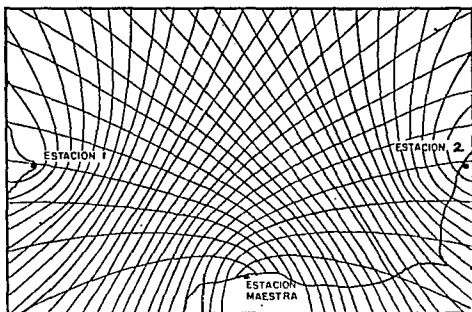


Fig. 2.2. Líneas de posición hiperbólica en un sistema de posicionamiento diferencial.

Los sistemas de radioposicionamiento utilizan una variedad de frecuencias dentro del espectro electromagnético. Dependiendo del ancho de banda utilizado podemos clasificarlos de la siguiente forma:

CLASIFICACION

Sistema de posicionamiento de corto alcance5-10 GHz (SHF)
Sistema de posicionamiento de largo alcance400-450 MHz (UHF)
Sistema de posicionamiento vía satélite1-4 MHz (VHF)

En general las más altas frecuencias dan un mejor potencial de exactitud, pero reducen su alcance de operación. Por el contrario, los sistemas que operan con frecuencias bajas logran una gran cobertura, y con los avances electrónicos pueden alcanzar una mayor exactitud.

En los siguientes apartados se hará una descripción de cada uno de los sistemas de posicionamiento mencionados.

2.1.1 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE CORTO ALCANCE

GENERALIDADES

El Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance (SHF: 5-10 GHz) basa su principio de operación en la línea de vista entre sus estaciones transmisoras. Constituido principalmente por una unidad o estación móvil y dos ó más estaciones fijas ó remotas. La estación móvil es instalada en este caso abordo de una embarcación y las estaciones base en puntos predeterminados sobre la línea costera ó en las plataformas marinas existentes en la zona de estudio.

En la configuración más sencilla la unidad móvil es un dispositivo de rango doble, es decir, mide la distancia de la unidad móvil a dos remotas conocidas, obteniéndose la posición del móvil por medio del proceso matemático denominado trilateración.

La unidad móvil o maestra está constituida principalmente por un monitor medidor de distancias, un transmisor/receptor, una antena omnidireccional (ver apéndice sobre antenas), una fuente de alimentación de C.D. y un lote de cables de interconexión (Figs. 2.3 y 2.4).

La estación remota está integrada principalmente por un transmisor/receptor, una antena de sector (ver apéndice sobre antenas), una fuente de alimentación de C.D. y un lote de cables de interconexión. (Figs. 2.3 y 2.4).

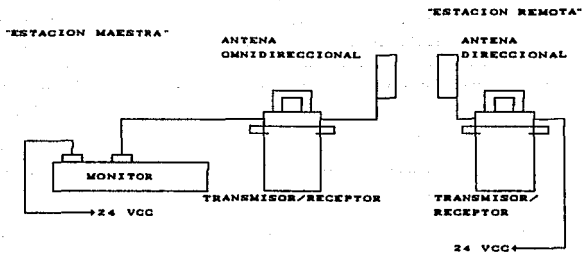


Fig. 2.3. Configuración básica del sistema de posicionamiento de corto alcance.

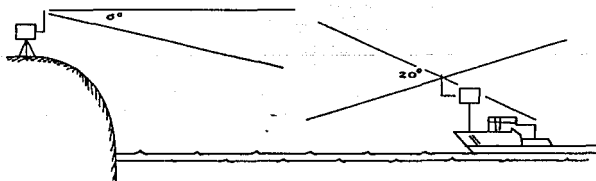


Fig. 2.4. Tipos de antenas para el sistema de posicionamiento de corto alcance.

Normalmente un Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance se emplea para la localización horizontal o el posicionamiento de una embarcación en levantamientos. Con la configuración mencionada se pueden efectuar cambios en el número de unidades remotas, por ejemplo, supongamos 3 ó 4 remotas en lugares conocidos y la estación maestra colocada en una embarcación. La remota debe ser una unidad independiente con la excepción de la fuente de alimentación, la cual debe ser de C.D. constante. La estación maestra (transmisor/receptor) se conecta al monitor medidor de distancias, el cual puede contener controles e indicadores de lectura digital de 2 ó más canales. La unidad maestra y el monitor también pueden operar con una fuente de alimentación de C.D. (generalmente la alimentación se obtiene de baterías de 12 volts y el voltaje requerido es de 24 a 30 volts de corriente directa).

El alcance de la unidad móvil es de 40 km en línea de vista. Las estaciones remotas colocadas en tierra podrán utilizar una antena de sector (direccional) de $180^{\circ} \times 6^{\circ}$ para el mejor aprovechamiento de la potencia de transmisión/recepción y sensibilidad, ya que éstas siempre estarán dirigidas a la zona de operaciones donde se encuentra el barco con la unidad móvil.

Debido a que la embarcación puede moverse libremente en cualquier dirección y bambolearse o mecerse a causa de la acción de las olas, la estación maestra usará una antena omnidireccional de $360^{\circ} \times 20^{\circ}$. Por lo cual en este caso la antena sólo estará en el plano del horizonte (Fig. 2.4).

Para obtener un alcance máximo de transmisión/recepción del sistema deberán combinarse las alturas de las antenas, tanto de

las estaciones remotas como de la maestra (Fig. 2.5). Con H_1 y H_2 a 15 metros de altura, el alcance máximo es de aproximadamente 36 km. Con H_1 a 35 m y H_2 a 15 m de altura el alcance máximo que podrá cubrirse óptimamente será de aproximadamente 40 km. Por otro lado, debemos considerar el alcance máximo del enlace de transmisión/recepción del sistema para determinar la altura óptima de las antenas, ya que ésta no puede ser arbitraria. Cuando se trabaja a poca distancia el alcance efectivo (distancia horizontal desde la localización de la estación remota a la localización de la estación maestra) será entonces menor que el alcance inclinado medido, es decir, la distancia entre antenas (Fig. 2.6). Además de esta diferencia, el alcance inclinado y el alcance efectivo son casi iguales cuando se está operando en alcance máximo.

Es recomendable no trabajar, en una distancia de tierra-barco, dentro de 10 veces la diferencia entre las alturas de las antenas remotas y maestras. A esa distancia el alcance inclinado es 0.5 % más largo que el alcance efectivo y se tendrían problemas de precisión y exactitud al calcular la posición del móvil o maestra. Por ejemplo, con la antena remota a 15 metros y la antena maestra a cero metros, tomando como referencia el nivel medio del mar, la embarcación no podrá operar a una distancia menor de 150 metros. Una forma de obtener el alcance contra la altura de las antenas, obedece a la siguiente ecuación:

$$D = 1.414 (H_1 + H_2) \text{ donde } H_1 = 0 \text{ km} \dots \dots 2.1$$

Donde:

- D = Distancia ó alcance en km
- H_1, H_2 = Altura de las antenas en metros

de la ecuación anterior se obtiene la Tabla 2.1, donde se considera que la altura H_1 es cero debido a que la antena correspondiente se encuentra sobre el nivel del mar..



Fig. 2.5. Combinación de altura de antenas, para alcance máximo.

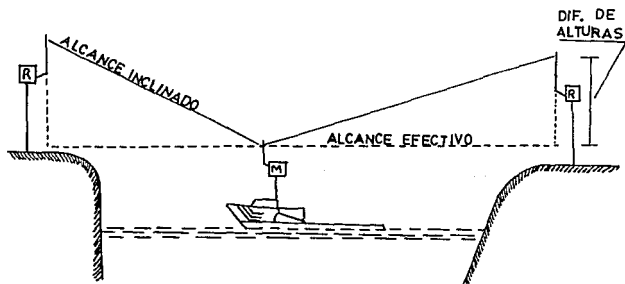


Fig. 2.6. Determinación del alcance efectivo.

ALCANCE vs. ALTURA DE ANTENA

ALCANCE (Km)	ALTURA (MTS)	ALCANCE (Km)	ALTURA (MTS)
1	0.06	24	35.00
2	0.27	25	38.00
3	0.55	26	41.00
4	0.98	27	45.00
5	1.50	28	48.00
6	2.20	29	51.00
7	3.00	30	55.00
8	3.90	31	59.00
9	5.00	32	63.00
10	6.10	33	67.00
11	7.40	34	71.00
12	8.80	35	75.00
13	10.00	36	79.00
14	12.00	37	84.00
15	14.00	38	88.00
16	16.00	39	93.00
17	18.00	40	98.00
18	20.00	41	103.00
19	22.00	42	108.00
20	25.00	43	113.00
21	27.00	44	119.00
22	30.00	45	124.00
23	32.00	46	130.00

TABLA 2.1. Distancia alcanzada contra la altura de la antena. Obtenida con la ecuación 2.1 y haciendo alguna de las dos alturas igual a cero, según se pretenda determinar el alcance de la maestra o remota.

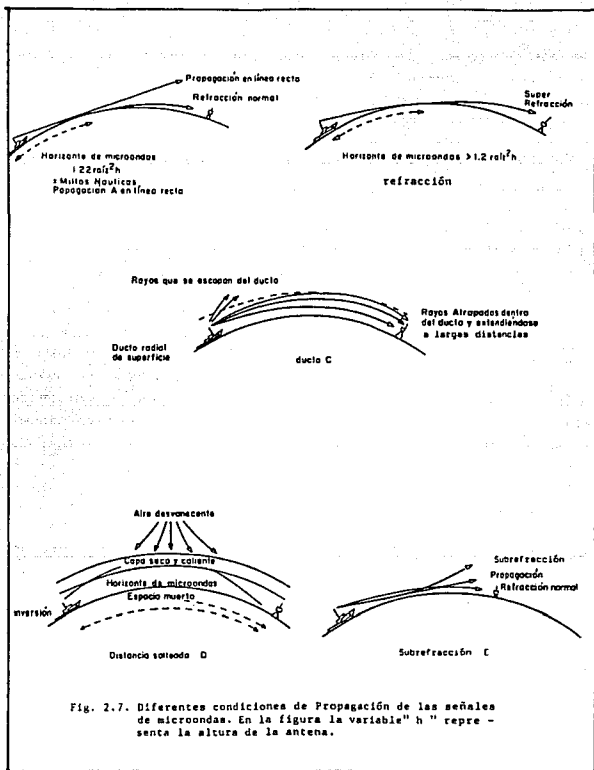
Las condiciones meteorológicas ambientales también afectan el alcance máximo de microondas, los dibujos de la Fig. 2.7 ilustran varias condiciones de propagación.

Un aspecto muy importante que deberá tomarse en cuenta para el mejor rendimiento del sistema es que las antenas móviles y terrestres deben de estar situadas de forma que se puedan ver. Cualquier objeto que obstruya la línea de vista provocará lecturas falsas, o ninguna lectura. Este podría ser el caso si un barco obstruyera la visual o si se realizara un levantamiento cercano a estructuras que obstruyan la visual.

Algunas veces, la señal de una de las estaciones terrestres se perderá sin motivo aparente, lo que sucede probablemente es una cancelación de fase. La superficie del agua es un buen reflector, y la energía radiada de la trayectoria directa se cancela cuando la energía rebota en el agua, llegando 180° fuera de fase, debido a la diferencia en la longitud de la trayectoria.

La frecuencia de operación del Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance es de 9.4 GHz. Por lo que su longitud de onda es de $(300 \times 10^6 \text{ metros/seg}) / (9.4 \times 10^9 \text{ Hz}) = 0.032 \text{ metros (3.2cm)}$.

Aunque las cancelaciones de fase pueden ocurrir a poca distancia, debe haber la suficiente potencia y dispersión de frecuencia de la portadora de manera que se pueda detectar por lo menos alguna señal, por débil que sea. A distancias mayores, una cancelación semejante de fase disminuirá la potencia de la señal, abajo del nivel del detector del receptor, así las lecturas de distancia se



pierden totalmente. Si esto sucediera, prácticamente se puede contrarrestar cambiando sólo la posición de la base de una estación remota unos pocos metros (Fig. 2.8).

La distancia que el monitor deberá medir será con una precisión de ± 3 m abarcando un área de trabajo de 40 a 60 km. La precisión de la posición definida dependerá del ángulo de intersección de las distancias medidas de las trayectorias directas del barco a las antenas remotas..

Se deberá tratar de mantener el ángulo de intersección entre 30° y 150° , obteniéndose un error de alcance máximo de ± 3 metros. Por lo que el error máximo de posición a 30° y 150° es de $3/\text{seno } 15^\circ$ ó ± 11.6 metros. A 90° , el error máximo de posición se reduce a $3/\text{seno } 45^\circ$ ó ± 4 metros. El valor de los ángulos de intersección está determinado por el método de Trilateración (ver apéndice del método de Trilateración al final del trabajo).

Tomándose los límites del ángulo de intersección en cuenta, una línea base determinada proporcionará un campo específico de operación aceptable. En la figura 2.9, AB es la línea base, AMB y ANB son los ángulos de intersección máximo y mínimo respectivamente. El lugar geométrico de todos los puntos, teniendo un ángulo constante sobre AB, es un círculo cuyo radio está definido por $r = AB/2(\text{seno } a)$, (a es el ángulo de intersección). Por conveniencia, si los límites del ángulo de intersección son 30° y 150° , el radio r es igual a la línea base, y los límites podrán ser trazados en un gráfico mediante el empleo de un compás, dichos límites permiten definir el área útil de operaciones donde se tendrá el menor error al determinar la posición del barco. En

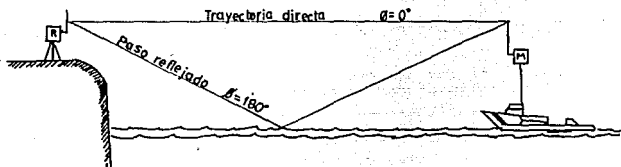


Fig. 2.8. Cancelación de la señal directa, por arribo de la misma señal, pero defasada 180° .

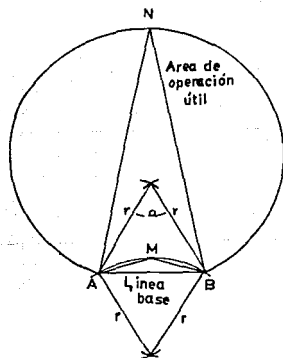


Fig. 2.9. Determinación del área de operaciones.

la figura 2.9, A y B son los puntos de las estaciones remotas ya conocidos; M y N son los puntos que se desean conocer en el ángulo máximo y mínimo de intersección.

CONSIDERACIONES TECNICAS

Para conocer la posición final de la unidad móvil es necesario tener un equipo periférico de computación, con un programa (software) de navegación que nos permita conocer la posición del barco en todo momento, referidos a un sistema de coordenadas cartesianas ó geográficas.

La unidad móvil es un sistema electrónico de posicionamiento que proporciona información precisa de la distancia visual desde la estación maestra a una ó más estaciones remotas. Esto se realiza al medir el tiempo de ida y vuelta de las señales de radiofrecuencia de la transmisión entre las dos estaciones, donde cada distancia mostrada es un promedio de 10 a 100 mediciones, lo cual disminuye el error estadístico y aumenta la estabilidad y precisión del sistema.

Cada medida requiere sólo cerca de 1 milisegundo, y el promedio indicado se actualiza una vez cada segundo. Las señales que van y vienen de cada estación están codificadas, proporcionando de esta manera un medio para la elección de estaciones y rechazo de señales externas. Las instalaciones remotas se encuentran en lugares conocidos (en tierra o en plataformas fijas en el mar), y la estación maestra se encuentra en una embarcación donde tendrá línea de vista a las remotas sin obstrucción alguna. Los datos de

las diferentes distancias leídas se observarán en la unidad de control y éstos podrán ser reducidos a una posición X-Y por medio de la trilateración.

UNIDAD MEDIDORA DE DISTANCIAS O MONITOR

Esta unidad controla las funciones del sistema y contiene los controles y mandos operacionales e indicadores para la lectura de datos. Algunos modelos de monitores en el mercado ofrecen la característica de ser a prueba de agua, cuando se encuentra destapado en la parte de los controles y por supuesto cuando esté cerrado. Esta unidad suministra señales a la estación maestra (transmisor / receptor) para que sean transmitidas a las estaciones remotas. A su vez las señales de las remotas son recibidas por la maestra y enviadas de nuevo al monitor para la determinación de la distancia. Una pantalla de TRC (Tubo de Rayos Catódicos) exhibe las distancias a las estaciones seleccionadas, pudiendo además tener estos datos en un conector externo, que se utiliza con una computadora y equipos adicionales para la obtención final de coordenadas.

ESTACION MAESTRA

Esta unidad interroga a todas las unidades remotas cuando el monitor de distancias genera la orden. A ésta se le suministra potencia y señales de control a través de un cable de 15 ó más metros conectado al monitor de distancias. El transmisor/receptor deberá estar contenido en una caja herméticamente sellada y a prueba de agua, ya que estará todo el tiempo sujeto a las

condiciones ambientales (lluvia, viento, polvo, etc.). En la estación maestra normalmente se utiliza una antena omnidireccional.

ESTACION REMOTA

Esta unidad contiene un transmisor/receptor que responde a una orden codificada de la estación maestra. Se le suministra energía a través de un cable de 8 a 10 metros conectado normalmente a baterías. Las estaciones remotas podrán utilizar antenas omnidireccionales o una direccional según se requieran en la zona de operaciones.

SUMINISTRO DE ENERGIA

Este se obtiene generalmente de dos baterías en serie para suministrar una tensión de 24 volts de corriente directa. La tensión de alimentación podrá variar en un rango de 23 a 32 VCD. El monitor requiere de aprox. 50 watts, la estación maestra 20 watts y las estaciones remotas 20 watts cada una. Los cables de señales y potencia estándares podrán ser bobinados o acortados para realizar una instalación más compacta. Es también importante mencionar que en las estaciones remotas en plataforma se les puede suministrar energía ininterrumpible de la propia instalación, para así evitar el mantenimiento constante a las baterías de automóvil.

EQUIPO PERIFERICO

Este equipo consta de una computadora personal, la cual recibe la información del monitor, la procesa con el programa respectivo para la navegación y nos muestra la posición en todo momento de la unidad móvil; además, nos permite obtener un reporte impreso de las coordenadas o situación actual del mismo, a través de un impresor.

SELECCION DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE CORTO ALCANCE

Uno de los factores que determinan la elección de un Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance lo es el área de operaciones donde se pretende trabajar con el mismo, así como la frecuencia de uso en las actividades de posicionamiento. Algo que también cuenta es la distancia que se requiere cubrir de acuerdo a las necesidades del cliente.

Para nuestro caso se requiere cubrir un área de 1600 km² con una categoría de servicio del tipo multiusuario, en donde habrá de 10 a 15 unidades móviles en operación. En ocasiones se requiere cubrir distancias de 40 a 60 km. Con base en los parámetros de los Sistemas de Corto Alcance se seleccionará el más adecuado a la aplicación requerida. En el mercado se dispone de algunos fabricantes de estos equipos, entre ellos: Del Norte Technology Inc., Motorola Inc. y Cubic Industrial Corporation. De los modelos existentes, sólo uno cumple con los parámetros requeridos, el cual es de la compañía Del Norte Technology. Este modelo reúne las siguientes especificaciones.

ESPECIFICACIONES (MONITOR MODELO 542)

Alcance : 80 km en línea de vista
Exactitud: +/- 1 metro
Resolución: 0.1 metros
Tamaño: 17.8 x 43.2 x 38.7 cm
Peso: 15.3 kg
Voltaje ent.: 22-27 volts de C.D.
Corriente: 1.9 amperes

Este modelo de monitor es completamente automático, es portátil y resistente al agua. Decodifica las señales de las estaciones remotas ó costeras y proporciona al operador y al equipo periférico la información de distancias de cada canal en operación. Puede monitorear o rastrear 8 señales de diferentes estaciones remotas. Además de que cuenta con un software interno que permite programarlo para efectuar recorridos de navegación, es compatible con computadoras PC (Personal Computer) y presenta salida de datos a impresora.

TRANSMISOR/RECEPTOR

El transmisor/receptor es el modelo 217E

Frecuencia: 9320-9500 MHz
Voltaje: 23-30 volts de C.D.
Corriente: 0.07 amperes con el equipo apagado
0.77 amperes en espera
1.00 ampere en operación
Peso: 7 kgs

En el equipo periférico como son: la computadora personal y la impresora, la elección queda abierta e incluso si se cuenta con otro equipo de posicionamiento abordo se pueden compartir estos periféricos siempre y cuando sean compatibles para abatir costos. Otra característica adicional es que puede manejar diferentes códigos.

La selección del tipo de antena a usar en las estaciones móvil y maestra se tratará al final del trabajo en el apéndice referente a antenas. Asimismo es importante mencionar que la unidad transmisora/receptora en la estación móvil, como remota, es de construcción similar, sólo que en la sección de control se da la diferencia y ésta es en la configuración donde se define la operación de la misma, es decir, si va a operar como estación móvil podrá entonces procesar todas las señales que reciba en los diferentes códigos habilitados vía el software del monitor. Pero la estación remota sólo responderá al código que tenga prefijado con anterioridad.

En la fig. 2.10 se da un diagrama a bloques de las principales partes del Sistema de Posicionamiento de Corto Alcance elegido.

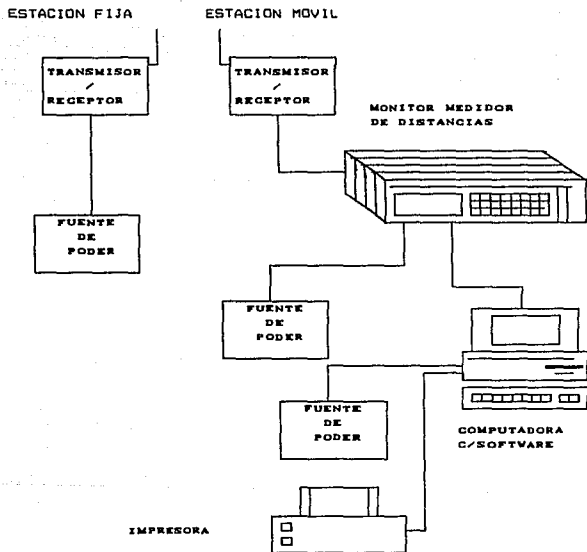


Fig. 2.10. Diagrama a bloques de un sistema de posicionamiento de corto alcance.

2.1.2 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LARGO ALCANCE

El Sistema de Posicionamiento de Largo Alcance (UHF: 400-450 MHz) es uno más de los sistemas que utilizan la radiofrecuencia como su principio básico de operación para poder medir distancias. Por la frecuencia base en que operan se puede decir también que se rigen bajo el concepto de la transmisión de la señal sobre el horizonte, esto quiere decir que la señal viaja siguiendo la trayectoria de la curvatura de la Tierra, en otras palabras, utiliza la tropósfera como canal de transmisión. Con este principio básico, estos sistemas pueden medir distancias de hasta 200 Kms, con potencia de transmisión de aproximadamente 200 watts.

Una lista representativa de los Sistemas de Largo Alcance se muestra en la tabla 2.2, con su frecuencia de operación de cada sistema, su alcance máximo y exactitud. Los valores de alcance (distancia) y exactitud están basados en la experiencia de los usuarios, y esto puede ser discutido con los fabricantes del sistema que se ocupe. Dichos valores sólo son representativos.

Sistema	Frecuencia	Alcance	Exactitud
Syledis	420 a 450 MHz	60 a 110 km	5-15 m
Maxiran	420 a 450 MHz	60 a 150 km	5-10 m
UHF Trisponder	430 a 440 MHz	60 a 80 km	5-15 m

TABLA 2.2 - Sistemas de Posicionamiento de Largo Alcance.

El sistema consiste básicamente de cuatro unidades principales: una unidad móvil (instalada en un barco) y tres ó más unidades base (instalados en puntos predeterminados sobre la costa o en sitios ubicados en plataformas).

La unidad móvil se compone de :

- a).- Un Monitor Medidor de Distancias
- b).- Un Transmisor/Receptor
- c).- Un arreglo de antenas direccional u omnidireccional

La unidad base está integrada por los siguientes dispositivos:

- a).- Un Transmisor/Receptor
- b).- Caja de Control para el Transmisor/Receptor
- c).- Antena Omnidireccional o arreglo direccional de antenas

En la figura 2.11 se observa el diagrama a bloques del sistema antes descrito.

Su funcionamiento es el siguiente: la unidad móvil transmite una señal de radiofrecuencia a todas las estaciones base, la cual va codificada, a la que contestarán inmediatamente las estaciones base, una vez que éstas se hayan identificado con el código correspondiente, asignado previamente. Con la asignación de códigos a las estaciones base, este sistema trabajará como mínimo con tres estaciones base, para tener una mejor exactitud y

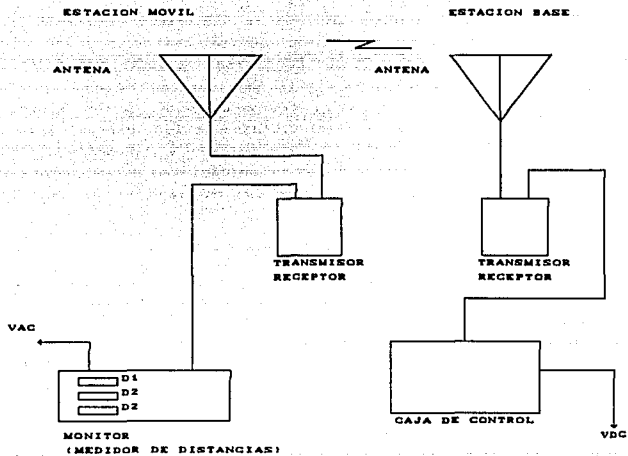


Fig. 2.11. Componentes de las estaciones móvil y fija del sistema de posicionamiento de largo alcance.

precisión, pudiendo el operador sacar un código de operación de una estación base y reemplazarlo por otro que nos mejore la geometría de operación.

En el monitor de la unidad móvil se le muestran al operador las distancias medidas a las estaciones base, en metros. Este proceso se realiza midiendo la cantidad de tiempo transcurrido entre la transmisión de la unidad móvil y la respuesta de la señal de la estación base. En consecuencia, las señales de radiofrecuencia viajarán aproximadamente a la velocidad de la luz. Por tal motivo el tiempo transcurrido entre la transmisión y recepción de la señal, por parte del monitor de la unidad móvil, es medido y convertido en distancias, para poder ser mostrado en un pantalla al operador.

En la industria de la exploración petrolera marina, los sistemas de posicionamiento son denominados de costa-afuera, del término offshore, utilizado para cualquier operación que se efectúe en el mar utilizan el método de trilateración para poder determinar la posición instantánea de la unidad móvil. La exactitud y precisión de un sistema de posicionamiento está determinada por las buenas proporciones geométricas que se tengan de la unidad móvil con respecto a las estaciones base. Estas últimas deberán tener un alto grado de precisión y exactitud en las coordenadas de la posición donde se localicen.

En la fig. 2.12 se muestra la configuración de la geometría típica del sistema, utilizando tres estaciones fijas y una extra en espera, al considerarse la geometría del lugar.

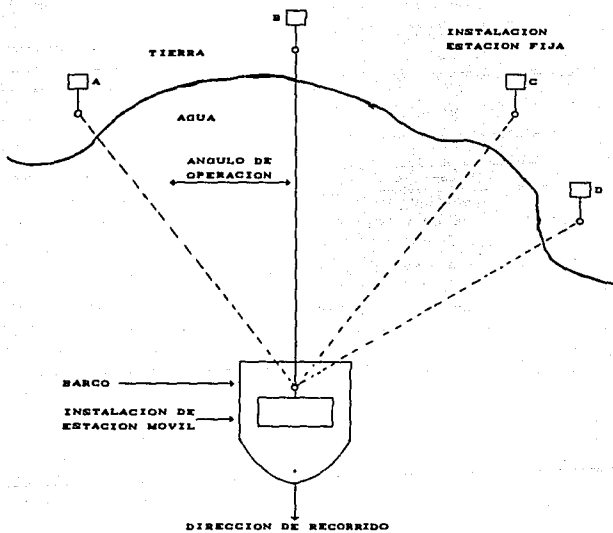
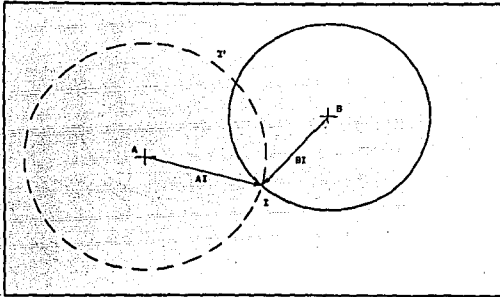


Fig. 2.12. Arreglo típico de un sistema de posicionamiento de largo alcance.

En algunos casos el sistema podría trabajar con sólo dos estaciones base, pero de acuerdo al patrón de radiación del equipo y la geometría, sucede que se llega a tener dos señales iguales para la misma estación. Consideremos la fig. 2.13, donde se muestran dos estaciones fijas A y B, y además la distancia recorrida por la señal A al barco (denominada AI) y la distancia recorrida por la señal B al barco (BI). En dicha figura las distancias AI y BI definen dos intersecciones circulares, una con un radio AI centrado en el punto A, el otro con radio BI centrado en la estación B. Para esta configuración existen o se encuentran dos puntos de intersección a los que se le denomina I' e I. Uno de ellos por la configuración geométrica cae en tierra y el otro en el mar. En vista de esto, hay siempre una incertidumbre asociada con la medición exacta al utilizar dos señales para posicionarse. Por lo cual, al usar tres señales hace que esta incertidumbre se elimine. En la figura 2.14 se muestra una tercera señal que define ahora una tercera señal C, teniendo ahora una distancia más, CI. Esta nueva situación da una nueva localización en el punto de intersección, eliminándose con ello la posibilidad de tener dos posibles localizaciones, como se tenían con dos señales.

En los últimos años se han desarrollado una serie de avances en los circuitos electrónicos integrados, que se han incorporado a los diseños, lográndose con esto sistemas más compactos, ligeros y de muy alta precisión y exactitud, además de poder alcanzar distancias de hasta 200 km, utilizando tan solo una potencia de 200 W, y teniendo una exactitud de ± 10 m y en un ancho de banda de 420 a 450 MHz.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA



Sistema con dos señales.

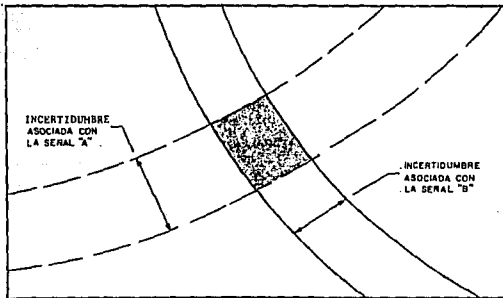
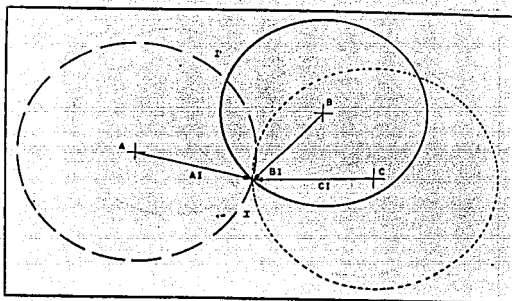


Fig. 2.13 Incertidumbre con dos señales.



SISTEMA CON TRES SEÑALES

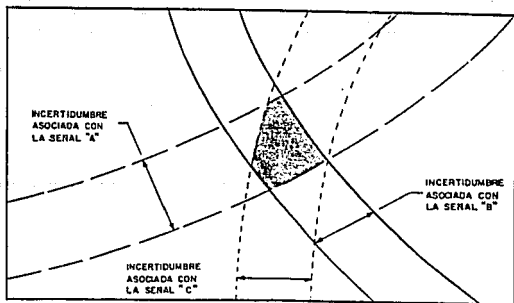


Fig. 2.14. Incertidumbre con tres señales.

CONSIDERACIONES TECNICAS

A continuación se describen algunas características de los diferentes dispositivos que integran las unidades móviles y base de un sistema de posicionamiento de largo alcance.

TRANSMISOR/RECEPTOR MOVIL

Esta unidad deberá ser sellada, repelente a las condiciones ambientales, se alimenta con corriente directa, la cual le es suministrada a través de un cable de interconexión al monitor, presenta una salida para la antena. Su potencia de salida máxima es de 200 W, tiene integrado los amplificadores de radiofrecuencia, osciladores y decodificadores, necesarios para efectuar la transmisión y recepción. Puede trabajar en un ancho de banda de 420 a 450 MHz.

ANTENAS

La antena de la unidad móvil puede ser del tipo omnidireccional de 10 db y ancho de banda de 420 a 450 MHz, este tipo de antena brinda una operación confiable para cubrir rangos hasta de 120 km. Se puede utilizar un juego de antenas direccionales helicoidales denominadas LPL, las cuales requerirán de un acoplador de antenas, este se conecta directamente al transmisor/receptor (Véase al final del trabajo apéndice sobre antenas).

UNIDAD MEDIDORA DE DISTANCIAS

La unidad medidora de distancias será capaz de convertir la señal recibida en una lectura en metros para tres o más distancias en una pantalla. Además, permite el control y calibración del transmisor / receptor, ya que le proporciona la potencia de alimentación y señales de control necesarias para la correcta interpretación de los distancias monitoreadas. Debe ser capaz de proporcionar un puerto de datos paralelo o serial para usarse con periféricos como un computador y demás. Deberá alimentarse con corriente alterna o corriente directa.

EQUIPOS PERIFERICOS

El equipo periférico consta de un computador personal, un graficador, una impresora y una pantalla gráfica de alta resolución, así como del software necesario, como son programas de navegación con base de datos y capacidad para implementar tareas de planeación de recorridos.

ESTACION BASE (TRANSMISOR/RECEPTOR)

El transmisor receptor de la estación base será esclavo del equivalente de la unidad móvil, ya que éste tendrá un código de identificación, al cual debe de responder. Utilizará una antena omnidireccional de 7 db y frecuencia de operación de 420 a 450 MHz, con una potencia de aprox. 200 W. Lo mismo usará si se trata de un arreglo de antenas direccionales, las cuales contarán con un control de rotación independiente.

CAJA DE CONTROL DE TRANSMISOR

Esta unidad se encarga de suministrar la potencia de alimentación, que proviene de una fuente de corriente directa, ya se trate de batería de automóvil o fuente regulada. Además podrá controlar de forma automática o manual la fuerza de su señal.

SELECCION DE UN SISTEMA DE POSICIONAMIENTO DE LARGO ALCANCE

Con base en los parámetros descritos anteriormente y a la tabla 2.2, elegimos el Sistema de Posicionamiento de Largo Alcance MAXIRAN, el cual reúne las siguientes especificaciones:

ESPECIFICACIONES

Especificaciones del Sistema Maxiran:

Frecuencia de operación:	420-450 MHz una sola frecuencia
Temperatura de operación:	10-50°C
Impedancia de entrada:	50 ohms
Tipo de señal:	Pulsos Codificados en Fase
Ancho del pulso:	28.9 microsegundos
Velocidad de repetición del grupo de pulsos:	150 pares de pulsos/segundo en el interrogador y 50 pps (pulsos por segundo) en el beacon.
Resolución:	+/- 1 metro

MONITOR (UNIDAD MEDIDORA DE DISTANCIAS MAXIRAN)

Pantallas indicadoras de distancia:	3 para observar una lectura máxima de 999000 metros
Otros indicadores:	Indicador de tres dígitos para el día, la hora, línea y disparo
Salida a periféricos:	Serie, paralelo BCD, niveles lógicos TTL y salida I.E.E.E.
Suministro de Potencia:	105 a 130 V.C.A.
Dimensiones:	50 a 400 Hz, 3 amperes Ancho 48.26 cm, altura 26.67 cm y fondo 50.8 cm
Peso:	27.22 kg

Este monitor puede trabajar con 6 diferentes códigos en las estaciones costeras y recibir 3. Permite la operación multiusuario, esto indica que puede estar operando otro monitor en la misma área de operaciones.

UNIDAD TRANSMISORA/RECEPTORA DE LA ESTACION MOVIL (INTERROGADOR)

Tipo de transmisor:	Estado sólido, oscilador de cristal
Potencia pico de salida:	200 watts \pm 10%
Suministro de potencia:	12 V.C.D. y 2 amperes vía el monitor
Dimensiones:	De forma cilíndrica con un diámetro de 16.83 cm, altura 33.02 cm
Peso:	6.8 kg

UNIDAD TRANSMISORA/RECEPTORA ESTACION COSTERA (BEACON)

Receptor:	Superheterodino, detector y filtro, preamplificador de RF oscilador de cristal
Potencia pico de salida:	200 watts \pm 10%
Suministro de potencia:	12 VCD, 2 amperes desde su caja de control
Dimensiones y peso:	las mismas del interrogador

Para los equipos periféricos queda libre la elección, ésta se llevará a cabo de acuerdo al software que se elija para navegar. Actualmente el barco "El Ingeniero" opera con un programa denominado Trace 13 y otro que recibe el nombre de Seatrac (ver apéndice de listado de programa de navegación al final), ambos programas aceptan los niveles de salida del monitor y son muy semejantes. Ambos manejan una base de datos que se requieren para complementar los trabajos contratados con PEMEX.

Los dos programas de navegación mencionados en el párrafo anterior aceptan datos de otros sistemas de posicionamiento, como el de Posicionamiento de Corto Alcance, pueden entregar resultados en coordenadas U.T.M. (Universal Transversa of Mercator) y geográficas. Permiten la programación de líneas de navegación para realizar un estudio geofísico de alta resolución. En las figs. 2.15 y 2.16 se muestran los diagramas a bloques del Sistema de Posicionamiento de Largo Alcance Maxiran. El sistema lo forma, como ya se mencionó, básicamente una estación Móvil y tres estaciones fijas iguales. Dentro de la estación móvil el Monitor cuenta con tres canales medidores de distancias, en donde éste

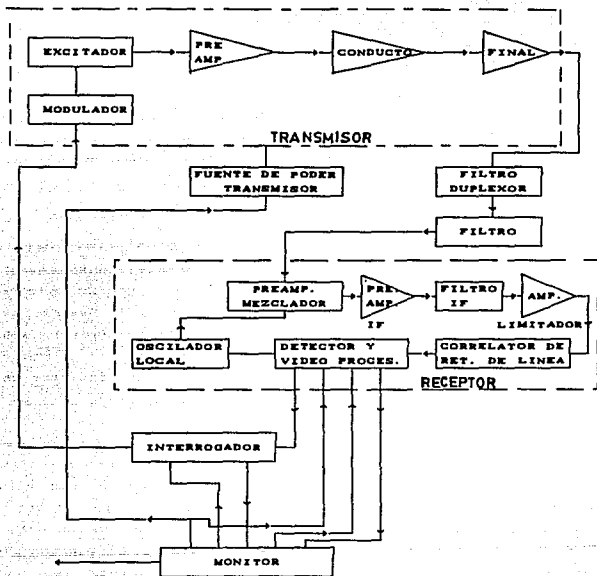


Fig. 2.15. Diagrama a bloques de una estación móvil.

