



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Ingeniería

**METODOS DE CAMPO EN LA PRESPECCION
SISMOLOGICA PETROLERA EN AREAS TERRESTRES**

T E S I S

Que para obtener el título de:

INGENIERO GEOFISICO

P r e s e n t a

RAFAEL SANCHEZ ALVAREZ

México, D. F.

**RECIBIDA POR
D. U. A.
1960**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
DIRECCIÓN GENERAL DE SERVICIOS ESCOLARES

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-165

Al Pasante señor SANCHEZ ALVAREZ RAFAEL
P r e s e n t e .

En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el - Prof. Ing. Jesús Basurto García, para que lo desarrolle como tesis - en su Examen Profesional de INGENIERO GEOFÍSICO.

"METODOS DE CAMPO EN LA PROSPECCION SISMOLOGICA
PETROLERA EN AREAS TERRESTRES"

Introducción

1. Componentes de un sistema de adquisición - de datos
 2. Técnicas de observación
 3. Teoría y resultados de patrones
 4. Procesamiento preliminar de la información sísmológica
 5. Conclusiones
- Bibliografía

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable - para sustentar Examen Profesional - así como de la disposición de la - Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del - trabajo realizado.

Atentamente,

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universitaria, D.F., a 8 de octubre de 1980
EL DIRECTOR

Ing. Javier Jiménez Espilú

JJE:MRV:adb.

MÉTODOS DE CAMPO EN LA PROSPECCIÓN SISMOLOGICA PETROLERA EN AREAS TERRESTRES

	Pág.
INTRODUCCION	1
1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS	4
1.1 FUENTES DE ENERGIA	6
1.1.1 Dinamita	7
1.1.2 Vibrosismo	8
1.1.3 Córdon Explosivo	12
1.2 SISMODETECTORES	14
1.3 EQUIPOS DE REGISTRO	18
1.3.1 Equipos de Grabación Analógica	18
1.3.2 Equipos de Grabación Digital	19
1.3.2.a Filtros	21
1.3.2.b Amplificación	24
1.3.2.c Control Automático de Ganancia	28
1.3.2.d Conversión Analógica Digital	29
1.3.2.e Grabación Digital	33
2 TECNICAS DE OBSERVACION	38
2.1 TECNICA DE TIRO CONVENCIONAL	38
2.2 TECNICA DE PUNTO DE REFLEXION COMUN	39
2.3 SISMODETECTORES MULTIPLES	41
2.4 FUENTES MULTIPLES	42
2.5 PRUEBAS DE CAMPO	43
2.5.1 Perfil de Tiempos Verticales	44
2.5.2 Perfil Corto de Refracción	46
2.5.3 Análisis de Ruido	46
2.5.4 Profundidad Optima de Tiro	53
2.5.5 Carga Optima	56
2.5.6 Off-Set	56

	2.5.7 Filtros Eléctricos de Registro	59
	2.5.8 Forma de Tiro	59
3	TEORIA Y RESULTADOS DE PATRONES	61
3.1	TEORIA	61
3.1.1	Respuesta Teórica de un Patrón	61
3.1.2	Patrón Sencillo	65
3.1.3	Patrones Combinados	65
3.1.4	Patrones a Distancias Variables	66
3.1.5	Filtro Dinámico	68
3.2	RESULTADOS	69
4	PROCEDIMIENTO PRELIMINAR DE LA INFORMACION PSICOLOGICA	81
4.1	CORRELADORES	81
4.1.1	Proceso de Suado	82
4.1.2	Proceso de Correlación	82
4.2	MINICOMPUTADORAS	83
4.2.1	Programas de Entrada	84
4.2.2	Programas de Pre-Proceso	85
4.2.3	Programas de Proceso	86
4.2.4	Programas de Utilidad	88
5	CONCLUSIONES	90
	BIBLIOGRAFIA	94

INTRODUCCION

El gran desarrollo industrial alcanzado por algunos países y en el que México no se queda a la zaga, ha repercutido en el incremento del consumo del principal energético con el que cuenta la humanidad hoy en día, el petróleo.

La gran demanda de hidrocarburos ha propiciado los avances - en las técnicas de exploración, y entre las que más desarrollo ha alcanzado, se encuentra la sismología.

Esta técnica hace el uso de los tiempos requeridos por una - onda sísmica, generada en la superficie de la tierra, la cual - se transmite a través del medio elástico del subsuelo, se refleja y refracta parcialmente en las capas geológicas y es registrada en la superficie por instrumentos detectores, que registran el movimiento vertical del suelo.

Gran parte de la energía sísmica se disipa en forma de calor, o se traduce en diferentes tipos de ondas que no interesan en - los trabajos de reflexión y que normalmente llamamos ruidos.

Las profundidades y echados de las superficies reflectoras, pueden ser calculados, utilizando los tiempos de propagación de las ondas y si se conocen las velocidades de las diferentes capas geológicas. Con estos datos se pueden hacer planos de la topografía de las superficies reflectoras.

El método sísmico de reflexión, que es el empleado actualmente en la prospección petrolera, está basado en las siguientes - leyes, que también rigen en la óptica geo-éstricas:

Principio de Huygens

Establece que cada punto alcanzado por un frente de onda, se comporta como una nueva fuente generadora de ondas que se propagan en todas direcciones.

Principio de Fermat

Este principio nos dice que un rayo dado sigue de un punto a otro la trayectoria que produce el tiempo mínimo.

Ley de Reflexión

Esta ley basada en los principios anteriores, establece que - el rayo incidente, la normal, y el rayo reflejado se encuentran en el mismo plano, y que el ángulo formado por el rayo incidente y la normal, llamado ángulo de incidencia, es igual al ángulo -- formado por la normal y el rayo reflejado, llamado ángulo de reflexión.

A la relación que existe entre la amplitud de la onda reflejada y la amplitud de la onda incidente se le conoce con el nombre de coeficiente de amplitud de reflexión, y está dado por la siguiente relación:

$$C = \frac{\rho_2 V_2 - \rho_1 V_1}{\rho_2 V_2 + \rho_1 V_1}$$

que es válida para incidente normal, siendo V_1 y V_2 las velocidades arriba y abajo de un contacto, y ρ_1 y ρ_2 las densidades correspondientes.

De donde se ve que la cantidad de energía reflejada, proporcional al cuadrado de la amplitud, depende del producto de la -- densidad por la velocidad (llamado impedancia acústica) de los -

dos medios donde se efectúa la reflexión, y es independiente de por donde se aproxima la onda incidente.

En la actualidad, en la exploración petrolera, el método sísmológico de reflexión ha desplazado totalmente al método de refracción, aunque éste se sigue utilizando en trabajos de Ingeniería Civil, Geohidrología y en la búsqueda de minerales, en donde los objetivos son de profundidad somera.

La sísmología de reflexión se ha utilizado tradicionalmente para delinear estructuras geológicas que pudiesen tener condiciones favorables para la acumulación de hidrocarburos, pero en los últimos años se ha refinado para resolver problemas de Sísmología Estratigráfica, lo cual nos permite teóricamente conocer las características litológicas del subsuelo, haciendo uso de una gama de frecuencias mucho más grande que la utilizada en la sísmología convencional.

CAPITULO I

COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ADQUISICION DE DATOS

En un sistema sísmico moderno se deben considerar básicamente los siguientes elementos:

- 1.-Fuentes de energía
- 2.-Medio elástico
- 3.-Sismodetectores y cables
- 4.-Amplificadores
- 5.-Filtros
- 6.-Registradores
- 7.-Procesadores
- 8.-Graficadores

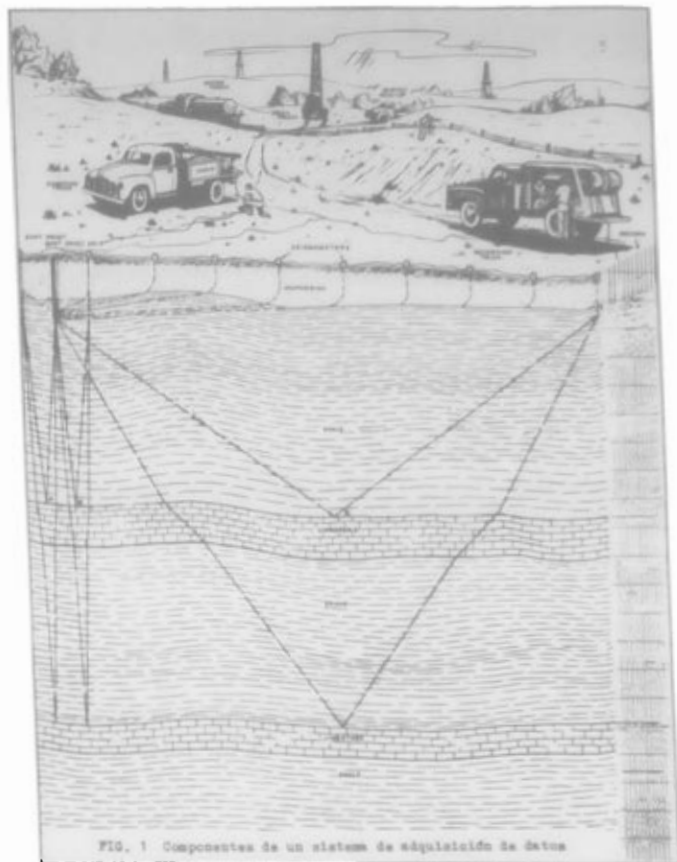
En este sistema la fuente de energía excita al terreno produciendo una onda elástica que se propaga por las diferentes capas geológicas y se recibe en la superficie por medio de los sismodetectores.