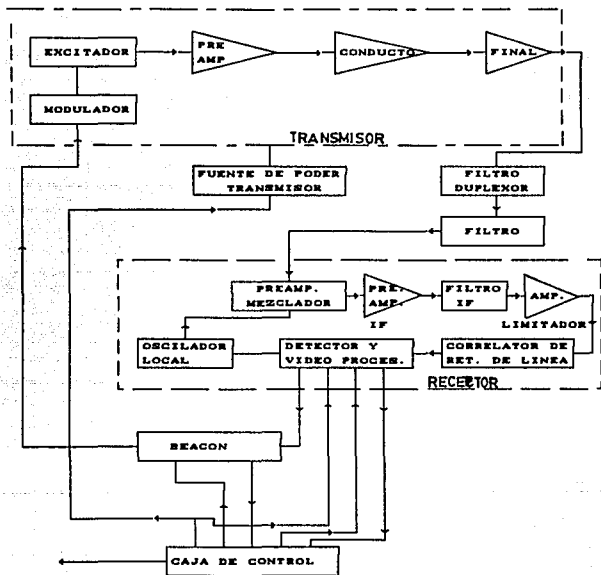


Fig. 2.16. Diagrama de bloques de una estación fija.

enciende el transmisor del interrogador, dependiendo en que canal este sintonizado también el Monitor encenderá cualquiera de la siguiente serie de canales: ABCABCABC.....ó ABABAB..... ó ACACAC.....ó BCBCBC.....ó AAA.....ó BBB.....ó CCC.

El interrogador siempre transmite en la misma frecuencia, y el beacon de la estación fija, que está comenzando a direccionarse, es identificado por un código de dos pulsos de transmisión.

El interrogador escucha por una forma repetitiva el direccionamiento del beacon, y la recepción pasa la respuesta del videoprocesado al monitor.

El corazón del Monitor es el reloj de 150 MHz, que conduce la circuitería de la memoria de video y dos cadenas de contadores. Estas dos cadenas de contadores hacen la mayoría del trabajo en el Monitor. La primera cadena de contadores es el contador del Goniómetro, que es el proveedor de la regulación de tiempo para el disparo del transmisor del Interrogador. La segunda cadena de contadores es el contador de la marca, que tiene una longitud fija y conteos de 1,000,000 del pulso del reloj a 150 MHz, antes de sobrepasarse. El contador del Goniómetro es configurado para contar entre 100 y 1,000,000 pulsos antes de sobrepasarse. El número de conteos del Goniómetro antes de sobrepasarse es determinado por la recepción de datos del canal seleccionado y cualquier otra adición de datos.

Dentro de la circuitería del Monitor se encuentra una etapa en donde se derivan los datos en una o dos fuentes, es decir, la

primera fuente es el control manual de rastreo del canal y la segunda fuente es la circuitería de rastreo automático.

El control manual de rastreo es usado para la operación de la estación móvil y de esta forma alinear la marca de la señal y dos pulsos de video antes de ajustar la circuitería automática de rastreo.

El rastreo automático examina la relación entre el pulso receptor del video (del receptor del interrogador) y el sobrepaso de la marca del contador. Si los dos pulsos no coinciden la circuitería de rastreo automático arroja una señal de error para la generación de números apropiada, causando que la generación de números cuente hacia arriba o abajo.

El receptor de pulsos de video y la marca del pulso deberán mostrarse en el osciloscopio del monitor, dando una información que llevará directamente a rangos de 100, 10, y 1 km, tomadas de la entrada vertical. La entrada horizontal del osciloscopio es producida por un generador de barrido. Esta sección controla las tasas de barrido de varios rangos asegurando que el video y la marca estén propiamente mostrados. Adicionalmente, el Monitor también tiene datos como Número de Línea, Número de Día, Tiempo y Contador de disparo como ya se mencionó en las especificaciones.

SECCION DE RADIOFRECUENCIA

Esta sección consiste básicamente de dos unidades. La primera instalada en la Estación Móvil llamada (interrogador) y la segunda

en las Estaciones Fijas llamada (beacon), como ya se indico líneas arriba, el interrogador cuenta con una unidad de control llamada (Monitor) y el beacon con una unidad llamada (Caja de Control).

Mucha de la circuitería en el interrogador y el beacon son idénticas (excepto por el cristal y el filtro de frecuencias): El transmisor del interrogador es encendido por el monitor y el transmisor del beacon es encendido por la caja de control, dependiendo del modo de operación de esta caja. La figura 2.15, muestra el diagrama de bloques de la estación móvil y la figura 2.16, muestra el diagrama a bloques de la estación fija.

La parte del transmisor del interrogador consiste de un modulador que provee una señal para codificar en fase la salida de un excitador de radiofrecuencia (RF). La salida del modulador es un código al azar, que iguala al patrón de correlación en la línea de retrazo del beacon. La salida del excitador es amplificada aproximadamente a 300 watts y entonces se introduce dentro de un filtro/duplexor, siendo esta salida de aproximadamente 200 watts.

*

El receptor del interrogador atiende la respuesta del direccionamiento del beacon. Usando una señal del canal seleccionado del Monitor, el interrogador mantiene una señal fuerte en la memoria de cada uno de los canales activados. El receptor del interrogador detecta y procesa la recepción del video y pasa la señal resultante al Monitor.

La señal recibida de RF es obtenida de la baja potencia de salida de la transmisión del filtro/duplexor. Esta señal es filtrada y

entonces mezclada con una señal del oscilador local para producir la frecuencia intermedia (IF). La frecuencia IF exacta se selecciona para optimizar la correlación del retraso de línea.

La señal IF es amplificada y filtrada antes de entrar a un amplificador limitador. Este amplificador limitador está configurado para cortar el nivel de ruido. La salida de este amplificador alimenta al controlador del retraso de línea. Esta salida es un pulso corto por cada rompimiento de la entrada correlacionada. Este pulso es detectado y procesado, llegando a la señal del procesador de video que es enviada al monitor.

El transmisor del interrogador es encendido por una de dos señales de disparo. La señal normal de disparo es suministrada por el decodificador del beacon, que determina si ya el beacon está comenzando a direccionar por el interrogador. La otra señal de disparo es suministrada por la caja de control del beacon, cuando esta caja tiene colocado el interruptor en el modo de prueba (TEST). En este modo la caja de control transmite solamente una señal de aproximadamente 400 Hz promedio.

La parte transmisora del beacon funciona de la misma manera que el interrogador.

Finalmente, en la etapa de recepción, cuando el decodificador del beacon recibe el primer pulso de video procesado, éste comienza a registrar un cambio en el contador de tiempo. Un interruptor en el decodificador del beacon determina la velocidad a que registrará el contador de tiempo. Por otro lado, si la recepción del segundo

pulso de video recibido coincide con el tiempo, el cambio de registro finaliza, provocando que el codificador del beacon produzca una señal de disparo del transmisor de éste. Sin embargo por debajo de cualquier otra condición el transmisor del beacon quedará inactivo.

ARREGLOS DE ANTENAS

Para la operación de este sistema se tienen dos tipos de antenas que se utilizarán de acuerdo a los alcances requeridos. Estos tipos son:

- Antenas Direccionales del tipo LOOP. Este tipo de antenas es para lograr un mayor alcance, sólo que tiene un patrón de radiación de aproximadamente 60 grados (aproximadamente hasta 200 km).
- Antenas Omnidireccionales. Estas antenas se utilizan basicamente cuando se requieran alcances de mediana distancia (aproximadamente hasta 100 km).

2.1.3 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO POR SATELITE

El principio utilizado en el radioposicionamiento por satélite es el mismo que el usado en los sistemas tradicionales. En el caso de los satélites, los transmisores/receptores se localizan en algún punto de la órbita del mismo, ya conocida con una precisión bastante exacta. La distancia o diferencia de distancias son exhibidas a través de las mediciones de fase y tiempo de la frecuencia Doppler, en el radio receptor del usuario, formando esferas e hiperboloídes en el espacio. Como se hacía inicialmente con los sistemas de posicionamiento convencionales, cada distancia representa una esfera o una hipérbola, las cuales de acuerdo a la referencia tomada se vacían en cartas, y la intersección de los círculos o hipérbolas nos da la posición del móvil.

Una primera desventaja del posicionamiento por satélite es que tienen que usarse muy altas frecuencias de radio, como consecuencia de esto el satélite deberá de estar en línea de vista. Estos sistemas de posicionamiento por satélite tienen una desventaja inherente en su exactitud, cuando uno pretende cubrir áreas geográficas tan grandes como los E.U.A., México ó cualquier otra zona extensa de la tierra.

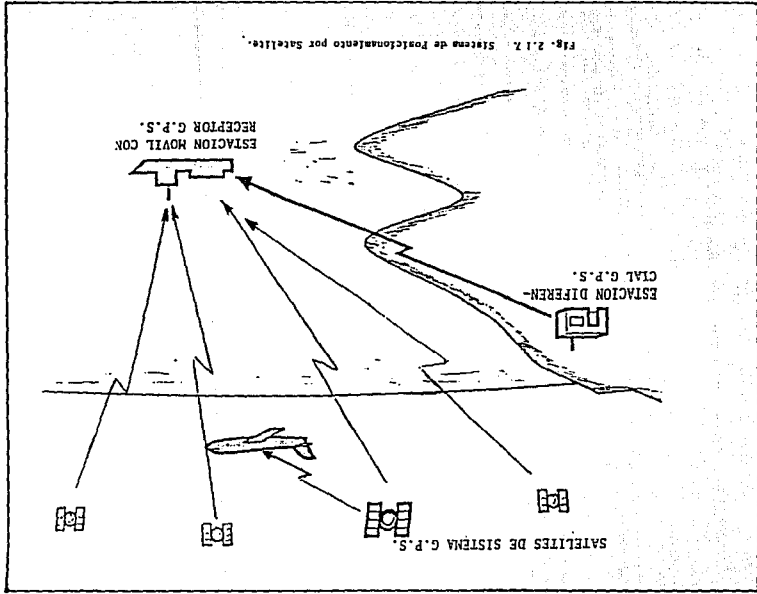
POSICIONAMIENTO DIFERENCIAL

El concepto de posicionamiento diferencial ha recibido mucha atención en la literatura técnica, particularmente en la aplicación a sistemas de satélites. El principio de operación no es nuevo, sin embargo, tiene sus raíces en el posicionamiento

convencional, donde las estaciones de monitoreo son colocadas en lugares conocidos para generar un cálculo de los rangos observados contra el medido en la localización desconocida.

El posicionamiento diferencial usado en los sistemas normales es para reducir el error por la trayectoria de propagación, al realizarse esto se obtiene una gran exactitud en los resultados. Los errores de propagación son generados por las condiciones atmosféricas, ya que afectan la velocidad de las ondas de radio y por lo tanto el valor de c (velocidad de la luz) en la ecuación de la distancia. La estación monitorea calcula las correcciones por comparación de distancias conocidas del origen de la señal, contra el alcance. Asumiendo que los errores por trayectoria de propagación son similares para un usuario cercano, estas correcciones pueden aplicarse a las observaciones del otro, lográndose de esta forma una mayor exactitud en la obtención de una posición fija.

El término TRANSLOCACION es usado para hacer referencia al posicionamiento diferencial, concepto muy ampliamente usado en el Sistema de Satélites Transit. Cuando se obtiene la posición de un punto con el Sistema Transit, las fuentes de mayor error son: el error de la órbita de los satélites y los residuos de la refracción de la señal de radio. Para corregir estos errores por translocación, se coloca un usuario en una localización conocida y el otro cercano a la localización desconocida, la exactitud relativa de estos dos usuarios es significativamente realizada. La separación de los dos usuarios pueden ser algunos cientos de kilómetros, sólo que las órbitas del satélite estén a más de 1100 km de los usuarios. El posicionamiento diferencial se utiliza actualmente en los sistemas de posicionamiento por satélite vigentes.



GENERALIDADES

Desde la década de los sesentas se han usado los sistemas de satélite, para navegación, posicionamiento y comunicaciones. Con los nuevos sistemas su uso se va incrementando, los requerimientos en el posicionamiento son más rigurosos, los cuales tienen que ser satisfechos por los nuevos sistemas de satélites. Siendo la exactitud el parámetro que requiere mayor atención, tanto para la aplicación de posicionamiento dinámico como estático.

Para poder seleccionar un Sistema de Satélites por posicionamiento, es necesario conocer algunos de ellos de manera general. Numerosos sistemas de radioposicionamiento por satélite han sido propuestos en las décadas pasadas. Dos de ellos son el Starfix y Geostar que han sido desarrollados para ser usados solamente desde el sur de México hasta el norte de Canadá. Ambos son sistemas basados en el posicionamiento diferencial, utilizando satélites geostacionarios. El Geostar fue proyectado en 1988 para proporcionar una exactitud de 1 a 7 metros. El Starfix pretende resultados similares, siendo un sistema de propiedad y operación privada creado en 1984 por "Laboratorios de Tecnología Analítica" del gobierno de los E.U.A. y una Compañía de Servicios Marinos del mismo país.

El sistema Transit proporciona posiciones fijas en dos dimensiones (latitud y longitud) para el modo dinámico, para el estático puede proporcionar tres dimensiones. Este sistema ha probado ser demasiado confiable. Normalmente se tienen 5 satélites en operación en órbitas cercanas al círculo polar, a una altura de 1100 km de la tierra. Como la tierra gira sobre su eje dentro de

la órbita de los satélites, el usuario verá al menos dos veces al día un satélite. Si la cantidad necesaria de mediciones y la geometría relativa del satélite al usuario son aceptables, la posición puede calcularse. En promedio con este sistema una posición fija puede ser determinada cada 1.5 horas.

Los satélites Transit transmiten continuamente en frecuencias cercanas a los 400 MHz y 150 MHz. Las dos frecuencias son usadas en ese orden para obtener una primera corrección por refracción ó curvatura, ya que las señales de radio se propagan a través de la ionósfera. Las frecuencias en que transmite el sistema son muy estables en períodos cortos de tiempo, siendo controlados cuidadosamente por osciladores de cristal de cuarzo. A causa de que los satélites viajan a una velocidad de aprox. 7 km/s, la frecuencia recibida será Doppler y desplazada. La frecuencia recibida es comparada o mezclada con una frecuencia estable de 400 MHz, generada en el receptor. Puede demostrarse que la integración, ó contéo de la mezcla de frecuencias, es precisa sobre intervalos de tiempo, relacionándose esto directamente con la diferencia de los rangos inclinados del usuario al satélite en instantes de tiempo.

La posición final puede calcularse en una computadora o microcomputadora y tiene la ventaja de que las posiciones del satélite son conocidas en sus órbitas y que estas posiciones son datos modulados que van en la frecuencia portadora. De la posición conocida del satélite y la estimada del usuario, teóricamente, pueden formarse distancias inclinadas y usando el método de mínimos cuadrados, se ajusta la posición estimada del usuario hasta el grado requerido.

La frecuencia Doppler recorrida es utilizada en el sistema Transit, un usuario en movimiento deberá tener conocimiento de su velocidad, cuando adquiera los datos del paso de satélite. Dicha velocidad puede ser conocida de sensores de velocidad, sonar, girocompás ó de un sistema de navegación complementario como el Loran C ó Argos. A la integración de un receptor de Transit, computadora y otros dispositivos se le conoce como Sistema de Navegación Integrado por Satélite. Este sistema dió origen, en los años setentas, al posicionamiento de barcos de geofísica.

Los Transit también proporcionan resultados bastante buenos para la determinación de una posición de un barco de perforación, una plataforma fija, etc. Además de que permite la determinación de los puntos para ubicar las estaciones remotas de los sistemas de exploración geofísica para costa afuera. Para esto se requiere de que el equipo se deje operando de 2 a 3 días, con lo cual se obtiene una posición con una exactitud de alrededor de 30 cm. Este sistema actualmente esta en proceso de desaparecer, para dar paso a sistemas más rápidos y más compactos.

Como resultado de estos cambios uno de los sistemas por satélite que ha tenido gran desarrollo en la actualidad es el SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL, conocido por sus siglas en inglés como GPS. El cual en sus inicios se usó sólo para fines militares en los E.U.A. pero, gracias al avance tecnológico y desarrollo de la industria petrolera, ha podido ser introducido en el mercado civil a nivel mundial, para efectuar las actividades más diversas y complejas que se requieran para realizar cualquier tipo de posicionamiento (Fig. 2.17).

GPS transmite en dos frecuencias bastante estables 1.575 MHz y 1.227 MHz, las cuales son controladas por relojes atómicos en los satélites. Los satélites están en órbitas de 12 horas a 20200 kms por encima de la tierra. La configuración operacional de la constelación de satélites permiten en la actualidad, en algunas partes del mundo, cobertura de 24 horas. A la fecha, para la zona territorial de la República Mexicana, sólo se cuenta con una cobertura de aproximadamente 20 a 22 horas al día, y próximamente, a finales de 1992, se tendrá cobertura las 24 horas del día.

El GPS es básicamente un sistema de medición que emplea la geometría esférica. Donde en la primera medición es tomado el tiempo en que la señal de satélite alcanza al receptor del usuario. Todos los receptores y satélites generan una serie de códigos idénticos. Cuando un mensaje de un satélite arriba a un receptor el código de la señal recibida es comparada con el código del receptor. Esto se realiza usando técnicas de correlación. La cantidad de tiempo recorrido en el código del receptor representa el tiempo de tránsito de la señal. Los relojes atómicos en los satélites proporcionan un tiempo muy exacto y preciso, además de que son monitoreados desde el centro de control en tierra. El usuario también tiene un reloj en su equipo receptor, pudiendo ser un reloj atómico o un oscilador de cristal de cuarzo. Los relojes de los satélites y receptores no están sincronizados, por lo que la diferencia de tiempo se le conoce como *time bias* u *offset*. Por lo anterior el rango (distancia del receptor al satélite) es calculado con base a la velocidad de propagación multiplicado por el *time bias*, por lo que el rango calculado se le conoce como pseudo-rango.

Al obtener tres alcances a tres satélites, se supone la posición del usuario en la intersección de tres esferas en el espacio, fijando la posición en este punto. Con el *time bias* que proporciona las mediciones de pseudo-rango, sólo se debe tomar una lectura más de un cuarto satélite para poder determinar la posición en tres dimensiones. Estas son referidas a un plano cartesiano en tres dimensiones, teniendo como centro la tierra, para lo cual las coordenadas de las tres posiciones del usuario se pueden calcular encontrando la solución de cuatro ecuaciones de cuatro variables, las cuales equivaldrán a los valores desconocidos del *time bias* de cada satélite contra el receptor del usuario. En resumen, para encontrar la solución del sistema, los más sofisticados sistemas hacen uso de la medición de fase y la frecuencia Doppler de la portadora para realizar la exactitud de la posición.

En conclusión las correcciones por refracción de la ionósfera y tropósfera en la atmósfera serán aplicadas para obtener la exactitud en los pseudo-rangos. Un fenómeno más interesante sucede en torno a los relojes atómicos de los satélites, debido a que estos oscilan hay que aplicar una corrección relativista, esto es debido a que no se encuentran bajo las mismas condiciones gravitacionales de la tierra.

SELECCION DE UN RECEPTOR GPS

GPS pronto será una herramienta básica, que casi todo el mundo usará en cualquier aplicación, ya que es un sistema con tremendo potencial y una amplia variedad de usos posibles.

Elegir un equipo para una aplicación particular requiere de un análisis cuidadoso de como se va a usar el receptor, que información se necesita obtener, y con que presupuesto se dispone. Las preguntas que deben considerarse antes de tomar una decisión son:

- ¿ Es necesaria una posición solamente ó se requiere de una serie de posiciones continuamente ?
- ¿ Se necesita la medición exacta de la velocidad de un vehículo, sobre todo cuando se pretende saber la velocidad relativa de algún otro móvil en movimiento ?
- ¿ La economía es más importante que la exactitud?
- ¿ El consumo de potencia es un factor importante?
- ¿ El receptor operará en condiciones dinámicas, experimentará aceleraciones y altas velocidades?

Las preguntas anteriores permiten describir al mejor de los receptores disponible en el mercado, sus filosofías de diseño, sus ventajas y desventajas.

Hay dos grupos amplios de receptores, los que rastrean cuatro ó más satélites simultáneamente y los que rastrean la secuencia de satélites, dentro de cada grupo hay una clasificación. A continuación se hace una breve descripción de manera general para ambos grupos de receptores.

RECEPTORES DE SECUENCIA

Todos los receptores GPS deberán recibir información de al menos 4 satélites para calcular una posición exacta. Los receptores de secuencia tienen un sólo canal y obtienen los datos de un satélite a otro. Generalmente estos tienen menos circuitería, son más baratos y su consumo de potencia es menor. Desafortunadamente la secuencia puede interrumpir el posicionamiento y puede limitar su exactitud. Dentro de este grupo están los receptores de un sólo canal "Starved-Power", los receptores de un canal, los receptores de 2 canales y los más viejos de rápido multiplexaje (Fast-Multiplexing) de un solo canal.

RECEPTORES DE UN SOLO CANAL STARVED-POWER

Este tipo de dispositivos son portátiles y diseñados para operar con baterías pequeñas, por su limitado consumo de potencia, sólo pueden tomar una lectura ó dos por minuto y se apaga entre las lecturas. son para la gente que gusta de caminar y saber su posición ó para embarcaciones pequeñas en un día de navegación, sería la elección adecuada. Su exactitud es mejor que los receptores LORAN y pueden trabajar en cualquier parte del mundo.

Sus principales desventajas es su baja exactitud, su interconexión limitada y su inhabilidad para medir la velocidad. Estos sistemas como ya se mencionó se apagan entre toma de lecturas y no pueden mantener la continuidad en las mediciones para calcular exactamente la velocidad. Cada unidad está equipada con circuitos de reloj de bajo consumo de potencia (esto se debe a que el

circuito de reloj debe permanecer encendido todo el tiempo), los relojes utilizados en este tipo de receptores no son muy precisos.

RECEPTORES DE UN SOLO CANAL

Este tipo de receptores se parecen a los anteriormente descritos, usan un sólo canal para lograr enlace con todos los satélites del sistema GPS, un receptor común de un sólo canal puede permanecer encendido continuamente ya que no están limitados en potencia. Esto significa que son más exactos y pueden medir la velocidad, para desplazamientos del móvil ó embarcación, sin aceleraciones significativas, ni cambios de rumbo ó dirección en el recorrido. Un solo canal deberá usarse para recibir los mensajes con los datos del satélite, así como para el cálculo de las distancias, no pueden usarse para un posicionamiento continuo.

En resumen, por razones técnicas, la inestabilidad del reloj de estos receptores afecta directamente la exactitud de las mediciones de la velocidad. Por el bajo costo de estos receptores el reloj utilizado es barato, por lo que los valores de velocidad resultantes pueden ser no confiables.

RECEPTORES DE RAPIDO MULTIPLEXAJE, DE UN SOLO CANAL

Su diseño es muy similar a los anteriores, sólo que estos se conmutan de un satélite a otro más rápido. La ventaja que tienen es que pueden actualmente hacer mediciones de distancias y también monitorear los mensajes de datos de satélites. Operan

continuamente, son menos sensitivos a la inexactitud del reloj. Desafortunadamente este enfoque requiere de una circuitería más compleja que repercute en un incremento en el costo del dispositivo tanto como el de un receptor de dos canales de secuencia, el cual es más flexible y exacto.

RECEPTORES DE SECUENCIA DE SATELITES DE DOS CANALES

El agregar un segundo canal a los receptores de secuencia GPS incrementa su capacidad significativamente, además la relación señal/ruido propia del sistema se duplica, esto permite el rastreo de la señal del satélite bajo las condiciones más adversas, además de rastrear a satélites muy cercanos al horizonte. Mientras que un canal monitorea los datos de posicionamiento, el otro está recibiendo los datos del siguiente satélite, por lo que un receptor de este tipo no interrumpirá sus funciones de navegación. Las mediciones de velocidad son más exactas, más precisas. Un buen receptor de dos canales puede usar estrategias de cálculo que permitan eliminar inexactitudes en el reloj del receptor pudiendo agregárseles cálculos para velocidad. La desventaja del diseño de un receptor de dos canales es usualmente su mayor costo y consumo de potencia. Los receptores más modernos hacen un uso cada vez más extenso de los circuitos de larga escala de integración, lo cual incrementa su costo, al agregar un segundo canal haciendo relativamente insignificante el costo de un buen reloj. Invariablemente un receptor de dos canales es más caro que el de un sólo canal, por lo que su elección va a depender de las necesidades del usuario en cuanto a exactitud y operación continua del receptor de dos canales. Requiere de un paquete de controles más sofisticados.

RECEPTORES CONTINUOS

Los receptores que pueden rastrear 4 o más satélites simultáneamente pueden dar velocidad y posición instantáneas. Estos pueden ser evaluados en situaciones altamente dinámicas y con una gran exactitud, por lo mismo son usados para investigaciones y propósitos científicos. Se tienen receptores con configuración de 4, 5, 8, 10 y 12 canales.

La ventaja obvia de estos receptores es que continuamente están dando la posición, pueden eliminar el error de precisión por dilución geométrica (GDOP: Geometric Dilution of Precision), este es consecuencia de los ángulos y distancias a los diferentes satélites al momento de calcular la posición.

Los receptores GPS del tipo continuo rastrean todos los satélites que se tengan por encima del horizonte, para mantener en el valor mínimo el GDOP.

Como ya se dijo un receptor aumenta su relación señal/ruido en la misma proporción en que aumenta la cantidad de canales de recepción, tomando como referencia un sistema receptor de un canal. Otra comparación es que los canales en un receptor pueden calibrarse independientemente sin que se afecte la exactitud. Es conveniente mencionar que también se tienen desventajas como: el tamaño, el consumo de potencia y el costo, lo cual es insignificante contra los resultados que se espera obtener.

OTRAS CONSIDERACIONES

Aparte de las consideraciones mencionadas en los párrafos anteriores, se debe de contar en el sistema con la posibilidad de elegir su capacidad de interconexión con una computadora y otros dispositivos que se requieran interconectar a un sistema de posicionamiento.

Con base en lo anterior y al lugar o zona de operaciones del Barco "El Ingeniero", se requiere de un receptor GPS del tipo continuo ya que las operaciones del mismo son las 24 horas del día y los 365 días del año, por lo que se puede elegir un receptor de unos 8 canales.

El receptor elegido es de la marca Trimble Navigation y es el modelo Marine Surveyor de la serie 4000, puede ser utilizado tanto en operaciones costa-afuera como en tierra, cuenta con las siguientes especificaciones técnicas.

ESPECIFICACIONES

Tiempo de entrega de la primera posición:	Antes de tener 2 minutos de encendido
Número de canales para rastrear:	8 canales, con opción para adicionales
Tipo de enlace:	Estático o dinámico
Software:	Viene integrado con software

	que permite hacer una planeación de recorridos y además puede manejar una base de datos
Antena:	Requiere de una antena externa del tipo marino
Pantalla:	De LCD de 4 renglones por 40 caracteres de largo
Teclado:	Alfanúmerico
Interfaces:	Puertos RS-232, dos entradas de alimentación
Resolución:	2 cm
Exactitud:	2 cm
Potencia de entrada:	10.5-35 VCD, 8.5 watts, opcional módulo de alimentación de C.A.

Otra de sus características es que abordo de un barco puede instalarse en un contenedor para su interconexión con otros equipos periféricos. Es a prueba de agua, portátil.

Peso:	7.2 kg
Temperatura de operación:	-20 ^o a +55 ^o C

En la fig. 2.18 se muestra un diagrama a bloques de las funciones del receptor continuo GPS, en la fig. 2.19 una fotografía del receptor.

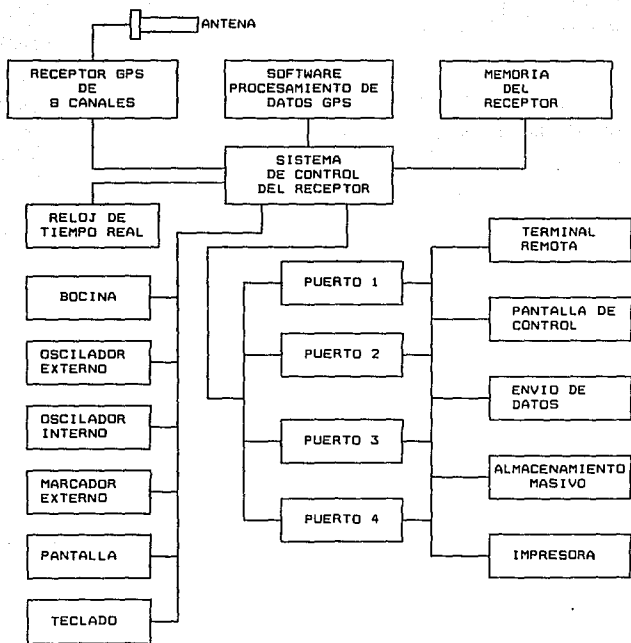


Fig. 2.18. Diagrama a bloques funcional del Receptor GPS.

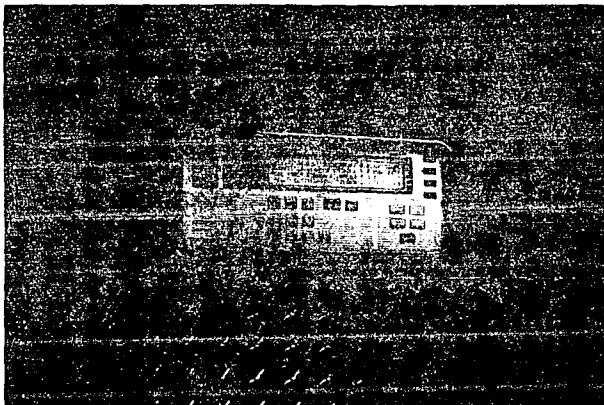


Fig. 2.19. Fotografia del receptor GPS.

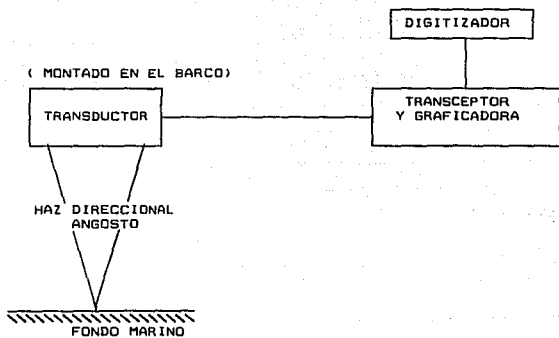
2.2 SISTEMA MEDIDOR DE PROFUNDIDAD

El Sistema Medidor de Profundidad, también llamado *ECOSONDA*, es un sistema que funciona mediante el empleo de ondas acústicas, las cuales son emitidas a través de un transductor y viajan hacia el fondo del mar. Parte de esta energía acústica se refleja y regresa en forma de eco al mismo transductor, que opera simultáneamente como transmisor y receptor.

El sondeo con la ecosonda es un método que realiza la medición de la profundidad, por medio del cálculo del intervalo de tiempo requerido por el viaje de las ondas acústicas, a una velocidad conocida, de un punto conocido a una superficie reflectiva y su correspondiente retorno (Fig. 2.20).

Si el tiempo es medido entre la transmisión de un sonido y la recepción de su eco, la distancia puede ser calculada por la multiplicación de la mitad de este intervalo de tiempo y la velocidad del sonido en el agua.

La temperatura del agua, la salinidad y la presión, son factores que pueden en determinado momento variar la velocidad del sonido en este medio, desde 1365 m/seg hasta 1530 m/seg. Sin embargo, en muchos equipos esta velocidad viene calibrada desde la fábrica en valores de aproximadamente 1480 m/seg, por lo tanto deberán considerarse estos factores y realizar una calibración previa en el sitio en donde se pretenda realizar una exploración o sondeo batimétrico. Esta calibración se puede efectuar midiendo los parámetros de salinidad, temperatura, y presión del agua haciendo



ECOSONDA

TRANSCÉPTOR = TRANSMISOR/RECEPTOR

RANGO: 2 A 1450 METROS

FRECUENCIAS: 41 , 200 HZ.

EXACTITUD: +/- 0.1 M DEL RANGO

POTENCIA: 2do V 500 V

ANGULO DEL HAZ: 24° (41 KHz); 8°/200 KHz)

Fig. 2.20. Diagrama a bloques del ecosonda.

la corrección correspondiente ó bien midiendo la profundidad con un bloque de acero atado a un cable guía con el fin de poder ajustar el valor de la velocidad al comparar la lectura del ecosonda y la del cable.

Una superficie del suelo marino compacta o dura, como arena ó roca provera una mejor reflexión de las ondas acústicas. Sin embargo, algunas reflexiones fuertes también podrán notarse como burbujas de aire o gas, que pueden estar presentes en le tirante de agua.

CONSIDERACIONES TECNICAS

La ecosonda es un equipo constituido por una graficadora analógica ó digital, un cable de interconexión, una fuente de poder de C.A. o de C.D., según convenga, y un transductor piezoeléctrico. Este equipo es una unidad de ultrasonido que provee un registro preciso, detallado, y permanente de la topografía del suelo marino, en profundidades desde los 30 centímetros hasta profundidades de más de 1000 metros, dependiendo del tipo de equipo a utilizar (Figs 2.21 y 2.22).

Como lo mencionamos anteriormente, en profundidades en donde predomine el piso rocoso liso se tendrá un mejor reflector contrastante, por este motivo en cualquier equipo de esta naturaleza tendremos en sus controles una sensibilidad mayor y una ganancia menor. Para suelos blandos, como lodos, tendremos que incrementar la ganancia, para lograr un reflector más contrastante (Fig. 2.23). Por lo que la combinación adecuada de estos dos controles nos permitirá obtener un registro uniforme en ambos casos como lo muestra el tercer registro en la figura 2.23.

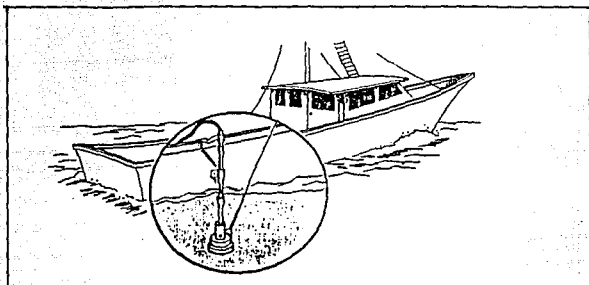


Fig. 2.21. Instalación Típica del transductor en la borda del barco.

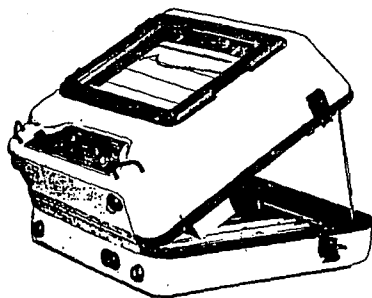
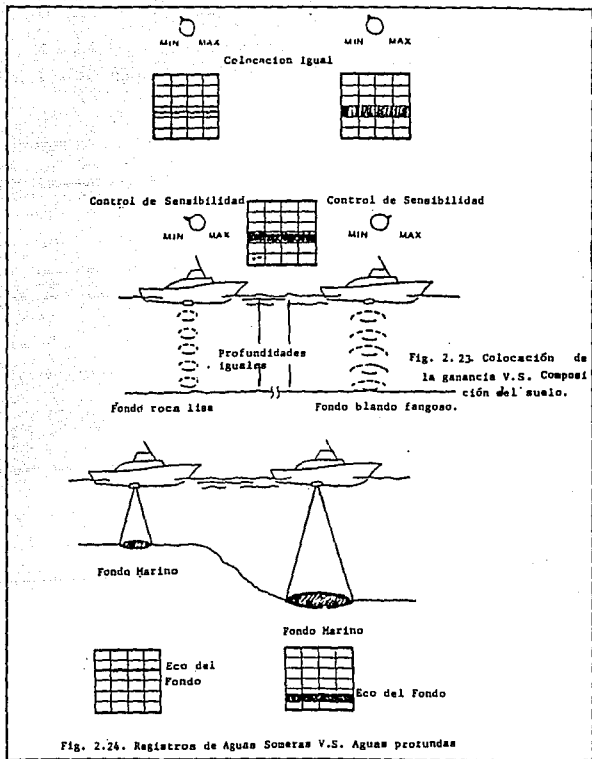


Fig. 2.22 Graficadora Típica (Ecosonda).



Asimismo, en aguas someras relativamente pequeñas, constituirá una superficie reflectiva más tenue que en un tirante de agua más grande. Esto se produce por una mayor emisión de pulsos que se transmiten en un patrón cónico (Fig. 2.24).

En la fig. 2.25, se observa que el patrón cónico continúa el viaje a través del agua con puntos notorios en el piso marino (línea B-S). La línea (T-B) marca la verdadera profundidad, siendo la distancia más corta por donde viaja el pulso. Esta distancia se muestra en la gráfica de la figura como la línea superior del registro de la Ecosonda. La línea (T-S) obviamente es la más larga y se ilustra en la gráfica como la línea inferior del registro. En la figura 2.26 se muestra un registro típico de la ecosonda.

Dentro de la circuitería contamos con dos etapas principales: la primera etapa es el circuito Transmisor, que consiste básicamente en una configuración de oscilador maestro-amplificador de potencia, cuya frecuencia de operación es de 208 kHz. La segunda etapa es el receptor, el transductor piezoeléctrico al recibir los pulso transmitidos, correspondientes a los ecos de retorno, los acopla a él a través del devanado del secundario de un transformador. El receptor incluye además un amplificador de dos pasos, acoplados a una serie de transistores sintonizados a 208 kHz, y una etapa de control de sensibilidad y ganancia. Esta etapa también cuenta con un control de velocidad de un motor de la banda portadora de un stylu ó aguja que grafica quemando un papel electroestático, y de esta forma se genera el registro. El circuito cuenta también con un control del motor de avance de papel para que se mueva éste a diferentes espacios en un período de tiempo. Además cuenta con un circuito de ajuste de mareas y profundidad del transductor, para compensar el registro de acuerdo a las variaciones del nivel del mar.

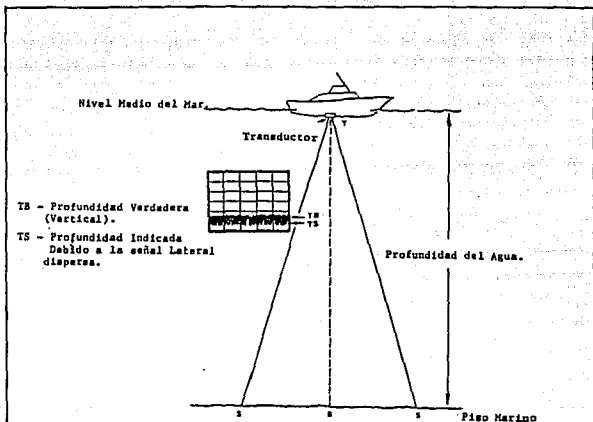


Fig. 225. sondeo de agua profundo V.S. registro de ecosonda.

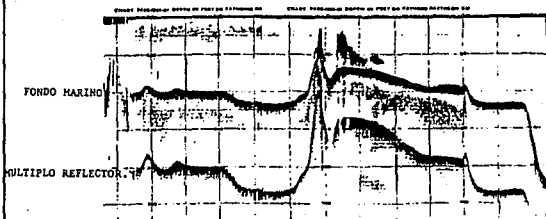


Fig. 226. Registro Típico de Ecosonda.

ESPECIFICACIONES DE LA ECOSONDA

Rangos de profundidad:	0 a 120 metros y de 120 a más de 1000 metros
Tasa de sondeo:	534 pulsos por minuto (metros)
Voltaje de entrada:	12 VCD ó 120 VCA
Corriente de entrada:	2.5 amperes
Precisión:	-0.5 % de la profundidad indicada
Frecuencia de operación:	208 kHz de fábrica ó 41 kHz opcional
Transductor:	Bario-Titanio, piezoeléctrico
Patrón de radiación:	8 grados enmedio de los puntos de mayor intensidad

CARACTERISTICAS DE LOS TRANSDUCTORES

Existen una diversidad de transductores, según su construcción ó su frecuencia de operación será su tamaño. De estos en el presente trabajo se seleccionará el más adecuado de acuerdo a las profundidades que se estimen explorar.

Un ejemplo de ello es el transductor modelo 7245A, que ha sido diseñado para trabajar en aguas someras, debido a que fue construido con un transformador adaptado a una impedancia de 50 ohms y por consiguiente produce un pulso acústico más fuerte y más directo, pero de menor abertura (Fig. 2.27). Sus características son:

TRANSDUCTORES PARA SISTEMA MEDIDOR DE PROFUNDIDAD.

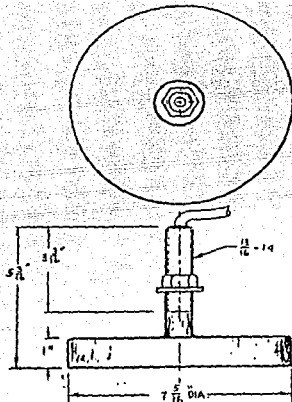


Fig. 2.27 Transductor Tipo 7245A

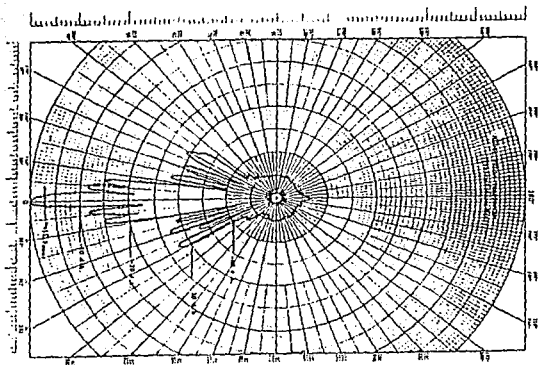


Fig. 2.28 Patron de radiación del Transductor 7245.A.

Frecuencia de operación: 204 a 210 kHz
Impedancia del transductor: 50 ohms - 20% a la frecuencia de operación
Patrón de radiación: 2.75° a -3 dB
3.50° a -6 dB
4.0° a -10 dB

El patrón de radiación de este transductor se muestra en la fig. 2.28.

Otro ejemplo de transductor es el modelo 200THAD. Que es utilizado para aguas más profundas en virtud de que su patrón de radiación es más amplio y menos direccional (Fig. 2.29). Sus características son:

Frecuencia de operación: 208 kHz
Impedancia del transductor: 50 ohms -15% a la frecuencia de operación
Patrón de radiación: 2.0° Respuesta pico
10° a -3 dB
18° a -10 dB

El patrón de radiación de este transductor se muestra en la figura 2.30.

A continuación se enumera una lista de aplicaciones llevadas a la práctica con un Sistema Medidor de Profundidad.

- PROFUNDIDAD DEL AGUA
- UNIFORMIDAD DEL PISO MARINO
- DETERMINACION DE LA INCLINACION DEL PISO MARINO
- RIEZGOS PARA LA NAVEGACION
- LOCALIZACION DE TUBERIAS

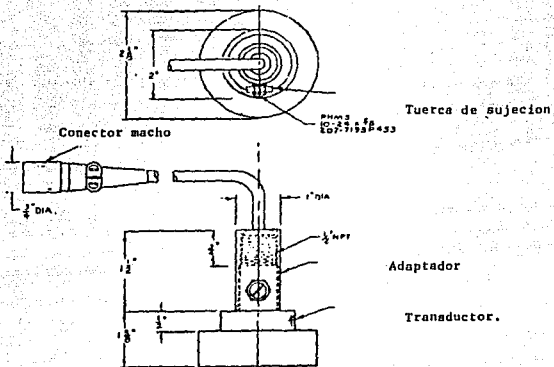


Fig. 2.29. Transductor Tipo 200T5HAD.

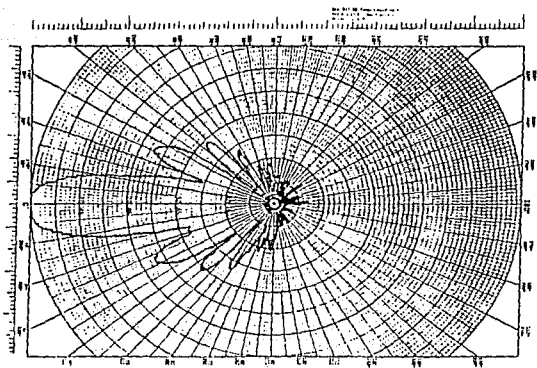


Fig.2.30. Patron de Radiación del transductor 200T5HAD.

- INCLINACIONES DEL TERRENO
- VOLUMENES DE DRAGADO
- PROBLEMAS DE DESLAYES

SELECCION DE UNA ECOSONDA

Con base en las características de los equipos para realizar este tipo de trabajos, se optó por seleccionar El Sistema Medidor del Tirante del Agua " ECOSONDA ", de la marca Raytheon, modelo DE 719 B. Este equipo está diseñado para efectuar mediciones del tirante de agua con alta precisión y nos sirve para realizar levantamientos batimétricos y conocer la altura del nivel del mar al suelo marino.

La ecosonda DE 719B basa su funcionamiento en el envío de ondas sonoras y en el reflejo de ellas, teniendo como variable el tiempo. Todo esto a través del agua. Este equipo lo constituyen básicamente una graficadora de registro continuo y un transductor.

La graficadora genera y envía pulsos eléctricos por medio de un oscilador y un amplificador que proporciona el voltaje y potencia necesaria al transductor, el cual los convierte en pulsos acústicos y los transmite en el agua. Estos pulsos viajan a través de ella, llegando al suelo marino y rebotan al contacto con él. Los pulsos reflejados son recogidos por el transductor y convertidos en una señal eléctrica, que es enviada por medio de un cable a la etapa receptora, amplificada, y posteriormente graficada en papel electroestático.

En este sistema se utiliza el principio sobre el cual el tiempo que transcurre entre el momento de la emisión de los pulsos y el retorno hasta el transductor permite obtener la profundidad. Sabiendo previamente que la velocidad del sonido en el agua salada fluctua entre 1480 a 1530 m/seg.

El registro de las profundidades se realiza graficamente, apareciendo los valores del tirante de agua impresos en papel, mostrando las condiciones reales del piso marino en todo momento (Fig. 2.31).

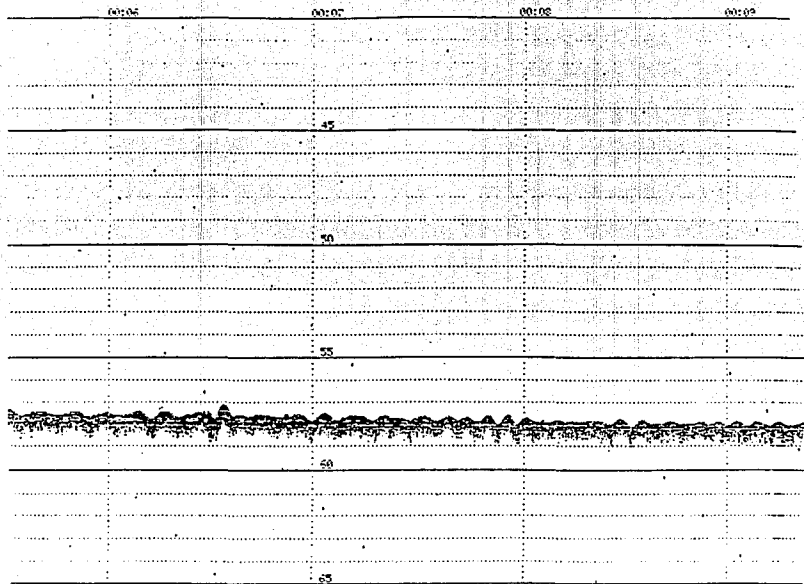
En la figura 2.32 se muestra el diagrama a bloques del circuito básico de una Ecosonda, en el cual presenta un circuito transmisor, basado en la configuración de oscilador Maestro-Amplificador de potencia, cuya frecuencia de operación es de 208 khz.

El oscilador opera con pulsos cortos y oscila a la frecuencia determinada por el circuito sintonizado, en donde la longitud del pulso es determinada por la constante de tiempo de un circuito RC, conectado al oscilador de entrada.

Finalmente, el circuito transmisor amplifica la señal conducida y la envía al devanado de un transformador de salida, para transmitirla y resonarla a la capacitancia que tiene el transductor. Este como ya lo indicamos recibe el pulso transmitido y los pulsos correspondientes a los ecos de retorno se acoplan al receptor a través del devanado del secundario del transformador. El receptor consiste de un amplificador de dos

TIDE -0.10 DRAFT 02.7

VEL 15.0 TIDE -0.00 DRAFT 02.7



POSICIONAMIENTO Y GEOFISICA MARINA
II DE PERIL Nº 388-11890 DE I.C.O. D.E.
TEL: 516-07-46 TLM: ICA NE 0177-4317

Fig. 2.31. Registro típico de una ecosonda

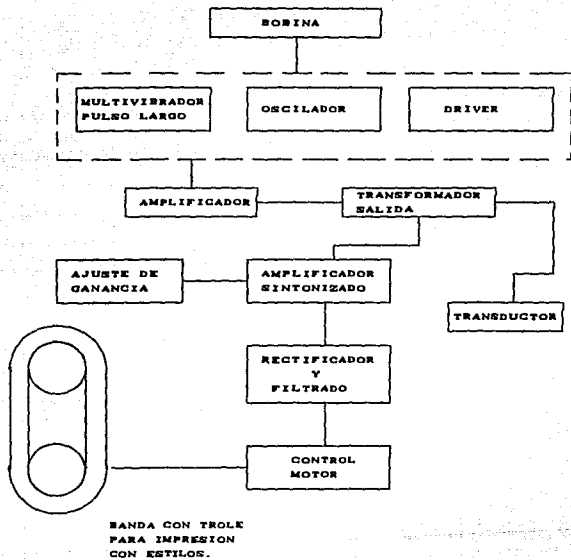


Fig. 2.32. Diagrama de bloques del sistema medidor de profundidad (graficadora Ecosonda).

pasos, sintonizado a 208 kHz, cuenta con un control interno de ganancia para determinar la máxima sensibilidad del receptor. La salida del receptor es filtrada y rectificada con el fin de eliminar la componente de 208 kHz.

La salida de esta rectificación prosigue su paso para amplificar la señal y alimentar al stylus (pequeña aguja de acero inoxidable que quema el papel), para que realice una gráfica quemando el papel electroestático y produzca la gráfica definitiva del contorno del fondo marino.

Finalmente, es importante mencionar que este equipo cuenta también con el control de velocidad del motor de la banda en donde está colocado el stylus, un circuito de avance de papel, ajuste de mareas y un circuito de calibración a cero. En la siguiente página se ilustra una hoja de especificaciones típicas de una ecosonda que es fabricada por otra marca reconocida como lo es Innerspace Technology, Inc.

SPECIFICATIONS—SINGLE FREQUENCY TDSR MODEL 448

PRINTING	Thermal solid state fixed head thick film
CHART PAPER	8- $\frac{3}{4}$ inches x 200 feet
PAPER SPEEDS	.5,1,2,4 or 8 inches/min. (Depends on scale selected)
DEPTH RANGES	0 to 335 feet or 0 to 80 meters. 6 overlapping phases of 60 feet or 15 meters A x 2 SWITCH multiplies each range by a factor of 2 and A x .5 SWITCH multiplies each range by a factor of .5
ACCURACY	\pm .1 foot or meter timing and printing resolution
SPEED OF SOUND	Thumbwheel switch selectable 4550 to 5050 feet/sec. or 1350 to 1550 meters/sec. Precision crystal referenced frequency synthesizer using a phase locked loop provides exact calibration.
TIDE	Thumbwheel switch selectable from 0 to \pm 25.0 feet or meters
DRAFT	Thumbwheel switch selectable from 0 to + 99.9 feet or meters
EVENT MARK	Front panel switch or remote, increments internal counter
TIME	Internal clock with battery backup
SOUNDER FREQUENCY	208 kHz or 125 kHz standard or others optional
TRANSDUCERS	208 kHz 8 degree beamwidth at -3db 208 kHz 3 degree beamwidth at -3db (optional) 125 kHz 14 degree beamwidth at -3db (optional)
PULSE LENGTH	.15 to .6 ms. Automatically determined by frequency and depth range selected
PULSE POWER	250 watts RMS
SOUNDING RATE	1,200 soundings per minute max
TIME VARIED GAIN (TVG)	Automatically compensates for spreading loss and attenuation over depth range
GAIN CONTROL	Provides manual gain adjustment
STANDBY MODE	Allows transceiver and digitizer (if used) to operate without running chart paper
OUT OF PAPER SENSOR	Indicated by blinking front panel light. Paper motion stops, but sounding continues.
RAPID PAPER ADVANCE	Front panel switch allows for the rapid advance of blank paper
ANNOTATION	The numerical value of Speed of Sound, Tide, Draft, Time and Event are permanently recorded above the chart record periodically

DIGITIZER OUTPUT	In addition to the built in depth digitizer, Start/Stop pulses are available for use with external digitizers such as Inner-space Models 410, 412 and 445.
POWER	Either 12, 24 V DC or 120, 240 V AC (Must be specified AC or DC)
DIMENSIONS	17 in. W x 17 1/4 in. H x 9 1/4 in. D
WEIGHT	45 pounds
ENCLOSURE	Coated aluminum, corrosion resistant and splashproof. Sliding window for chart access and settings door for easy access to thumbwheel switches.

SPECIFICATIONS — INTERNAL MICROPROCESSOR DIGITIZER

OPERATING MODES	Either a DIRECT, GATED, AUTO or MANUAL mode may be chosen DIRECT — No gate present GATED — Gate width doubles, then quadruples automatically to reacquire the bottom reply AUTO — Gate width doubles, quadruples then goes to non-gated automatically to reacquire the bottom reply MANUAL — Fixed gate as preset on initial depth thumbwheel
GATE WIDTH	Selectable 2, 4, 8, 20, 40 or 80 via rotary switch. Gate width in feet or meters, determined by the recorder MODE switch setting
MISSED REPLIES	REPLY switch selects 2, 4, 8 or 16 missed replies, before reacquisition of bottom reply, in AUTO mode.
DISPLAY	Four digit LCD 7 segment. Resolution to 0.1 feet or meters, determined by the recorder MODE switch setting.
INDICATORS	Three LED's representing BAD DATA, REPLY and depth GATE
INITIAL DEPTH	Three station thumbwheel switch allows entry of an initial depth gate position
ALARM	A switched audible alarm indicates loss of track
OUTPUTS	BCD — 8421 TTL compatible 5V positive logic. Buffered outputs with data hold, inhibit, strobe and flag lines. IEEE488 GPIB — 4 digits with proper protocol and selectable address switches (optional). EIA RS232C — 4 digits with selectable baud rates (optional). A bad data flag is available and can optionally set the output number to all zeros.



INNERSPACE TECHNOLOGY, INC.

2.3 SISTEMA DE MAPEO DEL FONDO MARINO

Los oceanógrafos, los geólogos marinos, y los arqueólogos entre otros, dependen en la actualidad de la energía del sonido para poder ver las cosas que hay en el fondo del mar, transformándolas en números, gráficas y fotografías, las cuales dan una gran aproximación de lo que existe en los medios acuáticos.

Los dispositivos que transmiten y reciben los pulsos de sonido se han ido haciendo cada vez más sofisticados y más exactos que en las décadas pasadas, dando paso a los Sistemas de Mapeo del Fondo Marino.

Los Sistemas de Mapeo del Piso Marino son llamados también Sistemas de Sonar de Barrido Lateral y han sido definidos como dispositivos acústicos utilizados para obtener "fotografías" de una cierta área del piso marino. Los sistemas consisten en un dispositivo de registro, un arreglo de transductores montados en una estructura hidrodinámica llamada towfish y un cable de conexión entre los dos. Básicamente, el sonar de barrido lateral registra cargas capacitivas en los transductores que son arrastrados en el towfish a través del cable de conexión. Los transductores emiten un pulso acústico que se propaga a través del agua. La señal que regresa a la superficie marina es recibida por el transductor amplificándola y transmitiéndola a través del cable de remolque hasta el dispositivo de registro o graficador, el cual procesa esta señal digitalizándola y calculando la posición de cada señal en el registro final, después imprime estos ecos en papel electro-sensitivo o térmico (figs. 2.33 y 2.34).

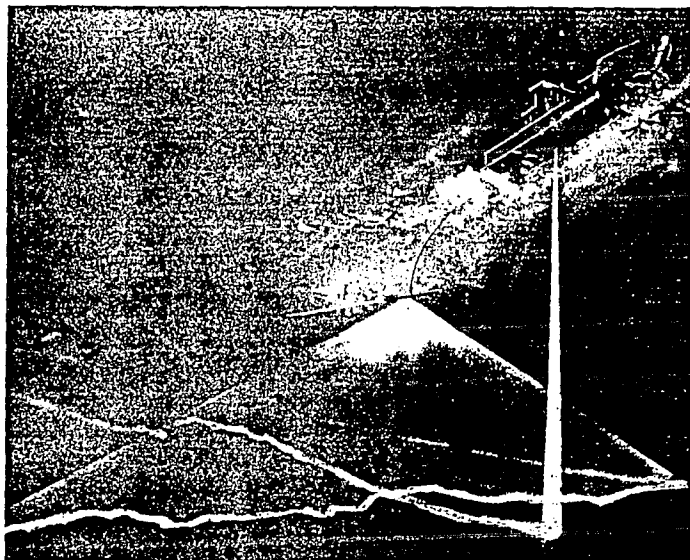


Fig. 2.33. Colección de Datos del Sonar de Barrido Lateral

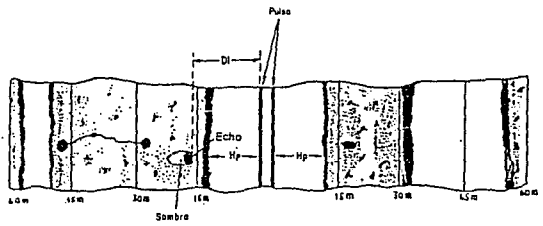
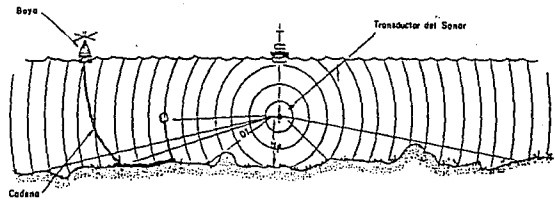


Diagrama mostrando un registro del Sonar de Barrido Lateral

Fig. 2-34. Registro del Sonar De Barrido Lateral.

En la fig. 2.34, si recordamos el proceso de reflexión, el haz acústico generado en los transductores lleva un cierto ángulo y ancho, por lo tanto las distancias mostradas en metros son marcas en el registro que dependen del alcance ó amplitud del canal, la distancia H_p es la altura del transductor sobre el piso marino, la distancia D_I es la distancia que se puede medir en el registro obtenido del towfish a un supuesto montículo en el fondo, la boya y la cadena son sólo objetos que se encuentran suspendidos desde el fondo y son mostrados para comparar su representación en el registro obtenido.

Los transductores son la fuente del sonido de cualquier sistema acústico submarino y son la clave para un buen comienzo en la creación de imágenes. Estos transductores son de construcción del tipo piezoeléctrico y de forma especial, lo cual permite controlar la amplitud del haz en forma vertical y horizontal.

Dependiendo del arreglo de transductores se tendrá un control preciso de la forma del haz acústico, el cual se transmite desde el towfish. El haz del barrido lateral es muy estrecho en el plano horizontal. Esto permite que el sonar transmita a través de una capa muy delgada del agua para cada pulso. Mientras en el plano horizontal el haz es estrecho, en el plano vertical el haz es ancho permitiendo que el sonar transmita en una columna vertical de agua. Esta formación de abanico del haz permite que el sistema registre las reflexiones acústicas de cualquier cosa entre la superficie y el fondo (Figs. 2.35 y 2.36)

Después de que la energía acústica reflejada desde el fondo es recibida por los transductores y transmitida a través del cable de

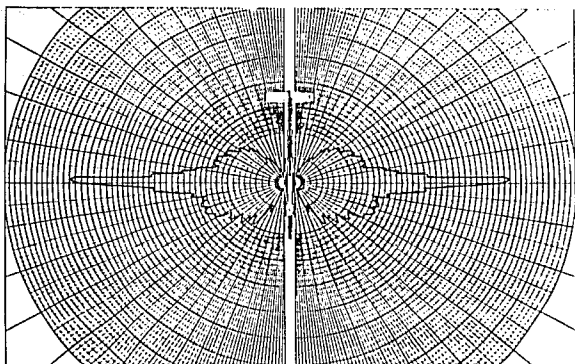


Fig. 2.35. Patrón de radiación del transductor Tow Fish, en el plano horizontal.

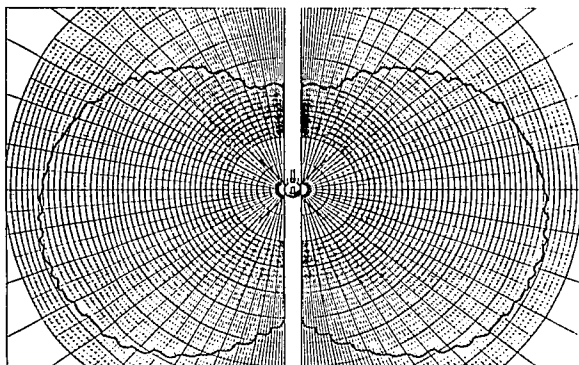


Fig. 2.36. Patrón de radiación del transductor Tow Fish, en el plano vertical.

remolque, ésta es impresa en papel o desplegada en un monitor de video. Los datos recibidos dependen de la forma y longitud del pulso y de como éste se propaga desde el towfish al piso marino y su regreso al transductor.

Cuando un pulso acústico es emitido desde los transductores, éste se atenúa muy rápidamente. La absorción reduce la fuerza del pulso que parte del towfish y el eco de regreso, debido a procesos físicos y químicos en el mar. La absorción en el mar es mucho mayor que en el agua dulce y causa una reducción en la amplitud del sonido. Esto significa que la absorción unida a otros factores de pérdida del sonido, tales como haces extendidos o dispersos, resulta en una reducción exponencial de la energía de regreso. La absorción del sonido (en dB/metro) se incrementa severamente en proporción con la frecuencia de las distancias barridas, comúnmente utilizadas por los sistemas de sonar de barrido lateral.

El reflejo completo del fondo juega un papel importante en el ajuste de la ganancia y los ángulos de reflexión en el sonar de barrido lateral. El fondo de barro suave refleja muy poco sonido, el fondo de grava o rocoso es buen reflejante, y la mezcla de estos tipos de fondo en el registro del sonar crea un desafío para el operador intentando obtener la máxima información de los datos. Uno de los métodos que pueden utilizarse cuando se encuentran condiciones inusuales del fondo, es cambiar la corrección del ángulo de reflexión sobre el cual el sistema de barrido lateral basa su ganancia variable con el tiempo. Esto ayudará a crear una interpretación más fácil de los registros obteniéndose datos de muy alta calidad.

Los datos obtenidos por el sonar de barrido lateral se distorsionan durante su generación, estas distorsiones son causadas por inestabilidades del towfish (tales como jalones, desniveles, desviaciones), variaciones de velocidad del barco de exploración y la colocación en la compresión de datos debido a la altitud del towfish.

Los sistemas modernos de sonares de barrido lateral, incrementan su velocidad de mapeo e impresión en relación directa con la velocidad de arrastre. Esto es conocido como corrección por velocidad, esto significa que la longitud de mapeo para un período dado de recolección de datos se relacionará directamente con la velocidad del barco. Los primeros sonares incrementaban la velocidad de mapeo para compensar velocidades de arrastre muy altas, además los sistemas recientes escriben también en el registro a la más alta velocidad, resultando en registros más legibles.

Además de la distorsión en el registro debido a la velocidad, existe otra distorsión causada por la física de las representaciones acústicas, llamada compresión de datos de alineación, lo cual genera un error en el ángulo de inclinación. Los sonares modernos tienen la capacidad de realizar esta corrección si el usuario lo considera necesario.

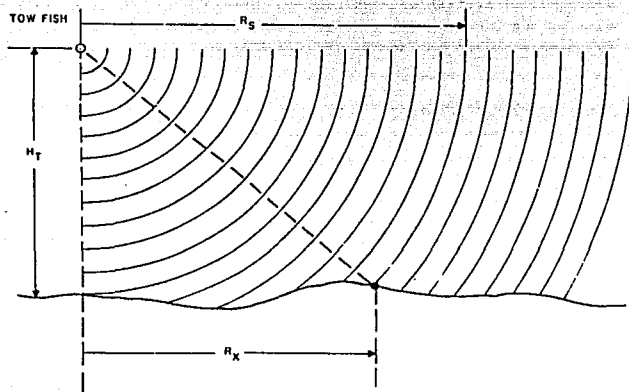
El sonar de barrido lateral resulta apropiado para tomar imágenes directamente sobre el suelo marino (como una fotografía aérea). En realidad, el inicio del regreso del pulso desde el fondo al transductor y el regreso en la distancia transversal es aproximadamente horizontal. Entre cada dato puntual se tienen algunas distorsiones en las distancias transversales.

Si el towfish es remolcado cerca de un piso relativamente plano, la información de la distancia transversal puede ser relativamente exacta. Así, para estos propósitos del sonar, la velocidad del sonido en el agua se considera constante. Sin embargo, en la práctica, el towfish es remolcado a cierta altura sobre el fondo y esto induce un error en la distancia transversal verdadera respecto al plano horizontal (Fig. 2.37).

CONSIDERACIONES TECNICAS

Los sistemas de sonar de barrido lateral, generalmente son sistemas pequeños y fáciles de operar. Emplean los avances de la microelectrónica para proporcionar imágenes de sonar que son corregidas por distorsión en el ángulo de inclinación (slant-range), por velocidad del barco y por amplitud de la señal. De acuerdo a esto proporcionan una vista de planta de las características topográficas del piso marino.

Los sistemas de sonar de barrido lateral obtienen la información de la energía acústica reflejada. Sin embargo en la operación tienen semejanza con el radar, donde éste produce una vista de planta continua del área rastreada. Los transductores del towfish generan pulsos acústicos de corta duración y alta potencia, requeridos para obtener alta resolución. Los pulsos son emitidos en un haz estrecho en forma de abanico que se dispersan a uno y otro lado del towfish en un plano perpendicular a la trayectoria de navegación, dichos transductores van instalados a cada lado del vehículo hidrodinámico. Como los transductores van remolcados, siguen la trayectoria del barco, el haz barre un segmento del fondo desde el punto central entre los transductores hasta aproximadamente 750 metros a cada lado.



$$R_X = \sqrt{R_S^2 - H_T^2}$$

Fig. 2.37 . Corrección por ángulo de inclinación (SLANT RANGE)

Esta sofisticada técnica acústica tiene una característica única de crear una imagen amplia, continua y exacta de las irregularidades y contorno del piso marino en tres dimensiones. Los resultados esperados en el registro dependen de las superficies de reflexión en el fondo, como rocas, objetos metálicos y discontinuidades, las cuales son representadas por áreas oscuras en el registro. Las zonas más claras en el registro representan sedimentos suaves (lodo, cieno, etc.), socavaciones y otras características del piso (Fig. 2.38).

Los sistemas de sonar de barrido lateral deben cumplir con las siguientes especificaciones:

Distancia de barrido a cada lado:	25 a 750 metros
Resolución:	0.1 a 2 metros
Período de transmisión del pulso:	0.7 a 1 segundo
Velocidad de arrastre:	0 a 13 nudos (millas náuticas/hora)
Frecuencias de operación:	100 a 500 kHz
Forma de impresión:	Papel térmico o electrosensitivo

Además deberán incluir:
Corrección por velocidad
Corrección por ángulo de inclinación (slant-range)

Es conveniente mencionar que el towfish puede remolcarse a diferentes profundidades dependiendo del cable de arrastre que utilice, esto será a consideración de la zona de trabajo estudiada y el objetivo buscado. En aguas someras por ejemplo, puede remolcarse desde la proa del barco para evitar la turbulencia generada por el sistema de propulsión de la embarcación y en aguas más profundas se puede remolcar por la popa (Fig. 2.39).

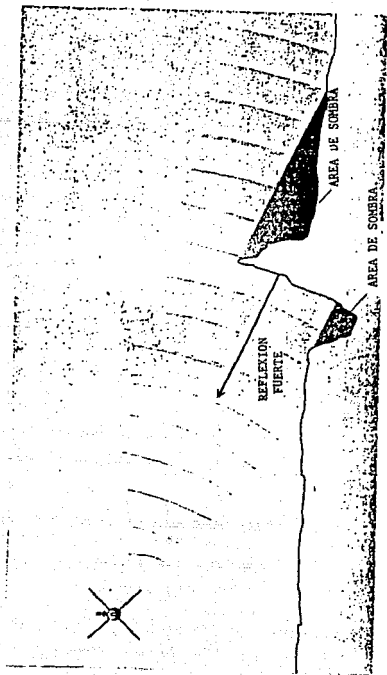
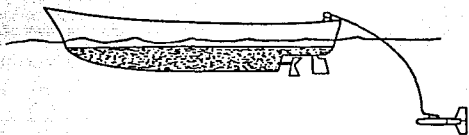
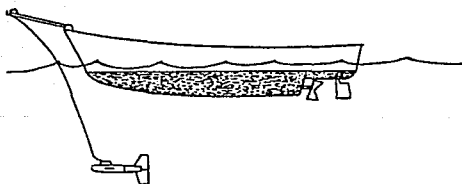


Fig. 2.38. Tipo de fondo marino Homogeneo, las zonas de sombras o de luz son áreas que en el registro del sonar son típicamente una función del aumento de insonificación de un área recibida. Una zona con sombra en el frente del Tow Fish. indica un reflejo fuerte y presentará una depresión en el piso marino.



ARRASTRE DEL TRANSDUCTOR POR POPA



ARRASTRE DEL TRANSDUCTOR POR PROA

Fig. 2.39. Puntos de arrastre del transductor hidrodinámico Towfish.

SELECCION DE UN SISTEMA DE MAPEO DEL PISO MARINO

Para elegir un sistema de mapeo del piso marino debe tenerse bien definida la utilización que se le va a dar (estudios geofísicos, batimetría, búsqueda de minerales, localización de tuberías, cables, etc), ya que de ello dependen las características técnicas necesarias para un buen estudio.

Para nuestros propósitos, el principal objetivo es realizar estudios geofísicos observando las características del fondo del océano tal como salientes rocosas, suavidad o aspereza del lecho marino, arena, grava u otros tipos de suelo, también para localizar objetos en el fondo marino como embarcaciones hundidas, aviones, helicópteros, etc.

Con base en las necesidades mencionadas anteriormente, debemos poner atención en parámetros técnicos como frecuencia de operación, ancho de banda del haz horizontal y el vertical, longitud del pulso, máxima profundidad y principalmente capacidad de realizar correcciones de distorsión por velocidad y por "slant range" (ángulo de inclinación).

Existen compañías importantes que comercializan sistemas de mapeo del piso marino (o sonares de barrido lateral) que cumplen con los requerimientos del estudio y estos son:

Klein associates, INC	modelos 422 S - 101 F
	422 S - 101 AF
	422 XS - 101 AF
EG & G Marine instruments	modelo 272-T

El equipo seleccionado es el modelo 272 - T de la compañía EG & G debido a la relación entre las características propuestas y el costo del equipo, debe hacerse notar que un equipo de muy alta resolución es suficiente para nuestros propósitos.

A continuación se mencionan las especificaciones técnicas de este sistema:

MODELO 272 - T TOW FISH

Frecuencia de Operación:	105 +-10 kHz
Longitud de Pulso:	0.1 milisegundos.
Pico de Salida:	128 dB ref. 1 bar a 1 metro
Ancho del haz horizontal:	1.2° (3 dB)
Ancho del haz vertical:	50°, inclinación 20°
Rango del TVG:	70 dB
Profundidad Máxima:	600 metros (2000 ft)
Peso:	
Embalado:	50 Kg (110 lb)
No Embalado:	25 Kg (55 lb)
Dimensiones:	
Embalado:	1.5 x 0.24 x 0.41 metros (59 x 9.5 x 16 in.)
No Embalado:	140 cm longitud x 11.4 cm diámetro x 61 cm diámetro de cola (55 pulgadas x 4.5 pulgadas x 24 pul gadas)

CABLE DE ARRASTRE

CARACTERISTICAS MECANICAS ARRASTRE PROFUNDO

Tipo:	Doble blindaje de acero.
Diámetro:	0.95 cm (0.375 pulgadas)
Longitud:	150 metros (500 pies) o 600 metros (2000 pies)
Resistencia:	5000 kg (11,000 lb)
Diámetro mínimo:	0.5 metros (20 pulgadas)
Peso en el aire:	0.35 kg/metro (0.24 lb/pies)
Peso en el agua:	0.29 kg/metro (0.19 lb/pies)

ARRASTRE SOMERO

Tipo:	Kevlar
Diámetro:	0.89 cm (0.350 pulgadas)
Longitud:	50m (150 pies) estandar 100m, 150m disponible por requisición
Resistencia:	1136 kg (2500 lb)
Diámetro mínimo:	0.25 metros (10 pulgadas)
Peso en el aire:	0.12 kg/metro (0.08 lb/pies)
Peso en el agua:	0.06 kg/metro (0.04 lb/pies)

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Número de conductores:	7
Potencia del Tow Fish:	750 VDC a 12 mA
Disparo del Tow Fish:	10 V, 0.1 mseg.pulso positivo
Señales del Tow Fish:	-60 a 0 dB/1 volt a 100 kHz (ambos canales)

GRAFICADORA MODELO SSS-260

Este modelo crea graficas del piso marino en tiempo real y reune las siguientes especificaciones:

Rango o alcance lateral:	Desde 25 - 600 metros
Resolución:	0.13 - 1.5 metros
Canales:	2 canales
Período de transmisión:	75 - 900 mseg
Mecanismo de impresión:	Impresora de multi - agujas
Tonos de gris:	16 tonos
Velocidad de impresión:	0 - 80 líneas / seg
Tipo de papel p/registro:	Papel electrosensitivo
Modulo de alimentación:	105 - 125 VCA, 47 - 63 Hz, 250 W
Dimensiones:	57 cm x 37 cm x 45 cm
Peso:	43 kg

Además de las especificaciones anteriores cuenta también con, corrección por ángulo de inclinación, corrección de la imagen por velocidad, interface de navegación, entrada para sensor de velocidad externo, entrada para reproducir datos desde cinta digital. En la gráfica genera marcas equidistantes a escala que permiten hacer mediciones para corregir la posición de algún objeto detectado, también es posible anotar datos u observaciones durante la obtención de un registro.

2.4 SISTEMA DETECTOR DE TUBERIAS

Los Sistemas de Detección de Tuberías, también llamados Sistemas de Transductor Sintonizado, son dispositivos capaces de emitir y recibir señales acústicas a una frecuencia determinada. Los transductores de estos sistemas están constituidos de cristales piezoeléctricos a los cuales se les pueden dar diversas formas y encapsular en cuerpos rígidos resistentes a los esfuerzos mecánicos. Adicionalmente, estos transductores tienen la capacidad de manejo de potencia, amplitud del haz acústico y gran eficiencia en la conversión de energía eléctrica-acústica-eléctrica (Ver apéndice de transductores).

El sistema completo consiste de un transceptor y un arreglo de varios transductores (Fig. 2.40). El transceptor contiene un transmisor que controla la longitud del pulso y provee la potencia eléctrica a la frecuencia apropiada, es decir, la frecuencia de resonancia del transductor. La sección receptora del transceptor amplifica las señales eléctricas que recibe del transductor y las procesa (filtra), para que posteriormente puedan exhibirse en una graficadora de reflexiones sísmicas o grabarse en cinta.

El arreglo de transductores se instala en un vehículo de características hidrodinámicas, lo cual permite montarlo en una embarcación de tres formas diferentes:

- 1.- Una primera manera de montaje es a través de uno de los costados del barco, manteniendo suspendido el vehículo por un pescante. Esta instalación permite realizar levantamientos a una

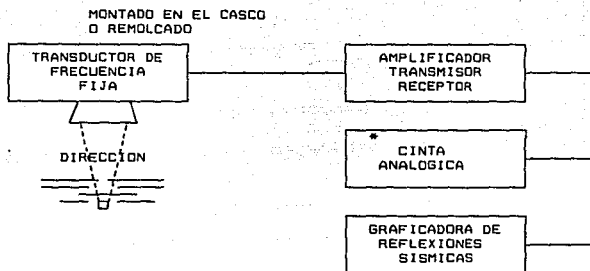
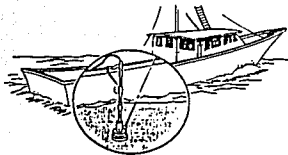


Fig. 2.40. Diagrama a bloques del perfilador sonero sintonizado.

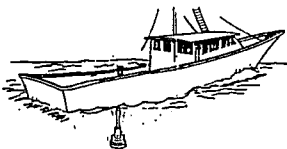
velocidad moderada, además de tener la ventaja de montar y desmontar fácilmente el vehículo (Fig. 2.41a).

2.- Si se va a utilizar de manera permanente en un barco, puede colocarse en un contrapozo en la cubierta del barco con un sistema de izaje adecuado que permita el mantenimiento de los transductores, el vehículo con los transductores debe de estar ligeramente fuera del casco del barco para tener un buen acoplamiento acústico entre el agua de mar y el fondo marino, de tal forma que se tenga una buena transmisión y recepción. Esta forma de montaje permite realizar levantamientos a una velocidad moderada (Fig. 2.41b).

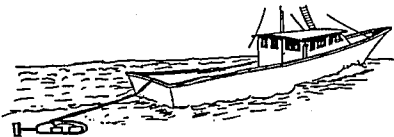
3.- Una última opción de montaje es remolcando el vehículo por la popa de la embarcación. Durante un levantamiento las características del vehículo lo mantienen a una profundidad



A. Transductor sobre la borda o una banda del barco.



B. Transductor por debajo de la embarcación en un contrapozo



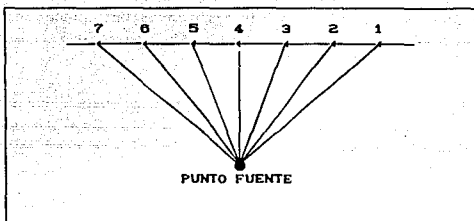
C. Transductor remolcado por la popa del barco.

Fig. 2.41 Diferentes formas de montaje e instalación del transductor del detector de tuberías.

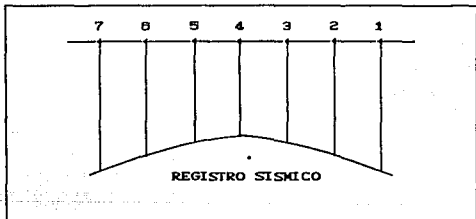
constante, a la velocidad de desplazamiento del barco. Esta opción lo hace bastante útil en levantamientos para aguas someras o poco profundas, como puede ser cerca de la costa (Fig. 2.41c).

Los sistemas de transductor sintonizado basan su principio de operación en el fenómeno de difracción para la detección de objetos metálicos, tanto en el fondo del mar como en el subsuelo marino hasta una profundidad de ± 7 metros.

Debido a este fenómeno, al detectar el ducto (o punto fuente), presenta una gráfica donde se muestra una hipérbola bien definida (Fig. 2.42). Esta figura se forma mediante el movimiento de la embarcación de un lugar a otro realizando el recorrido en forma transversal al ducto, marcando los puntos 1 a 7. El receptor capta la energía acústica del objeto que actúa como un punto fuente de la energía acústica reflejada. Por lo tanto, la cara superior permite está difracción, siendo el resultado de los puntos fuente. El punto de disparo 1, es recibido del punto fuente y graficado en el registro sísmico como un evento por debajo del punto de disparo. Todos los subsecuentes puntos de disparo (2 a 7) también mostrarán un retorno de los puntos fuente. La acumulación de estos efectos en el registro dará la imagen de una hipérbola formada por una continuidad de puntos de disparo muy cercanos entre sí. Un ejemplo de ello está representado en la figura 2.43 en la cual se muestra la detección de un ducto submarino, donde el vértice de la hipérbola representa la parte superior del ducto.