A través de los cables, la señal proveniente de los sismodetectores se conduce hasta el equipo de registro, el cual está compuesto por amplificadores, filtros y un registrador.

El equipo de registro amplifica, filtra y registra, tanto en cinta magnética como en papel fotográfico, las señales sísmicas.

En los centros de proceso se aplican las más modernas tecnologías a los datos sísmicos.

En la Fig. 1 se muestran los elementos de un sistema de adquisición



sición de datos.

1.1 FUENTES DE ENERGIA

En la actualidad existen muchas formas de provocar un disturbio que se propague en forma de onda a través de las capas del - subsuelo, éstas técnicas se han clasificado (Totosaus E.J., 1976) por sus características en los siguientes grupos:

- 1.-EXPLOSIVOS QUIMICO-SOLIDOS.-Dinamita, Geoflex, Aquaseis, - Flexotir, Maxipulse, Prima---cord.
- 2.-FUENTES VIBRATORIAS-Vibroseis
- 3.-EXPLOSIONES DE GAS- Dinoseis, Aquapulse, Deltapulse.
- 4.-AIRE COMPRIMIDO-PAR, Seismojet, Terrapack.
- 5.-FUENTES MECANICAS - Hammer, Thumper.
- 6.-FUENTES ELECTRICAS -Spark-Array, Sono-Probe, Boomer, Finger.
- 7.-FUENTES EFLOSIVAS -Hydroseis.

De todos los anteriores métodos, la dinamita sigue ocupando un lugar predominante en los trabajos terrestres, seguido en - orden de importancia por los métodos de Vibroseis, Geoflex, -- etc. (que son marcas industriales).

La gran diversidad de fuentes de energía permiten al geofísico utilizar la que mejor se adapte a las necesidades de un - prospecto en particular.

Dado que el tema Fuentes de Energía ha sido tratado con an-

terioridad a este trabajo, solo se darán las características - principales de las fuentes de energía más usadas en la actualidad de México.

1.1.1 DINAMITA

Históricamente la dinamita fué la primera fuente de energía utilizada en la exploración sísmica.

El explosivo se presenta en tubos de plástico de aproximadamente 2 pulgadas de diámetro, 2 pies de largo, y con aproximadamente 2.5. Kgs. de material explosivo.

Es necesario un aditamento especial llamado fulminante para hacer detonar el explosivo, el cual es activado por un impulso eléctrico desde la caja de tiro, la que al mismo tiempo manda una señal de radio al equipo de registro, instante en el cual se empiezan a registrar los datos.

La carga requiere colocarse a cierta profundidad por debajo de la superficie del terreno, para esto se perforan pozos de 8-10 cms. de diámetro y de 20 a 30 metros de profundidad.

Existe una gran variedad de equipos de perforación, de acuerdo con las necesidades de cada área en particular.

En un equipo de perforación tal como el que se muestra en la Fig. 2, consta básicamente de las siguientes partes:

MASTIL.- Es la estructura que soporta el peso de la tubería de perforación, su capacidad es de 30,000 Lbs., de 27 pies de largo. Puede ser levantado ó abatido por dos gatos hidráulicos.

UNIDAD DE POTENCIA.- La potencia es suministrada por el camión y depende de las especificaciones de éste.

BOMBA DE LODO.- Esta proporciona el fluido de perforación con un gasto de 150 galones por minuto.

MESA ROTARIA.- Es la que proporciona el movimiento de rotación con un diámetro de 5" y una rapidez de 25 a 300 R.P.M., en tres - velocidades.

ESTACION DE CONTROL.- Aquí se encuentran todos los controles - para la perforación.

CAMION.- La unidad completa es de 17,000 Lbs. de peso, con una longitud de 175 pulgadas de distancia entre ejes.

Existen algunas otras partes como sangueras, Kelly, corona, arena de lodo, Swivel, etc. La capacidad de estos equipos es - de 1000 a 1500 pies a un diámetro de 8 pulgadas.

1.1.2 VIBROSEIS

Uno de los más grandes avances en la exploración sísmica, - lo constituye el método Vibroseis, el cual utiliza vibradores hidráulicos y de control electrónico, para generar ondas sísmicas.

Este sistema utiliza una señal de barrido de frecuencia para generar trenes de ondas sísmicas. Estos trenes, viajan a -- través de la tierra, se reflejan y refractan parcialmente desde cada uno de los contactos geológicos para posteriormente -- ser registrados.

La onda sísmica se transmite a la tierra a través de una -- plancha metálica. El movimiento relativo entre la placa y su masa de reacción es activada por un sistema hidráulico que consiste de un cilindro y un pistón. La masa de reacción está firmemente montada en el cilindro y la placa base al pistón.



FIG. 2 Perforadora



FIG. 3 Vibrador

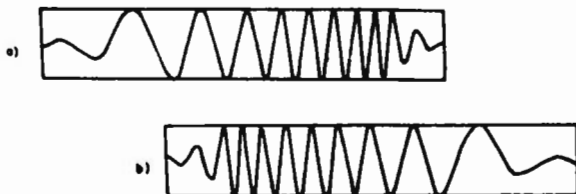


FIG 4 a) BARRIDO ASCENDENTE b) BARRIDO DESCENDENTE

Un fluido hidráulico a alta presión entra y sale del cilindro forzando la masa hacia arriba y la placa base hacia abajo alternadamente.

El flujo hidráulico que va al pistón maestro se controla — con una serie de servo válvulas, que a su vez, son controladas por una señal eléctrica.

Un circuito de retro-alimentación se usa para sincronizar la velocidad de la placa base con la señal de entrada.

Existe un circuito especial de cambio de fase que está insegurado entre la señal de entrada y el sistema hidráulico de manera que la placa base esté siempre en fase con la señal de entrada.

Se ha hecho una práctica muy común, utilizar tres ó cuatro — vibradores, por lo que es necesario que estén sincronizados, — así que es indispensable que diariamente se ajusten y se prueben.

En la Fig. 3, podemos ver un vibrador.

La señal de entrada es un barrido de frecuencias, de longitud o duración T , con una frecuencia inicial f y una frecuencia final f_2 . El barrido puede ser de forma ascendente ó descendente como puede verse en la Fig. 4.

Las frecuencias inicial y final definen un ancho de banda, — como una diferencia de frecuencias f_2 menos f_1 , expresado en — Hz., ó como una relación en octavas.

$$b = f_2 - f_1 \quad \text{en Hz}$$

$$b = 2^n \quad \text{en } b_0$$

Al promedio de frecuencias lo llamamos frecuencia media y está dada por la siguiente expresión.

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2}$$

La fórmula matemática de la señal de barrido, es la siguiente

$$f(t) = \cos \left[2\pi \left(f_0 + k \frac{T}{2} \right) t \right] \quad \text{para } -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$$

en donde

t	Tiempo
f_0	Frecuencia media
k	Índice de barrido de frecuencia
T	Longitud de la señal
Δ	Ancho de banda del barrido

Supongamos que tenemos un barrido de 10-40 Hz y de duración 6 segundos.

$$\begin{aligned} f_0 &= \frac{10 + 40}{2} = 25 \text{ Hz} \\ k &= \frac{40 - 10}{6} = 5 \text{ Hz/seg.} \\ \Delta &= 40 - 10 = 30 \text{ Hz} \end{aligned}$$

La autocorrelación de la señal de entrada, llamada Ondícula de Klauder, da el tiempo cero para los correlogramas, que son los equivalentes de los sísmogramas convencionales.

El filtro que se requiere para reducir el barrido lineal se conoce como filtro de correlación, y tiene una respuesta de impulso $h(t)$ que es el tiempo inverso a la señal, es decir:

$$h(t) = \cos \left[2\pi \left(f_0 - k \frac{T}{2} \right) t \right]$$

para $-\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}$, $h(t)$ es fuera de los límites dados.

La salida de filtro es la siguiente

$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) h(x-t) dt$$

La cual es la función de autocorrelación del barrido, la que al evaluarla nos queda de la siguiente forma:

$$g(x) = \frac{1}{T} \left[\frac{\sin \pi x \tau (T - |x|)}{x \tau} \right] \cos 2\pi f_0 x$$

para $-T \leq x \leq T$, 0 fuera de los límites dados.

En la Fig. 5 se muestran algunas ondas de Klauder en las que se han variado las frecuencias inicial y final, en la primera serie el ancho de la banda se mantiene en dos octavas, en la segunda la frecuencia media es de 20 Hz y en la tercera el ancho de banda es igual a 24 Hz.

1.1.3 CORDON EXPLOSIVO

En algunas áreas en las cuales es muy difícil la perforación de pozos de tiro ó la capa intemperizada es relativamente delgada, se ha venido utilizando el cordón explosivo, el cual no necesita de un pozo para su utilización, este método que ha recibido nombres comerciales como Geoflex, Piracord, ha sido usado ocasionalmente en la República Mexicana.

El cordón explosivo está constituido por un núcleo o de material compuesto de una sustancia explosiva, que está mezclada con residuos textiles y una cubierta de plástico.