Difracción debida a un punto fuente de energía acústica (tuberías, objetos metálicos, rocas, etc.)



Registro sísmico en el que se presenta la forma de detección de un punto fuente.

Fig. 2.42. Fenómeno de Difracción.

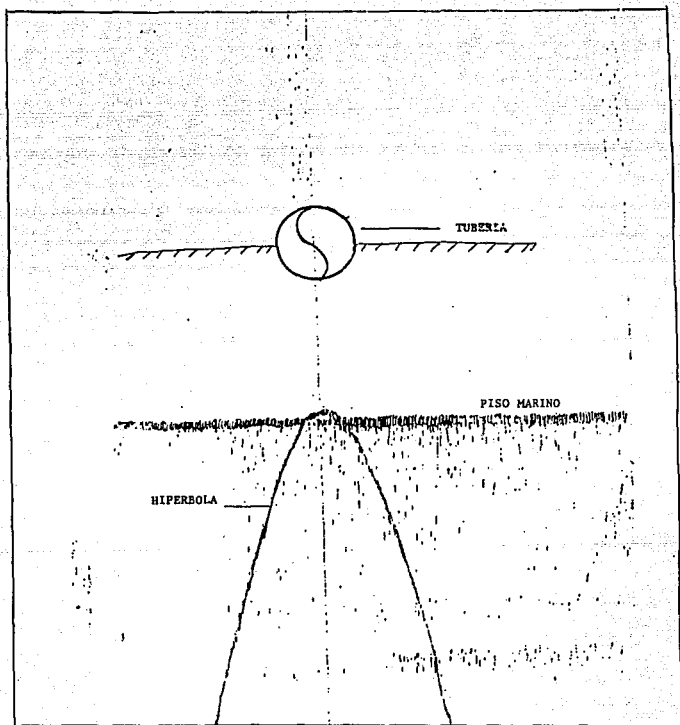


Fig. 2.43 Registro típico de la detección de una tubería.

La resolución de estos sistemas permitirá identificar la posición del ducto, esto es, si el vértice de la hipérbola se encuentra bajo el perfil del fondo marino, la tubería estará bajo el lecho; si el vértice de la hipérbola está sobre el perfil del fondo marino, la tubería estará sobre el lecho marino.

La resolución varía dependiendo de la velocidad de barrido de la grabadora sísmica, de la relación señal a ruido y de las características de la fuente acústica.

Los parámetros que se deben considerar en la selección de estos sistemas son los que a continuación se mencionan:

TRANSMISOR

- * Potencia de salida
- * Frecuencia
- * Longitud del pulso
- * Duración del ciclo

RECEPTOR

- * Inmunidad al ruido
- * Nivel de señal mínima detectable
- * Ancho de banda

TRANSDUCTOR

- * Sensibilidad de recepción
- * Capacidad de potencia
- * Patrón de radiación (directividad)
- * Tamaño

GRAFICADOR

*** Resolución**

Considerando los parámetros de estos sistemas como potencia, frecuencia, longitud de pulso, ancho de haz, etc, se deberán obtener otros parámetros tales como penetración, resolución, etc., como se muestra en la figura 2.44.

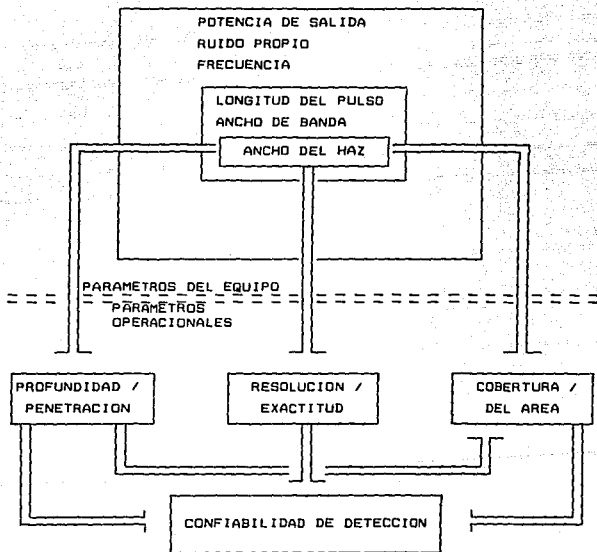


Fig. 2.44. Relación entre parámetros del equipo y parámetros operacionales.

CONSIDERACIONES TECNICAS

Los sistemas detectores de tuberías cuentan generalmente con dos canales de transmisión-recepción. El primero deberá tener un control para el pulso de transmisión de salida y la ganancia del receptor permitirá, mediante un transductor, detectar los ductos submarinos y calcular las características de reflexión de los diferentes horizontes de los sedimentos. El segundo canal deberá manejar altas frecuencias, del orden de 200 kHz, permitiendo identificar y detectar el contorno del fondo marino por medio de otro transductor sintonizado a esa frecuencia.

Estos sistemas deberán utilizar una graficadora de reflexiones sísmicas, para la obtención de los registros de detección de tuberías. Opcionalmente puede adicionarse un sistema de grabación para el post-procesamiento.

De acuerdo a lo anterior es recomendable que los sistemas operen bajo las siguientes especificaciones:

TRANSECTOR

Frecuencia:	canal 1	1.5 a 30 kHz
	canal 2	40 a 200 kHz
Potencia de salida:	200 a 12000 W	
Duración del pulso:	0.1 a 5 ms	
Tasa de repetición:	0.125 a 2 s	
Ancho de banda de recepción :	200 a 16000 Hz	

TRANSDUCTORES

Tipo de vehículo:	Hidrodinámico
Tipo de transductor:	Piezoeléctrico
Amplitud del haz:	Directivo

Es importante mencionar que estos sistemas funcionan en forma simultánea a la detección de tuberías, como perfiladores sísmicos de alta resolución, obteniéndose registros en los cuales no se requiere información de muy alta penetración.

SELECCION DE UN SISTEMA DETECTOR DE TUBERIAS

Existen en el mercado diferentes fabricantes de sistemas detectores de tuberías, y aunque todos estos sistemas tienen un principio de operación común, algunos de ellos reúnen ciertas características que los aventajan sobre los demás (ver fig. 2.45).

Como se mencionó anteriormente, lo primero que debemos considerar al realizar la elección de un sistema de este tipo, es que cumplan con ciertos parámetros como frecuencia, longitud de pulso, ancho del haz, potencia de salida, etc.

Como se observa el modelo Datasonics SBP-5000 destaca sobre los demás ya que sus características dan la facilidad de adecuarse a la zona en estudio y obtener registros con mayor resolución; por lo que se considera que este modelo es el óptimo para los

Fabricante modelo	Frecuencia kHz	Long. pulso ms	Ancho del haz grados	Potencia de salida W	Número de transductores
Ferranti D.R.E. 1036	ajustable 1.0 - 12.0	.2, .5, 1.0, 4.0 10.0 y externo	variable con el número de transduc- tores	ajustable a 10,000	arreglo de 4-16
Pipeliner	3.5, 5.0, 14.0, 200.0	0.5, 0.2 0.1, 0.1	45° x 90° 15° x 80° 3.5°	5000 5000 100	2 1 1
Datasonics SBP-5000	3.5, 5.0, 7.0-12.0 y 30.0	.1, .5 1.0, 2.0 y 5.0	55°- 3.5 kHz 45°- 5.0 kHz 5°- 7.0 kHz	ajustable a 12,000	arreglo de 4-16
Raytheon RTT-1000	3.5 7.0	0.1-1.0	70° 30°	ajustable a 2,000	1
Klein 532S	3.5	0.4	50°	--	1

Fig. 2.45. Cuadro comparativo de especificaciones de diferentes sistemas detectores de tuberías.

objetivos planteados. El sistema Datasonics SBP-5000 reúne las siguientes especificaciones:

MODELO SBT-220 TRANSCEPTOR

Frecuencia de operación:	Seleccionable; 3.5, 5.0, 7.0, 12.0, 30.0 kHz
Potencia de salida:	Calibrada; 12 kW máximo, -3 db, -6 db, -10 dB
Longitud de Pulso:	Seleccionable; .1, .2, .5, 1.0, 2.0, 5.0 mseg
Protección de sobre carga en transmisión:	Protección contra circuito abierto/corto
Modo de operación:	Externo, interno o espera
Tasa de repetición interna:	1/8, 1/4, 1/2, 1.0, 2.0 seg
Sensibilidad de recepción:	1.0 μ V señal mínima detectable
Protección de sobrecarga en recepción:	Led indicador de sobrecarga en la recepción
Ancho de banda de recepción:	Seleccionable; 1, 2, 5, 10 kHz
Control de ganancia:	Calibrado en 3dB incremental hasta 100 dB de máxima ganancia
Ganancia variable con el tiempo: (TVG)	Calibrado 20 Log R con compensación por pérdida por difusión más compensación por pérdida en el fondo.
Control TVG:	Retraso ajustable y control de velocidad en operación manual
Rastreo automático del fondo:	Comienza con el ajuste del TVG por pérdida del fondo Rastreo automático del fondo por el eco en alguno de los dos canales. Control

	el umbral y Led indicador de comienzo y monitoreo del rastreo del fondo
Desplegador del Rastreo del fondo:	Control de marcas permite el despliegue continuo de la posición electrónica del rastreo del fondo
Calibración:	Señal de autoprueba; 0 dB, -20 dB, -40dB
Frecuencia de Operación del Canal 2:	20 kHz standar (otras disponibles)
Control de Ganancia del Canal 2:	Ajustable 100 dB máximo
Tecla de Control del Canal 2:	Simultánea con el canal 1 y retraso ajustable para la presentación de grabado de ambos canales
Realce del Fondo:	El canal 2 provee alta resolución del contorno del fondo sumada con la del canal 1
Señales de Salida:	Panel de salida frontal y posterior 10 kHz heterodino y salidas detectables de 0 a 1 Vrms
Salidas de Audio:	Salida de BFD a bocina interna y jack en el panel frontal para audífonos
Compensación por Peso Opcional:	Provee teclas de retardo en concordancia con el movimiento pesado del transductor vertical.

Interface de Grabación:

Señales de salida para grabadora magnética o entradas para sistemas de adquisición digital de datos

Construcción:

Estante de 19 pulgadas o colocado libremente en una cubierta portátil.

Dimensiones:

19 pulgadas de ancho x 8 3/4 pulgadas de alto x 18 pulgadas de fondo.

Peso:

60 lb.

MODELO ITV-120 VEHICULO DE ARRASTRE CON ARREGLO DE TRANSDUCTORES

Tipo de Vehículo:

Construido con cubiertas de fibra de vidrio y estructura metálica

Potencia Máxima de Entrada:

Canal 1 - 12 KW

Canal 2 - 2 KW

Ancho del haz del Transductor:

Canal 1: 3.5 kHz - 55°

5.0 kHz - 45°

7.0 kHz - 35°

Canal 2: 200 kHz - 5°

Dimensiones del Vehículo:

21 pulgadas de ancho x 20 pulgadas de alto x 64 pulgadas de largo

Construcción:

Plato del transductor de acero galvanizado, ensamble de la cola y cubiertas moldeadas en fibra de vidrio

Peso del Vehículo:

En aire: 200 lb

En agua: 120 lb

Lastre ajustable disponible

MODELO TWC-601 CABLE DE ARRASTRE

Tipo de Cable:

Doble blindado

Diámetro:

0.5 pulgadas.

Construcción Interior:

Tres conductores coaxiales del No. 22

3 conductores simples del No. 22

Resistencia de Ruptura:

16000 lb.

En la figura 2.46 se ilustra un diagrama a bloques de la interconexión del sistema detector de tuberías.

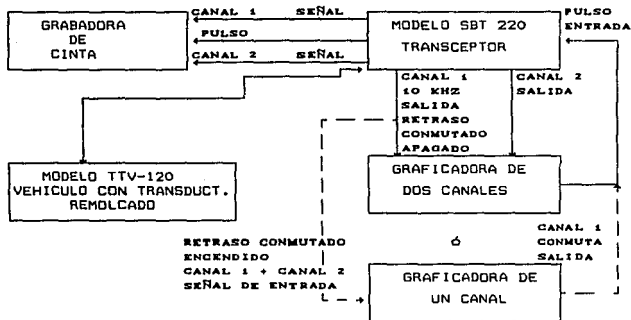


Fig. 2.46. Diagrama a bloques de la interconexión del sistema detector de tuberías.

2.5 SISTEMA DE PERFILADORES

El desarrollo continuo de equipo sísmico para perfiladores ha hecho posible tener un medio más avanzado para estudiar indirectamente los sedimentos y rocas que se encuentran cubiertos por las aguas de los mares, ríos, lagos, lagunas, esteros.

La técnica para efectuar dichos estudios, como ya se dijo requiere de un barco, con un dispositivo a remolque que tenga la capacidad de emitir pulsos acústicos cada cierto tiempo, a lo largo de la trayectoria del barco, a través de una ruta seleccionada (Fig. 2.47). Estos pulsos acústicos son reflejados por el fondo marino y las capas geológicas inferiores, la señal reflejada es interceptada por un hidrófono, el cual convierte las ondas de presión acústica recibidas en señales eléctricas. Abordo del barco estas señales eléctricas pueden ser procesadas de diferentes maneras, la manera más común es mostrarlas en una graficadora que tenga capacidad par graficar la señal de reflexión sísmica . Por lo que dicho registro de reflexión sísmica será una imagen acústica de la estructura del subsuelo marino a lo largo de la trayectoria inspeccionada (Fig. 2.48)

En los últimos años, el avance en las técnicas de procesamiento digital por computadora, permitió al mismo tiempo avanzar en la instrumentación para la adquisición de datos en multicanal, como consecuencia inmediata se tuvo un perfeccionamiento en la capacidad de los sistemas básicos de reflexión sísmica de un sólo canal.

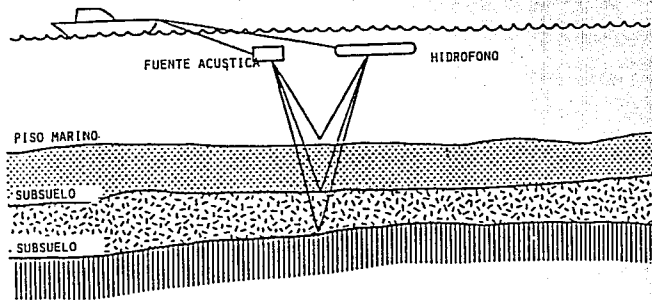


Fig. 2.47. Técnica de perfilación sísmica continua.

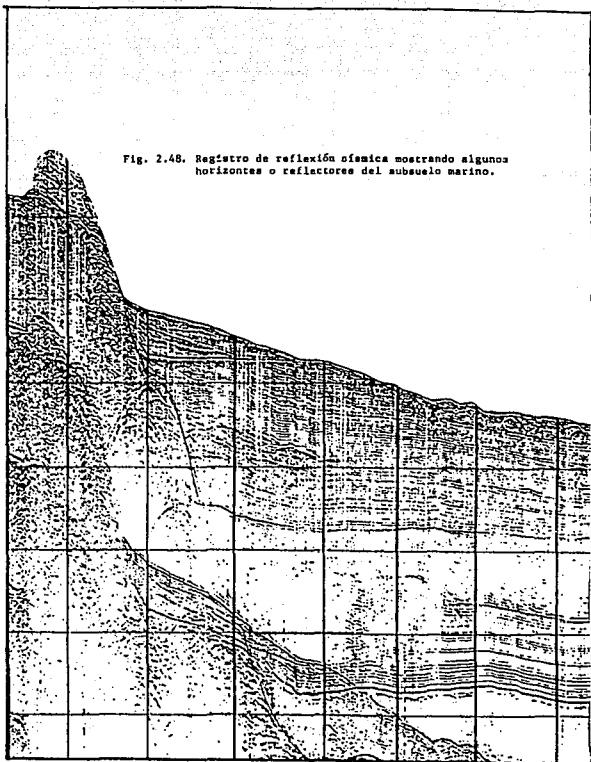


Fig. 2.48. Registro de reflexión sísmica mostrando algunos horizontes o reflectores del subsuelo marino.

Estos avances se dieron debido a la necesidad de obtener mayor información acerca de la estratigrafía y profundidad de las estructuras, así como de los datos concernientes a la litología, porosidad y velocidad sísmica en las diferentes capas geológicas.

A pesar de lo sofisticado de las técnicas de procesamiento y poderío en la recolección de los datos, es necesario tener un sistema de reflexión sísmica básico de un canal, que sea capaz de proporcionar información con un alto grado de resolución y una penetración moderada. Al mismo tiempo su relativa simplicidad y bajo costo de operación, puede hacer de este tipo de sistema muy atractivo y completamente adecuado para varias aplicaciones.

CONSIDERACIONES TECNICAS

En esta sección se describe el principio de operación de las componentes básicas de un sistema de perfiladores sísmicos. Así como sus ventajas y desventajas, de acuerdo con la efectividad del sistema para el estudio de las estructuras del suelo y subsuelo marino. Solamente se conocen cuatro sistemas de perfiladores de reflexión más usados, ellos son: Uniboom, Sparker, Air gun y Tuned Transducer, de este último se habla en el apartado anterior en una aplicación específica (Detector de Tuberías). Con estos sistemas se obtienen los rangos típicos de resolución y penetración de los sistemas de las capas del subsuelo. Así como varios dispositivos que mejoran la calidad de los registros de reflexión sísmica.

Haciendo referencia a la fig. 1.14 del capítulo 1, se podrán observar ciertos elementos integrantes en forma de bloques de un sistema perfilador, por lo que se observa que todo se controla a través de la graficadora.

GRAFICADORA SISMICA

Con lo dicho anteriormente la graficadora debe ser capaz de controlar el disparo de la fuente acústica, así como de desplegar la información acústica recibida por los hidrófonos. Generalmente la graficadora utilizada es de stylus (aguja) con papel electrosensitivo. Con los avances en los equipos de impresión se están produciendo ya graficadoras de papel térmico, aumentando con esto la calidad de los registros de reflexión sísmica con una mejor presentación. El proceso de conmutación e impresión ocurre de la siguiente manera: cuando la banda de stylus se pone en movimiento al inicio del barrido, se conmuta la fuente de sonido y a su vez se imprime la señal reflejada en pequeñas marcas de izquierda a derecha del papel (Fig. 2.49) hechas por quemadura del mismo.

Estas marcas, las cuales son los datos reflejados, varían en intensidad, dependiendo de la amplitud de la señal reflejada. Una vez que completa el barrido ó giro, el papel avanza ligeramente y el proceso se repite una y otra vez, hasta tener líneas continuas de marcas, las cuales forman el registro de reflexión sísmica. Esto se hace en una graficadora de un sólo canal.

Para poder hacer lo anterior la graficadora debe poder medir el tiempo que tarda en salir la señal de la fuente acústica y regresar a los hidrófonos, a este tiempo se le denomina Two-way. Por ejemplo: si la velocidad de barrido en la graficadora fuese 1 segundo y el piso marino aparece a medio registro, entonces el tiempo de viaje two way es de .5 seg. Si este fuera el caso, es necesario expresar esta profundidad en unidades de longitud, debe usarse la siguiente fórmula:

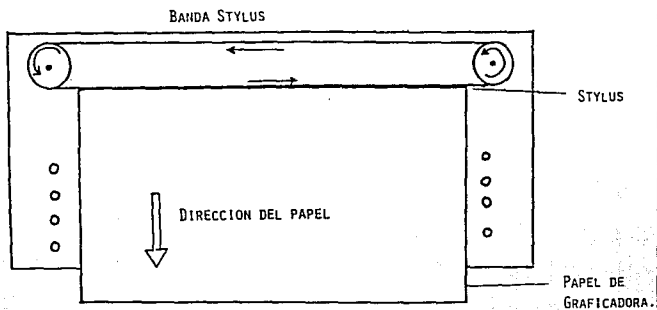
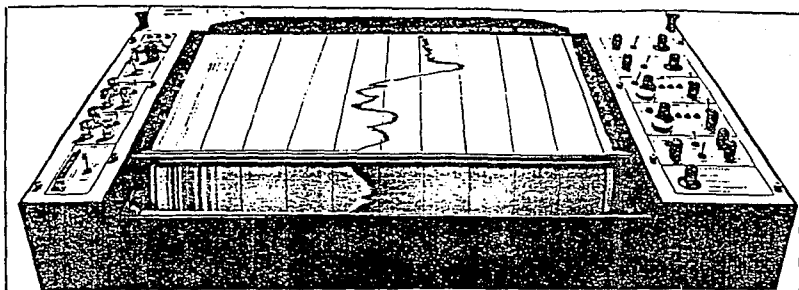


Fig. 2.49. Esquema de una graficadora de registros sísmicos.

$$D = 0.5 V t$$

Donde:

D = Profundidad del reflector u horizonte.

V = Velocidad del sonido en el agua (1500 m/s).

t = Tiempo de viaje de la señal (two way).

En nuestro caso la profundidad es 375 metros. La exactitud para determinar la profundidad de los reflectores del subsuelo requiere que la velocidad del sonido a través de los sedimentos sea conocida. Para reflectores someros del subsuelo (a profundidad < 0.10 seg.), en sedimentos no consolidados, se utiliza una velocidad de 1500 m/s por lo general.

La velocidad de barrido es variable en la graficadora, proporcionando un medio para seleccionar la escala vertical más adecuada para nuestra aplicación. Para estudios someros , una velocidad de barrido de 0.10 seg. representa una escala de 75 metros, siendo ésta adecuada para la alta resolución que se requiere en los estudios de penetración somera. Cuando se requiere una gran profundidad de penetración, es conveniente una velocidad de barrido de 0.5 seg (375 m), 1 seg. (750 m), 2 seg. (1500 m), ó 4 seg (6000 m), escogiéndose por supuesto el barrido más adecuado a nuestra aplicación.

Por lo tanto esta unidad de graficación, con base en la velocidad de barrido, deberá permitir programar la velocidad de disparo de la fuente acústica, tomando en cuenta la capacidad de nuestra fuente. Por lo tanto, la graficadora debe de contar con una salida / entrada de un pulso de disparo, capaz de controlar la fuente de

sonido a diferentes velocidades, los niveles requeridos son pulso TTL de 5 volts, de 12 volts y contact closure.

2.5.1 SISTEMA PERFILADOR SOMERO

Por lo mencionado anteriormente se define que un Sistema Perfilador Somero es aquél en el cual se tiene una alta resolución y penetración moderada, observándose esto a la hora de obtener los registros, asimismo debe de mencionarse que la unidad de graficación descrita anteriormente es parte de este sistema, la cual deberá de operarse con velocidad de barrido bastante proxima a 0.10 seg.

FUENTE ACUSTICA

Para un sistema Perfilador Somero se requiere de un dispositivo capaz de proporcionar los parámetros anteriormente descritos. Este equipo deberá por lo tanto de generar una señal acústica de una amplitud relativa alta, con un ancho de banda característico entre los 400 y 4000 Hz. La resolución del equipo deberá ser de 0.2 a 1.0 metros y una penetración de 30 a 100 metros. Un factor adicional que debe tomarse en cuenta es que esto sólo es la fuente acústica, la cual es un transductor del tipo piezo-eléctrico ó electromecánico y debe alimentarse con algún tipo de alimentación primaria, generalmente de corriente alterna.

El transductor piezo-eléctrico o electromecánico en uso convierte el pulso eléctrico de alto voltaje en un pulso acústico.

Normalmente, este tipo de fuente acústica opera con una fuente de alimentación, la cual consta de un transformador elevador de voltaje, acoplado a una etapa rectificadora que envía la energía de corriente directa a un banco de capacitores, los cuales almacenan la energía y su descarga es enviada a la fuente acústica, como se muestra en la figura 2.50.

Sin embargo el banco de capacitores, ó almacén de energía, debe ser capaz de manejar diferentes velocidades de descarga, ya que a veces se requiere de descargas cada 0.10 seg y otras de 1 seg. Lo anterior implica que el nivel de energía debe de restablecerse como mínimo cada 0.1 seg, para poder transmitir un nivel de energía constante durante la operación. La potencia entregada por este tipo de fuentes debe de ser de 100 a 1000 watts, permitiendo el control del valor a utilizar, o sea que se puedan elegir potencias de 100, 200, 300, ..., 1000 watts. Adicionalmente se debe tomar en cuenta que en la embarcación se debe de tener el generador que proporcione 120 ó 220 Volts de corriente alterna (VCA) y potencia necesaria.

Dentro de los sistemas perfiladores mencionados el Uniboom es el que corresponde a un sistema perfilador somero con las características mencionadas en los párrafos anteriores. A menudo se le clasifica como un dispositivo de desplazamiento, por la forma en que produce la señal acústica, ya que se hace por medio del desplazamiento rápido de una placa contra el agua. Fig. 2.51. El movimiento de la placa se produce como sigue: cuando la energía eléctrica almacenada en la fuente de alimentación es descargada a través de la bobina del transductor (por supuesto que activado por el pulso llave de la graficadora), un campo magnético es generado en la misma. Este campo magnético es inducido en la placa de

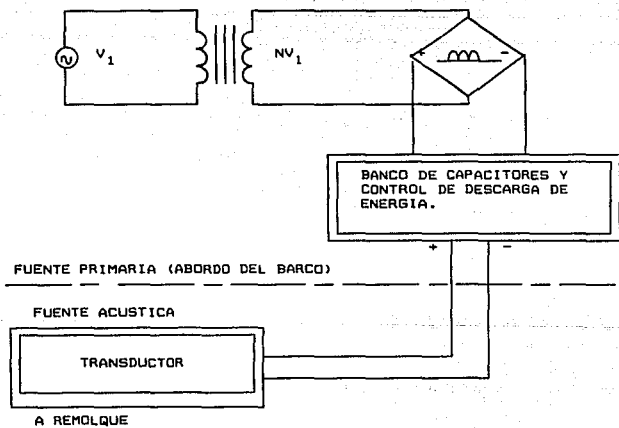


Fig. 2.50. Diagrama de bloques de la fuente acústica y su fuente primaria.

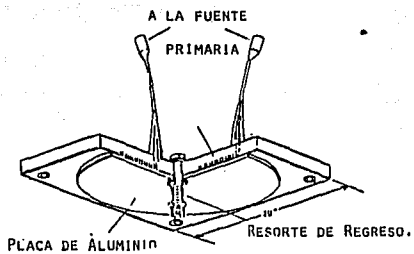


Fig. 2.51. Esquema del transductor del uniboom.

aluminio con la misma polaridad, lo cual hace que se produzca una rápida repulsión de la placa, generándose el pulso acústico. Los campos decaen rápidamente y la placa regresa a su posición original. La forma de onda acústica obtenida es de corta duración y una amplitud relativamente alta, con un ancho de banda de 300 a 3500 kHz.

El transductor del Uniboom viene en un catamarán (balsa) que se remolca por la popa del barco y a un costado de este, el arreglo anterior debe de proporcionar la estabilidad al catamarán, limitándose esto por el oleaje existente y la velocidad de desplazamiento del barco.

La frecuencia y amplitud del pulso acústico generado por el Uniboom dan una buena resolución de 0.5 a 1 metros y penetración de 25 a 50 metros. Recomendándose para suelos opacos acústicamente un transductor sintonizado, este dispositivo es otro perfilador somero usado como detector de tuberías, este se puede usar como perfilador somero en aguas someras cercanas a la costa.

2.5.2 SISTEMA PERFILADOR PROFUNDO

Como se dijo al principio de este apartado los sistemas perfiladores se clasifican por su penetración bajo el suelo marino, teniéndose por lo tanto que para un perfilador profundo tenemos aquellos sistemas que pueden penetrar más de 0.5 seg. (375 metros) lo cual hace que para en este tipo de aplicación, el dispositivo a usar sea del tipo del sparker (destellador) y el air gun.

Por su popularidad dentro de la exploración geofísica hablaremos de la operación del sparker. Cuando la fuente de alimentación es conmutada por la graficadora sísmica, la energía eléctrica almacenada es descargada al sparker (Fig. 2.52). La descarga de energía viaja de la fuente a través de los conductores de alto voltaje al sparker ubicado en el agua, cerrándose el circuito con la tierra del transductor. El agua de mar queda expuesta a este alto voltaje, el alto nivel de corriente generado la vaporiza convirtiéndola en vapor, ionizando sus partículas. Esta rápida vaporización provoca inicialmente el pulso acústico. Desafortunadamente la expansión de la burbuja de vapor provoca que se enfríe y eventualmente colapse, emitiendo otra onda de presión. Por lo tanto, cada descarga de energía provoca dos pulsos (Al segundo se le denomina pulso burbuja ó bubble pulse), lo cual significa que cada reflector u horizonte será representado al menos dos veces en el registro sísmico.

El sparker tiene mucha versatilidad y ésta resulta en que se tiene un control sobre su capacidad de penetración y resolución. Para controlar dichos parámetros se requieren diferentes configuraciones de fuentes de alimentación y transductores.

La fuente de alimentación consiste de un transformador de alto voltaje, un banco de capacitores y un sistema de control de descarga para transferir la energía almacenada en los capacitores al transductor (sparker).

La capacidad de energía de la fuente de alimentación (en joules) se puede determinar por la siguiente fórmula:

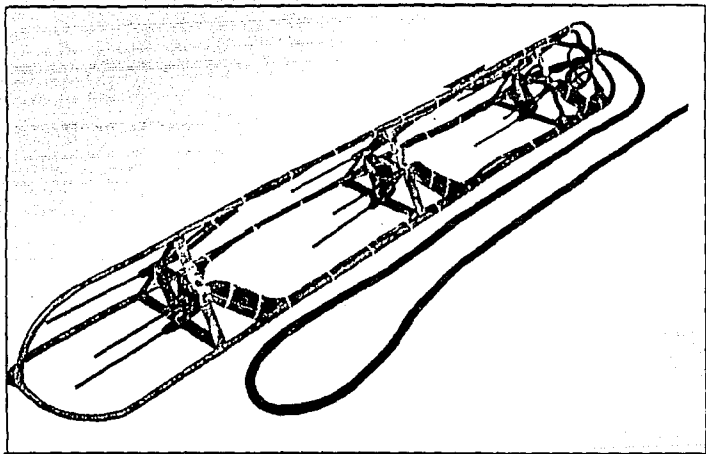


Fig. 2.52. La figura muestra el transductor SPARKARRAY del sistema perfilador profundo.

$$E = 1/2 C V^2$$

Donde:

E = Es la energía en joules

C = Capacitancia en farads (F)

V = Voltaje en volts

Con la fórmula anterior, si la energía almacenada en la fuente de alimentación esta operando a 10 kV, con un capacitancia de 20 uF, esta da un valor de 100 joules. Si se duplica la capacitancia a 40 uF, con el mismo voltaje, la energía almacenada se duplica, esto implica también un aumento en la amplitud de la señal de salida. El agregar capacitancia también incrementa las características de baja frecuencia, incrementándose la capacidad de penetración del sistema. Por el contrario si se reduce la capacitancia, se decreentan las características de baja frecuencia y la amplitud de la señal de salida. Este efecto posterior se ve más claro al incrementar el nivel de energía, se produce un incremento en la presión pico de descarga.

En conclusión, si se varía la capacitancia ó el alto voltaje, un sistema sparker puede ser diseñado para una buena resolución y mínima penetración ó baja resolución y penetración substancial. Las varias combinaciones de estos parámetros permiten diseñar sistemas con un rango de energía desde 10 joules hasta 160 kJ.

Son varios los métodos que se pueden utilizar para el diseño de un sparker. El criterio principal del diseño requiere de un dispositivo que sea eficiente al convertir la energía eléctrica a

una señal acústica de gran amplitud y amplio ancho de banda. Estas características dependen de varios parámetros, como son el número, tamaño y separación de los electrodos, así como la energía a descargar por electrodo. Dada esta situación, en el mercado se encuentran disponibles diversos tipos de sparkers con diferentes características de señal. Por lo que al elegir uno, se debe de considerar aparte de los parámetros mencionados, de acuerdo a la aplicación, su confiabilidad, fácil mantenimiento y longevidad de los electrodos.

Al considerar lo anterior un sistema PERFILADOR PROFUNDO es prácticamente un sistema sparker con una capacidad de resolución de 5 a 10 metros y una buena penetración de 200 a 300 metros, con el nivel de energía adecuado. El ancho de banda típico para un sparker de tres electrodos es de 100 - 1000 Hz, con una potencia de 500 a 8000 joules. Para un sparker de 9 electrodos se tiene un ancho de banda de 40-400 Hz y puede manejar potencias desde 500 hasta 24000 joules.

UNIDAD RECEPTORA (HIDROFONOS)

Todas las fuentes acústicas, con excepción de los transductores sintonizados, requieren de un dispositivo externo de recepción, el cual está compuesto por un arreglo de hidrófonos. La función principal de estos es recibir la onda de presión acústica reflejada por los diferentes estratos del subsuelo y convertirla en una señal eléctrica, que posteriormente será procesada y desplegada en la graficadora.

Un arreglo de hidrófonos está constituido por un cierto número de transductores , los cuales comúnmente son del tipo piezo-eléctrico. Estos son cableados hacia un receptor, la cadena de elementos se coloca dentro de una manguera flexible, llena de aceite y sellada. El aceite es el medio de acoplamiento entre la onda de presión acústica que arriva y los hidrófonos.

Existen varias técnicas y diseños de construcción que se usan en la construcción y producción de arreglos de hidrófonos, con el objeto de optimizar ciertas características. Por ejemplo, el arreglo debe de presentar una buena sensibilidad acústica a la onda de presión acústica reflejada, para lo cual deben de remolcarse fuera de la estela dejada por la propulsión del barco. Esto reduce la cantidad de ruido proveniente del mismo. El remolque se efectúa por un extremo de la manguera con una parte rígida que absorbe la tensión provocada por el cable de arrastre. Otra sección idéntica al final del arreglo con un cabo atado a la cola reduce la acción de latigqueo que normalmente actúa en la sección activa de los hidrófonos. Finalmente, el número de elementos usados, el espaciamento entre ellos, y la longitud total son calculados con el objeto de optimizar las características de recepción del arreglo, para proporcionar un espectro acústico y una dirección de recepción. Las características direccionales de baja frecuencia y sensibilidad, para un arreglo lineal, depende de la longitud acústica total; la direccionalidad de las altas frecuencias depende del espaciamento de los elementos individuales.

PROCESADOR DE SERIAL SISMICA (GRAFICADORA)

La señal acústica que se recibe por los hidrófonos normalmente no es de suficiente amplitud para imprimirse en la graficadora, sin ninguna amplificación, esto es real para reflexiones provenientes de los reflectores del subsuelo, los cuales son bastante atenuados en su paso a través del piso. Adicionalmente, el hidrófono es también sensible a las ondas de presión y otras adicionales a las deseadas, las cuales pueden degradar la calidad del registro de reflexión.

Por lo general, estas señales no deseadas son ruidos ocasionados por la propulsión del barco (ruido acústico), por el arrastre del cable de los hidrófonos (ruido mecánico) y además el ruido ocasionado por el flujo de la turbulencia del agua.

El propósito del procesador de señales sísmico es entonces incrementar la amplitud de la señal eléctrica del hidrófono y discriminar posteriormente o filtrar la información acústica no deseada.

Los amplificadores pueden amplificar la señal de tres formas: un tipo de amplificación es la lineal ó directa, la cual produce un mismo incremento en todas las señales reflejadas, por supuesto dependiendo de la ganancia de amplificación. Lo que quiere decir que todas las componentes de la señal reflejada del fondo del mar y de todos los reflectores del subsuelo serán amplificadas igualmente, por lo que si la señal reflejada es fuerte, el control de ganancia debe reducirse al mínimo, con el objeto de evitar que

se quemé en exceso el papel del registro en la graficadora. Si la ganancia del registro es reducida, las señales de baja amplitud de reflectores del subsuelo no serán desplegadas, ya que éstas no exceden el umbral de impresión de la graficadora sísmica.

Segunda forma de amplificación: Para evitar o eliminar el problema anterior se usan los amplificadores con control de ganancia automática, donde la ganancia es automáticamente ajustada de acuerdo a las variaciones del nivel de la señal. Por lo que la ganancia será reducida para las señales de alta amplitud que regresan del fondo marino y subsuelo. Se incrementará para los retornos de baja amplitud. Se utilizan controles independientes para seleccionar el rango en el cual la ganancia cambia y entonces regresar a la posición normal.

Una tercera técnica, usada solamente en sistemas de transductor sintonizado, es la llamada amplificación de ganancia variable con el tiempo, conforme el stylu se mueve a través del papel de registro. El tiempo en el cual se incrementa, inicia en el valor puesto inicialmente a través de un control externo del amplificador, pudiendo ser de un valor mínimo de ganancia a un máximo a lo largo del barrido de impresión.

Se utilizan filtros pasa-banda electrónicos para atenuar o remover señales acústicas no deseadas. La banda de paso es el rango de frecuencia permitido a pasar a través del filtro amplificador, seleccionándose este por controles separados; uno para el corte de frecuencias bajas y otro para el corte de frecuencias altas. Esto permite una amplia flexibilidad en la selección de los rangos de frecuencias de pasa-banda (100-200 Hz, 90-220 Hz).

La selección del rango pasa-banda y la frecuencia central para la aplicación depende de las características de la frecuencia de la fuente de sonido (transductor) y de la frecuencia del ruido ambiental. Por ejemplo, un pasa-banda de 400-800 Hz típico para un sistema de sparker, podría reducir o eliminar el ruido ocasionado por causas previamente mencionadas, fuera de este rango.

Un posible mejoramiento en la resolución puede ser obtenido por el uso de filtros pasa-altas, para pasar sólo las altas frecuencias. De otro modo, cambiando las frecuencias de corte a frecuencias bajas, es posible mejorar la profundidad de penetración. Con la información de altas frecuencias eliminadas, la ganancia de amplificación puede ser aumentada. Esto provoca el resalte de la información de bajas frecuencias reflejadas por las secciones geológicas más profundas. El procesador sísmico consiste de un amplificador y un filtro pasa-banda, los cuales pueden ser dos componentes separados ó integrados en una simple unidad.

SELECCION DE UN SISTEMA DE PERFILADORES

La resolución de la fuente de sonido, el ancho de banda, la longitud del pulso y el grado de penetración deberán considerarse como ya se mencionó anteriormente durante la elección de los dispositivos para integrar un sistema de perfiladores. Para hacer una elección eficiente debe tomarse en cuenta si se desea obtener información somera o profunda ó ambas, en el presente trabajo consideraremos la elección de los dispositivos para obtener los dos tipos de información.

La mayoría de los fabricantes de equipo sísmico (FERRANTI, Ocean Seismics Electronics, Datasonics, Raytheon, Hunttec Systems, E. G & G. Marine Instruments, etc.), ofrecen dispositivos que se basan en la transmisión de un impulso sobre un amplio rango de frecuencias, la Compañía EG & G ofrece un conjunto de dispositivos capaces de combinarse para obtener los dos tipos de información mientras que los demás fabricantes sólo ofrecen un conjunto para una de las dos aplicaciones, lo cual los descarta en el proceso de selección, de hecho el sólo mencionar, que con el mismo grupo de dispositivos se puede configurar un Sistema de Perfiladores Somero y Profundo con ligeros cambios en el manejo de potencia y la forma de obtener la información.

Ya que el sólo hecho de tener una serie de dispositivos para cada sistema implica la necesidad de un soporte para mantenimiento en campo y operación, resulta conveniente la elección de un sistema que permita su uso en dos aplicaciones. Las especificaciones técnicas de cada uno de los dispositivos que integran dicho sistema se enumeran a continuación.

FUENTES DE ENERGIA

Los modelos que a continuación se especifican forman la fuente de energía de los sistemas de perfilador Somero y Profundo, los cuales incluyen una fuente de corriente directa, un banco de capacitores de control y un banco de capacitores para almacenar energía, los modelos son:

Modelo 232-A Fuente de Alimentación

Modelo 231 Banco de Capacitores de Disparo (Banco de Control)

Modelo 233-A Banco de Capacitores

ESPECIFICACIONES:

Modelo 232-A (Fuente de Alimentación)

Voltaje de Entrada : 110,120,220,230 y 240 VCA, 50 ó 60 Hz por fase
Potencia de Entrada: Potencia promedio 3.3 kW
Potencia pico 14.4 kVA
Voltaje de Salida: 3.8 kV C.D. máximo
Tiempo de carga: 0.5 seg. para 1000 watts-segundo
Dimensiones: Alto 40 cm, ancho 55 cm, fondo 39 cm
Peso: 96 kg.

Modelo 231 Banco de Capacitores de Disparo (Banco de Control)

Señal de disparo: Cierre de contacto a tierra ó un pulso TTL de 5 volts provenientes desde una graficadora de reflexiones sísmicas
Potencia de Entrada: 115 VCA, 50/60 Hz, 2 amperes
3.8 kV de C.D. en 05. amperes promedio provenientes del modelo 232-A
Capacitancia: 160 microfaradios
Energía almacenada: 1000 watts-segundo a 3.8 kV
Máxima energía controlada: 8400 watts-segundo
Dimensiones: Alto 40 cm, ancho 55 cm, fondo 39 cm
Peso: 61 kg.

Modelo 233-A Banco de Capacitores

Capacitancia: 500 microfaradios
Energía almacenada: 3600 watts-segundo a 3.8 kV
Dimensiones: Alto 33 cm, ancho 51 cm, fondo 65 cm
Peso: 106 kg.

Los dispositivos anteriores son los que suministran el alto voltaje y corriente requeridos para la operación en combinación de diferentes transmisores como el Uniboom y Sparkarray. Estos transmisores son también fabricados por la compañía EG & G y reúnen las siguientes especificaciones:

FUENTE ACUSTICA (UNIBOOM)

Resolución: 15 cm
Penetración: depende del tipo de piso marino
en aguas someras: hasta 50 metros
aguas continentales: hasta 40 metros
Velocidad de arrastre: 1 a 5 nudos
Profundidad de arrastre: Remolcado en superficie
Longitud de pulso: 0.2 milisegundos
Ancho de banda: 400 Hz a 14 kHz
Energía de entrada: 300 watts-segundo máximo
Rapidez de disparo: 6 pulsos por segundo
Estructura de arrastre: Catamarán ó balsa
Dimensiones:
Longitud: 1.58 metros
Ancho: 0.84 metros
Altura: 0.59 metros
Peso: 90 kg
Longitud de cable: 60 metros

FUENTE ACUSTICA (SPARKARRAY)

Nivel de energía: 500 a 24000 watts-segundo
Características del pulso:
Nivel de energía: a 1000 w-s a 8000 w-s
Duración: 4 milisegundos 11 milisegundos
Ancho de banda: 100 Hz a 1 kHz 40 a 400 Hz
Rapidez de disparo: 2 pulsos por seg. 0.25 pulsos/seg.
Dimensiones: Alto 33 cm, ancho 33 cm, largo 275 cm
Peso sin cable: 10 kg
Peso del cable: 2.2 kg/m
Longitud del cable: 70 metros
Velocidad de arrastre: De 1 a 12 nudos

La combinación de las diversas fuentes y el tipo de transmisor elegido requiere de un receptor de señal por separado denominado hidrófono. Este puede ser sólo un receptor ó un arreglo de los mismos, asimismo es capaz de amplificar la señal débil reflejada por las diferentes capas del subsuelo. El juego de hidrófonos elegido será por supuesto el recomendado por el fabricante de las fuentes y transmisores, el cual reúne las siguientes especificaciones:

RECEPTOR (HIDROFONOS)

Sensibilidad: -80 dB/volt/microbar
Ancho de banda: 50 Hz a 7 kHz
Velocidad de arrastre: 15 nudos máxima
Profundidad de arrastre: de 0 a 30 metros
Voltaje de entrada: 9 volts
Impedancia de salida: 1 kilohms
Longitud de cable: 70 metros
Número de hidrófonos: 8 elementos

Otro juego de hidrófonos seleccionado es el de la compañía Ocean Seismics Electronics (OSE), el cual reúne las siguientes especificaciones:

Voltaje de entrada: ± 15 VCD
Ancho de banda: 20 Hz a 4.5 kHz
Velocidad de arrastre: 15 nudos máxima
Profundidad de arrastre: 30 metros
Número de hidrófonos: 10 elementos
Sensibilidad: 42 milivolts/microbar
Pre-amplificador: sí (ganancia 47)
Impedancia de salida: 10 kilohms
Longitud del cable: 70 metros

Una vez seleccionado el tipo de receptor, se requiere de un dispositivo de procesado y graficado de la señal sísmica de reflexión por lo cual se recomiendan los siguientes componentes: un filtro pasabanda de la compañía KROHN HITE y una graficadora de Laboratorios EPC modelo 4603, los cuales reúnen las siguientes especificaciones.

FILTRO PASABANDA

Rango de Frecuencia: 0.2 Hz a 20 kHz
Ganancia del Pasabanda: 0 dB a 20 dB
Voltaje de entrada: ± 7 volts de pico en la posición de 0 dB de ganancia máxima en 20 dB, ± 0.7 volts pico
Componente máxima de CD: ± 100 volts
Impedancia de entrada: 10 megaohms en paralelo con 50 pF
Voltaje de salida: ± 7 volts de pico
Corriente de salida: ± 1.5 ma de pico
Impedancia interna: aprox. 50 ohms

GRAFICADORA DE REFLEXIONES SISMICAS

Impedancia de entrada: 10 kilohms

Respuesta en frecuencia: plana en un dB desde CD hasta 20 kHz

Avance de papel: seleccionable de 50 a 200 líneas por pulgada

Control de contraste

Control de umbral de impresión

Velocidades de barrido: seleccionable desde 0.125 a 4.0 segundos

Salida de pulso de disparo:

5.0 volts y cierre de contacto a tierra

Programación de disparo e impresión:

cada 4 barridos en impresión y disparo

Control sobre polaridad de la señal a imprimir:

polaridad +, \pm y -

La graficadora posee la característica de actuar como centro de control del sistema de perfiladores, ya que proporciona la señal de disparo necesaria para activar el proceso de reflexión sísmica.

CAPITULO 3

RESULTADOS OBTENIDOS

INTRODUCCION

Dentro de los trabajos que se realizan en la zona marina del área de explotación de hidrocarburos, el mantenimiento y la construcción de instalaciones juegan un papel muy importante para el desarrollo de estas áreas. Con base en esta situación en la Sonda de Campeche se realizan diferentes estudios, precisamente para observar y detectar riesgos potenciales para las plataformas, ductos y lo que se necesite instalar.

Basicamente la participación de diferentes áreas de la ingeniería, como: Electrónica, Civil, Geología, Topografía, Geodesia, Geofísica, etc., son conjuntadas para realizar los estudios oceanográficos, y la interpretación de los resultados obtenidos. De esta forma en el presente trabajo plantearemos y realizaremos un estudio oceanográfico de geofísica y detección de ductos submarinos, a manera de ejemplo de los diferentes sistemas, operación, resultados, registros e interpretación de los mismos.

ESTUDIO GEOFISICO OCEANOGRAFICO

Aun cuando no se participa en forma directa en la etapa de realización de estudios que permiten suponer la existencia de hidrocarburos, susceptibles de extracción, si se participa en la selección del sitio adecuado para la perforación exploratoria. En este momento es cuando los estudios geofísicos de alta resolución se hacen indispensables para los fines perseguidos.

A continuación presentaremos el desarrollo de un estudio geofísico oceanográfico realizado del 17 al 19 de mayo de 1992, en la localización denominada TARATUNICH DL-2, encomendada por Petróleos Mexicanos a la compañía ICA INGENIERIA S.A. DE C.V, que es la propietaria de los equipos y la embarcación EL INGENIERO. Esta localización (Fig. 3.1) se encuentra aproximadamente a 92 km al Noroeste de Cd. del Carmen, Campeche en las siguientes coordenadas UTM (Universal Transversa of Mercator).

X = 577 600

Y = 2 143 480

Los objetivos principales que se persiguen en este estudio son los siguientes:

- Determinar la batimetría del lugar.
- Obtener las características del piso marino.
- Detallar la primera unidad o capa de sedimentos no consolidados y factores que la afectan.
- Detectar a profundidades someras la presencia de rasgos geológicos y eventos anómalos relevantes.
- Localizar a mayores profundidades estructuras geológicas de interés, así como eventos anómalos en el subsuelo marino, que presentan riesgos no sólo para la instalación de plataformas y tendido de ductos, sino también durante el desarrollo de la perforación exploratoria en los primeros 100 metros.

Para cumplir con todos los objetivos, se sigue una metodología basada en la obtención simultánea de registros sísmicos proporcionados por una serie de sistemas y equipos diferentes, que se presentan en el Capítulo 2. Estos equipos van abordo de un barco y remolcando sus sensores, realiza una serie de recorridos en líneas de una retícula que abarca un área de 2.1 por 2.1 km.

CROQUIS DE LOCALIZACION

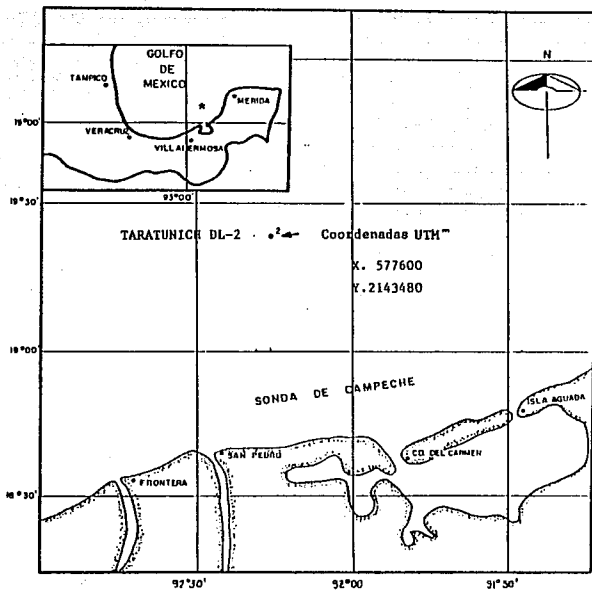


Fig. 3. 1. Croquis de localización del estudio Geofísico Taratunich DL-2, en la sonda de Campeche.

METODOLOGIA

Los trabajos involucran aspectos como planeación y programación de la forma de los recorridos en las áreas a explorar.

- Primera etapa. Se debe tener la localización precisa mediante coordenadas de la zona estudiada, se planea la forma del levantamiento que es función del detalle que se necesite.

- Segunda etapa. Se efectúa una búsqueda de estaciones que servirán de base para el posicionamiento electrónico y para obtener las coordenadas precisas de los puntos de apoyo elegidos.

- Finalmente y como tercera etapa, se prepara la información de acuerdo al número de líneas recorridas, la separación entre ellas, de acuerdo al detalle especificado, y se elige la distancia de los puntos de tiro ó evento y el sentido de orientación de todos los recorridos.

EQUIPO EMPLEADO Y DISTRIBUCION DEL BARCO DE INGENIERIA

Los equipos empleados para la realización del geofísico TARATUNICH DL-2, fueron los siguientes:

- Sistema de Posicionamiento de Largo Alcance . El sistema utilizado fue el Sistema de Posicionamiento MAXIRAN, con un alcance de 200 km., y una precisión operacional de +/- 10 metros. El funcionamiento del sistema se basa, como lo mencionamos en el Capítulo 2, en el método de Trilateración, por lo que se requiere el uso de estaciones cuyas coordenadas formen junto con la

estación móvil abordo, los vértices de triángulos que se relacionan para determinar la ubicación de la embarcación (Fig 3.2).

Las estaciones utilizadas fueron las siguientes:

EN TIERRA

ESTACION	COORDENADAS UTM	
	X	Y
Sabancuy (Camp).	683 918.96	2 097 200.21
Cd. Carmen (Camp).	623 912.78	2 063 714.81
Chiltepec (Tab).	490 305.70	2 038 505.16

EN PLATAFORMA

ESTACION	COORDENADAS UTM	
	X	Y
IXTOC "A"	582 758.84	2 145 931.93
ABKATUM "D"	584 145.60	2 133 968.58
NOHOCH "B"	604 560.55	2 138 994.86
KU "H"	583 929.14	2 166 077.23
ECD 1	603 395.22	2 104 286.54

La ubicación exacta de los puntos donde se tienen las estaciones anteriores, se obtuvieron con el Sistema de Posicionamiento Global por Satélite (GPS). El sistema de posicionamiento Maxirá al medir sus distancias en el monitor, las envía a una computadora a una velocidad de 4800 bauds. Al recibir los datos la computadora, por medio de un programa de navegación y previamente seleccionadas las estaciones fijas a trabajar, calcula la solución trigonométrica y obtiene la posición de la embarcación en todo momento.

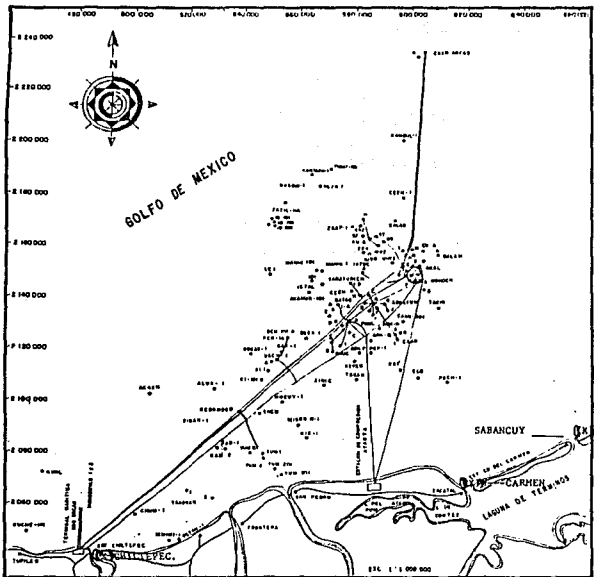


FIG. 3.2. Area de plataformas de la sonda de campeche, mostrando los sitios de las estaciones costeras.

En el programa de navegación, el operador también puede conocer la información de cuanto está desviado de la ruta programada, la distancia de cada marca de evento, la desviación estandar de la solución trigonométrica y el azimut o ángulo que lleva el recorrido. En las figuras 3.3., 3.4 y 3.5 se aprecia la retícula realizada, los puntos marca de eventos por cada línea recorrida y un listado de campo de los datos obtenidos del posicionamiento de la línea No. 1.

El Sistema de Posicionamiento Maxirán (Fig 3.6) utilizado está integrado básicamente por lo siguiente:

- 1 Monitor medidor de distancias.
- 1 Transmisor receptor.
- 1 Arreglo de antenas (omnidireccionales y direccionales).
- 1 Computadora personal 286 con disco duro de 40 megabytes.
- 1 Impresora Epson de 250 cps.
- 1 Graficadora HP 7475.
- 1 Programa de navegación (Software).

-Sistema Medidor de Profundidad (Ecosonda). Se empleó una ecosonda marca Raytheon e Innerspace Technology Inc., este sistema opera con la frecuencia de 208 kHz, para determinar las características del contorno del fondo marino. El equipo consiste básicamente de una graficadora analógica, un módulo digital (opcional) y un transductor instalado en el fondo del barco, obteniéndose con él un registro continuo impreso en papel (Fig. 3.7), de tal manera que se muestran las condiciones reales del piso marino. A partir de éstos datos se elabora un plano batimétrico o de anomalías del fondo, corregidas por la sumergencia del sensor y predicción de mareas.

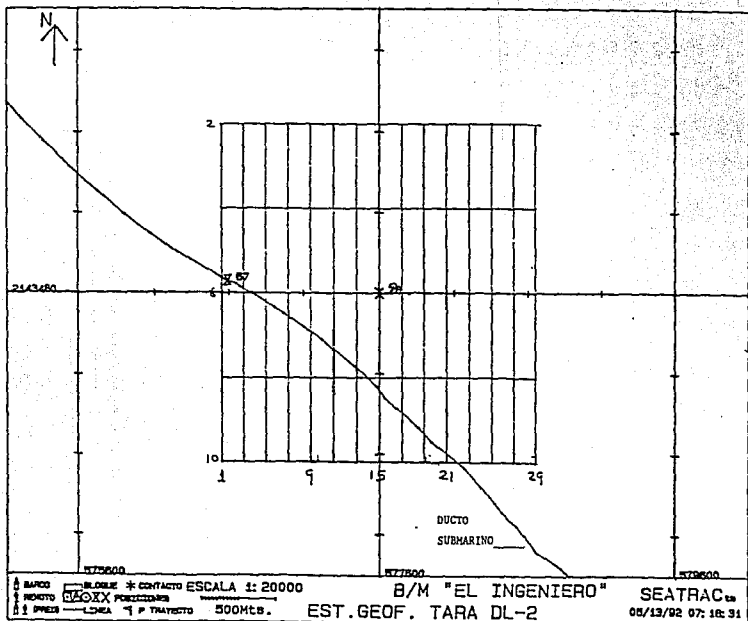
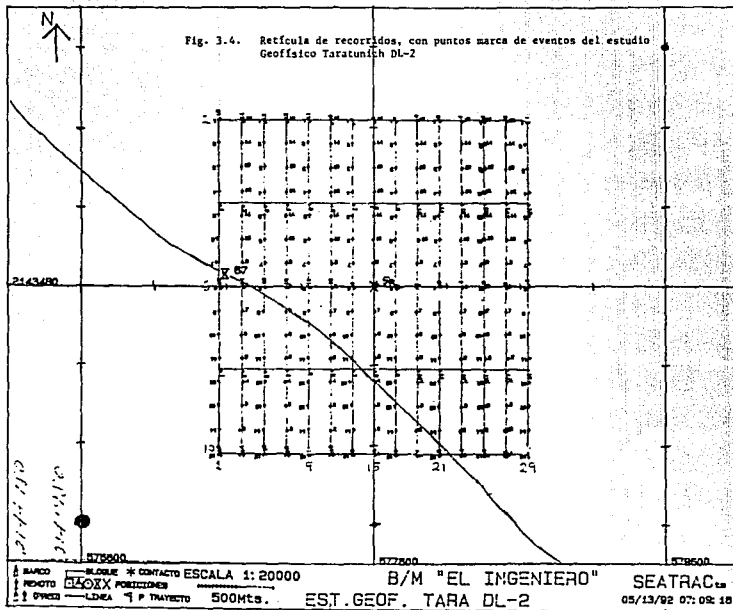


Fig. 3-3. Grafica de la reticula de recorrido para el estudio Geofisico.



(PEMEX) (###B/M"EL INGENIERO"###) (C-003/07)

Approaching TARA DL2-1

	TIME	EVNT	EASTING	NORTHING	S.D.	FIX	D-OFF	DIST	HEAD	DEPTH
	13:17:23	1	576551	2144529	2.0	123	-1	671.6	000.0	0.0
	22781		6376	13009						
	13:18:41	2	576551	2144282	0.7	123	-1	147.4	000.0	0.0
	22922		6409	12891						
	13:20:00	3	576547	2144233	1.4	123	3	149.2	000.0	0.0
	23064		6452	12773						
	13:21:22	4	576551	2144081	0.6	123	-1	152.5	000.0	0.0
	23208		6489	12649						
	13:22:42	5	576549	2143932	0.4	123	1	148.7	000.0	0.0
	23350		6535	12532						
	13:24:01	6	576538	2143783	0.0	123	12	149.1	000.0	0.0
	23495		6592	12421						
	13:25:21	7	576532	2143630	0.1	123	18	153.0	000.0	0.0
	23642		6649	12304						
	13:26:45	8	576556	2143483	0.6	123	-6	149.2	000.0	0.0
	23775		6678	12174						
	13:28:07	9	576552	2143331	0.6	123	-2	152.2	000.0	0.0
	23921		6739	12058						
	13:29:25	10	576547	2143183	0.6	123	3	147.6	000.0	0.0
	24063		6802	11947						
	13:30:48	11	576552	2143030	0.8	123	-2	153.6	000.0	0.0
	24208		6861	11826						
	13:32:06	12	576548	2142883	2.1	123	2	147.4	000.0	0.0
	24351		6927	11717						
	13:33:25	13	576547	2142732	1.4	123	3	150.4	000.0	0.0
	*24494		*6996	11603						
	13:34:45	14	576554	2142582	1.9	123	-4	150.4	000.0	0.0
	24636		7060	11486						
	13:36:05	15	576546	2142430	2.3	123	4	152.3	000.0	0.0
	24784		7140	11378						

Fig. 3. 5. Listado de Datos de coordenadas, distancias, obtenidos con el sistema de posicionamiento maistran.

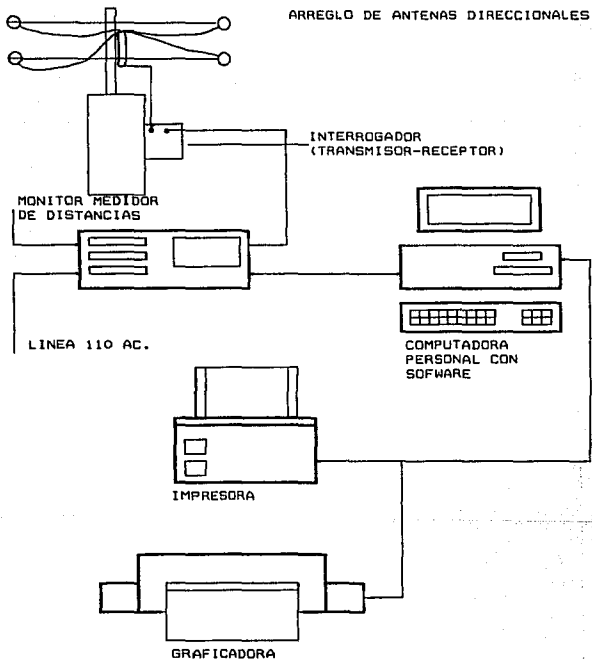
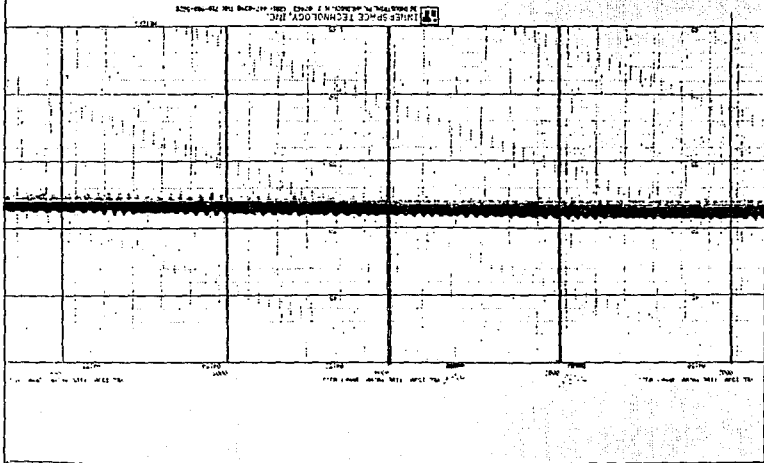


Fig. 3.6. Equipos que componen el sistema de posicionamiento y equipos periféricos.

Fig. 3.7. Registro cónico del sistema medidor del transe de agua (ECOSONDA)



- Sonar de Barrido Lateral. Un sensor hidrodinámico (Tow Fish) y una graficadora con impresión de papel electroestático y un cable de remolque, componen en general este equipo (Fig. 3.8). Este equipo trabaja a una frecuencia de 105 kHz y utiliza diversas escalas de barrido por canal.

El sensor del sistema es remolcado desde la embarcación, auxiliándose de un malacate que proporciona más cable para aproximarlo al fondo del mar. El transductor hidrodinámico generalmente debe de quedar a un 20% de la amplitud del alcance lateral del tow-fish, con el fin de obtener un registro de buena calidad.

La escala ó alcance lateral utilizado en el estudio fue de 100 metros por cada canal, en donde se obtuvieron imágenes del fondo vistas en planta, siendo bastante aproximadas en forma y tamaño a los objetos que se encuentran en el lecho marino. La figura 3.9 muestra un registro obtenido con el sonar de barrido lateral.

El sonar de barrido lateral es de suma importancia en los trabajos marinos que se desarrollan actualmente, ya que los mapas geomorfológicos, como también son conocidos, encuentran muchas aplicaciones sobre todo para la exploración e inspección de los objetos y materiales depositados en el piso marino, asimismo juega un papel importante en la inspección de tuberías instaladas. De ésta manera el equipo permite observar las condiciones físicas de como se encuentran y las posibles fugas de gas y petróleo, que es transportado por los ductos instalados. Posteriormente en gabinete se realiza la corrección de la posición del sensor, por medio de la relación que se muestra en la figura 3.10.

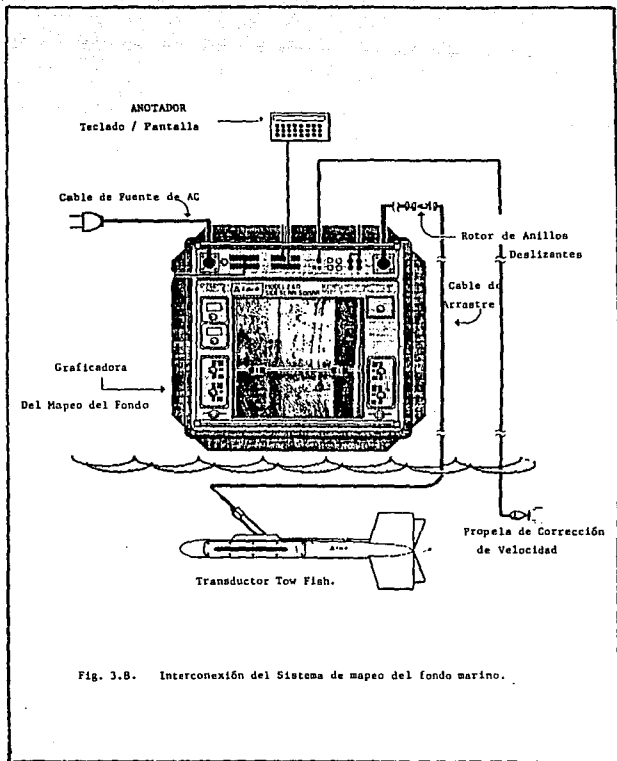


Fig. 3.8. Interconexión del Sistema de mapeo del fondo marino.

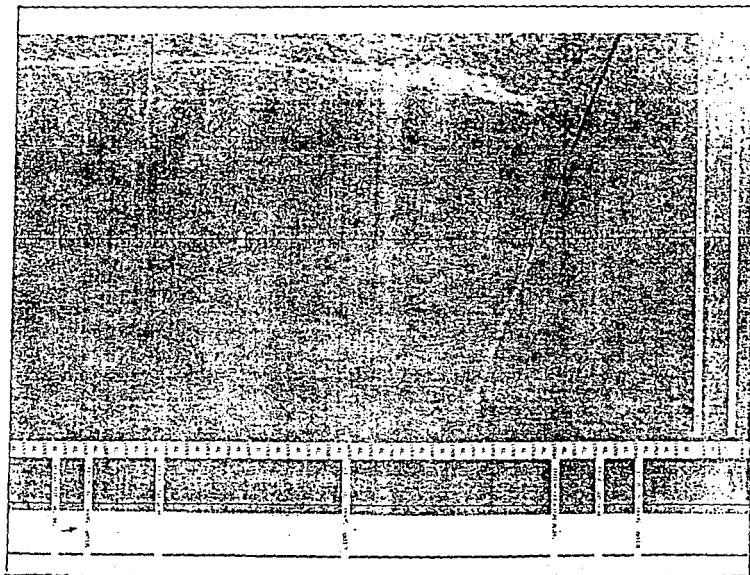
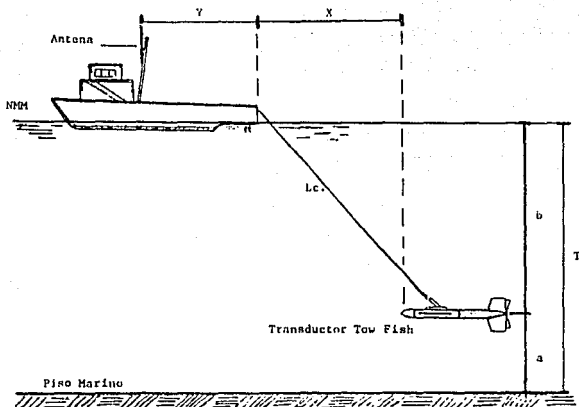


Fig. 3.9. Registro del sonar de barrido lateral, mostrando una tubería submarina.



RELACION :

$$X = \sqrt{(L_c)^2 - (b)^2}$$

$$CT = X + Y$$

- DONDE : Y = Distancia Antena - Popa
 X = Distancia Popa - Sensor
 L_c = Longitud de cable
 a = Altura del sensor al piso marino
 b = Altura del sensor al nivel del mar
 T = Profundidad ó tirante de agua
 CT = Corrección total.

Fig. 3.10 Corrección de la longitud del sensor Tow Fish.

- Sistema Perfilador Estratigráfico Somero. Para la obtención de la información estratigráfica somera, se utiliza un perfilador del subsuelo denominado UNIBOOM de 300 joules (watts-seg) de potencia de salida. Con su empleo se determina la naturaleza de los sedimentos que constituyen el subsuelo marino, así como los fenómenos tectónicos que los afectan, hasta una profundidad de 60 metros, dependiendo de las condiciones geológicas del fondo y subsuelo.

El equipo lo constituye una fuente de energía, un banco de disparo, un transmisor, un receptor de 10 hidrófonos, un filtro amplificador de señales y una graficadora sísmica, en la cual se obtiene el perfil estratigráfico de las líneas programadas, mostrando en la escala vertical el pulso acústico en tiempo (milisegundos) (Fig. 3.11). Asimismo en la figura 3.12, muestra una hoja de datos del levantamiento con los filtrados, potencia emitida, repetición de disparos, etc.

El perfilador profundo es también un auxiliar en la determinación de la profundidad del tirante de agua y detecta en algunas ocasiones la presencia de gas, lo que resulta de mucha ayuda para la correlación con los resultados de otros equipos tendientes a determinar riezos potenciales para la construcción.

La resolución que se alcanza con el equipo es del orden de 0.3 metros, lo cual hace que las profundidades calculadas por medio de funciones de velocidad sean bastante aproximadas.

Dentro de los registros obtenidos en campo, el primer rasgo característico que se observa es el espesor de sedimentos no

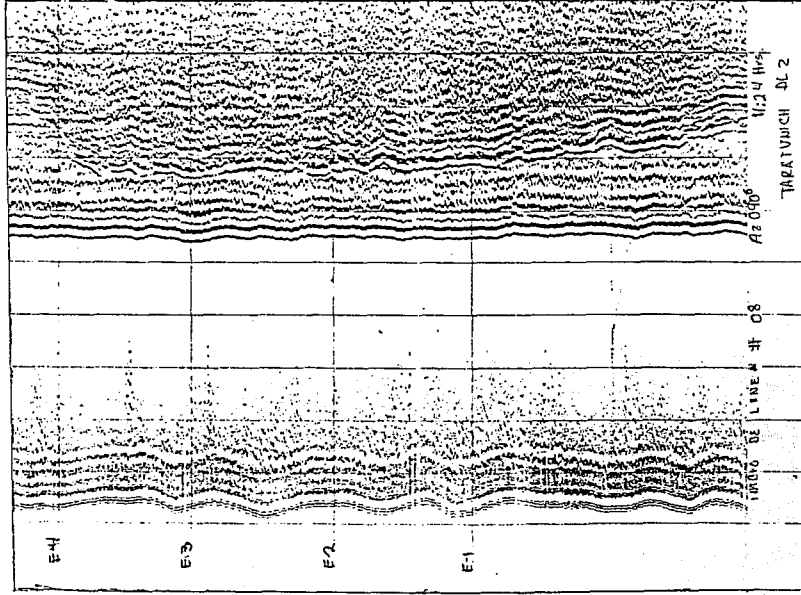


Fig. 3.11 Registro tipico del sistema parillador accoro (UNIBD01).

DATOS DEL LEVANTAMIENTO

FOLIO: _____

SISTEMA PERFILADOR SOMERO

TRABAJO: Estudio Geotécnico Tacatanich M-2 X = 577600 FECHA: 17/ MAYO/92
 Y = 2143480
 DIVISION MAR EMBARCACION: EL TAGUERO GRAFICADORA: SPC 4603 OPERADOR: M.S.B

LINEA No.	HORA		PUNTO M. E.	DIREC. DEL RECORRIDO	POLARIDAD	GANANCIA	CONTRASTE	FILTRADO	UMBRAL	VEL. DE BARRIDO	NIVEL DE ENERGIA	VEL. DEL BARCO
	INICIAL	FINAL										
29	12:54		1	170°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		15:13	15	170°								
13	13:39		1	010°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		13:57	15	010°								
11	14:19		1	170°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		14:38	15	170°								
9	15:01		1	010°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		15:22	15	010°								
7	15:49		1	170°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		16:18	15	170°								
5	16:55		1	010°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		17:01	15	010°								
3	17:51		1	010°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		18:01	15	010°								
1	17:11		1	170°	(-)	4.0	3/4	330/1300	1/4	200ms	700J	3.0N
		17:29	15	170°								

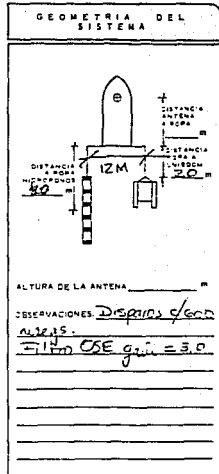


Fig. 3.12. Datos del levantamiento del perfilador somero (UNIBOOM).

consolidados, fácilmente reconocibles por la tonalidad más clara que presentan respecto a los sedimentos consolidados. Su espesor por lo regular es de unos cuantos metros, dependiendo del área de estudio.

- Sistema Perfilador Estratigráfico Profundo. Este perfilador utiliza un emisor llamado SPARKER, es un sistema en donde se pueden detectar los sedimentos bajo el fondo hasta unos 500 metros dependiendo de las características de los mismos.

El equipo funciona generando una onda acústica de gran amplitud, descargando la energía almacenada, a través de nueve electrodos, montados en una estructura triangular de acero inoxidable. Al recibir la descarga los electrodos, se produce la formación de una burbuja debido al agua salada conductora y a la estructura donde se encuentran montados.

Al sistema se le interconectan un conjunto de equipos, como amplificadores, filtros y una graficadora sísmica, con la finalidad de obtener un graficado del subsuelo marino a diferentes profundidades, dependiendo del nivel de energía utilizado y con diferentes velocidades de disparo. Para el caso del estudio geofísico del Campo TARATUNICH DL-2, se utilizaron 3700 joules de energía y con disparos de 1.5 segundos. La figura 3.13, muestra los datos de campo del estudio geofísico profundo de la localización mencionada.

Las señales cuando son recibidas por los hidrófonos son convertidas en señales eléctricas que amplifica para que pasen

DATOS DEL LEVANTAMIENTO

FOLIO _____

SISTEMA PERFILADOR PROFUNDO

DIVISION MAR TRABAJO Estudio Geofisico Campo TARAUMICH DL-2 FECHA 19-Mayo-1992
 EMBARCACION: SM EL INGENIERO GRAFICADOR: 4603 EPC OPERADOR: FLG

LINEA No.	HORA		PUNTO M. E. RECORRIDO	DIRECCION DEL RECORRIDO	ROLA-RIDAD	GANANCIA	CONTRASTE	FILTRADO	UMBRAL	VELOCIDAD DE BARRIDO	NIVEL DE ENERGIA	VELOCIDAD DEL BARCO
	INICIAL	FINAL										
10	08:53		1	275°	-	1.4	7/8	150/2000	1/4	500ms	3900V	3.0N
		109:09	15	275°	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
08	09:32		1	095°	-	1.4	7/8	150/2000	1/4	500ms	3900V	3.0N
	09:09	09:54	15	080°	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
06	10:12		1	260°	-	1.4	7/8	150/2000	1/4	500ms	3900V	3.0N
		10:28	15	240°	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
04	10:49		1	085°	-	1.4	7/8	150/2000	1/4	500ms	3900V	3.0N
		11:10	15	082°	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
02	11:28		1	290°	-	1.4	7/8	150/2000	1/4	500ms	3900V	3.0N
		11:44		295°	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

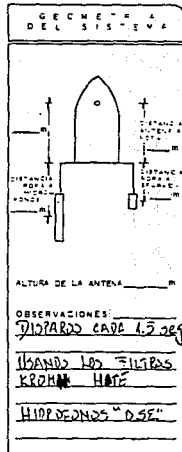


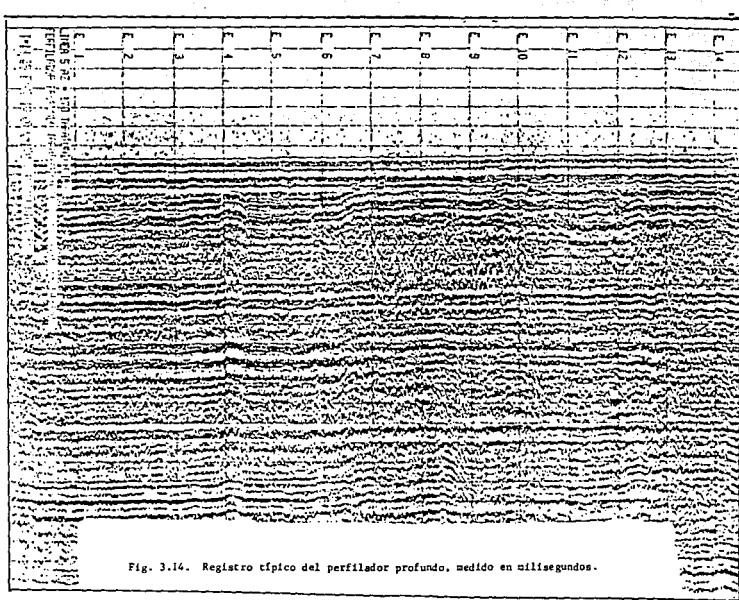
Fig. 3.13. Esta hoja muestra los datos del levantamiento de campo del perfilador profundo.

a un arreglo de filtros paso banda, con el objeto primordial de eliminar en lo posible el ruido y señales ajenas de los ecos que deseen captarse. La figura 3.14 muestra un registro obtenido con el perfilador Profundo.

Como lo expusimos líneas arriba, en condiciones geológicas ideales, el sistema es capaz de penetrar hasta una profundidad de 500 metros ó más, sin embargo, con base en la experiencia y objetivos que se persiguen al realizar este tipo de trabajos en la Sonda de Campeche, se ha decidido trabajar con penetraciones del orden de los 200 a 300 metros, respecto al piso marino. Esto obtendrá una mayor resolución en los registros sísmicos, logrando con ello una mejor definición de los eventos geológicos y anómalos que puedan afectar la instalación de estructuras en el subsuelo marino.

- Sistema Transductor Sintonizado (Pinger). El equipo como ya lo expusimos en el Capítulo No. 2, es utilizado como un detector de tuberías, pero como se mencionó cae dentro de la clasificación de un perfilador somero de escasa penetración, pero de alta resolución . Se trata de un sistema que utiliza varias frecuencias y optimiza la detección de las ondas reflejadas en las capas del subsuelo y en la detección de los ductos. Esto lo realiza por medio de un control preciso de las características del procesado de señales empleadas, lo logra a través del control digital de los parámetros del pulso de salida del transmisor y de las características de la ganancia empleada por el receptor.