El cordón se introduce al terreno por un tractor acondicionado especialmente para ello, el cual está provisto de una ó -

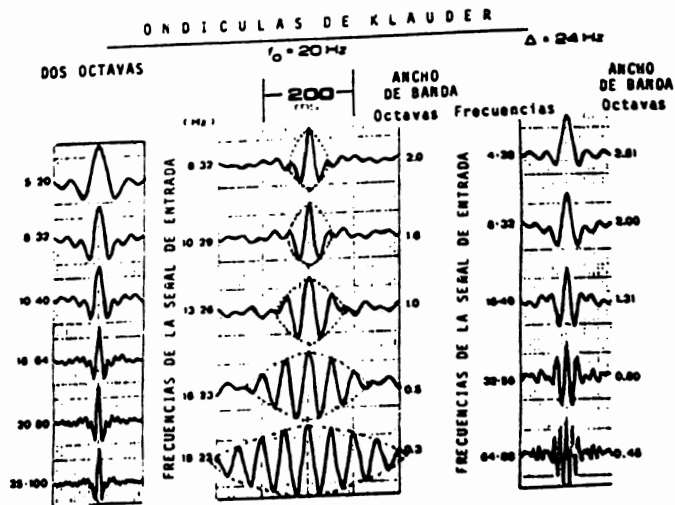


Figura 5

EFFECTO DEL ANCHO DE BANDA DE LA SEÑAL DE ENTRADA SOBRE LA FORMA DE LAS ONDULAS DE KLAUDER

varias cuchillas, los cuales a su vez están provistos de un tubo a través del cual pasa el cordón y de esta forma queda enterrado a medio metro de la superficie del terreno.

Es más eficiente el uso de varias líneas de cordón detonante ya que actúan como una serie de pozos múltiples, separados por distancias infinitesimales, y por lo tanto puede actuar como un filtro para la atenuación de ruidos. Entre las ventajas de esta técnica está la reducción de equipos accesorios, así también se puede utilizar como fuente direccional.

1.2 DETECTORES

El detector también llamado geófono, y con más propiedad -- transductor, es el elemento primario a través del cual se reciben las señales provenientes del subsuelo.

Los detectores son elementos que transforman el movimiento del suelo en señales eléctricas que puedan ser registradas. Los detectores solo responden a la componente vertical del movimiento del suelo, en los trabajos de prospección.

El tipo de transductor de más uso en la actualidad en la exploración petrolera terrestre, es el electromagnético.

En la Fig. 1 se puede ver un detector.

Los geófonos de tipo electromagnético están compuestos principalmente por una bobina y un imán permanente, éste último se encuentra fijo a la caja que cubre los elementos; la bobina es el elemento móvil, de manera que cualquier movimiento relativo entre la bobina y el imán produce una fuerza electromotriz en-

entre los terminales, la cual es proporcional a la velocidad del movimiento.

La sensibilidad de los detectores depende de las características del inán y del número de espiras de la bobina.

Todos los detectores, tienen una resistencia conectada entre los terminales para amortiguar los movimientos oscilatorios. Entre las características de los detectores podemos mencionar algunas de las más importantes que se deben tener en cuenta a la hora de elegir el tipo de detectores para un prospecto específico.

DISTORSION.- Se refiere al cambio que sufre la onda al pasar de un desplazamiento a una señal eléctrica, se expresa en % y debe ser en general menor que el 5%.

RANGO DE FRECUENCIAS.- Se refiere a las frecuencias entre las cuales puede operar eficientemente el teléfono, para trabajos de reflexión el rango más acertado es el de 5-60Hz.

RESISTENCIA DE LA BOBINA.- De la resistencia de la bobina de la transducción, está expresada en ohms.

TRANSDUCCION.- Es la constante de cambio del movimiento vertical a una señal eléctrica, es función de la resistencia de la bobina y se expresa en volta/cm./seg.

CAMBIO DE FRECUENCIA CON LA INCLINACION.- Es una de las características más importantes, ya que por lo general los detectores -

no se entierran verticalmente, es deseable 0.5 Hz a 20°.

DIÁMETRO, PESO Y TAMAÑO.— Esta característica es importante sobre todo cuando se deben usar bastantes detectores por traza para mejorar la relación señal-ruido, en la actualidad se dispone de detectores hasta de 3 cms. de diámetro, 4 cms. de altura y — 150 grs. de peso.

Generalmente los fabricantes presentan las características de los detectores en gráficas, en las que la ordenada es el voltaje de salida normalizado y la abscisa es la frecuencia en Hz.

En las gráficas cada curva corresponde a una cantidad de amortiguamiento, dado en % del amortiguamiento crítico, el cual es — el máximo que se puede emplear sin destruir el carácter oscilatorio de señal.

En estas curvas se puede ver un máximo pronunciado a la frecuencia natural, la cual es función del período natural y su valor depende de la masa y del coeficiente de rigidez K, dado por la siguiente relación:

$$T_n = 2\pi \sqrt{m/k}$$

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

Los geófonos son normalmente proporcionados por los fabricantes en cuerdas o conjuntos, en las que puede haber cualquier número de geófonos, pero los más comunes son los de 6, 9 y 12. Al final de cada cuerda en un arreglo, se conectan con el cable — CDP, el cual conduce las señales sísmicas hasta el sísmógrafo.

El cable CDP contiene muchos pares de alambres (96), y tiene una longitud que puede variar entre 80 y 120 metros con una o —

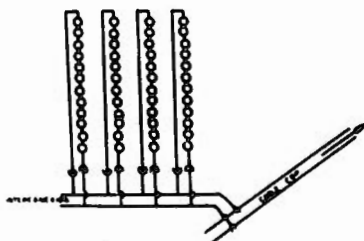


FIG. 7a Conexiones eléctricas de un arreglo de geófonos con 4 cables en paralelo de 12 elementos cada uno.

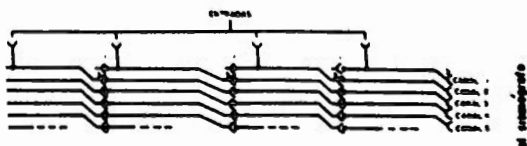


FIG. 7b Cable CDP de una entrada

dos salidas, en cada salida se pueden conectar las cuerdas de geófonos.

En las Figs. 7a y 7b, se puede ver la forma en que pueden conectarse las cuerdas de geófonos al cable CDP y una gráfica del cable CDP para una entrada.

1.3 EQUIPOS DE REGISTRO

Como ya se hizo notar anteriormente, la sismología es el método geofísico que más éxito ha tenido en la exploración petrolera gracias a los avances de la teoría de las comunicaciones y la electrónica.

Los resultados de una exploración sísmica siempre dependen de la calidad de los datos obtenidos en el campo, y en esta fase los equipos de registro deben reunir algunas características como son: alta fidelidad, bajo ruido instrumental y un amplio rango dinámico de grabación.

Los equipos de registro se pueden clasificar en equipos con sistema de grabación analógica y equipos con sistema de grabación digital.

1.3.1 EQUIPOS CON SISTEMA DE GRABACIÓN ANALÓGICA

Los sistemas de grabación analógica se pueden clasificar en los que emplean Amplitud Modulada y los de Frecuencia Modulada.

En cualquiera de los dos sistemas el funcionamiento general es el siguiente, las señales eléctricas enviadas por los detectores, son amplificadas y registradas por un galvanómetro, en -

cinta magnética ó en papel fotográfico en forma análoga al movimiento del suelo.

Estos sistemas de grabación se dejaron de usar, ya que presentaban algunos problemas como los que se mencionan a continuación.

La señal máxima que se puede grabar, está limitada por la saturación magnética de la cinta.

No permiten la grabación de un amplio rango de amplitudes, ya que, en condiciones ideales varía de 0-54 db.

Son afectados por la variación en la velocidad de la cinta, así como cambios en su longitud.

No permiten grabar la verdadera amplitud de las señales.

1.3.2 EQUIPOS CON SISTEMA DE GRABACIÓN DIGITAL.

En este sistema de grabación en cinta magnética, la señal analógica procedente del detector se amplifica, para después ser muestreada a ciertos intervalos de tiempo, su amplitud se representa por un número, el cual queda grabado junto con la ganancia aplicada.

Los sistemas de grabación digital se pueden clasificar en:

a) Sistemas de grabación digital con amplificadores síncronos de ganancia binaria.

b) Sistemas de grabación digital con amplificadores síncronos de ganancia instantánea de punto flotante (Fig.²).

Estos sistemas tienen algunas ventajas que superan a los equipos de grabación analógica.

a) Amplio rango dinámico

b) Recuperación de la verdadera amplitud

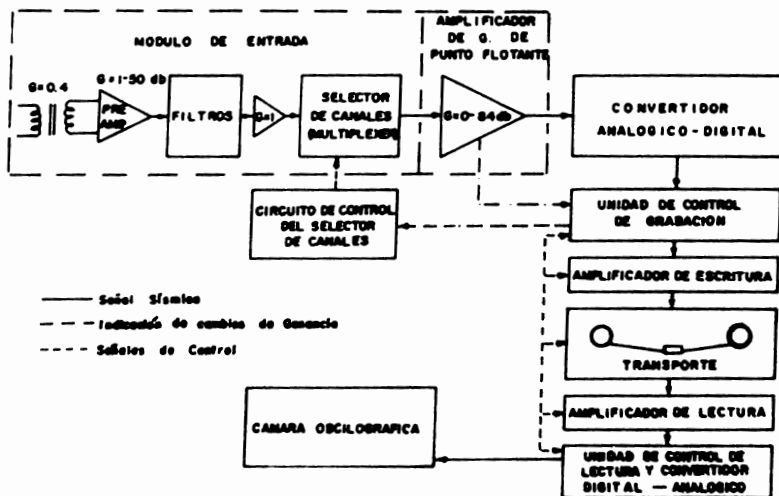


FIG. 8 DIAGRAMA ESQUEMATICO DE UN EQUIPO DE
PUNTO FLOTANTE

c) El ruido instrumental es mínimo (0.1 microvolt).