En el caso del campo TARATUNICH DL-2 se utilizaron frecuencias desde 3.5 a 7 kHz, eliminando los efectos de reverberancia del transductor, usando un receptor heterodino con filtrado paso banda de gran precisión.



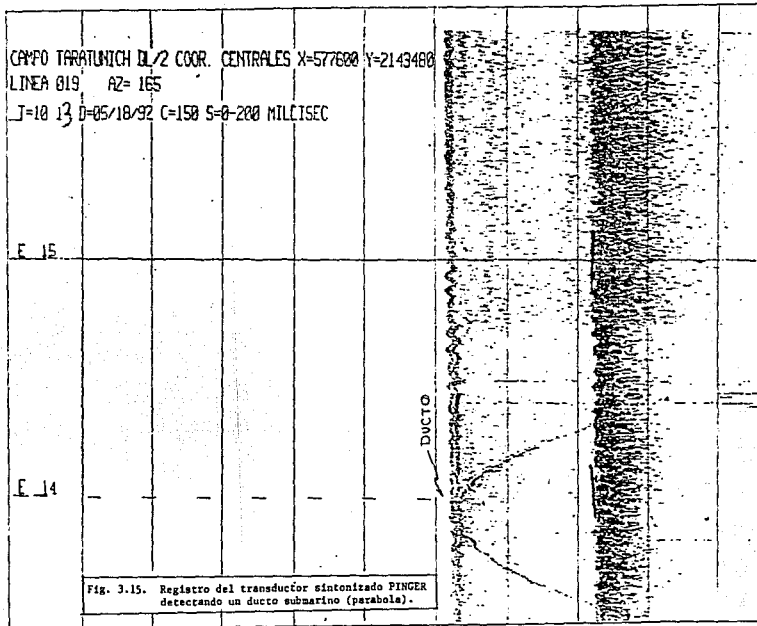
Asimismo, el transmisor-receptor se utilizó con un control de ganancia variable con el tiempo (TVG), para compensar las pérdidas por atenuación de la señal en el tirante de agua y en el subsuelo marino. La figura 3.15 muestra un registro del pinger detectando la tubería que se encuentra en el campo TARATUNICH DL-2 apreciando en el registro el fondo marino, y la capa de sedimentos consolidados. En la figura 3.16 muestra el registro del pinger como perfilador de alta resolución.

BARCO DE APOYO

Para el desarrollo de los trabajos de exploración geofísica, en el campo TARATUNICH DL-2, se utilizó el barco denominado El INGENIERO, propiedad de la empresa ICA INGENIERIA. Sus características son las siguientes:

ESLORA	54.86 METROS.
MANGA	12.29 METROS.
CALADO	3.05 METROS.
VELOCIDAD DE CRUCERO	12.00 NUDOS.
ALOJAMIENTO TOTAL	32 PERSONAS.
BANDERA	MEXICANA.

Dentro del barco los equipos y transductores fueron distribuidos adecuadamente, de tal manera que se obtuviera el mayor alcance de ellos, la figura 3.17, muestra la distribución en perfil y planta de los equipos, y la distribución de los transductores en el agua.



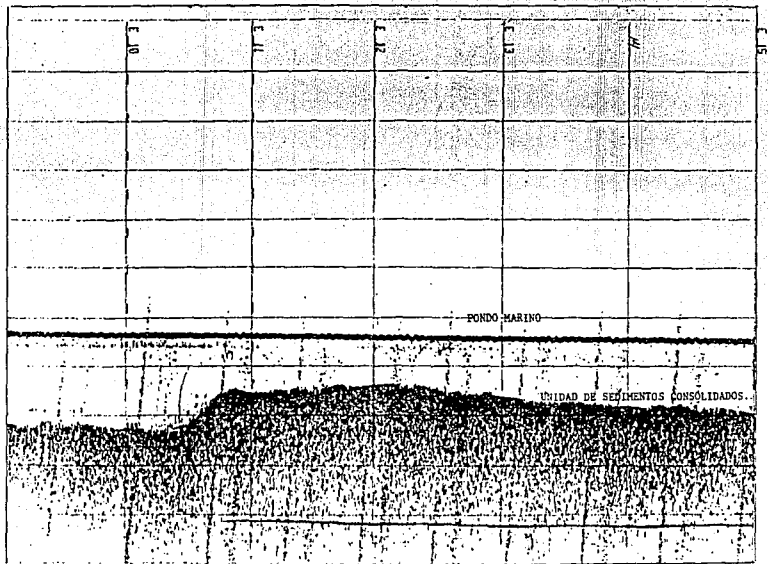
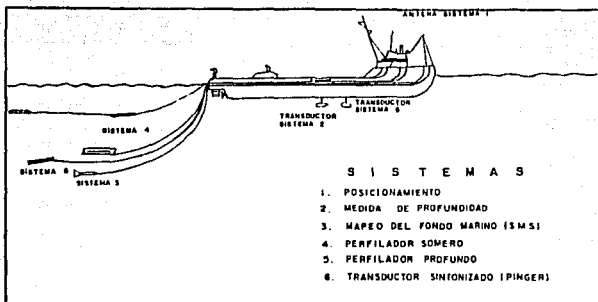
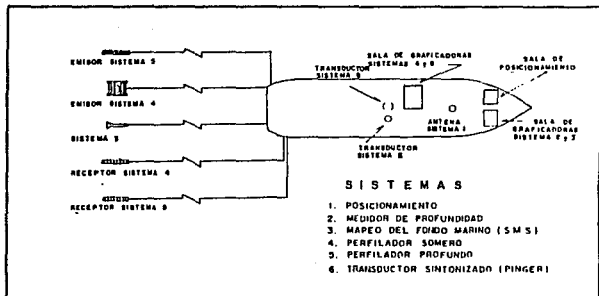


Fig. 3.16. Registro del pinger, como perfilador sonero.



PERFIL



PLANTA

Fig. 3.17. Distribución en perfil y planta de los sistemas electrónicos.

INTERPRETACION DE LA INFORMACION PARA EL ESTUDIO GEOFISICO TARATUNICH DL-2

Posicionamiento

Las coordenadas correspondientes a los puntos marca de evento registrados durante la exploración geofísica, se obtuvieron mediante el sistema Maxirán. Con estos puntos se elaboró un plano de posicionamiento a escala 1:5000, en donde aparece una retícula constituida de quince líneas de estudio con dirección N-S y cinco líneas W-E (Fig. 3.18), a las cuales se le asignó una numeración en el sentido en que fueron recorridas, así como el número del punto inicial y final. El centro de la retícula está señalado con un símbolo y corresponde a las coordenadas de la localización propuesta. Estas coordenadas empleadas se basan en el Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM). La figura muestra el plano de posicionamiento que se obtuvo en la localización TARATUNICH DL-2.

TOPOGRAFIA Y CARACTERISTICAS DEL FONDO MARINO

Partiendo de los valores del tirante de agua registrados, se elaboró un plano batimétrico corregido previamente por variación de mareas, con ayuda de las tablas de predicción de mareas para Cd. del Carmen., editadas por el Instituto de Geofísica de la UNAM conjuntamente con diversas dependencias gubernamentales. De acuerdo al plano obtenido se aprecia que el piso marino presenta una topografía regular con una pendiente definida, que se incrementa hacia el NW del área de estudio, con profundidades que van de los 49.5 m a los 54.5 m a partir del Nivel de Bajamar Media Inferior.

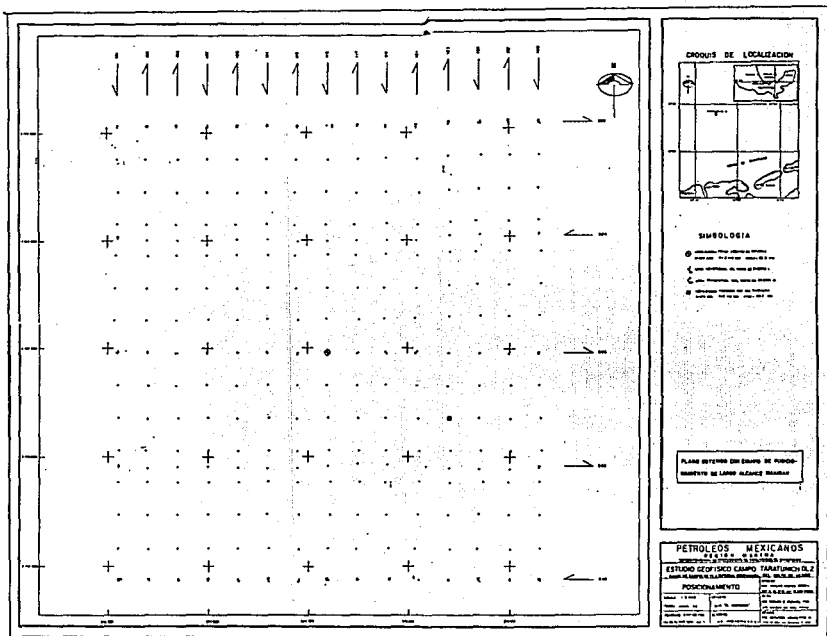


Fig.3.18 Plano general de posicionamiento, mostrando los puntos marca de evento.

Así mismo se detecto un oleoducto de 20" que cruza el campo TARATUNICH DL-2, en las partes SE y SW. No se detecto algún otro evento relevante en el piso marino ni tirante de agua.

El plano batimétrico correspondiente se elaboró con trazo de curvas de nivel equidistantes a cada 0.5 metros. Siendo el tirante de agua registrado en la localización propuesta de 52.2 metros. La figura 3.19, muestra el plano batimétrico obtenido.

SEDIMENTOS NO CONSOLIDADOS

Con base en los registros del perfilador somero, se elaboró el plano de isopacas de sedimentos no consolidados, considerados así por su escasa compactación y gran contenido de agua. Estos espesores son medidos a partir del piso marino hasta el primer estrato resistente, caracterizado en los registros por ser el primer reflector contrastante continuo. En el plano se muestra que la unidad de sedimentos consolidados presentan valores de isopacas que van de los 7.0 a 19.0 metros, Tales variaciones se deben a la presencia de tres zonas de probables arrecifes y/o material rocoso sepultado. Las curvas de isopacas se configuraron a cada 1.0 metro, siendo el espesor de la localización propuesta de 17.2 metros. En la figura 3.20. se presenta el plano de isopacas para esta localización.

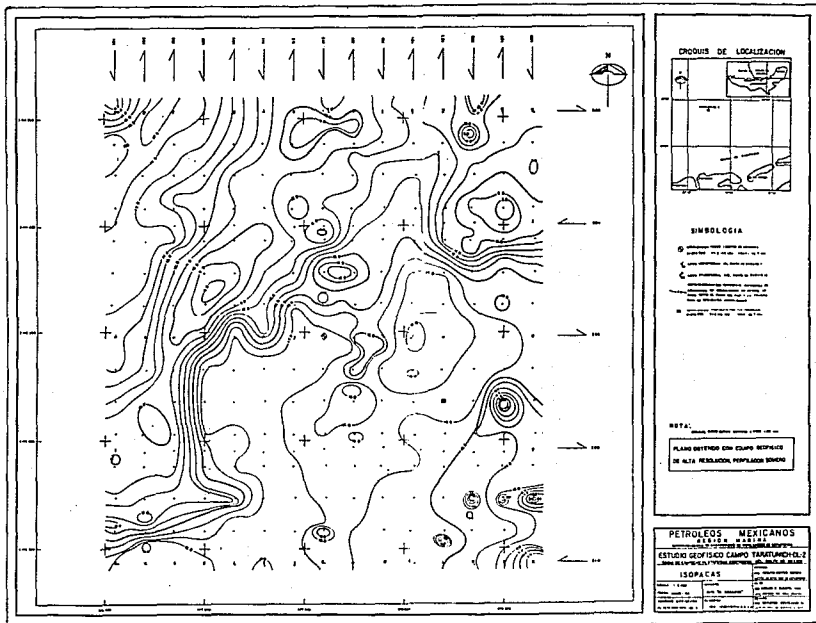


Fig. 3.20 Plano de isopacas del campo Taratunich DL-2

INFORMACION SOBRE RIESGOS

El piso marino presenta una topografía regular con una pendiente definida hacia el NW con profundidades que van de los 49.5 m a los 54.5 m. Sobre el lecho marino, en el extremo central al W del estudio geofísico se localizó el tripode TARATUNICH -201, así como el oleogasoducto de 20" que atraviesa el campo.

En relación a la unidad de sedimentos no consolidados, se obtuvieron valores entre 7.0 y 19.0 metros debiéndose a la probable presencia de tres zonas de arrecifes y/o material rocoso sepultado, sin llegar a alterar la localización de PEMEX.

Se delimitaron dos áreas de reflexiones anómalas de mínima definición, de las cuales una de ellas afecta el centro del estudio y la otra la parte Este del área explorada, localizadas por encima del horizonte estructural profundo, como se muestra en la figura 3.21.

PERFIL INTERPRETATIVO

Este perfil coincide con la coordenada $X = 577\ 600$. En él se observa un tirante de agua que varía de 53.4 m a 50.5 m, con ligera pendiente al Norte del mismo. Se detectó el oleogasoducto referido anteriormente al sur del perfil.

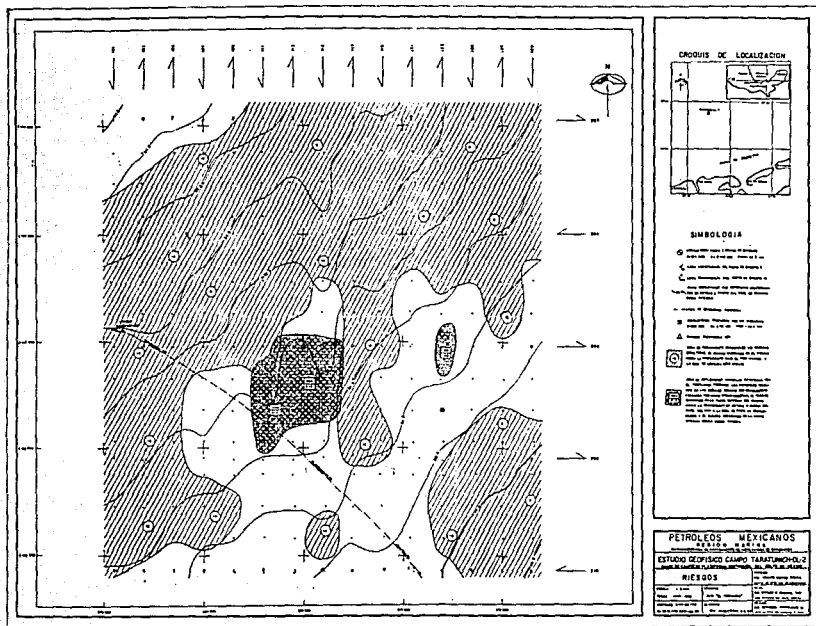


Fig. 3.21 Plano de riesgos potenciales para el campo Taratunich DL-2

Los espesores de sedimentos sin consolidar presentan valores de isopacas entre 9 y 17 metros. Las variaciones mayores se deben a la presencia de una parte de dos probables áreas de arrecifes sepultados al Norte y Sur del centro del estudio (Fig. 3.22). En la parte Central del perfil y alterando la localización de PEMEX, se ubica una zona de reflexiones anómalas, la cual altera los sedimentos de los 204 a los 213 metros aproximadamente.

PERSONAL TECNICO

El personal técnico abordo del barco "EL INGENIERO", durante la realización de un estudio geofísico, está integrado de la siguiente manera :

- Un superintendente de operaciones marinas, (Ing geólogo ó Civil) que tiene a su cargo la coordinación de actividades y la exploración en todos sus aspectos, además de representar a ICA INGENIERIA.
- Dos posicionadores que dirigen el curso del barco a lo largo de las rutas programadas, registrando las coordenadas de los puntos marca de evento.
- Cuatro operadores de equipo que manejan el sistema medidor y el de mapeo del fondo marino, los perfiladores somero y profundo y el detector de tuberías.
- Un ingeniero electrónico responsable del mantenimiento de equipos que proporciona el cuidado preventivo y correctivo al equipo electrónico y mecánico, empleados durante el estudio.

Todas estas personas tienen diversas especialidades del área de la ingeniería como geofísicos, electrónicos, geólogos, topógrafos, etc.

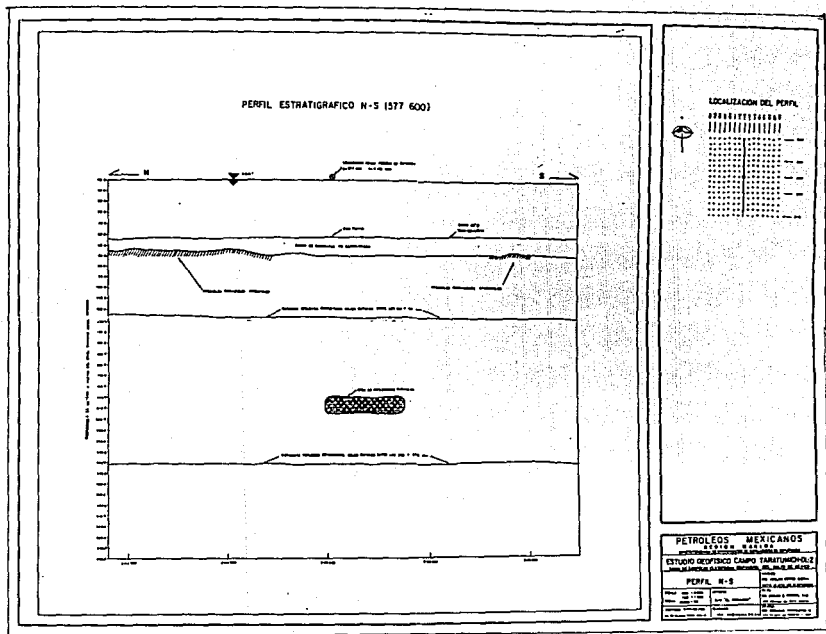


Fig. 3.22 Perfil interpretativo de una línea recorrida Norte- Sur.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ESTUDIO GEOFISICO EN LA LOCALIZACION TARATUNICH DL-2

De acuerdo a la información obtenida con los sistemas electrónicos, y a la interpretación de los registros, se mencionan los aspectos más importantes que deberán tomarse en cuenta para la instalación de estructuras en el fondo y subfondo marino.

- El piso marino marino presenta una superficie regular con una pendiente definida hacia el NW y profundidades desde 49.5 metros a 54.5 metros.

- El espesor de la unidad de sedimentos no consolidados presenta tres zonas probables de arrecifes, repartidas en la mayor parte del área explorada.

- Se detectaron al Centro y al Este del área de estudio dos zonas de reflexiones anómalas, localizadas por encima del horizonte estructural profundo, afectando la primera de ellas la localización central.

Con base en lo anterior y principalmente a que la localización propuesta se encuentra sobre un área de reflexiones anómalas, así como a la cercanía de probables zonas de arrecifes y/o material rocoso sepultado a su alrededor, se recomienda reubicar la localización a 670 m al SE de la propuesta por PEMEX, en las siguientes coordenadas.

X = 578 200

Y = 2 143 180

En la tabla 3.1 se hace una comparación de las características de la localización de PEMEX y la propuesta por ICA INGENIERIA.

CARACTERISTICAS	LOCALIZACION PEMEX	LOCALIZACION ICA INGENIERIA
Coordenadas UTM	X = 577 600 Y = 2 143 480	x = 578 200 y = 2 143 180
Tirante de Agua	52.25 m	50.7 m
Espesor de Sedimentos no Consolidados	17.2 m	16.6 m
Distancia Minima a probable zona de arrecifes y/o material rocoso sepultado	100 m al E	150 m al SE
Distancia minima a zona de reflexiones anómalas	SE ENCUENTRA SOBRE ELLA.	160 m AL N
Distancia minima a tubería marina	460 m al SW	625 m al SW.

Tabla No. - 3.1

CONCLUSION

C O N C L U S I O N

Como se observó a lo largo del desarrollo del presente trabajo se integraron los sistemas electrónicos: de posicionamiento de largo y de corto alcance, de mapeo del piso marino, medidor del tirante de agua, detector de tuberías, perfilador somero y profundo. Una vez elegidos estos sistemas se realizó una visita a los E.U.A. con los fabricantes de dichos equipos, para lograr conjuntar mejores resultados con los mismos.

Es conveniente mencionar que se describieron de manera general los diferentes sistemas electrónicos involucrados, para determinar la guía de selección de los diferentes dispositivos que los forman. Se observa que el proceso de selección no es único, pero si el idoneo para los objetivos perseguidos en la Sonda de Campeche.

Cabe notar que hoy en día siguen en proceso de desarrollo dichos sistemas, a los cuales se les va agregando las ventajas que ofrece la computación y los avances en las comunicaciones para obtener los mejores resultados. Esto provoca que cada vez sean más sofisticados y más caros, lo cual puede ser un gran aliciente para aquellas empresas dedicadas a la exploración oceanográfica.

El proceso de selección aquí descrito fue desarrollado con base en los requerimientos de Petróleos Mexicanos, pero sin embargo, puede haber algunos parámetros que no se consideraron y que revistan importancia para algunas otras dependencias o instituciones que requieran de dichos estudios. Como por ejemplo, la grabación o el almacenamiento de información obtenida durante el estudio, para su posterior procesamiento ya sea de manera analógica o digital.

Conviene mencionar que los sistemas acústicos aquí desarrollados, ofrecen todas las ventajas para operar satisfactoriamente en tirantes desde los 7 hasta los 200 metros. A profundidades mayores de los 200 metros, el sistema de mapeo del piso marino pierde cierta resolución, lo cual puede ser una desventaja para PEMEX si continua con sus planes de desarrollo hacia mayores profundidades.

Es importante dejar claro, que para efectuar el proceso de selección del equipo a utilizar, se necesita la mayor información técnica posible con respecto a los dispositivos que puedan integrar un sistema electrónico. Y de esta manera hacer un balance de los parámetros operacionales que se esperan obtener, contra las especificaciones del sistema en cuestión y poder hacer la selección más adecuada a nuestras necesidades.

Como se puede observar, la integración de los sistemas electrónicos para la exploración oceanográfica en la Sonda de Campeche, es de vital importancia para Petróleos Mexicanos; ya que le permite planear y programar el mantenimiento de sus instalaciones marinas de acuerdo con los resultados obtenidos de los estudios realizados de manera continua y permanente, lográndose con ello un mejor aprovechamiento de los recursos marinos.

Debido a los tratados de comercio vigentes en la actualidad con otros países, recomendamos que a los sistemas aquí desarrollados y utilizados por la compañía I.C.A. Ingeniería se les integre un sistema de posicionamiento por satélite, del tipo GPS continuo; asimismo un sistema perfilador somero con computadora integrada y

almacenamiento en disco flexible para su posterior procesamiento. También es necesario mejorar las técnicas de elaboración de los planos que se obtienen en todos los estudios, quizás con el manejo por computadora de los mismos.

Las anteriores recomendaciones son con base en la experiencia adquirida en varios años de trabajo en el mar, permitiendo con ello lograr resultados de mayor calidad y con la mayor tecnología posible.

APENDICE A
TRANSDUCTORES

TRANSDUCCION ELECTROACUSTICA Y QUIMICA

Transductor: Dispositivo que convierte energía de una forma a otra. En el caso de un transductor electro-acústico la conversión es de energía eléctrica a energía acústica (ejemplos: una bocina en el aire ó un proyector en el agua). Para incluir la conversión en un sólo sentido de energía química a energía acústica, se hablará más adelante en este apéndice de fuentes explosivas sobre transductores.

TRANSDUCTORES ELECTROACUSTICOS

Los transductores electroacústicos han sido diseñados para aplicaciones submarinas con la misma finalidad que los altavoces y microfónos para el aire. Siendo bastante eficientes en la conversión de energía eléctrica a energía acústica y viceversa.

Sí se desea tener una conversión de máxima potencia, está prohibida la adaptación directa de un altavoz como un proyector en el agua ó un microfono a un hidrófono. La razón es que los transductores en el aire no trabajan eficientemente en el agua, ya que son diseñados para acoplarse a la impedancia acústica del aire, y además la impedancia acústica en el agua es aproximadamente 4000 veces mayor, el desacoplo sería grande. Los transductores en el agua deberán operar con 60 veces la fuerza y 1/60 de desplazamiento del transductor en el aire. Actualmente los materiales para transductores para el agua no se acoplan perfectamente a la impedancia acústica del agua, ésta aún sigue siendo de 10 a 30 veces mayor. Sin embargo aún cuando el

desacoplamiento no es pequeño, pero es mucho mejor que el obtenido con altavoces y microfónos en el agua.

La característica más importante de un material transductor es el factor de acoplamiento electromecánico. Este factor es la relación existente entre la energía mecánica almacenada y la energía eléctrica total de entrada y ésta se relaciona con la impedancia acústica de acoplo. También se ha demostrado que, para los hidrófonos usados en la detección de señales pequeñas, el ruido propio del receptor es más importante que la sensibilidad (El voltaje y la presión son proporcionalmente constantes). En este apéndice se considerarán estas cantidades con mayor detalle.

Practicamente la transducción electroacústica bajo el agua es acompañada de dos fenómenos los cuales son:

ELECTROESTRICCION. Es la forma de conversión entre energía eléctrica y acústica se da por medio del desplazamiento de partículas en materiales ferroeléctricos y piezoeléctricos, debido a la aplicación de un campo eléctrico.

MAGNETOESTRICCION. Es la forma de conversión de energía eléctrica a acústica y visceversa se da por medio del desplazamiento de partículas en los materiales ferromagnéticos, debido a la aplicación de un campo magnético.

PIEZOELECTRICIDAD

El estado inelástico de una partícula cristalina representa un estado neutral eléctricamente. Cuando ciertas partículas son comprimidas ó estiradas, un campo eléctrico aparece a través del material. A la inversa, si se le aplica un campo eléctrico al cristal este se distorsiona o expande (Fig. A.1). Ejemplos de materiales piezoeléctricos son: cuarzo, fosfato de hidrógeno de amonio (ADP), sal de rochelle y sulfato de litio.

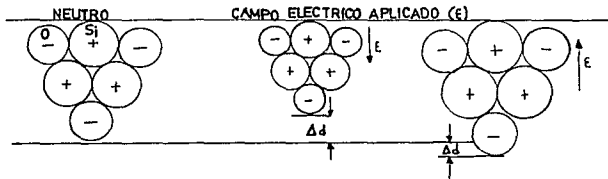


Fig. A.1. Fenómeno de Electrostricción.

Para esta forma de electrostricción, el desplazamiento y el campo eléctrico son proporcionales y sin embargo las frecuencias acústica y eléctrica son las mismas.

Las ventajas de los cristales piezoeléctricos son su uniformidad en la producción y la linealidad del desplazamiento en relación al campo eléctrico. Entre sus desventajas están su alta impedancia eléctrica (estos requieren de un alto voltaje de operación, limitándose el manejo de potencia debido a la ruptura del dieléctrico) y limitaciones como la forma de suministro de potencia.

FERROELECTRICIDAD

La ferroelectricidad es un fenómeno eléctrico que es análogo al fenómeno ferromagnético, pero que no tiene que ver con materiales ferrosos. Un material ferroeléctrico es aquél en el cual la polarización eléctrica permanente puede ser establecida en un material sin comprimirse, siendo justamente como un campo magnético permanente puede ser establecido en un material ferromagnético. La electrostricción es completada por la reorientación de los dominios ferroeléctricos al aplicar un campo eléctrico (Fig. A.2).

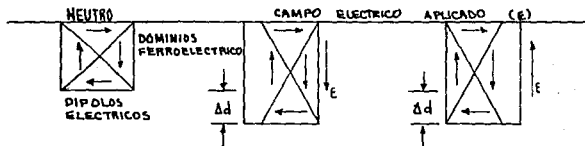


Fig. A.2. Fenómeno Ferroeléctrico.

Algunos materiales ferroeléctricos son: cerámicas de titanato de bario, lead metaniobate, lead zirconate-titanate. Los mismos nombres comerciales usados en la literatura son:

PZT (P) Clevite brand lead zirconate-titanate
CERAMICAS Clevite brand barians titanate
LM Gulton G-2000 brand lead metaniabate

En materiales ferroeléctricos el desplazamiento es proporcional al cuadrado del campo aplicado. Sin embargo, en su estado natural un material ferroeléctrico será controlado por un campo eléctrico senoidal ($\epsilon_0 \sin \omega t$), el cual provocará un desplazamiento senoidal con el doble de la frecuencia,

$$\Delta d \propto \sin^2 \omega t = 1/2 (1 - \cos 2\omega t) \quad (1)$$

Para reducir este efecto indeseable, y que permita el uso del material como un receptor, se establece una polarización eléctrica permanente en la cerámica. Entonces cuando el campo eléctrico ($\epsilon_0 \sin \omega t$) se aplica, este se suma a un campo de C.D. efectivo (ϵ_{cd}). Resultando el siguiente campo:

$$\epsilon^2 = (\epsilon_{cd} + \epsilon_0 \sin \omega t)^2 = \epsilon_{cd}^2 + 2\epsilon_{cd}\epsilon_0 \sin \omega t + \epsilon_0^2 \sin^2 \omega t \quad (2)$$

Si $\epsilon_{cd} \gg \epsilon_0$, los términos anteriores son pequeños, como consecuencia el campo de C.D. no provoca variación en el desplazamiento.

El desplazamiento puede escribirse como:

$$\Delta d \propto 2\epsilon_{cd}\epsilon_0 \sin \omega t \quad (3)$$

Notándose que la frecuencia no se duplica.

Las cerámicas ferroeléctricas tienen las desventajas de ser débiles a las fuerzas tensionantes y variables en sus propiedades. La primera desventaja es la que limita su potencia de salida pero la prefatiga puede evitar esta situación. Una de las mejores ventajas de estos materiales es que se pueden hacer transductores de diversas formas y tamaños.

SISTEMAS ELECTRICOS Y MECANICOS

La manera de poder proporcionar antecedentes para entender mejor y fácilmente la operación de un transductor es repasando los sistemas de oscilación eléctricos y mecánicos. Comenzaremos con un sistema eléctrico. El circuito de la figura A.3 representa un circuito serie RLC.

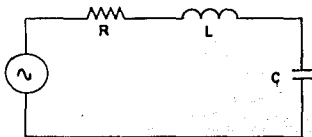


Fig. A.3. Circuito serie RLC.

Suponiendo como voltaje de excitación a $V = V_0 e^{j\omega t}$. La siguiente ecuación satisface el sistema.

$$L q'' + R q' + q/C = V_0 e^{j\omega t} \quad (4)$$

Donde:

q = Carga eléctrica.

q' = $dq/dt = I$ = Corriente eléctrica.

La solución de estado estable está dada por:

$$q = q_0 e^{j\omega t} \quad (5)$$

$$q_0 = \frac{V_0}{-\omega^2 L + j\omega R + 1/C} \quad (6)$$

Pero es de más interés la corriente eléctrica, la cual está dada por:

$$I = j\omega q_0 e^{j\omega t} \quad (7)$$

Donde:

$$I = j\omega q_0 e^{j\omega t} = \frac{j\omega V_0 e^{j\omega t}}{j\omega R - \omega^2 L + 1/C} \quad (8)$$

Esto puede acomodarse en la forma siguiente:

$$V = \left[R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \right] I \quad (9)$$

Ahora bien el coeficiente de I se le denomina la impedancia eléctrica (Z):

$$Z = R + j(\omega L - 1/\omega C) \quad (10)$$

Donde: La parte real es la resistencia (R) y la parte imaginaria es $j(\omega L - 1/\omega C)$, a esta última se le denomina reactancia (X). Por lo que:

$$Z = R + j X \quad (11)$$

Ocasionalmente usaremos el término de admitancia (Y), la cual se define como :

$$Y = 1/Z \quad (12)$$

Consideremos ahora el siguiente sistema mecánico. La figura A.4 representa una masa suspendida de un soporte rígido por un resorte en un medio viscoso teniendo un coeficiente de fricción b.

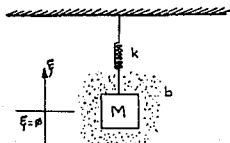


Fig. A.4. Sistema mecánico.

Si este sistema se le aplica una fuerza $F = F_0 e^{j\omega t}$, la ecuación de desplazamiento será:

$$m\ddot{\zeta} + b\dot{\zeta} + k\zeta = F_0 e^{j\omega t} \quad (13)$$

Donde:

- ζ = Desplazamiento
- m = Masa
- b = Coeficiente de fricción
- k = Constante de amortiguamiento
- F = Fuerza aplicada

La solución de estado estable se da por:

$$\zeta = \zeta_0 e^{j\omega t} \quad (14)$$

Sustituyendo en la ecuación diferencial

$$\zeta_0 = \frac{F_0}{-\omega^2 m + j\omega b + k} \quad (15)$$

Ahora la variable de interés será la velocidad $v = d\zeta/dt$, entonces:

$$v = j\omega x_0 e^{j\omega t} = \frac{j\omega F_0 e^{j\omega t}}{j\omega b - \omega^2 m + k} \quad (16)$$

Resolviendo para F y dividiendo por $j\omega$, se tiene que:

$$F = \left[b + j(\omega m - k/\omega) \right] v \quad (17)$$

De manera análoga al caso eléctrico, el coeficiente de v se le denomina impedancia mecánica (Z_m), a la parte real (b), resistencia mecánica (R_m), y a la parte imaginaria ($\omega m - k/\omega$) reactancia mecánica (X_m), de donde:

$$Z_m = b + j(\omega m - k/\omega) = R_m + jX_m \quad (18)$$

Es fácil demostrar que la condición de resonancia está dada por X ó $X_m = 0$ en sistemas eléctricos y mecánicos respectivamente. La formulación sirve para demostrar la analogía entre los sistemas mecánicos y eléctricos, pudiendo ahora entender lo que es un transductor acústico.

ENERGIA RADIADA

Hasta el momento hemos considerado sistemas mecánicos que no radian energía. Ahora consideraremos al transductor como el sistema mecánico por vibración el cual radiará energía acústica dentro del agua. Esto ocasionará una impedancia adicional a la cual se le llama impedancia de radiación (Z_r). En general tiene una parte resistiva (R_r), la cual está en fase con la fuerza y representa la energía actual radiada en el agua, y una parte reactiva (X_r) la cual está fuera de fase 90° con respecto a la

fuerza y no produce energía de radiación. Si consideramos un transductor de superficie plana de área A, teniendo dimensiones amplias ó grandes comparadas con la longitud de onda del sonido generado, podemos escribir:

$$p = \rho_c u \quad (19)$$

$$\text{ó } F = \rho_c Au \quad (20)$$

Donde F y v son las fuerza instantaneas del fluido en la cara del transductor y la velocidad de la cara respectivamente, ρ_c es la impedancia acústica específica del agua.

En este caso como la impedancia es real y resistiva.

$$R_r = \rho_c A \quad (21)$$

y no hay reactancia ($X_r = 0$).

La reactancia llegará a ser diferente de cero en el extremo de la cara del transductor. Generalmente se puede escribir la impedancia de radiación como:

$$Z_r = \rho_c A(r + jX) \quad (22)$$

Donde $r \rightarrow 1$, $X \rightarrow 0$ cuando la onda acústica llega a ser plana. La curva en la figura A.5, ilustra la variación de r y X para un proyector de disco en función de ka, donde k es el número de onda angular y a es el radio del disco.

La impedancia acústica específica de una onda esférica es:

$$\rho_C \left[\frac{k^2 r^2}{1 + k^2 r^2} + \frac{jkr}{1 + k^2 r^2} \right] \quad (23)$$

La impedancia de radiación de una esfera pulsante de radio a es:

$$Z_r = \rho_C A \left[\frac{k^2 a^2}{1 + k^2 a^2} + \frac{jkr}{1 + k^2 r^2} \right] \quad (24)$$

Graficada en la figura A.5 como líneas punteadas.

$$r_s = \frac{k^2 a^2}{1 + k^2 a^2} \quad (25)$$

y

$$|x_s| = \frac{ka}{1 + k^2 a^2} \quad (26)$$

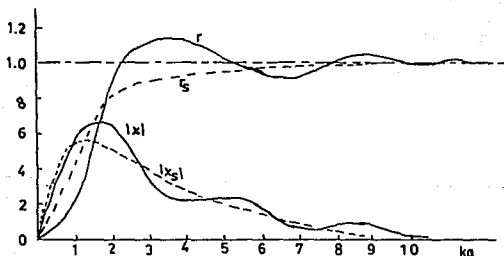


Fig. A.5. Variación de r y x para un proyector de disco en función de ka .

TEORIA GENERAL DE CIRCUITOS EQUIVALENTES

En vez de hablar específicamente de transductores y de sus parámetros, se hablará de las relaciones generales entre los elementos mecánicos y eléctricos de un transductor. Las relaciones algunas veces se les denomina "ecuaciones de 4 polos", de acuerdo a este análisis, el transductor es representado como un arreglo de 4 terminales, con una entrada eléctrica y una mecánica como se muestra en la figura A.6.

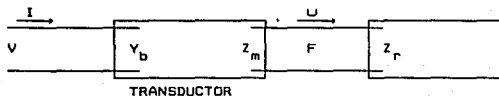


Fig. A.6. Modelado de un transductor.

La corriente I a través del circuito dependerá del voltaje en las terminales y de la velocidad de la cara del transductor, acorde con:

$$I = Y_b V - \phi v \quad (27)$$

Y_b es la admitancia de entrada bloqueada (Clamped) correspondiente a $v = 0$, y ϕ es la relación de transformación correspondiente a la corriente de corto circuito ($V = 0$) y a la velocidad de la cara del transductor.

Desde otro punto de vista encontramos que la fuerza (F) que actúa sobre la cara del transductor está relacionada con la velocidad en la cara del transductor y el voltaje producido en el lado eléctrico de acuerdo con:

$$F = \phi V + Z_m U \quad (28)$$

Donde Z_m es la impedancia mecánica definida anteriormente; ahora llamaremos a esta impedancia mecánica de corto-circuito, en el sistema acoplado, esto se determina cuando $V = 0$.

Procediendo a la siguiente rama del circuito, encontramos que la fuerza de rechazo sobre la cara del transductor puede calcularse con:

$$F = -Z_r U \quad (29)$$

El signo negativo aparece como consecuencia de que es una fuerza de reacción a la fuerza de salida del transductor. Substituyendo la ecuación (29) en la ecuación (28).

$$-Z_r U = \phi V + Z_m U \quad (30)$$

Despejando U se tiene:

$$U = \frac{\phi V}{-Z_r + Z_m} \quad (31)$$

Substituyendo la ecuación anterior en la ecuación (27),

$$I = Y_b V - \frac{\phi^2 V}{-Z_r + Z_m} = \left[Y_b + \frac{\phi^2}{Z_r + Z_m} \right] V \quad (32)$$

La admitancia de entrada es:

$$Y_i = Y_b + Y_m \quad (33)$$

Por lo que Y_m es la admitancia de movimiento dada por:

$$Y_m = \frac{\phi^2}{Z_r + Z_m} \quad (34)$$

Para un transductor electrostrictivo, la admitancia bloqueada es simplemente la admitancia de la resistencia en paralelo (R_0) y la capacitancia (C_0) y está dada por:

$$Y_b = \frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \quad (35)$$

La impedancia mecánica esta dada por:

$$Z_m = b + j\left[\omega m - \frac{k}{\omega}\right] = R_m + jX_m \quad (36)$$

Como se vió anteriormente, aquí m representa la masa efectiva del transductor y k la constante de elasticidad efectiva.