1.3.2.a FILTROS

Una vez que señales sísmicas han sido preamplificadas, estas pasan a la sección de filtros en donde es eliminado el ruido que acompaña a la información.

En estos sistemas por lo general se emplean filtros activos a base de circuitos RC que emplean amplificadores operacionales con retroalimentación, para acentuar más la atenuación. El objeto de emplear de estos tipos de filtros es para obtener mejor sensibilidad, circuitos más ligeros, compactos y sencillos. En la Fig. 6 se muestra la sección de filtros.

FILTRO DE PASO ALTO

La sección de filtro de paso alto, aplica 12 db de atenuación por octava, a frecuencias más bajas de la frecuencia de corte, esto es cuando se aplica una sección de filtros, pero cuando se aplica un filtro doble, la atenuación por octava es de 24 db.

FILTRO DE PASO BAJO

Esta sección de filtros es también a base de condensador y resistencia, proporciona una atenuación de 12 db por octava a frecuencias arriba de la frecuencia de corte, cuando se utiliza filtro doble la atenuación es de 24 db.

FILTRO NOTCH

Es un filtro de corte de banda angosta diseñado para atenuar las frecuencias de 50 ó 60 Hz, y evitar inducciones causadas -- por líneas eléctricas de alta tensión.

FILTRO ALIAS

Estos filtros atenúan señales cuya frecuencia es mayor ó -- igual a la frecuencia de Nyquist, para evitar que las señales -- que se van a muestrear sean deformadas al ser grabadas.

La frecuencia de muestreo se define como la inversa del intervalo de muestreo.

$$f_s = \frac{1}{T_s}$$

En donde T_s es el intervalo de muestreo.

La frecuencia de Nyquist se define como la mitad de la frecuencia de muestreo.

$$f_n = \frac{1}{2T_s}$$

Si la señal por muestrear es de mayor frecuencia que la de -- Nyquist, el muestreo será insuficiente y la señal que se reproduzca no será igual que la original. Entre más número de muestras se tomen de una señal, la reproducción de ésta tendrá que ser más semejante a la señal original, pero el intervalo de -- muestreo está limitado por ciertos problemas, como por ejemplo se necesita más cinta magnética, más tiempo en el procesamiento, -- etc. De la práctica y de acuerdo con las necesidades en sismología, se ha observado que el número mínimo de muestras que deberá tomarse a las señales sísmicas es de 4 por ciclo, por lo que el intervalo de muestreo será

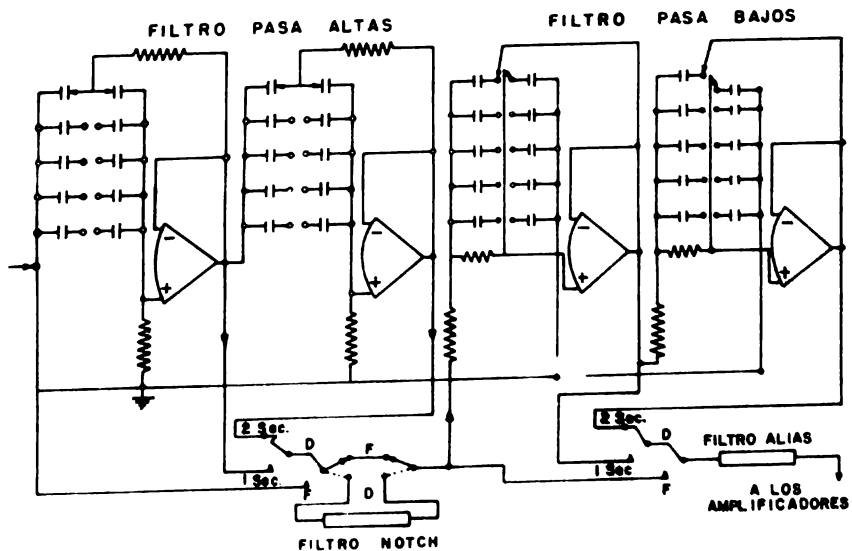


FIG. 9 SECCION DE FILTROS

$$T_s = \frac{1}{4f}$$

Como el rango de señales sísmicas registradas es dentro de la banda de 10-60 Hz y en algunos casos 10-70 Hz, esto simplifica el proceso de selección de muestreo.

Suponiendo que la frecuencia máxima por muestrear es de - - 125Hz, la relación de muestreo es

$$T_s = \frac{1}{4 \times 125} = 2 \times 10^{-3} \text{ seg.}$$

O sea que una muestra cada 2 milisegundos es necesaria para identificar a cualquier tipo de señal sísmica entre ese rango - de frecuencias. Aún si se analiza el muestreo de 4 milisegundos se observa que la frecuencia máxima que se puede muestrear es

$$f = \frac{1}{4 \times 4 \times 10^{-3}} = 62.5 \text{ Hz.}$$

Por esto los tipos de muestreo que se pueden utilizar en sísmología es de 4 y 2 milisegundos y de 1 milisegundos si se desea tener mucho control de la señal.

En el caso de que se utilice el muestreo de 4 milisegundos el filtro alfas será un filtro de corte alto de 62 Hz.

1.3.2.b Amplificación

En condiciones normales de operación, las señales sísmicas - provenientes de los sismodetectores, son demasiado pequeñas como para que puedan ser grabadas. Por lo que se hace necesario - amplificarlas.

Un amplificador es un dispositivo electrónico que incrementa la amplitud de la señal de entrada. Por esto el interés en los amplificadores radica en la relación entre la señal de salida a la señal de entrada.

En general la salida de un amplificador es la entrada multiplicada por un factor constante, llamado ganancia del amplificador.

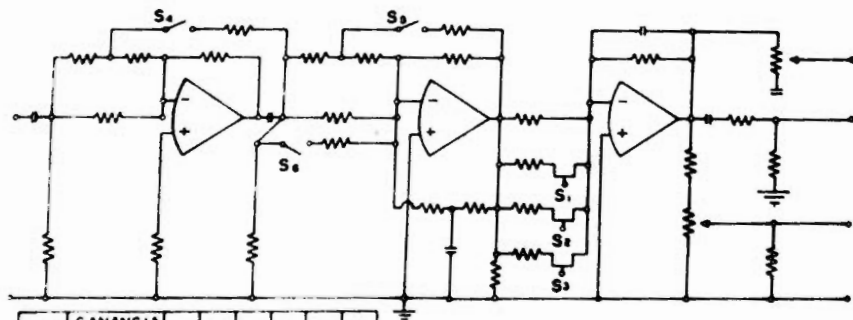
Los amplificadores se pueden clasificar en amplificadores de potencia, voltaje ó corriente dependiendo de lo que sea amplificado. Los amplificadores, no son lineales y una manera de especificar la no linealidad de un amplificador para la amplitud de una señal síncrona es en términos de distorsión armónica. También en algunos elementos de un amplificador se genera ruido.

En la Fig. 10, se muestra un amplificador de ganancia binaria, el cual tiene tres amplificadores operacionales. Estos amplificadores tienen las siguientes características:

- 1) La impedancia de entrada del amplificador es muy alta.
- 2) La impedancia de salida del amplificador es baja.
- 3) El amplificador es de acople directo.
- 4) El desplazamiento de fase del amplificador es de 180° grados.
- 5) La ganancia de voltaje es alta.

El amplificador de la Fig. 10, puede proporcionar hasta 16 diferentes niveles de ganancia ajustados automáticamente por 6 switches. Tres de ellos son controlados por medio de 3 relevadores de muy alta velocidad y los otros tres por medio de transistores tipo "PET", que operan con variaciones de voltajes de polarización para conducir ó interrumpir su conducción.

La ganancia del amplificador es de acuerdo con la posición de los switches como se muestra en la figura.



COD	GANANCIA AMP - DB	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆
2 ⁰	1	0	0	0	0	C	C
2 ¹	2	0	C	0	0	C	C
2 ²	4	0	C	C	0	C	C
2 ³	8	0	C	C	C	0	C
2 ⁴	16	0	C	C	C	C	0
2 ⁵	32	0	C	C	C	C	C
2 ⁶	64	0	C	C	C	C	C
2 ⁷	128	0	C	C	C	C	C
2 ⁸	256	0	C	C	C	C	C
2 ⁹	512	0	C	C	C	C	C
2 ¹⁰	1024	0	C	C	C	C	C
2 ¹¹	2048	0	C	C	C	C	C
2 ¹²	4096	0	C	C	C	C	C
2 ¹³	8192	0	C	C	C	C	C
2 ¹⁴	16384	0	C	C	C	C	C
2 ¹⁵	32768	0	C	C	C	C	C

FIG. 10 AMPLIFICADOR DE
GANANCIA BINARIA

La ganancia máxima que puede proporcionar cada amplificador es de 90 decibeles, equivalentes a 15 pasos de amplificación binaria.

Un paso de amplificación binaria duplica la amplitud de la señal de entrada.

$$G_{\text{dB}} = \frac{P}{P_0} = 2$$

Expresando la ganancia en decibeles tenemos

$$G_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} = 6 \text{ dB}$$

Por lo que la ganancia máxima del amplificador será:

$$G_{\text{dB}}(\text{máx.}) = 15 \times 6 = 90 \text{ dB}$$

Dentro de los equipos sísmológicos se ha introducido un nuevo sistema llamado "Equipo de grabación digital de campo con amplificadores de control de ganancia instantáneos de punto flotante".

A estos equipos se les han hecho algunas mejoras con respecto a los equipos de ganancia binaria, para optimizar el sistema de grabación digital.

El amplificador de punto flotante, es de ganancia cuaternaria de 0-24 db, ajustables en forma automática e instantáneos en siete pasos de ganancia de 12 db cada uno, de acuerdo con la amplitud de la señal de entrada.

La variación de ganancia se hace en cada muestra al valor máximo de ganancia posible. Es decir, si es necesario, la ganancia del amplificador puede variar 24 db, en cada muestra en ambas direcciones, para que el valor de la señal amplificada quede cerca del valor máximo de señales aceptables por el convertidor analógico-digital. Para asegurar que la señal amplificada no sobrepase al límite de salida del amplificador, existe un comparador de voltaje, a base de circuitos diferenciadores, que com-

trolan ó ajustan la amplificación, en casos de ganancia cuaternaria, manteniéndola siempre en el rango apropiado.

Se dice que el amplificador es de ganancia cuaternaria, por - que sus variaciones de ganancia son de cuatro, es decir:

$$G_{an} = \frac{S}{S} = 4$$

Lo que expresado en db

$$G_{an} = 20 \log_{10} 4 = 12 \text{ db.}$$

Por lo que la ganancia máxima será:

$$G_{an}(\text{máx.}) = 12 \times 7 = 84 \text{ db}$$

1.3.2.c Control Automático de Ganancia

Los equipos analógicos, en la fase de amplificación, disponían de una etapa de control de ganancia en forma automática, cuya función era la de normalizar la respuesta del amplificador para los diferentes niveles de señal.

El control automático de ganancia cambia la verdadera amplitud de la señal, y por ésta razón y otras, como el bajo rango dinámico los equipos analógicos han sido desplazados por los equipos de grabación digital. En estos equipos, la amplitud de la señal y la ganancia aplicada son grabados en forma numérica, la recuperación de la verdadera amplitud de la señal proveniente del sismodetector puede ser determinada con gran exactitud, lo cual permite relacionar los eventos registrados con los coeficientes de reflexión de los diferentes contactos estructurales del subsuelo.

En los equipos de amplificación de ganancia binaria existe un circuito de control de ganancia, el cual toma parte de la señal de salida del amplificador y la envía a un circuito comparador. Si la señal de salida del amplificador está por abajo de un cuar-

to del nivel máximo de grabación del sistema de grabación digital el comparador envía una señal al circuito de control ordenando - se suba la amplificación.

Si el nivel de la señal excede a los tres cuartos de la escala máxima de grabación, una señal generada en este sistema es - enviada al circuito de control para que reduzca la ganancia 6 - db.

Hay que hacer notar que los aumentos de ganancia son ordenados por el comparador, y las reducciones de ganancia son mandados por una señal enviada desde el sistema de grabación.

En los amplificadores de punto flotante, existe un comparador de voltaje a base de circuitos diferenciadores, que controlan ó ajustan la amplificación, en pasos de ganancia cuaternaria, manteniéndola siempre en el rango apropiado.

1.3.2.d Conversión Analógica-Digital

Para la conversión de datos de analógico al digital se emplean, los siguientes circuitos:

- a) Multiplexer
- b) Muestreador y Retensor de Datos
- c) Convertidor Analógico-Digital

El multi-lexer es prácticamente un selector matricial de 32 canales por milisegundo (cuando el muestreo es cada milisegundo) para permitir muestrear canal por canal y digitalizar todas las - señales sónicas cada milisegundo. En la Fig.11, se muestra el circuito multiplexer.

El multiplexer está integrado por un contador Johnson, 12 en

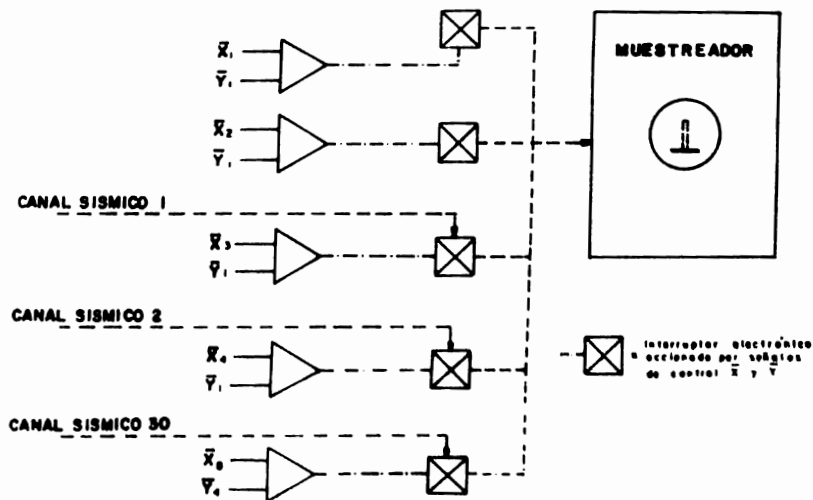


FIG. II CIRCUITO SELECTOR DE CANALES (MULTIPLEXER)

plificadores y canales de multiplexado.

El contador Johnson proporciona doce señales de salida las cuales se combinan para seleccionar los 32 canales de multiplex, estas señales son amplificadas, para que puedan controlar los canales de conmutación para seleccionar los diferentes canales sínclicos.

Los canales de multiplexado son en sí canales de conmutación a base de transistores del tipo FET, y son accionados por la combinación de las doce señales. El muestreador y reten de datos es un circuito el cual toma muestras de la amplitud de las señales sínclicas seleccionadas por el multiplexer.

El circuito convertidor analógico al digital, tiene como función, transcribir la amplitud de las muestras de las señales sínclicas analógicas en un número de varios dígitos binarios. El digitizador emplea fuentes fijas de voltaje que actúan como patrones de comparación para digitalizar las señales que oscilen entre más o menos 10 volts. Con la particularidad de que el número binario que representa a voltajes negativos es el complemento en uno del número binario que representa voltajes positivos.

La forma de transcribir lo hace a base de la comparación de la señal con 14 patrones de amplitud y un patrón de signo para determinar el signo y la amplitud de la señal.

Los 14 patrones de amplitud son de magnitud fija, en donde el primer patrón es el de mayor amplitud y tiene el doble de magnitud que el patrón que le sigue. El segundo es de doble magnitud que el tercero y así consecutivamente.

En la Fig. 12 se muestra un ejemplo, primero se checa el sig

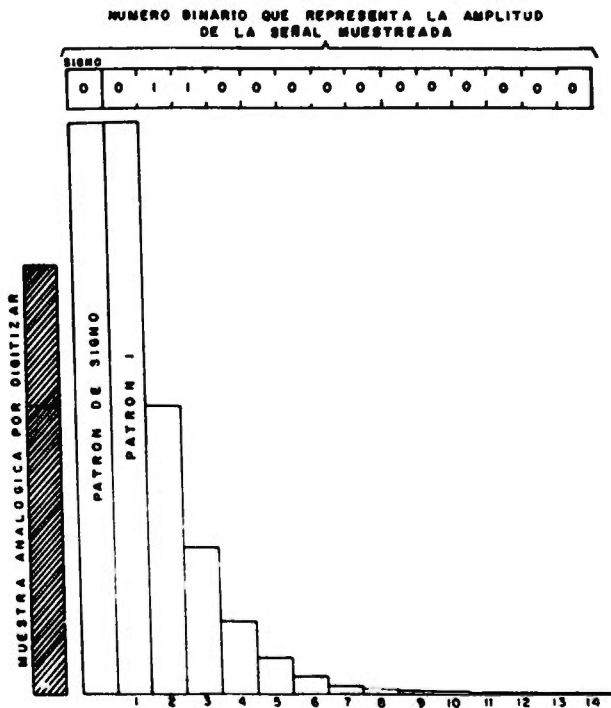


FIG 12 DIGITIZACION DE UNA MUESTRA ANALOGICA POR
MEDIO DE LA COMPARACION DE ESTA SEÑAL CON
PATRONES DE DIGITIZACION

no de la señal, si es positivo, el patrón de signo envía a registrar un bit 0. Después la señal se compara con el patrón de amplitud más grande y como la señal es de menor amplitud, este patrón envía un bit 0, y se pasa a comparar la señal con el segundo patrón, en donde la señal es mayor que este patrón, por lo que se registra un bit 1, se hace la resta y el residuo de la señal se pasa a compararse con el tercer patrón, como la resta de la señal es igual en amplitud que el tercer patrón, se registra un bit 1, pero como la señal restante de la última comparación es cero, los demás bits serán cero.