La figura A.7 muestra el circuito equivalente para un transductor emisor de ondas planas.

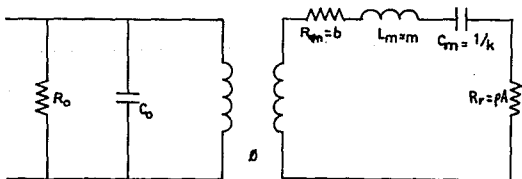


Fig. A.7. Circuito equivalente de un transductor.

A continuación se definen las siguientes cantidades:

$$R_R = \frac{R_r}{\phi^2} ; R_M = \frac{R_m}{\phi^2} ; L_M = \frac{L_m}{\phi^2} ; C_M = \phi C_m \quad (37)$$

Sustituyendo los términos anteriores en la ecuación (33) se tiene:

$$Y_i = \frac{1}{R_0} + j\omega C_0 + \left[R_R + R_M + j \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M} \right) \right] \quad (38)$$

La figura A.8 muestra el circuito equivalente con estos parámetros. La potencia se disipa en los 3 elementos resistivos del circuito. las pérdidas de potencia en R_0 y R_M son en forma de calor (joules) y mecánicas, respectivamente. La potencia disipada en R_R es la potencia acústica radiada. La potencia en los elementos reactivos es almacenada y no es disponible para ser radiada.

Idealmente: $R_0 \rightarrow \alpha$, $R_M \rightarrow \phi$ y $\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M} = 0$

Prácticamente es imposible obtener que la reactancia sea cero, pero esto ocurre sólo a la frecuencia de resonancia (ω_{res}). Algunas veces es deseable tener un transductor operando a una sola frecuencia. En este caso se busca un transductor con la frecuencia de resonancia. Pero es frecuente que los transmisores y receptores operen sobre una banda amplia, la misma transducción es a veces frecuentemente buscada en estas resonancias.

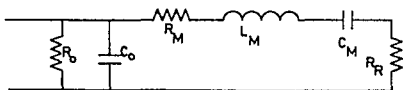


Fig. A.8. Circuito equivalente en términos de R_M , L_M y C_M .

CONVERSION DE POTENCIA Y ACOPLAMIENTO DE IMPEDANCIAS

La intensidad de corriente está determinada por la ecuación:

$$I = \left[\frac{1}{2} R_e (\rho u^*) \right] 10^{-7} \quad (39)$$

La potencia promedio en un elemento eléctrico está dada por:

$$P = \frac{1}{2} R_e [VI^*] \quad (40)$$

Para un voltaje y corriente senoidal en un elemento, con amplitudes V_0 e I_0 y relativamente en fase ϕ , esta sección puede ser reducida a:

$$P = \frac{1}{2} V_0 I_0 \cos \phi = V_{rms} I_{rms} \cos \phi \quad (41)$$

Donde $\cos \phi$ es el factor de potencia. Para lograr la máxima conversión de potencia a un voltaje y corriente dada, es necesario que el factor de potencia sea 1 ($\phi = 0^\circ$).

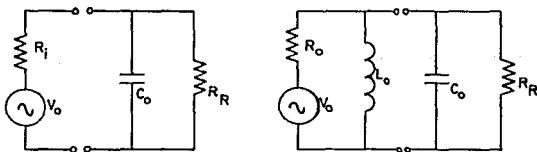


Fig. A.9. Acoplamiento de impedancias.

Considerando la figura A.9, en el primer circuito el transductor está siendo controlado en su frecuencia de resonancia por la fuente con un voltaje de amplitud V_0 y una resistencia interna R_1 .

El factor de potencia será:

$$\cos\phi = \left[1 + \omega_{res}^2 C_o^2 R^2 \right]^{1/2} \quad (42)$$

En el segundo circuito se agrega la inductancia L_o para sintonizar a la salida con la reactancia capacitiva. Si la magnitud de la reactancia inductiva es igual a la magnitud de la reactancia capacitiva ($\omega L_o = 1/\omega C_o$) el factor de potencia será la unidad.

La condición de operación óptima es obtenida cuando la reactancia de la fuente es igual y opuesta a la reactancia del transductor y además la resistencia de la fuente es igual a la resistencia del transductor.

Esta condición de operación óptima ocurre cuando:

$$Z_{fuente} = Z_{transductor}^*$$

$$\text{ó } R_s + jX_s = R_t - jX_t$$

El acoplo de impedancia conjugada es obtenida usando un transformador de acoplamiento, el cual proporciona a la resistencia de la fuente una reactancia inductiva. El circuito se muestra en la figura A.10.

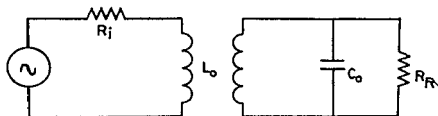


Fig. A.10. Acoplamiento con impedancia conjugada.

EFICIENCIA DE TRANSMISION

La eficiencia de un transductor es la relación de la potencia radiada entre la potencia eléctrica total de entrada. Para simplificar los cálculos asumiremos que la capacitancia eléctrica está sintonizada a la salida de la fuente y calculamos la eficiencia en resonancia, por lo que todas las reactancias son eliminadas del circuito para el cálculo. El circuito equivalente se ilustra en la figura A.11.

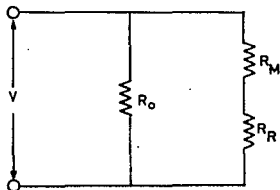


Fig. A.11. Circuito equivalente para calcular la eficiencia de un transductor.

La potencia total disipada en el circuito es:

$$P_t = \left[\frac{V_{\text{rms}}^2}{\left[\frac{1}{R_O} + \frac{1}{R_M + R_R} \right]^{-1}} \right] = \frac{V_{\text{rms}}^2 (R_M + R_R + R_O)}{R_O (R_R + R_M)} \quad (42)$$

La potencia radiada es:

$$P_R = I_{\text{rms}}^2 R_R \quad (43)$$

Donde I_{rms} es la corriente rms de la rama mecánica.

Entonces:

$$P_R = \left[\frac{V_{rms}}{R_M + R_R} \right]^2 R_R = \frac{V_{rms}^2 R_R}{(R_M + R_R)^2} \quad (44)$$

La eficiencia será:

$$\eta = \frac{P_R}{P_t} = \frac{R_O R_R}{(R_M + R_R)(R_M + R_R + R_O)} \quad (45)$$

Esta es la máxima eficiencia interna que se puede obtener de un transductor dado. El circuito externo al transductor también disipa potencia. Normalmente cuando la fuente es acoplada conjuntamente al transductor el 50% de la potencia se disipa en la fuente.

FACTOR DE CALIDAD

Una medición de la amplitud de los picos de resonancia es el factor de calidad (Q) de un circuito, definido por:

$$Q = \left[\frac{\text{(Energía almacenada en la reactancia)}}{\text{(Energía disipada en la resistencia)}} \right] \text{ por ciclo}$$

y está relacionada con el ancho de banda por:

$$Q = \frac{\omega_{res}}{\Delta \omega} \quad (46)$$

Donde ω_{res} es la frecuencia resonante mecánica y $\Delta \omega$ es el ancho de banda entre los puntos de media potencia (half-power) (3db).

La Q mecánica está dada por:

$$Q_M = \frac{\omega_{res} L_M}{R_R + R_M} \quad (47)$$

R_M es generalmente pequeña para osciladores de cristal, pero R_R depende también del medio en el cual oscile el cristal. $R_R = 0$ para un cristal operando en el vacío, mismo que Q es muy alta (≈ 10). El mismo cristal en el aire tendrá una Q de $\approx 10^4$. Estos valores altos de Q son en razón de que los osciladores de cristal producen varios tonos agudos. R_R es muy grande para un transductor operando en el agua y Q es relativamente pequeña (≈ 10); sin embargo, la resonancia es amplia.

Q_M determina el ancho de banda del proyector, si la fuente tiene una alta impedancia de salida. Pero como se ha visto, para una transducción óptima, la fuente es acoplada conjugadamente al transductor, en el cual el caso es controlar, la Q está dada por:

$$Q = \frac{Q_e + Q_M}{2} \quad (48)$$

Donde Q_e es el factor de calidad de la rama eléctrica. El factor de calidad eléctrico puede ser calculado de:

$$Q_e = \omega_{res} C_0 (R_R + R_M) \quad (49)$$

FACTOR DE ACOPLAMIENTO ELECTROMECANICO

En bajas frecuencias los transductores electrostrictivos se comportan como 2 capacitores en paralelo, siendo estos la capacitancia eléctrica (C_0) y la capacitancia mecánica (C_M),

producida por la elasticidad del transductor. Cuando el voltaje V es aplicado al circuito paralelo, la energía eléctrica es igual a $C_0 V^2/2$ y se almacena en C_0 . La energía mecánica será $C_M V^2/2$ almacenándose en C_M . La relación de energía mecánica a eléctrica esta dada por:

$$\frac{C_M V^2/2}{C_0 V^2/2} = \frac{C_M}{C_0}$$

Para una transducción eficiente, C_M/C_0 debe ser grande. El factor de acoplamiento electromecánico k es determinado por la eficiencia definiéndose ésta como:

$$k^2 = \frac{\frac{\pi^2}{B} \frac{C_M}{C_0}}{1 + \frac{\pi^2}{B} \frac{C_M}{C_0}} \quad (50)$$

Frecuentemente se aproxima por:

$$k = \sqrt{\frac{\pi^2}{B} \frac{C_M}{C_0}} \quad (51)$$

Aunque no es nuestra idea de entrar específicamente en lo que es materiales y geometrías para transductores, debe tomarse en cuenta que k puede ser relacionada con los parámetros del material y ésta es constante para un cristal determinado así como su modo de vibración.

El valor de k es 0.1 para el cuarzo y de 0.18 para el titanato de bario. En la siguiente sección observaremos como el factor de acoplamiento electromecánico se relaciona con la sensibilidad de recepción de un hidrofóno.

SENSIBILIDAD DE RECEPCION

Las ecuaciones (27) y (28) pueden usarse para determinar la relación de sensibilidad de recepción de circuito abierto. En este caso $I = \phi$ y la ecuación 27 será:

$$v = \frac{Y_b}{\phi} V \quad (52)$$

Sustituyendo esta última ecuación en la ecuación (28) queda:

$$F = \left[\phi + \frac{Z_m Y_b}{\phi} \right] V = \phi \left[1 + \frac{Z_m Y_b}{\phi^2} \right] V \quad (53)$$

La sensibilidad de recepción se define como:

$$\alpha = \left| \frac{V}{\rho} \right| \quad (54)$$

ó en términos de la fuerza:

$$\alpha = \frac{A|V|}{|F|} \quad (55)$$

Entonces de la relación fuerza/voltaje anterior:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left| \frac{1}{1 + Z_m Y_b} \right| \quad (56)$$

Donde Z_m reemplaza a Z_m/ϕ^2 . Reemplazando la admitancia bloqueada por la impedancia bloqueada, se tiene que:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left[\frac{|Z_b|}{|Z_b + Z_m|} \right] \quad (57)$$

ó escribiendo en términos de las impedancias:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left[\frac{\left| \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right)^{-1} \right|}{\left| \left(\frac{1}{R_0} + j\omega C_0 \right)^{-1} + R_R + R_M + j \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M} \right) \right|} \right] \quad (58)$$

Asumiendo que R_0 es infinita y que R_M y R_R son cero (anteriormente se dijo que no radian energía), simplificando se tiene:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left[\frac{\left| \left(\frac{1}{j\omega C_0} \right) \right|}{\left| \frac{1}{j\omega C_0} + j \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M} \right) \right|} \right] \quad (59)$$

ó

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left[\frac{\frac{1}{\omega} C_0}{\left| \left(\omega L_M - \frac{1}{\omega C_M} - \frac{1}{j\omega C_0} \right) \right|} \right] \quad (60)$$

Finalmente se tiene:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \left[\frac{C_M/C_0}{\left| \left(\omega^2 L_M C_M - 1 \right) - \frac{C_M}{C_0} \right|} \right] \quad (61)$$

A la frecuencia de resonancia:

$$\omega_{res} = \frac{1}{\sqrt{L_M C_M}} \quad (62)$$

Entonces

$$\alpha = A/\phi \quad (63)$$

abajo de la frecuencia de resonancia ($\omega \ll \omega_{res}$)
por lo tanto:

$$\alpha = \frac{A}{\phi} \frac{1}{\omega^2 L_M C_0} \quad (64)$$

En la figura A.12 se muestra la sensibilidad en función de la frecuencia.

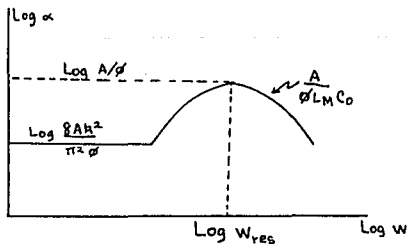


Fig. A.12. Sensibilidad en función de la frecuencia.

APENDICE B

ANTENNAS

ANTENAS

Basicamente, la antena es un tramo de conductor que actúa como dispositivo de conversión, ya que convierte una señal eléctrica en energía magnética, o bien la energía electromagnética en una señal eléctrica.

El primer tipo de conversión tiene lugar cuando la antena se utiliza para transmitir ondas de radio. La salida del transmisor que se aplica a las terminales de la antena origina un flujo de corriente en ella. Entonces la antena convierte el flujo de corriente en una señal electromagnética que es radiada al espacio.

El segundo tipo de conversión lo efectúa una antena receptora. La onda electromagnética, cuando pasa por una antena, induce en ella una corriente que se utiliza como señal de entrada del receptor (Fig. B.1).

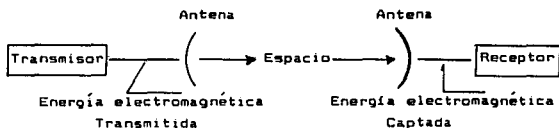


Fig. B.1. Muestra la forma como se transmite y recibe una señal a través de una antena.

En muchas aplicaciones una antena realiza ambos tipos de conversión con igual eficiencia; por lo tanto, la misma antena se puede emplear, ya sea para transmitir o para recibir señales, ó bien para hacer las dos cosas alternadamente en las aplicaciones que no se requieran transmisión y recepción simultáneas.

CLASIFICACION DE LAS ANTENAS

Las antenas pueden clasificarse de muy diversas formas, por ejemplo: por la frecuencia de la onda que deben recibir, por la clase de receptor, por su situación (exteriores ó interiores), etc. Las clasificaciones posibles de una antena guardan estrecha relación con la frecuencia de la señal que ha de recibir. Por este motivo en la tabla B.1, se indicará las longitudes de onda y frecuencias utilizadas.

FINALIDAD DE LA ANTENA

Para entender este concepto, hemos representado en la figura B.2 un emisor E y un receptor R de forma muy simplificada. La unión entre ambos se establece mediante ondas electromagnéticas. Dichas ondas son mandadas al espacio gracias a la antena del emisor y recogidas por la antena del receptor. La antena es pues el último elemento de los equipos emisores y el primero de los receptores.



Fig. B.2. Emisor y receptor.

Continuación TABLA 3.1.

MUY ALTAS FRECUENCIAS VHF	30 MHz A	10 m A	41-68 MHz (TV BANDA I) 68-87.5 MHz (RADIOTELEFONIA FM) 87.5-100 MHz RADIODIFUSION EN FM TV BANDA II)
	300 MHz	1 m	100-162 MHz ENLACES RADIOTELEFONICOS 136-138 MHz GUIA DE SATELITES 148.6 MHz INVESTIGACION ESPACIAL 148.25 MHz GUIA DE SATELITES
ULTRAS ALTA FRECUENCIAS UHF	300 MHz A	1 m A	162-216 MHz TV BANDA III 216-470 MHz RADIOTELEFONIA 400-402 MHz TELEMEDIDA (EN SATELITE) 406-410 MHz RADIOASTRONOMIA
	3 GHz	10 m	470-860 MHz TV BANDAS IV Y V 606-614 MHz RADIOASTRONOMIA 860-960 MHz DIFUSION TROPOSFERICA 1400-1427 MHz EMISION ATOMO DE HIDROGENO 1427-1540 MHz TELEMEDIDA Y TELEMANDO 1660-1700 MHz SATELITES METEOROLOGICOS
SUPER ALTAS FRECUENCIAS SHF	36 GHz A 30 GHz	10 cm A 1 cm	3400-4200 MHz COMUNICACIONES SATELITE-TIERRA 5725-6425 MHz COMUNICACIONES TIERRA-SATELITE 7250-7750 MHz COMUNICACIONES SATELITE-TIERRA 7900-8400 MHz COMUNICACIONES TIERRA-SATELITE
EXTREMADAMENTE ALTAS FRECUENCIAS EHF	30 GHz 300 GHz	1 cm 1 mm	EN EXPERIMENTACION

En muchas aplicaciones una antena realiza ambos tipos de conversión con igual eficiencia; por lo tanto, la misma antena se puede emplear, ya sea para transmitir o para recibir señales, ó bien para hacer las dos cosas alternadamente en las aplicaciones que no se requieran transmisión y recepción simultáneas.

CLASIFICACION DE LAS ANTENAS

Las antenas pueden clasificarse de muy diversas formas, por ejemplo: por la frecuencia de la onda que deben recibir, por la clase de receptor, por su situación (exteriores ó interiores), etc. Las clasificaciones posibles de una antena guardan estrecha relación con la frecuencia de la señal que ha de recibir. Por este motivo en la tabla B.1, se indicará las longitudes de onda y frecuencias utilizadas.

FINALIDAD DE LA ANTENA

Para entender este concepto, hemos representado en la figura B.2 un emisor E y un receptor R de forma muy simplificada. La unión entre ambos se establece mediante ondas electromagnéticas. Dichas ondas son mandadas al espacio gracias a la antena del emisor y recogidas por la antena del receptor. La antena es pues el último elemento de los equipos emisores y el primero de los receptores.



Fig. B.2. Emisor y receptor.

DENOMINACION	FRECUENCIA	LONGITUD DE ONDA	SERVICIO
BAJAS FRECUENCIAS LF	30 kHz	10 km	100 A 225 kHz (RADIOFUSION): ONDA LARGA)
	A 300 kHz	A 1 km	
FRECUENCIAS MEDIAS MF	300 kHz	1 km	225 A 525 kHz (SISTEMAS DE LOCALIZACION) 525 A 1605 kHz (RADIODIFUSION: ONDA MEDIA)
	A 3 MHz	A 100 m	
ALTAS FRECUENCIAS HF	3 MHz A 30 MHz	100 m A 10 m	1605 A 5950 kHz (RADIOTELEFONIA) 2900 A 2498 kHz (RADIODIFUSION) 3200 A 3400 kHz (ONDA TROPICAL) 4750 A 5060 kHz
			5950-6200 kHz (RADIODIFUSION: ONDA CORTA)
			7000-7100 kHz (RADIOAFICIONADOS)
			7100-7300 kHz (RADIODIFUSION)
			9500-9775 kHz (ONDA CORTA)
			11700-11975 kHz
			14000-14350 kHz (RADIOAFICIONADOS)
			15100-15450 kHz (RADIODIFUSION)
			17770-17900 kHz (ONDA CORTA)
			21000-21450 kHz (RADIOAFICIONADOS)
21450-21750 kHz (RADIODIFUSION)			
23000-23110 kHz (ONDA CORTA)			
28000-29700 kHz (RADIOAFICIONADOS)			
			29.7-41 MHz (RADIOTELEFONIA EN FM)

TABLA 3.1. Distribución del espectro de ondas radioléctricas.

Continuación TABLA 3.1.

MUY ALTAS FRECUENCIAS VHF	30 MHz	10 m	41-68 MHz (TV BANDA I)
	A	A	68-87.5 MHz (RADIOTELEFONIA FM)
	300 MHz	1 m	87.5-100 MHz (RADIODIFUSION EN FM TV BANDA II)
			100-162 MHz (ENLACES RADIOTELEFONICOS)
			180-188 MHz (GUIA DE SATELITES)
			148.0 MHz (INVESTIGACION ESPACIAL)
			148.25 MHz (GUIA DE SATELITES)
			162-216 MHz (TV BANDA III)
ULTRAS ALTA FRECUENCIAS UHF	300 MHz	1 m	216-470 MHz (RADIOTELEFONIA)
	A	A	400-402 MHz (TELEMEDIDA (EN SATELITE))
	3 GHz	10 m	400-410 MHz (RADIOASTRONOMIA)
			470-860 MHz (TV BANDAS IV Y V)
			860-864 MHz (RADIOASTRONOMIA)
			860-960 MHz (DIFUSION TROPESFERICA)
			1400-1427 MHz (EMISION ATOMO DE HIDROGENO)
			1427-1540 MHz (TELEMEDIDA Y TELEMANDO)
			1600-1700 MHz (SATELITES METEOROLOGICOS)
SUPER ALTAS FRECUENCIAS SHF	30 Hz	10 cm	3400-4200 MHz (COMUNICACIONES SATELITE-TIERRA)
	A	A	5725-6425 MHz (COMUNICACIONES TIERRA-SATELITE)
	30 GHz	1 cm	7250-7750 MHz (COMUNICACIONES SATELITE-TIERRA)
			7900-8400 MHz (COMUNICACIONES TIERRA-SATELITE)
EXTREMADAMENTE ALTAS FRECUENCIAS EHF	30 GHz 300 GHz	1 cm 1 mm	EN EXPERIMENTACION

Tanto las antenas emisoras como las receptoras deben colocarse lo más alto y lo más libre posible. Esta regla no siempre es factible cumplirla en su primera parte, y en lo que respecta a la segunda debe procurarse cumplirse.

Resulta claro que la libre propagación de las ondas electromagnéticas queda perturbada por la reflexión o la absorción de objetos situados en las inmediaciones de las antenas. Por este motivo generalmente es necesario situar las antenas en la parte alta de torres, mástiles, edificios, que albergan los aparatos emisores o receptores. Esto supone en la mayoría de los casos la utilización de una línea de transmisión que une esta con el aparato emisor o receptor y que, en determinados casos, puede ser de considerable longitud. Raras veces se puede prescindir de esta línea, como ocurre en los aparatos receptores portátiles.

Para que una línea de transmisión transmita toda la potencia entregada, deberá tener pérdidas mínimas y estar adaptada en sus extremos. En la figura B.3. se representa la evolución de un camino de transmisión a través de hilos hasta un camino de transmisión sin hilos. Esta línea puede considerarse bajo dos puntos de vista; por un lado como dispositivo de dos conductores por el que circulan corrientes alternas y entre los cuales aparecen tensiones alternas. Por otro lado, como un conductor de ondas que conduce las ondas de un extremo a otro. En lugar de tensiones y corriente eléctricas se consideran entonces los campos magnéticos y eléctricos alternos.

Empecemos pues, uniendo el emisor E y el receptor R por una línea (Figura. B.3.a.). A continuación se corta la línea y se dobla

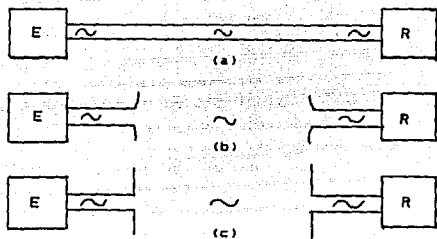


Fig. B.3. Evolución de un camino de transmisión.

separando sus conductores (Figura.B.3.b), haciendo esto la línea se convierte en antena dipolo (Figura.B.3.c). Las ondas que en un principio se transmitían a través de hilos, pasan a ser ondas libres. La antena dipolo es pues la forma elemental o básica de la mayoría de las antenas, la cual viene a ser una de las antenas más utilizadas por su patrón de radiación circular perpendicular al eje del dipolo (conocida como antena omnidireccional).

EL CIRCUITO OSCILANTE ABIERTO

Para comprender el funcionamiento de una antena dipolo básica, supongamos un circuito oscilante como el de la figura B.4.a, cuya frecuencia de resonancia viene dada por la fórmula:

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Donde : F_r = Frecuencia de resonancia
 L = Inductancia
 C = Capacitancia

Si al citado circuito le separamos las placas del condensador y estiramos las espiras de la bobina figuras B.4.b y B.4.c, la capacitancia y la inductancia se habrán reducido, lo cual implica un aumento de la resonancia. Siguiendo por este camino se obtiene finalmente un trozo de conductor recto, figura B.4.d, que aunque ofrece poco parecido con un circuito oscilante, tiene las mismas propiedades que éste. La frecuencia de resonancia en este último caso ha aumentado considerablemente.

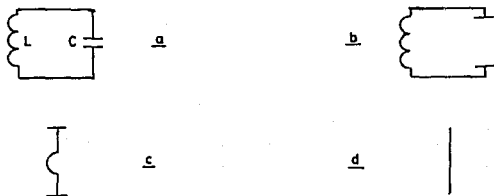


Fig. B.4. Circuito oscilante

La capacitancia y la inductancia están desde luego presentes, pero se reparten a lo largo del conductor. La frecuencia de resonancia de tal circuito oscilante abierto sólo depende, prácticamente de su longitud. Un circuito oscilante constituido por un trozo de conductor rectilíneo recibe el nombre de dipolo. Este constituye prácticamente la antena de todo emisor o receptor y su longitud está íntimamente vinculada por las razones ya expuestas, con la frecuencia de emisión o de recepción.

Supongamos un conductor metálico en el que estén presentes electrones. Como según se ha expuesto en las líneas anteriores un conductor de estas características es un circuito oscilante abierto, los electrones se moverán continuamente de un lado al otro del dipolo. En la mitad del conductor la intensidad es máxima, disminuyendo a medida que los electrones se aproximan a los extremos. Por el contrario la tensión entre las partículas adquiere su valor máximo en los extremos, disminuyendo a medida que nos acercamos al centro.

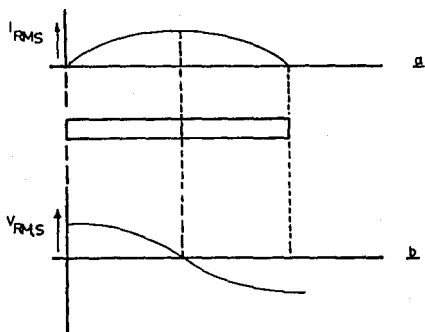


Fig. B.5. Distribución de corriente y tensión en un dipolo.

Las figuras B.5.a y B.5.b representan la distribución de la corriente y la tensión eficaces a lo largo del dipolo. Observe que la polaridad momentánea de la tensión (referida al punto medio del dipolo) tiene signo opuesto en las dos mitades.

DISTRIBUCION DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN UNA ANTENA

Cuando se aplica la salida de un transmisor a una antena se origina una corriente que fluye en ella en un sentido y en el otro, a todo lo largo de la antena. Sin embargo, como la antena no es un circuito cerrado, este flujo de corriente hace que los electrones se distribuyan en forma desigual. La figura B.6 muestra como ocurre este fenómeno en una antena simple, alimentada al centro por el transmisor.

En un instante dado, la terminal izquierda del transmisor puede ser negativa y la de la derecha positiva, entonces los electrones que hay en la antena son repelidos por la terminal negativa y atraídos por la positiva, de modo que la corriente fluye en el sentido que se indica. Sin embargo, la antena con sus extremos es un circuito abierto, de modo que el voltaje negativo tiende a crecer hacia el extremo izquierdo de la antena, mientras que el positivo lo hace hacia el derecho. En los extremos de la antena el voltaje es máximo y la corriente nula; en el centro el voltaje tiene un valor cero y la corriente un valor máximo.

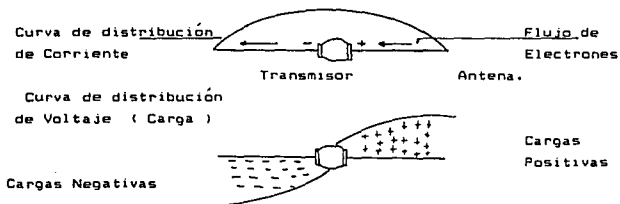


Fig. B.6. Flujo de corriente y distribución de cargas en una antena alimentada al centro por el transmisor.

Como la salida del transmisor varia senoidalmente, lo mismo ocurre con la polaridad de sus terminales de salida. Por consiguiente, la corriente de la antena, así como la distribución de la carga a lo largo de ella, varían senoidalmente. Las condiciones ideales se obtienen cuando la antena es de longitud igual a una semilongitud de la onda de salida del transmisor a la frecuencia operante de éste.

POLARIZACION DE UNA ANTENA

La intensidad de campo eléctrico tiene la misma dirección que la antena. Si la antena es vertical (Fig. B.7), las líneas de fuerza eléctrica son también verticales, hablándose en tal caso de **POLARIZACION VERTICAL**. Para la recepción de una onda polarizada verticalmente se necesita pues una antena vertical (omnidireccional).

Dado que una antena vertical radia uniformemente en todas direcciones, resulta más apropiada para la radio. Sin embargo, para las ondas ultracortas se utiliza la **POLARIZACION HORIZONTAL** (Fig. B.8). El motivo de esto estriba en el hecho de que la polarización horizontal proporciona menor nivel de ruido, de perturbaciones y mayor alcance en la transmisión. Por otro lado, las ondas polarizadas verticalmente son fuertemente absorbidas o reflejadas por los obstáculos existentes entre emisor y receptor.

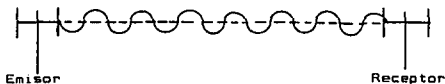


Fig. B.7. Polarización Vertical.

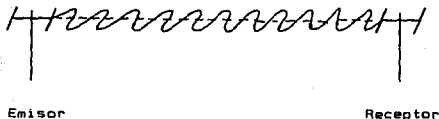


Fig. B.8. Polarización Horizontal.

EFEECTO DIRECCIONAL DE UNA ANTENA

El dipolo tiene característica radial horizontal que se asemeja a un ocho. (Fig. B.9) La antena radia pues con la máxima intensidad hacia la derecha e izquierda de la figura. De igual forma, en el caso de las antenas receptoras, estas captan a su vez con la máxima intensidad las señales procedentes de la derecha e izquierda, ya que todas las antenas tienen siempre propiedades emisoras y receptoras.

Si se coloca paralelamente al dipolo un elemento R que no esté eléctricamente unido a la línea de antena, éste hace las funciones de Reflector (Fig. B.10). Con esta disposición se deforma la característica radial de la antena alargándose hacia la derecha. Si se trata de una antena receptora ésta captará mejor las señales procedentes de la derecha y empeorará la recepción de señales procedentes de la izquierda. Añadiendo pues un elemento reflector a la antena ésta se hace direccional, es decir mejora la recepción cuando se encuentra enfocada hacia una dirección determinada (antena de sector o direccional).

EFFECTO DIRECCIONAL DE LAS ANTENAS

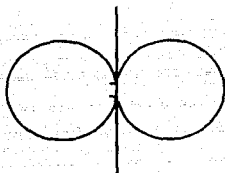


Fig. B.9. Característica radial de la antena,

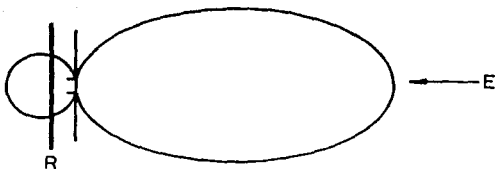


Fig. B.10. Característica radial alargada hacia la derecha.

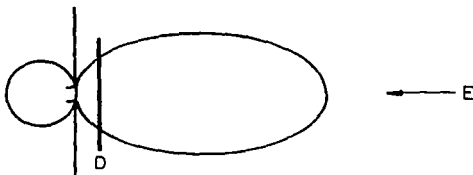


Fig. B.11. Efecto radial producido por un director.

Como consecuencia de todo ello, para las ondas procedentes de un emisor, las corrientes que se inducen en un dipolo se suman, mientras que para las ondas procedentes de la dirección opuesta las corrientes que se inducen en el dipolo se anulan casi totalmente.

En la figura B.10 el elemento reflector R es algo más largo que el dipolo, es decir está ajustado o sintonizado a una frecuencia de resonancia algo inferior a la del dipolo. Esto se hace así con el fin de que la tensión y la corriente tengan distinta fase.

Otro sistema de obtener un efecto direccional de la antena es colocar frente al dipolo, entre éste y la emisora, un elemento algo más corto que la antena dipolo y que recibe el nombre de Director (D de la figura B.11). Este elemento en cierto modo dirige las ondas del dipolo. A una antena dipolo se la puede equipar con muchos directores, obteniéndose así una antena de varios elementos, a la cual se le denomina antena YAGI. Así mismo, es posible obtener bajo este mismo principio otra antena similar, sólo que en vez de varillas directoras se colocan aros, con esto se lograrán las antenas llamadas LOOP.

El efecto direccional de una antena se expresa por la relación Antero-posterior. Para obtener esta relación se mide la tensión de recepción cuando la antena está dirigida exactamente hacia el emisor. A continuación se hará girar la antena 180 grados y se mide de nuevo la tensión de recepción. La relación entre estas dos tensiones corresponde a la llamada relación Antero-posterior. La relación Antero-posterior generalmente se expresa en decibelios, mediante la fórmula :

$$dB = 20 \log \frac{A}{P}$$

A - Tensión Anterior.
P - Tensión Posterior.

GANANCIA DE UNA ANTENA

La ganancia de una antena se expresa el número de veces que la tensión inducida en la antena es mayor que en un dipolo sencillo. En una antena de varios elementos no solo se aumenta la relación Antero-posterior, sino también la ganancia de la antena.

Es muy importante no confundir la relación Antero-posterior con la ganancia de una antena. Mientras que la relación Antero-posterior compara la tensión de recepción de la antena cuando está dirigida hacia la emisora con la tensión de recepción de la antena cuando está en dirección opuesta, la ganancia de una antena compara la tensión de recepción de una antena dirigida hacia la emisora con la tensión de recepción de un dipolo sencillo situado en el mismo punto.

Por lo tanto la ganancia de una antena se expresa igualmente en decibelios mediante la fórmula:

$$dB = 20 \log \frac{V_2}{V_1}$$

En donde:
 V_1 - es la tensión de recepción de la antena considerada
 V_2 - es la tensión de recepción de una antena dipolo sencilla

ANGULO DE ABERTURA

La característica radial de un sistema de antenas está compuesta de las características individuales de cada una de ellas. Así, en la figura B.12. se presentan como ejemplo dos dipolos paralelos separados $\lambda/2$. La línea de la antena procedente de la emisora se bifurca exactamente en el centro de los dos dipolos, ya que de no ser así las corrientes I1 e I2 no estarían en fase. En la figura B.13. muestra la característica radial (de trazo continuo mas grueso) de un plano vertical a través de las dos antenas A1 y A2. Con el fin de poder comparar se ha dibujado la característica de un solo dipolo mediante una línea continua fina y cuyo centro está en un dipolo. En la dirección 90 y 270 grados no se radia energía alguna, ya que las ondas radiadas por A1, por ejemplo, en la dirección 90 grados están en oposición de fase con las ondas procedentes de A2, anulándose mutuamente.

En la dirección 0 y 180 grados los dos trenes de ondas se refuerzan mutuamente ya que se propagan con la misma fase.

La característica radial de una antena en puntos de igual intensidad de campo. El círculo K1 dibujado con línea a trazos tiene un radio r igual a la mayor separación de la línea característica respecto a la antena, mientras que el círculo K2, dibujado igualmente a trazos, tiene un radio r' igual a:

$$r' = \frac{r}{\sqrt{2}} = 0.707 r$$

ANGULO DE ABERTURA

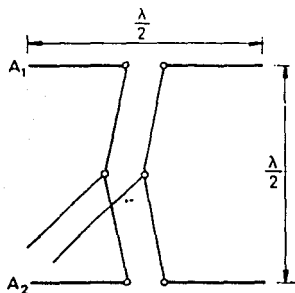


Fig.B .12 Dos dipolos paralelos.

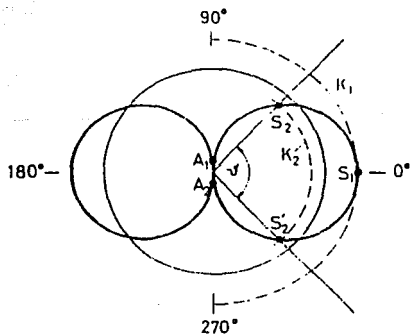


Fig. B.13. Característica radial de un plano vertical.

Este círculo K corta a la característica en dos puntos S_2 y S_2' . Uniendo estos dos puntos con el centro se obtiene un ángulo ν que recibe el nombre de **ANGULO DE ABERTURA**.

Por otro lado el ángulo de abertura horizontal es una medida del efecto direccional de la antena. Por ejemplo para un dipolo horizontal equipado con un reflector y dos directores el ángulo de abertura horizontal es de unos 60 grados y el vertical de 95 grados. Cuanto más pequeño sea el ángulo de abertura horizontal con tanto más posibilidad se eliminan las perturbaciones o emisoras indeseadas. Lo mismo sucede en el ángulo de apertura vertical.

PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

Existen cuatro formas distintas de propagación de las ondas electromagnéticas:

- a) Propagación Directa
- b) Propagación por Dirección
- c) Propagación por Difracción
- d) Propagación por refracción

La **Propagación Directa**. (Fig. B.14). es la que más interesa, en ella la onda emitida por la antena emisora alcanza la antena receptora en línea recta y sin desviación alguna.

En la **Propagación por Reflexión** (Fig. B.15). la onda es reflejada por un obstáculo. Este tipo de propagación puede ser indeseable,

PROPAGACION DE LAS ONDAS ELECTROMAGNETICAS

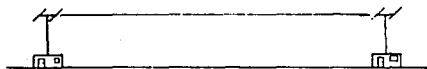


Fig. B.14. Propagación Directa.

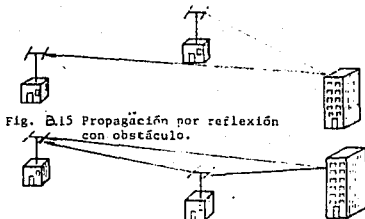


Fig. B.15 Propagación por reflexión con obstáculo.

Fig. B.16. Propagación por reflexión con dos señales defasadas.

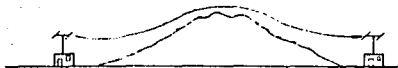


Fig. B.17. Propagación por difracción ó sobre el horizonte.

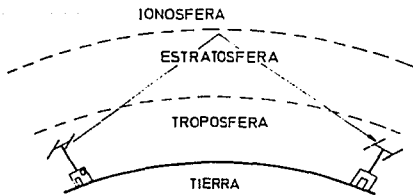


Fig. B.18
Propagación por refracción.

ya que a la antena receptora puede llegarle la señal de propagación reflejada procedente de uno o varios puntos, con lo cual llegan al receptor dos o más señales iguales y defasadas ya que las trayectorias son más o menos largas (Fig. B.16), produciéndose, en la mayoría de los casos recepciones defectuosas.

Para evitar esto que acabamos de exponer debe utilizarse antenas receptoras de gran directividad, correctamente situadas con relación al emisor.

En la Propagación por Difracción (Fig. B.17). La onda sigue la ladera de las montañas o la curvatura de la tierra, es también llamada propagación sobre el horizonte.

Finalmente , en la Propagación por Refracción la onda es refractada en las capas inferiores de la ionósfera (Fig, B.18.). Este fenómeno es debido al estado ionizado de esta zona de la atmósfera. Cabe mencionar que éste tipo de propagación, cuando se dan las condiciones idóneas, es posible captar emisiones muy lejanas imposibles de recibir por una propagación directa.

Como resultado de este estudio, mostraremos para finalizar este apéndice, los tipos de antenas, ángulos de radiación, ganancia, etc., que se utilizan para los sistemas de posicionamiento costa afuera.