Después de la comparación de la señal con todos los patrones, se dice que el número digital que representa a la muestra de la señal analógica de entrada es el número binario -----
011 000 000 000 000. Al terminar de digitizarse una señal pesa a grabarse.

1.3.e Grabación Digital

Una vez que la muestra ha sido digitizada, se obtiene una palabra de 16 bits ordenados en una columna, la cual se presenta a grabación y es dividida en dos bytes, a uno de estos se le agrega un bit "2" para que sea un byte con 8 bits, después se cuenta la paridad de cada byte, para determinar y grabar el valor del bit de paridad junto con los bytes de datos.

Inmediatamente después de las cabezas de grabación se encienden las cabezas de reproducción que se emplean durante la grabación, para detectar y contar los errores de paridad, esto se hace comparando la paridad leída con la paridad registrada.

Esto permite en una forma aproximada conocer la fidelidad de la grabación de los datos sísmicos.

Dentro de los equipos existe una unidad de control de grabación la cual se encarga de controlar la grabación de los datos en la forma especificada por un formato.

Debido a la gran cantidad de equipos digitales, se desarrolló una variedad de formatos de grabación digital, empleando 7, 9 y 21 pistas en cinta magnética de 1/2 pulgada, y por ésta razón la SED, propuso, en 1967, se estableciera un formato unifono. De este intento, se intentó establecer en sismología la grabación digital empleando 9 pistas en cinta magnética de 1/2 pulgada.

Los formatos recomendados por la SED fueron denominados "A", "B" y "C".

Formato A

En la Fig. 1ja. se puede observar la secuencia de grabación en éste formato, en la que se pueden distinguir tres secciones:

- a) El Encabezado
- b) Sección de Datos Sísmicos
- c) Sección de Identificación de Fin de Registro.

En el encabezado, son grabados todos los datos de enunciado de un registro, tales como: número de registro, número de carril digital y ajustes instrumentales.

En la sección de datos sísmicos son grabados los pulsos de - sincronía, datos de amplitud y ganancia con que fueron grabados. Esta sección cuenta con varios bloques de ganancia y estos a su vez se subdividen en 30 bloques de datos. Cada bloque de datos contiene los datos de los 24 canales sísmicos y de 6 extras to-

nados para cada muestra.

La sección de identificación del fin del registro, lo integran dos caracteres de redundancia, un espacio sin grabación de 1.5 cms. llamado "JAP" y otras dos marcas de fin de registro. Cuando se graba el último registro de una cinta, ésta sección se repite.

El formato "B", es muy similar al formato "A" y la principal diferencia que existe entre éstos, está en la forma de grabación de la ganancia aplicada a los datos grabados en la cinta. El formato "A" monitorea la ganancia de un canal sísmico, cada vez que se toman 30 muestras, pero graba si la ganancia sube ó baja en cada muestra tomada.

El formato "B", registra la ganancia de todos los 24 amplificadores cada muestra.

Formato C

Debido a las innovaciones como los amplificadores de punto flotante instantáneo y la densidad de grabación de 1600 b.p.p., la SEG recomendó la adopción de un formato de cuatro bytes por muestra y palabra completa en punto flotante el cual fué designado formato "C".

En la Fig. 13 b, se muestra en forma general las especificaciones del formato "C", en el que se pueden ver tres secciones.

- a) Sección de Encabezado
- b) Sección de Datos
- c) Marcas de Fin de Registro

En la sección de encabezado se graban los datos de número de registro, fecha, filtros, ganancias, intervalo de muestreo, etc.

De acuerdo con éste formato, la amplitud de la señal es grabada en una palabra de 4 bytes (32 bits) en el cual el primer bit es llamado Q_s , e indica el signo de la muestra. Los siguientes 7 bits, forman el exponente llamado Q_e y los 24 bits restantes forman la fracción llamada Q_f .

Esta representación, permite indicar la amplitud de la señal por medio de una fracción y un exponente del número 16, que equivale al número decimal 64, de tal forma que la amplitud de la señal quede expresada por la ecuación:

$$\text{Amplitud de la señal en millivolts} = 16^{(Q_e - 64)} \times |Q_f|$$

Donde el signo de la amplitud de la señal es dado por Q_s .

La marca de fin de registro se repite en el caso de que termine la cinta.

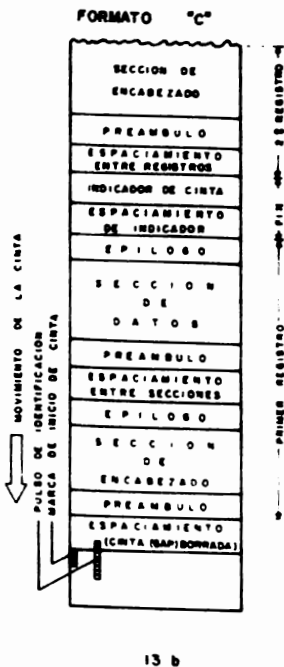
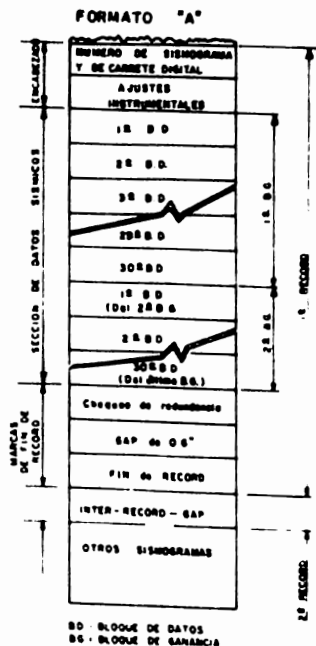


FIG. 13 SECUENCIA DE GRABACION EMPLEANDO FORMATOS "A" Y "C"

CAPITULO 2

TECNICAS DE OBSERVACION

Una vez que se tienen todos los elementos para una prospección por sismología de reflexión, se debe de conocer la disposición que deben de guardar los detectores y los puntos de tiro.

A estas disposiciones se les ha dado el nombre de técnicas de observación y todas estan encaminadas a obtener una mejor relación señal-ruido.

En sismología se considera como ruido a todas aquellas señales que interfieren a los reflejos. Así podemos tener como ruido a las ondas superficiales, onda de sonido, ondas fortuitas, onda directa, difracciones, reflejos múltiples, reflejos fantasma, reverberaciones, etc.

2.1 SISTEMA DE TIRO CONVENCIONAL

Se conoce como sistema de tiro convencional al método con el cual mediante un arreglo determinado de detectores y puntos de tiro se puede obtener un control continuo de la superficie reflectora en el subsuelo.

En la Fig. 1, se puede ver la disposición bilateral para el registro continuo, en este sistema los geófonos estan separados uniformemente entre los puntos de tiro, y cada detector recibe las señales de las explosiones adyacentes.

La explosión da el control del subsuelo de un 50% con respecto al cubrimiento en la superficie, el otro 50% del control lo

aporta la explosión en el punto de tiro consecutivo, y conforme se avanza solo se necesita cambiar la mitad del tendido. En la Fig. 14, una vez que la explosión en B ha sido registrada, el tendido que existe entre A y B, se cambiará entre C y D.

Este sistema se dejó de usar en la exploración retrolera, porque en áreas difíciles no permitía una correlación continua y confiable de los datos obtenidos.

2.2 SISTEMA DE PUNTO DE REFLEXIÓN ÚNICO

El principio básico del método es combinar la información asociada a un cierto punto de reflexión, pero registrado con -- distintos puntos de tiro y captada por los detectores en distintos lugares, después de aplicarle a cada uno de las señales provenientes de diversas trayectorias, las correcciones necesarias en tiempo, esto se puede apreciar en la Fig. 15.

La onda reflejada se sumará un número de veces de acuerdo con el número de señales usadas, y el ruido al no ser coincidente resultará reducido en relación con las reflexiones.

En este sistema, la posición de la fuente generadora y los puntos de recepción se seleccionan para que sea un sólo punto del subsuelo, común a todas las trayectorias.

El espaciamiento entre fuente y receptor, está restringido por lo siguientes:

- 1.- la máxima distancia que permita hacer las correcciones con la exactitud necesaria.
- 2.- Las máximas distancias en las cuales las señales reflejadas continúan teniendo una adecuada similitud de forma de onda.

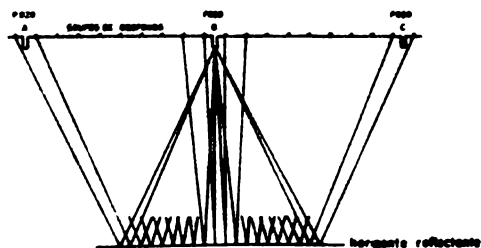


FIG. 14 Sistema de tiro convergente. Punto de tiro en B

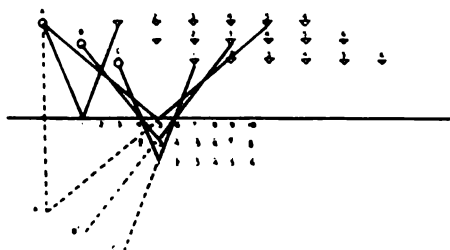


FIG. 15 Punto de Reflexión Común

La técnica de punto de reflexión común, puede ser una buena herramienta para la eliminación de reflejos múltiples.

Se ha hecho una práctica generalizada a 600' cuando la fuente de energía es dinámita y el 1200' cuando la fuente de energía es superficial.

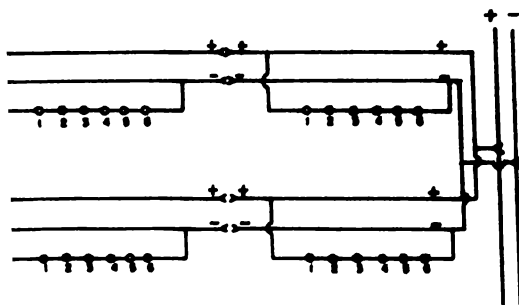
2.3 DETECTORES MÚLTIPLES

Por mucho tiempo ha sido una preocupación continua, de los geofísicos mejorar la relación señal-ruido de las señales sísmicas.

El sistema de detectores múltiples proporciona la suma de las reflexiones, ya que la señal sísmica que proviene del subsuelo llega a los detectores con ángulos muy pequeños, es decir sin diferencia de tiempo apreciable, por lo que a la salida de estos las reflexiones se sumaran, y en cambio el ruido superficial al ser su movimiento horizontal llegara a diferentes tiempos a los detectores, por lo que a la salida de estos la amplitud de los ruidos se verá atenuada.

La forma de conectarse de los detectores depende principalmente de la impedancia de entrada del sismógrafo (DPS-V 500 a 2000 Ohms).

En la Fig. 16, tenemos 24 detectores conectados en serie-paralelo, o decir, cada cuerda de 6 detectores esta conectada en paralelo con la siguiente y los geófonos de cada cuerda estan conectados en serie.



DETECTORES

GRAFICA DE LA CONEXION ELECTRICA DE GEOFONOS MULTIPLES

tenemos una resistencia de 350 ohms por teléfono, a la se-
le cada cuerda de 6 tendremos que $R=2100$ ohms por estar -
ta, y al conectar las 4 cuerdas en paralelo tendremos que
sistema de los 24 detectores será $1/R_t = 1/2100 + 1/2100 +$
 $+ 1/2100$, $R_t = 525$ ohms, y como está dentro del rango de -
lector del sismógrafo si se puede trabajar con este tipo -
ción.

FUENTES MULTIPLES

de las técnicas de observación que se han venido utili-
con éxito, ha sido la de fuentes múltiples, tales como va
unidades de vibradores en vibrosísmo, varios pozos en el -
le que la fuente de energía sea la dinamita, etc.

úmero y la separación entre las fuentes de energía, es -

cálculo de acuerdo con la teoría de las comunicaciones, que se ha utilizado con éxito en el diseño de antenas de radio y ahora se aplica a la sismología. Esta teoría funciona indistintamente para geófonos y para cualquier tipo de fuente de energía que se emplee.

Desde luego, la teoría es para cuando la clase de ruido que se desea atenuar es coherente, no siendo así para los ruidos incoherentes.

En el caso de que las fuentes de energía sean pozos, es necesario que estos sean accionados simultáneamente: lo mismo ocurre para el caso de vibrasismo, en el que el camión de registro manda una señal de radio que active los controles electrónicos de las unidades a un mismo tiempo.

Es recomendable tener un buen control de los ruidos en toda el área de trabajo, para que conforme cambien sus características, ir diseñando los patrones de fuentes múltiples así como de sismodetectores, que mejor atenuen el ruido, ya que un buen patrón, en una parte del área, puede ser inoperante en otra parte de la misma.

En la Fig. 36 del capítulo 2, los dos primeros registros son para hacer la comparación de la respuesta sísmica de un pozo sencillo contra pozos múltiples, y se puede ver que no hay diferencia entre uno y otro, por lo que el patrón de pozos múltiples podrá ser una opción en el caso de que el terreno sea muy duro.

2.5 PRUEBAS DE CAMPO

En general el objetivo de las pruebas de campo, en sismología,

va encaminado a conocer los ruidos que se puedan encontrar en las áreas de trabajo, para posteriormente calcular los parámetros de observación que mejor relación se al-ruido nos den.

2.5.1 Perfil de Tiempos Verticales

Las correcciones estáticas son muy importantes en el sistema de punto de reflexión común, y para tener un buen control de estas es necesario conocer las velocidades superficiales. Esta prueba tiene este objetivo.

Para llevarla a cabo se necesita un pozo cuya profundidad deba ser superior a la profundidad de la base de la capa de intemperismo, deberá cargarse cada 10 pies ó cada vez que haya un cambio en la litología, y a cada detonación se tomara un registro, con tres detectores colocados de la siguiente manera: El primero, estará a 1 metro de la boca del pozo, el segundo entre 15 y 30 mts. y el tercero entre 30 y 60 mts. del pozo.

En la oficina, se leerán y graficarán los tiempos de los primeros quiebres y se determinará en base a estos datos, las velocidades superficiales, como el inverso de la pendiente de las rectas resultantes, también se podrá determinar la máxima profundidad de los pozos del análisis de ruidos, y esta no deberá ser mayor que la profundidad a la base de la capa de intemperismo.

En la Fig. 17, se muestra la grafica del perfil de tiempos verticales donde $V_0 = 1524$ m/s, $V_1 = 3048$ m/s, $d_0 = 12$ mts., la profundidad de los pozos del análisis de ruidos sera de aproximadamente 13.7 mts. (13.7 mts.).

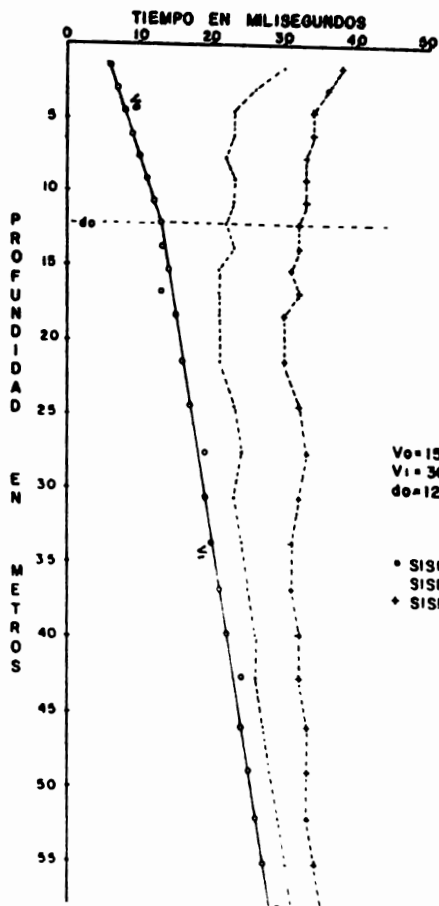


FIG. 17
PERFIL DE TIEMPOS
VERTICALES

$V_0 = 1524 \text{ m/s}$
 $V_1 = 3048 \text{ m/s}$
 $d_0 = 12 \text{ m}$

• SISMO A 1m del pozo
 ○ SISMO A 30m " "
 + SISMO A 60m " "

2.5.2 Perfil Corto de Refracción

Esta prueba está diseñada para obtener la profundidad de la capa de intemperismo y las velocidades superficiales.

Para realizar ésta prueba, se deben de perforar dos pozos iguales de 3 pies de profundidad, separados 160 mts. y un tendido entre los dos pozos de 24 grupos de detectores separados 11 de 10 mts., 8 de 5 mts., y 4 de 2.5 mts., con carga de 75 grs. de dinamita. En la Fig. 18, se pueden ver los dos registros que corresponden a los dos puntos de tiro, y en la Fig. 19, se muestra la disposición de los grupos de detectores y la grafica de los resultados.

La diferencia entre las velocidades de las dos pruebas anteriores, se debe a que la travectoria que sigue la onda sísmica inicial en el perfil de velocidades es prácticamente vertical, mientras que en la prueba de refracción corta, la travectoria tiene una componente horizontal mucho más grande que la vertical. Esto demuestra que el medio no es isotrópico, es decir — que las condiciones sí varían, dependiendo de la dirección en que sean medidos las velocidades.

2.5.3 Análisis de Ruidos

El análisis de ruido es la prueba inicial de campo más importante, diseñada especialmente para registrar las ondas superficiales, y para determinar las zonas de tiempo en donde interfieren y que en algunos casos pueden ocultar los reflejos.