La (Fig. B.19) muestra el sistema de antenas LPL o LOOP con diferentes arreglos, patrones de radiación y ganancia con un



Una LPL
 ANGULO- Vert-Horiz.
 48° 48°
 GANANCIA 12.5 dB.



Das LPL
 ANGULO. Vert-Horiz.
 24° 48°
 GANANCIA 15.5 dB



Cuatro LPL
 ANGULO Vert- Horiz.
 12° 48°
 GANANCIA 18.5 dB



Vista de una antena LPL

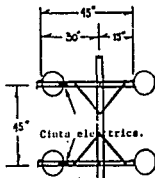
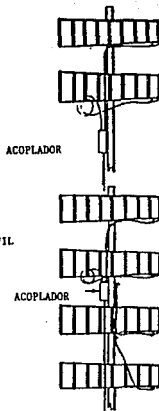
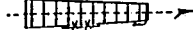


FIG 4

ESTACION MOVIL

Cuatro antena LPL
 ANGULO Vert-Horiz.
 24° 24°
 GANANCIA 18.5 dB.



ESTACION FIJA

Fig. B.19 Sistema de Antena LPL

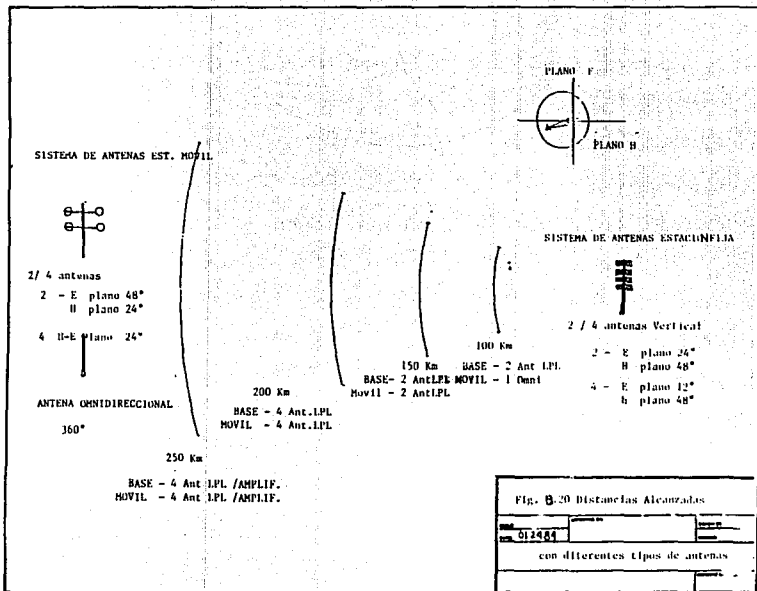
NOTA TODAS LAS CONFIGURACIONES DE ANTENAS MOSTRADAS SON DE POLARIZACION VERTICAL.

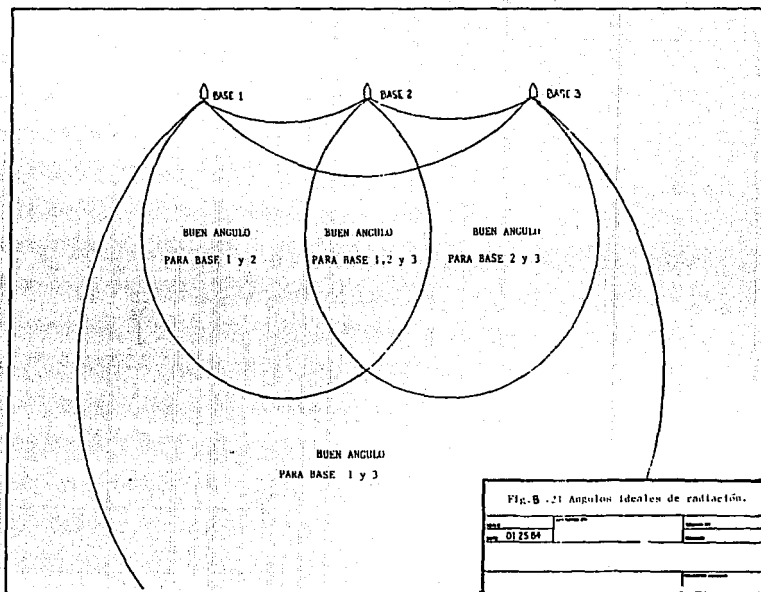
Fecha: 9-10-83

elemento, con dos elementos y con cuatro elementos. También se muestra el tipo de arreglo para una estación fija y para una estación móvil.

En la figura B.20 se puede observar los rangos o distancias que pueden alcanzar los arreglos de antenas para estaciones fijas con estaciones móviles.

En la figura B.21 presenta los ángulos de radiación ideales para las estaciones fijas.





APENDICE C
TRILATERACION

CALCULO DE TRIANGULACIONES EN LA PROYECCION U.T.M.

De la información geodésica existente en cada área, se deriva el sistema que ha de emplearse para el establecimiento de vértices de control a partir de triangulaciones y de trilateraciones. Estos sistemas pueden ser de: propagación, extensión o de densificación.

Propagación. Es el proceso que permite transportar las posiciones geodésicas a través de grandes áreas, por medio de triangulaciones geodésicas generalmente de primer orden.

Extensión. Es el que se apoya en la propagación, permitiendo extender el control geodésico a través de áreas limitadas por triangulaciones. La extensión se lleva a cabo por medio de trilateraciones o de triangulaciones de segundo y de tercer orden.

Densificación. Se le denomina densificación a las operaciones geodésicas que se realizan para obtener una compactibilidad de puntos que estén dentro de un enmarcamiento geodésico de mayor orden.

Cada punto en cualquiera de los tres sistemas define su posicionamiento por medio de: zona geográfica, abscisa, ordenada y altimétricamente por su cota.

Actualmente se sigue investigando sobre los procesos de trilateración, el cual consiste en la medida de los tres lados de un triángulo, así como de las distancias cenitales. El Servicio Geodésico Interamericano y sus colaboradores, las agencias de los EE.UU. y otros países, han llevado a cabo los estudios y trabajos

geodésicos de los que han derivado especificaciones para levantamientos geodésicos, destinados a satisfacer los requisitos de primer orden, consecuencia del uso de instrumentos electromagnéticos para medir distancias. Estas especificaciones son las siguientes:

- a) Las trilateraciones deben iniciarse y cerrarse sobre triangulaciones de primer orden, o sobre estaciones de poligonales de primer orden ya existentes.
- b) El proyecto de trilateración debe incluir observaciones de control azimutal y el error de una dirección compensada utilizada por control azimutal, pocas veces debe exceder de $\pm 0.6''$.
- c) El problema de trazado de una trilateración de primer orden no puede tomarse en cuenta en forma tan casual como lo haríamos con otros tipos de levantamientos de primer orden.
- d) La figura básica exigida por el primer orden geodésico en la trilateración es el hexágono, midiéndose sus lados y todas sus diagonales. No existe ninguna guía para indicar la fuerza o resistencia de una figura, pero la norma principal es la regularidad o simetría de la figura.
- e) En la trilateración no existen condiciones geométricas que permitan el suficiente refuerzo interno, a menos que se empleen figuras complejas y engorrosas. Este es un método poco práctico para establecer el control básico y está incluido sólo para usarse en aquellas ocasiones aisladas que lo justifiquen.

De acuerdo con las especificaciones indicadas, las trilateraciones tienen aceptación en el sistema de extensión. Por otra parte reúne la característica que es posible llevar a cabo las observaciones de distancias en condiciones atmosféricas desfavorables para cualquier otro método como suele ser la neblina, humos, etc.

Para transformar la distancia observada en geodésica es requisito determinar las cotas de sus extremos y en donde las condiciones atmosféricas son inestables, se utiliza la nivelación barométrica con errores de ± 10 metros en la altitud. Si se requiere una mayor precisión en la distancia debe efectuarse la nivelación trigonométrica (con buenas condiciones atmosféricas) que permite la obtención de cotas con errores de ± 0.1 metros. El cálculo de una triangulación geodésica en la proyección U.T.M. requiere de los siguientes datos:

Coordenadas (X, Y) y zona geográfica de los vértices que constituyen la línea base, así como los valores angulares observados. En la figura C.1 se observa un triángulo con los vértices C_1 , B_1 previamente determinados, y el vértice A_1 del cualse pretende determinar sus coordenadas con base en las distancias medidas c , b .

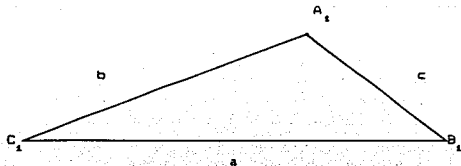


Fig. C.1

ORDEN CRONOLOGICO PARA LLEVAR EL CALCULO

1) CALCULO DEL EXCESO ESFERICO, AJUSTE Y OBTENCION DE ANGULOS PLANOS

a) El exceso esférico ϵ se obtiene por medio de la ecuación:

$$\epsilon = a_1 b_1 \operatorname{sen} C_1 m \quad m = \frac{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \phi)^2}{2 a^2 (1 - e^2) \operatorname{sen} 1''}$$

La obtención del valor de m puede tomarse de la tabla log m para el cálculo del exceso esférico.

En donde ϵ es el exceso esférico, a_1 y b_1 son dos lados del triángulo, C_1 el ángulo comprendido entre dichos lados, m es un valor que se encuentra tabulado en los tratados de geodesia y se determina con el argumento de la latitud promedio del triángulo al cuarto de grado, lo cual puede obtenerse por medio de una carta geográfica, gráficamente, o bien llevando un cálculo preliminar. Cuando se requiera determinar el valor de m analíticamente se utiliza la ecuación correspondiente en la que e y a son los parámetros del elipsoide utilizado y ϕ es la latitud promedio del triángulo.

b) Ajuste de cada triángulo

El triángulo esférico cumple la condición:

$$180^\circ - \epsilon - (A_1 + B_1 + C_1) = 0$$

Al sustituir los datos del exceso esférico (ϵ) y la suma angular observada ($A_1+B_1+C_1$), el segundo miembro de la ecuación será el error angular de cierre, y es cero cuando esté ajustado. En un triángulo se distribuye equitativamente el error angular.

Para triangulaciones de primer orden, el error angular de cierre no debe de exceder de 3" y el promedio numérico de cierres de los triángulos de una figura deberá ser igual o inferior a 1". En las triangulaciones de segundo orden estas tolerancias son de 5" y 3" respectivamente y para triangulaciones de tercer orden las tolerancias son de 10" y 5" respectivamente.

Cuando se trate de figuras que admitan la compensación por mínimos cuadrados, el ajuste se hará por este método, que consiste en admitir como los mejores valores aquellos que den unas correcciones en las ecuaciones, que cumplen la condición de que la suma de sus cuadrados sea mínima. Estas figuras deben tener sobre-abundancia de datos observados como son los cuadriláteros con dos diagonales, polígonos de punto central, serie de triángulos con dos bases medidas, etc.

c) Obtención de los ángulos planos

Cuando el triángulo esférico ya está ajustado, se procede a determinar los ángulos planos, sustituyendo el triángulo esférico por un triángulo plano equivalente, fundándose en el teorema de Lagrange:

"Si se tiene un triángulo esférico de lados poco curvos y un triángulo plano, cuyos lados sean iguales en extensión lineal a los de un triángulo esférico, los ángulos de uno y otro triángulo difieren una cantidad igual, que es la tercera parte del exceso esférico".

Luego para encontrar los ángulos planos, se le restarán a cada uno del triángulo la tercera parte del exceso esférico y la suma será de 180° .

2) CALCULO Y OBTENCION DE LAS DISTANCIAS GEODESICAS

Distancia geodésica de la base del triángulo. Se obtiene por medio de las coordenadas (X, Y) de los vértices que constituyen la línea base del triángulo, empleando la ecuación "distancia entre dos puntos":

$$d = \sqrt{(\Delta X)^2 + (\Delta Y)^2}$$

Donde: ΔX = Diferencia entre coordenadas $X_2 - X_1$

ΔY = Diferencia entre coordenadas $Y_2 - Y_1$

Con base en esta ecuación se determina la distancia en la proyección U.T.M.

Otra forma de obtener las distancias es por medio del equipo medidor de distancias que se esté utilizando en ese momento.

3) CALCULO Y CONVERSION DE ANGULOS ESFERICOS A ANGULOS PROYECTADOS EN U.T.M.

a) Se determina el azimut geodésico proyectado (T) de la base, por medio de la relación:

$$\tan T = \Delta X / \Delta Y$$

b) Con el azimut geodésico de la base y el ángulo esférico se obtiene y se calcula el azimut geodésico proyectado (T_1) del lado en consideración.

4) SOLUCION TRIGONOMETRICA UTILIZANDO LOS ELEMENTOS U.T.M. PREVIAHENTE DETERMINADOS

Con los elementos U.T.M. determinados se calculan las coordenadas por medio de las siguientes ecuaciones:

$$X = X_c + b \operatorname{sen} A_z C A = X_B + c \operatorname{sen} A_z B A$$

$$Y = Y_c + b \operatorname{cos} A_z C A = Y_B + c \operatorname{cos} A_z B A$$

Donde:

- X, Y = Coordenadas U.T.M. del nuevo vértice
- X_C, X_B, Y_C, Y_B = Coordenadas U.T.M. de los vértices de la base
- b = Distancia geodésica del lado que une el vértice C_1 con el vértice nuevo A_1
- c = Distancia geodésica del lado que une el vértice B_1 con el vértice nuevo A_1
- A_z, CA = Azimut plano del vértice C_1 al A_1
- A_z, BA = Azimut plano del vértice B_1 al A_1

Estos azimuts se obtienen mediante el cálculo mencionado en el inciso 3.

5) COMPROBACION DEL CALCULO DE COORDENADAS U.T.M.

Para ejemplificar este tema se cita a continuación una liga de cadenas de la siguiente triangulación geodésica (Fig. C.2).

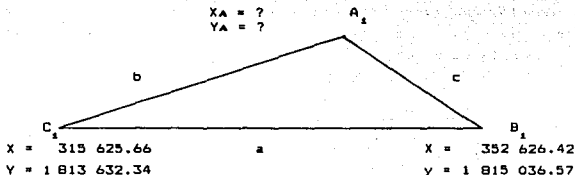


Fig. C.2

a) El cálculo del exceso esférico, ajuste, y obtención de ángulos se obtiene mediante las siguientes relaciones:

$$e = a_1 b_1 \text{ sen } C_1 m$$

Datos:

a_1	= Distancia geodésica medida	= 37 030 metros
b_1	= Distancia geodésica medida	= 34 738 metros
A_1	= Angulo del vértice A	= $74^{\circ}25'27.83''$
B_1	= Angulo del vértice B	= $64^{\circ}38'44.60''$
C_1	= Angulo del vértice C	= $40^{\circ}55'52.62''$

Desarrollando la formula de exceso esférico se tendrá:

$$e = (37\ 030)(34738)(0.6551548)(0.25496)(10^{-8}) = 2.15''$$

(La $m = 025496 \times 10^{-8}$ se obtuvo de la tabla log m del exceso esférico)

Ajuste del triangulo

Una vez obtenidos los ángulos A_1 , B_1 y C_1 de los vértices del triángulo, que fueron calculados con base en la observación de las distancias b y c , se realiza la corrección para el ángulo esférico que será la siguiente.

Para	$A_1 = -0.97''$	→	$A = 74^{\circ}25'26.86''$
	$B_1 = -0.97''$	→	$B = 64^{\circ}38'43.64''$
	$C_1 = -0.96''$	→	$C = 40^{\circ}55'51.66''$

Y para el ángulo plano se tendrá que restar al ángulo esférico la corrección del exceso esférico $2.15''$ entre los tres ángulos A , B , C , resultando lo siguiente:

Para	$A = -0.71''$	→	$A = 74^{\circ}25'26.14''$
	$B = -0.72''$	→	$B = 64^{\circ}38'42.92''$
	$C = -0.72''$	→	$C = 40^{\circ}55'50.94''$
	<u>- 2.15''</u>		

b) Mediante las coordenadas de un vértice conocido y la proyección A_1 se obtiene el azimut plano C_1B_1 de la siguiente manera:

$$\tan T = \Delta X / \Delta Y = 37000.76 / 1404.23 = 26.35$$

$$T = 87^{\circ}49'35.72''$$

Finalmente se obtiene el azimut geodésico proyectado de C_1 a B_1 mediante la relación T - ángulo esférico C_1 , por lo tanto se tendrá el siguiente resultado:

$$\begin{aligned} \text{Azimut geodésico proyectada } C_1 B_1 &= && 87^{\circ}49'35.72'' \\ &- && 40^{\circ}55'51.66'' \\ \hline &&& 46^{\circ}53'43.44'' \end{aligned}$$

c) La obtención de las coordenadas U.T.M. del vértice A_1 tomadas en base a la proyección del lado $C_1 A_1$ y sustituyendo los datos obtenidos en las formulas del punto 4 se tienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} X_A &= 315\ 625.66 + 34\ 738.42 \text{ sen } 46^{\circ}53'43.44'' \\ Y_A &= 1\ 813\ 632.34 + 34\ 738.42 \text{ cos } 46^{\circ}53'43.44'' \end{aligned}$$

por lo tanto.

$$\begin{aligned} X_A &= 340\ 988.44 \\ Y_A &= 1\ 837\ 370.23 \end{aligned}$$

El procedimiento utilizado en este apéndice, para determinar coordenadas con base en vértices conocidos, puede llevarse a un programa por computadora, considerando las distancias medidas por medios electromagnéticos y parámetros geodésicos usados en la zona geográfica. De esta forma pueden generarse programas de navegación (Trace 13 y Seatrac) como los utilizados en el barco "El Ingeniero".

APENDICE D
LISTADO DE UN PROGRAMA DE
POSICIONAMIENTO

En el presente apéndice pretendemos mostrar el listado de un programa de posicionamiento, utilizado en las actividades de posicionamiento en la Sonda de Campeche, este fue elaborado por la compañía I.C.A. Ingeniería S.A. de C.V., este programa quizás fue uno de los primeros en contener comentarios en español.

Debido al avance de las técnicas computacionales en la actualidad, habrá más de 30 programas diferentes de posicionamiento elaborados en lenguajes como HPGL- Basic, Turbo C, Pascal, ADA, etc., todos utilizan los métodos de trilateración para el cálculo de coordenadas en el sistema de coordenadas elegido para la zona donde se pretenda operar.

La mayoría de estos programas no permiten el acceso al listado de programación, por lo cual si se requiere darles mantenimiento, es necesario solicitar la asistencia técnica al vendedor del programa.

El grado de exactitud obtenido con los diferentes programas depende principalmente de la exactitud y resolución del equipo utilizado para determinar las distancias a las localizaciones conocidas desde la posición desconocida. Claro que esto también puede ser obtenido mediante las técnicas de mínimos cuadrados al aplicarse al cálculo de coordenadas.

Por lo tanto el siguiente listado del programa de posicionamiento, contiene: rutinas para manejo de base de datos, cálculo y conversión de coordenadas por trilateración, ajuste por mínimos cuadrados, rutina de captura de datos de las distancias leídas por el monitor medidor de distancias, rutina para envío de datos a una graficadora o impresora.


```

01: dpp "POSICIONAMIENTO SIST DEL NORTE. (ANTIGUO)"trk 0rldk 34
11: dim M(2),N(8),E(8),H(9),V(2),T(40),U(40),B,Pst(40,12),Zs(15,16),Hs(6,16)
21: dim Ds(25),Ts(16),Bs(16),Ss(16),Os(8),Ns(8),As(6,16),Gs(5)
31: dim Fst(2,18),Cst(7),Fst-1(10),Est(50),Ist(12),Kst(4);wfg 7
41: ("1") AKAL "Zs(1); ("2") XTDCD "Zs(2); ("3") ABATUM NTE "Zs(3)
51: ("4") POOL SUR "Zs(4); ("5") KU SUR "Zs(5); ("6") KU NTE "Zs(6)
61: ("7") CANTARELL "Zs(7); ("8") POOL NTE "Zs(8); ("9") NDOCH "Zs(9)
71: ("10") CHUC "Zs(10); ("11") ABATUM SUR "Zs(11); ("12") MAYA "Zs(12)
81: ("13") MAYA NTE "Zs(13)
91: trk 0rldf 1,Fs,Cs
101: "RESTART":0)M
11: cll 'LISTA'(D);:f k=0;gto "ZONA"
12: (23)W:16)M:100)S:6)78206.4:0:D+2)E:trf 0rldf E.M(3)
13: ent "SECCION NUMERO".L:;f flg1)icfg 1)igto 1)
14: if L>70 or L<1)igto 1)
15: if flg2=0;igto 18
16: "GRAFICAR":0)
17: fmt :sfg 1)icfg 7)igto 2)
18: dpp " Prepare GRAFICADORA"wait 100)
19: dpp "ICONT) Posicionar (1) Graficar"stsp
20: cll 'INIGRAF' :fkd 0;csz 1fmt 4,Cc,f2,0,c
21: wrt .4," ZONA "-" ,Zs(D,6), "-" , SECCION ".L.", " ;:f flg3=0;igto 23
22: plt 12.5,0,1)icplt -(len(Zs(D))+6)/2,0;1bl Zs(D,6) SEC ".L
23: cll 'MODGRAF' (25,18,0,0,1,1) :L:;int(L/7);R:L-R+7)C
24: L+1)M(2)+C)S)X)M)R) :p:cl:;time 500)on err "STP"
25: scl X=S,(W+S,Y=S,Y+(H+1)S
26: lim X=25,X+(W+2)S,Y=1.5S,Y+(H+2)S;:f not flg3)igto 54
27: wfg 10;gsb "ARCH-TUE"
28: csz 1,6;icll 'MODGRAF' (X+WS,S,Y+HS,S,X-S,Y-S)icll 'LABEL'(D);icfg 10
29: cll 'NO GRAFICA' :scl X=S,X+(W+1)S,Y=S,Y+(H+1)S
30: "CG":fmt 4,Cc,f2,0;wrt .4,"GRAFICANDO: ",Zs(D,6),", SEC. ".L
31: line x=a, Y,S;vax X+WS,S;vax X,S;vax X+HS,S
32: csz 1,5,2,1,90;plt x=(W+S)S,Y+6.5S,1;1bl int((X+WS)/1000)
33: if frc((X+WS)/1000)=0;1bl " 000 E";jmp 2
34: 1bl frc((X+WS)/1000)=1000," E"
35: csz ipit x+9.5S,Y=S/2,1;1bl 2,int(Y/1000)-2000
36: if frc(Y/1000)=0;1bl " 000 N";jmp 2
37: 1bl frc(Y/1000)=1000," N"
38: csz 1,5,2,1,90;plt x=-2S,Y+6.5S,1;1bl int(X/1000)
39: if frc(X/1000)=0;1bl " 000 E";jmp 2
40: 1bl frc(X/1000)=1000," E"
41: csz ipit x+9.5S,Y+(H+2)S,1;1bl 2,int((Y+HS)/1000)-2000
42: if frc((Y+HS)/1000)=0;1bl " 000 N";jmp 2
43: 1bl frc((Y+HS)/1000)=1000," N"
44: cll 'ID CASE' :scl 1=S,X=(W+1)S,Y=S,Y+(H+1)S;gsb "HEADER"
45: dpp "A DATOS EN "Zs(D,6)";SEC-SEC. " ;:scl(L)S "
46: if Tst " ;:plt x=S/4,Y=S/2,1;1bl "REMOLC:" ;Ts
47: if Bst " ;:plt x=S/4,Y=2S,1;1bl "BARCO:" ;Bs
48: if Sst " ;:plt x=17S,Y=S/2,1;1bl "OPERA:" ;Ss
49: if Dst " ;:plt x=17S,Y=2S,1;1bl D
50: cll 'MODGRAF' (X+WS,S,Y+HS,S,X-S,Y-S)
51: cfg 1)dspp char(1) "POSICIONAR SECCION" :r=NO / :S1" :icfg 1) :ent ""
52: if flg1 or r=0 and flg1)igto -1
53: if r=0;igto 1)
54: "POSICIONAR":;f M:;gto 6)
55: fmt 4,2,4,"CASSETTE",;c1) ;:wrt 16,4,Cs
56: fmt 4,Cc,;ipit "Actualizaci6n:"
57: for F=1 to 2;: len(Fs(F)) 1)wrt 16,4,Fs(F);jmp 2
58: if Fs(F).len(Fs(F))-2,len(Fs(F))-5) "de";jmp 2
59: wrt 16,4,Fs(F).len(Fs(F))-7)Fs(F).len(Fs(F))-4)
60: if Fl;ipit " En uso de una s"
-----
61: fvd wprt 1)1,;:ent " SECCION".L;icg 1) ;:wrt M:;gto E
62: dpp "RENTAS: Co" ;:gsb 1) ;:dspp 1) ;:stsp
63: "LOAD DATA" :;:ic 1) ;:c 1) ;:E(1) ;:M(1)
64: "START" :ent "RENDA US" ;:ic 1) ;:c 1) ;:E(1) ;:M(1)

```



```

267: if D=10:c11 'TUBERIA'(170,175):jmp 3
268: if D=11:c11 'TUBERIA'(178,181):jmp 2
269: if D=12:c11 'TUBERIA'(184,191)
270: ret
271: "ALARMA"for 0=1 to 5:bsleepwait 50:next U:ret
272: "MARGRAF"ldsp "3 MARCANDO EXTREMOS DE GRAFICA #":fnt 4,4:5,0
273: if G="7470A" or G="7475A":wrt 705,4,"ip0,200,10000,74":fnt 275
274: if G="7225A" or G="7225B":wrt 705,4,"ip275,205,10275,7405"
275: pit 25,18:penipit 25,0,-2:penipit 0,0,-2:penipit 0,18,-2:pit 25,18,1
276: dsp "CHECA F1, F2 EN GRAF Y PRES CONT":stp,istd:stret
277: "OTRASEC"ctd 3:qto 13
278: "EXTREMOS"fnt 3,5:ldsp "3 MARCANDO EXTREMOS CORREGIDOS #"
279: scl 0,25,0,18:pit 25,18,0:nret 705,3,"extivo":pit 25,0,0:nret 705,3,"exti:"
280: pit 0,0,0:nret 705,3,"extiv":pit 0,18,0:nret 705,3,"extiv":ret
281: "INIGRAF"ipcir:sc1 0,25,0,18:if 4:qto:jmp 2
282: c11 "MODGRAF"(25,16,0,0):c11 "MARGRAF"
283: c11 "EXTREMOS"ret
284: end
412664

```

APENDICE E
MINIMOS CUADRADOS

METODO DE MINIMOS CUADRADOS

Supóngase que se tiene un conjunto de observaciones x_1, x_2, \dots, x_n . La suma de los cuadrados de sus desviaciones respecto a alguna media es

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_m)^2$$

Supóngase ahora que se desea minimizar S con respecto a la medida \bar{x}_m . Se establece.

$$\frac{\partial S}{\partial \bar{x}_m} = 0 = \sum_{i=1}^n (-2) (x_i - \bar{x}_m) = -2 \left(\sum_{i=1}^n x_i - n\bar{x}_m \right)$$

donde n es el número de observaciones. Se encuentra que

$$\bar{x}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

o la medida que minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones es la media aritmética. Este ejemplo puede llamarse la aplicación más simple del método de mínimos cuadrados. Se dan sólo dos aplicaciones adicionales al método, pero son de gran utilidad al analizar los datos experimentales.

Supóngase que las dos variables x e y se miden en una gama de valores. Supóngase además que se desea obtener una expresión analítica simple para y como una función de x . Por lo tanto se puede tratar de establecer y como una función de x . El problema es

encontrar la *mejor* función lineal para el conjunto de datos que puede estar disperso en grado considerable. Se puede resolver el problema con rapidez al graficar los puntos de datos en papel de gráficas y dibujar una línea recta por ellos a ojo. Por supuesto, ésta es una práctica común, pero el método de mínimos cuadrados proporciona una forma más confiable de obtener una mejor relación funcional del intento de graficar. Se busca una ecuación de la forma.

$$y = ax + b$$

Se desea por lo tanto minimizar la cantidad

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i + b)]^2$$

Esto se realiza igualando a cero las derivadas respecto a a y b . Al realizar estas operaciones, se obtiene:

$$nb + a \sum x_i = \sum y_i$$

$$b \sum x_i + a \sum x_i^2 = \sum x_i y_i$$

La solución de las ecuaciones simultáneas anteriores da:

$$a = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$b = \frac{(\sum y_i)(\sum x_i^2) - (\sum x_i y_i) - (\sum x_i y_i)(\sum x_i)}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

Se designe el valor calculado de y como \hat{y} , obteniéndose

$$\hat{y} = ax + b$$

y el error estándar de la estimación de y del conjunto de datos es

$$\begin{aligned} \text{Error estándar} &= \left[\frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-2} \right]^{(1/2)} \\ &= \left[\frac{\sum (y_i - ax_i^2 - b)^2}{n-2} \right]^{(1/2)} \end{aligned}$$

El método de mínimos cuadrados también puede usarse para determinar polinomios de orden más elevado, a fin de ajustar conjuntos de datos. Sólo se necesita realizar derivaciones adicionales para determinar los valores de las constantes; por ejemplo, si se desea obtener el ajuste de mínimos cuadrados de acuerdo con la función cuadrática

$$y = ax^2 + bx + c$$

la cantidad

$$S = \sum_{i=1}^n [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)]^2$$

se minimiza igualando a cero las siguientes derivadas:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = 0 = \sum_{i=1}^n -2 [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-x_i^2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 = \sum_{i=1}^n -2 [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-x_i)$$

$$\frac{\partial S}{\partial c} = 0 = \sum_{i=1}^n -2 [y_i - (ax_i^2 + bx_i + c)] (-1)$$

se desarrollan y reúnen términos:

$$a \sum x_i^4 + b \sum x_i^3 + c \sum x_i^2 = \sum x_i^2 y_i$$

$$a \sum x_i^3 + b \sum x_i^2 + c \sum x_i = \sum x_i y_i$$

$$a \sum x_i + b \sum x_i + cn = \sum y_i$$

Estas ecuaciones pueden resolverse a fin de encontrar las constantes a , b y c .

En la exposición anterior del método de mínimos cuadrados no se mencionó la influencia de la incertidumbre experimental en el cálculo. Se considera el método por su utilidad al ajustar una relación algebraica a un conjunto de puntos de datos. Las diversas x_i e y_i pueden tener diferentes incertidumbres experimentales, y valorar todas requiere procedimientos de cálculo más bien tediosos que no se presentan aquí; sin embargo, pueden establecerse las siguientes reglas:

1. Si los valores de x_i e y_i se toman como el valor de los datos en y y el valor de x en la curva ajustada para el mismo valor de y , entonces se presume que la incertidumbre en x es grande comparada con la de y .
2. Si los valores de x_i e y_i se toman como el valor de los datos en y y el valor en la curva ajustada para el mismo valor de x , se presume que la incertidumbre en y domina.
3. Si se cree que las incertidumbres en x_i e y_i son aproximadamente de magnitud igual, debe usarse una técnica especial de promedio.

La regla 1 indica una *regresión* de x en y , en la regla 2 hay una regresión de y en x . En el segundo caso se minimiza la suma de los cuadrados de las desviaciones de los puntos reales de la curva asumida y también se asume que x no varía de manera apreciable en cada punto.

Si se obtienen

$$y = a + bx$$

y entonces se soluciona a fin de obtener

$$x = \frac{f}{b} y - \frac{a}{b}$$

esta segunda relación no necesariamente da un buen cálculo para x , ya que la minimización se efectuó en la dirección y y no en la dirección x .

BIBLIOGRAFIA

B I B L I O G R A F I A

A. J. A. VAN OVEREEM

Shallow-Penetration, High-Resolution Subbottom Profiling

A. J. A. VAN OVEREEM, FUGRO-CESCO, B. V. LEIDSCHEDAM HOLLAND

Report: Shallow-penetration, High-Resolution subbottom profiling
Marine Geotechnology, 1977

AGUILAR, J. A. y P. E. TORRES

Simposio Internacional de Mecánica de Suelos Marinos
Artículo: Exploración Geofísica del Fondo Marino, México 1980

AKAL T.

The relationship between the physical properties of underwater
sediment that affect bottom reflection
Marine Geology, 1972

BEATRIZ ALVARENGA, ANTONIO MAXIMO

Física General (Con experimentos)
Editorial Harla, 1983

DATASONICS

Sub-bottom Profiling/pipeline tracking System
System Operating Manual 1990, Cataumet Mass.

DEL NORTE TECHNOLOGY

Operating Manual del Norte Trisponder Systems
D.N.T., Euless, Texas

DOBRIN, MILTON B.

Introduction to Geophysical Prospecting
Mc Graw Hill, New York, 1960

E. G. G. MARINE INSTRUMENTS

Side Scan Sonar data collection
SSS-260 Model Operating Manual System, 1987

E. G. G. MARINE INSTRUMENTS

Tow Fish Model 272-T, Operating Manual
Burlington, Mass. 1990

E. G. G. MARINE INSTRUMENTS

Model 231, 232 y 233 Triggered Capacitor Bank, Power Supply,
Capacitor Bank
Burlington, Mass. 1989

E. G. G. MARINE INSTRUMENTS

Model 402-7 Nine Electrode Sparkarray
Instruction Manual
Environmental Equipment Division, Waltman, Mass. 1977

E.G.G. MARINE INSTRUMENTS

Model 230-1 Uniboom (Unit Pulse Boomer)

Instruction Manual

Environmental Equipment Division, Waltman, Mass. 1977

E.G.G. MARINE INSTRUMENTS

E.G. & G. Hydrophones, Model 262-J

Instruction Manual

Environmental Equipment Division, Waltman, Mass. 1977

ENRIQUE DEL VALLE TOLEDO

Apuntes de Introducción a los Métodos Geofísicos de Exploración

Div. de Ing. en Ciencias de la Tierra, Fac. de Ingeniería,

U.N.A.M.

EWING, J.I. AND TIREY, G.B.

Seismic Profiler, J. Geophys.

Res., 66, 2917, 1961

FRANCISCO RUIZ VASALLO

Manual de Antenas Receptoras para T.V. y F.M.

Ediciones Ceac, julio 1989

FREDERICK GRAVES

The Big Book of Marine Electronics

Seven Seas Press

G. CLARK DAVENPORT, ALFONSO MALDONADO ZAMORA, RAFAEL NEGRILLO M.
Técnicas Geofísicas para la determinación de propiedades elásticas
1983.

GEORGE KENNEDY
Electronic Communication Systems
Mc Graw Hill, Kogakusha, 1977

HARMS, J.C. AND P. TACKENBERG
Seismic Signatures of Sedimentation models: Geophysics

JAMES G. MORGAN
Navigation and Positioning report
Chevron Geosciences Co. Houston

JANKOWSKI, W.
Empirical Investigation of some factors affecting elastic wave
velocities in carbonates rocks
Geophys Prospecting, 1970

JERALD W. CARUTHERS
Fundamentals of Marine Acoustics
Elsevier Oceanography Series

J.P. HOLMAN
Métodos Experimentales para Ingenieros
Mc Graw Hill

J.P. LINDSEY

Geophysics: The Leading Edge of Exploration
Geoquest International, Houston Texas, oct. 1989

L. HAROLD SPRADLEY

Precise Navigation for Geophysical Exploration
Navigation and Positioning Report

LEENHARDT, O.

Side Scanning Sonar. A Theoretical Study
The International Hydrographic review, V. 51, 1974

Los Satélites Artificiales

Salvat Editores

LUCAS, A.L.

A High Resolution marine seismic surveys, geophysical prospecting
New York, 1974

MARRY J.D.

Seismic Stratigraphic Exploration

MAXIRAN CORPORATION, INC

Operating Manual (Maxiran System)
Ocala, Florida, 1990

MC QUILLIN, BACON & BARCLAY

Introduction to Seismic Interpretation

Graham & Trotman LTD., London

O. LEENHARDT

Analysis of Continuous Seismic Profiles

Oceanographic Museum, Monaco

OVALLES M.W.

Interpretation des enregistrements de sismique
reflexion, Report Interne C.E.P.

R.E. SHERIFF

Report Inferring Stratigraphy from Seismic Data

The American Association of Petroleum, Houston, Texas, 1976

RICHARD E. SYLWESTER

Marine Geophysical Acoustical Techniques Fundamentals and
Applications

Williamson & Associates, Inc. Seattle, Washington 1990

RICHARD E. SYLWESTER

CRC and Book of Geophysical Exploration at Sea

Report: Single-Channel, High-Resolution, Seismic-reflection

Profiling: A review of the fundamentals and Instrumentation

Seismic Stratigraphy: Application to Hydrocarbon Exploration
AAPG Memoir 26 & 29 (Vol 1 & 2)

SERCEL POSITIONING GPS

Operating Manual Sercel Long Range Reference Station.
Differential Systems GPS
Sercel Incorporated, Houston Texas

VALLIERES T.

Test of various high resolution seismic devices in hard bottom
areas
Offshore Technology Conference (OTC), Houston

GLOSARIO

Absorción. Pérdida de energía del pulso acústico de un sistema acústico, durante su propagación a través de la columna de agua.

Babor. Lado izquierdo de una embarcación.

Batimetría. Es la medición de las profundidades de los océanos, mares, etc., utilizando comúnmente sistemas acústicos de haz estrecho.

Boomer. Instrumento sísmico, opera típicamente en el rango de 0.5 a 2.5 kHz, produce un haz cónico dirigido verticalmente hacia el piso marino. Usado como perfilador de la geología del subsuelo marino.

Borda. Parte superior del costado de un barco.

Calado. Profundidad del casco de un barco, que está en contacto con el agua.

Canal. Una o dos señales acústicas en un sistema de sonar multiseñal, es el área de la pantalla o el registro de datos obtenidos por el sistema de cada señal.

Casco. Cuerpo y estructura de una nave o barco.

Corrección. Es el proceso de retirar o eliminar los errores ocasionados por la velocidad, el ángulo de inclinación y otras distorsiones en un sistema de mapeo del piso marino, al obtener el registro final de los datos obtenidos.

Eslora. Es la longitud del casco de un barco, que está en contacto con el agua.

Estribor. Lado derecho de una embarcación.

G.P.S. (Global Positioning System). Sistema de posicionamiento global por satélite, que proporciona un alto grado de exactitud.

Hidrófono. Es un receptor (transductor) que funciona bajo el agua, transformando la energía acústica captada (en forma de ondas de presión) en energía eléctrica.

Latitud geográfica. Distancia de un punto de la tierra al ecuador, medida angularmente.

Longitud geográfica. Angulo formado entre el meridiano de un lugar y el meridiano de Greenwich.

Loran. Sistema de navegación que tiene una exactitudde más de 100 metros, basado en la medición de el tiempo de viaje de las señales de dos o más antenas costeras localizadas en una posición fija y conocida.

Manga. Es la amplitud o ancho de un barco.

Perfilador. Es un sistema que grafica una sección vertical, o una simple línea del piso marino a lo largo de una línea de exploración en un estudio oceanográfico.

Popa. Parte Trasera de un barco.

Posicionamiento diferencial. Es el proceso en el cual se utilizan por separado dos sistemas de navegación idénticos, donde uno es colocado en una posición conocida y proporciona vía un enlace de radio a un segundo sistema que se encuentra en movimiento (estación móvil) los datos calculados de su desplazamiento. Dicho proceso es utilizado para aumentar la exactitud de ciertos sistemas de navegación.

Proa. Parte delantera de un barco.

Proyector. Transductor de un sistema acústico sísmico del tipo unidireccional, que transforma una señal eléctrica en ondas de presión (señales acústicas) que serán transmitidas o propagadas en la columna de agua hasta el piso marino y debajo del mismo en algunos casos.

Puntal. Es la altura del casco de un barco de la quilla a la cubierta principal.

Quilla. Pieza de madera o hierro que forma la base del barco y que sostiene toda su armazón.