Los lugares en donde se vaya a realizar esta prueba deben de cumplir ciertos requisitos para que logre sus objetivos, es-

FIG. 10 PERFIL GORTO DE REFRACCION

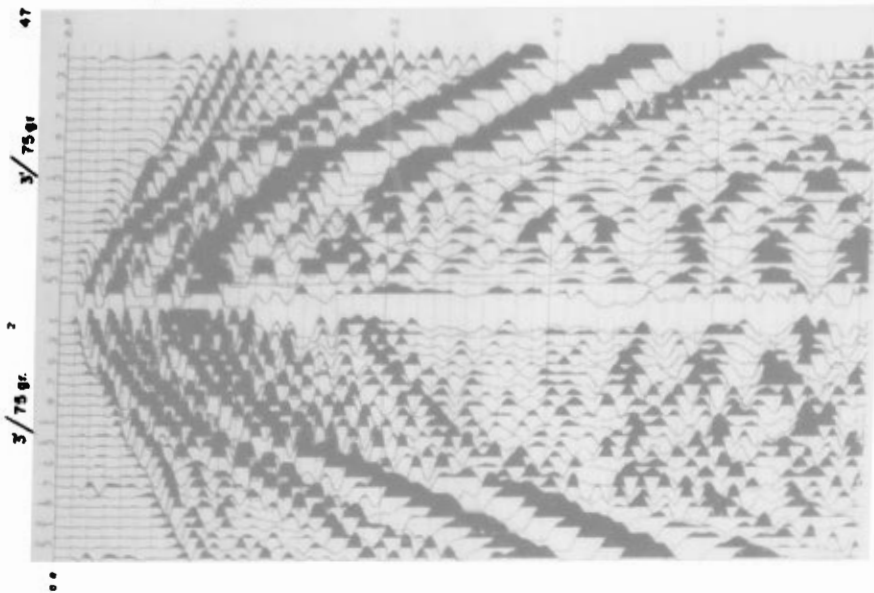
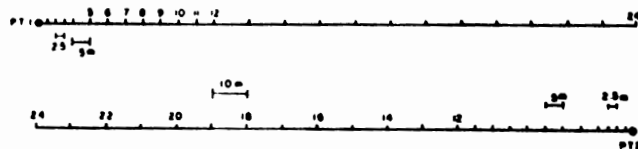
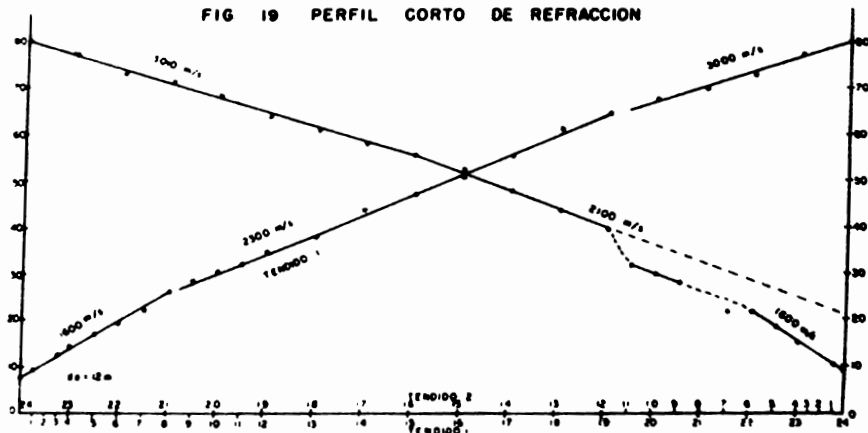


FIG 19 PERFIL CORTO DE REFRACCION

GRAFICA



TENDIDOS

tos son los siguientes:

- 1.- El lugar debe ser plano ó con relieve topográfico suave.
- 2.- Debe de ser pobre en reflejos.

Existen varias formas de hacer un análisis de ruidos, pero - las más comunes son las siguientes:

Análisis de ruido con desplazamiento de puntos de tiro

Esta forma consiste en un tendido de 24 ó más grupos de detectores, según sea el número de canales que se tengan en el - sismógrafo, estos grupos estaran separados $\lambda_{\min}/3.2$, esto quiere decir que se tendran 3.2 muestras de la longitud de onda mínima que se escucha en el área.

Los pozos se deberán localizar a lo largo del perfil de observación, separados como sigue:

El primero deberá estar a la distancia de separación de detectores, si la longitud del tendido es T , el segundo pozo estará a T mts. del primero, el tercero a T mts. del segundo, etc hasta con tanto de 6 a 11 pozos.

La profundidad de los pozos deberá ser máximo a la profundidad de la base de la cara interiorizada y la carga variara con la distancia, los filtros eléctricos deberán estar abiertos -- (C-254), para poder recibir todos los ruidos sin atenuación.

Análisis de ruidos con desplazamiento de tendidos.

Al igual que el anterior método, se tendrán de 6 a 11 pozos, solo que estarán perpendiculares a la línea de observación, no - deberán de estar muy separados y tampoco muy juntos, para evitar que al explotar uno, exploten varios a la vez.

El primer tendido estará a la distancia de separación de los detectores, todos los tendidos posteriores estarán a T mts. de

el anterior, siendo t la longitud del tendido.

Después de realizado el trabajo de campo se tendrán de 6 a 11 sísmogramas, en los cuales se deberán marcar y calcular todos los eventos que a juicio del geofísico sean ruidos, de esta prueba se obtienen las velocidades, períodos, frecuencias, longitudes de onda y números de onda, despreciando la onda directa y la onda de fondo.

Estos datos nos servirán para calcular los estrones de energía y detección.

En la Fig. 20 se muestra un análisis de ruidos, al cual fué hecho desplazando los trazos tal como lo muestra la Fig. 21, se usaron 24 trazos separados 10 mts. - el primer PT quedó a 10 mts. de la traza 1, los ruidos (r) fueron perforados a 45 pies de profundidad y la carga fué de 10, 15, 10, 15, 20 y 25 Kgs., la distancia entre los ruidos fué de 240 mts., para lograr un perfil 100' del subsuelo. Los resultados están mostrados en la siguiente tabla:

RUIDO	Vab.	f=8Hz	f=12Hz	f=16Hz	f=18Hz	f=30Hz
R1	1500m/s	$\lambda=187m$ $k=0.0053$	$\lambda=125m$ $k=0.008$	$\lambda=93m$ $k=0.011$	$\lambda=83m$ $k=0.012$	$\lambda=50m$ $k=0.02$
R2	1300m/s	$\lambda=163m$ $k=0.0061$	$\lambda=108m$ $k=0.009$	$\lambda=81m$ $k=0.012$	$\lambda=72m$ $k=0.014$	$\lambda=43m$ $k=0.023$
R3	1100m/s	$\lambda=137m$ $k=0.0073$	$\lambda=92m$ $k=0.011$	$\lambda=69m$ $k=0.014$	$\lambda=61m$ $k=0.016$	$\lambda=37m$ $k=0.027$

TABLA 2.1

FIG 20

ANALISIS DE RUIDO

(10 ms. por cuadro)

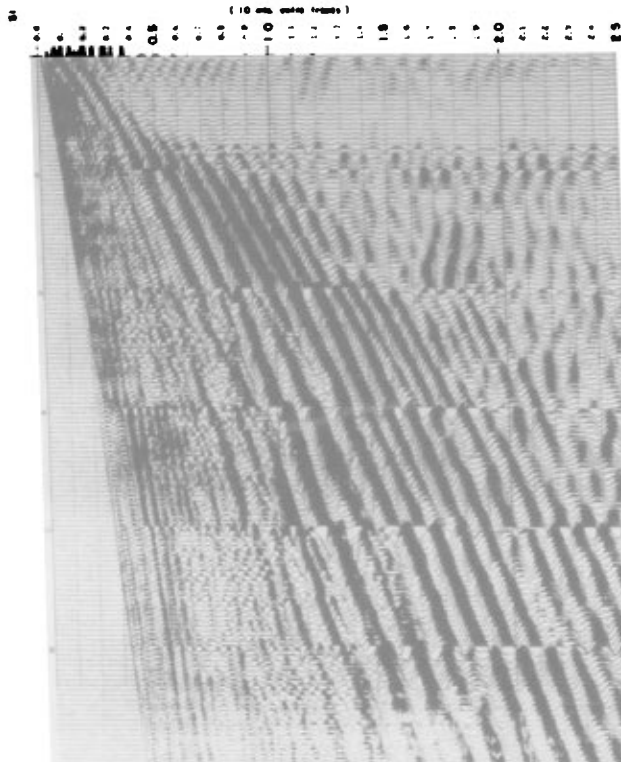
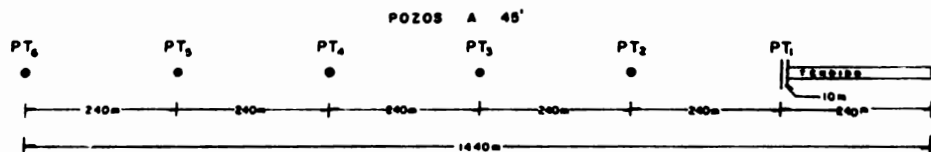


DIAGRAMA DEL ANALISIS DE RUIDO



TENDIDO 12 DET. AGRUPADOS POR TRAZA



FIG. 21

En donde los cálculos fueron hechos para las diversas frecuencias de corte bajo que pueden ser usadas en el sismógrafo - (D7S-V).

Estos datos serán usados en el próximo capítulo.

2.5.4 Profundidad Óptima de Tiro

La respuesta en frecuencia de la onda sísmica inicial, depende del material en el cual se haya detonado la dinamita. Como generalmente existe una capa intemperizada de baja velocidad, que su espesor varía incluso dentro de la misma línea de observación, es conveniente detonar la dinamita en la roca fresca, pues es donde existe mejor propagación de las ondas. Para esto, se hace perforar un pozo que atraviese la capa intemperizada y se carga con una determinada cantidad de dinamita, la cual depende del área. Después de haber realizado el primer disparo, se vuelve a cargar el pozo a una profundidad menor y con menor cantidad de explosivo, repitiéndose a esto varias veces. La otra forma consiste en perforar varios pozos pero a diferentes profundidades - cargarlos con la misma cantidad de dinamita.

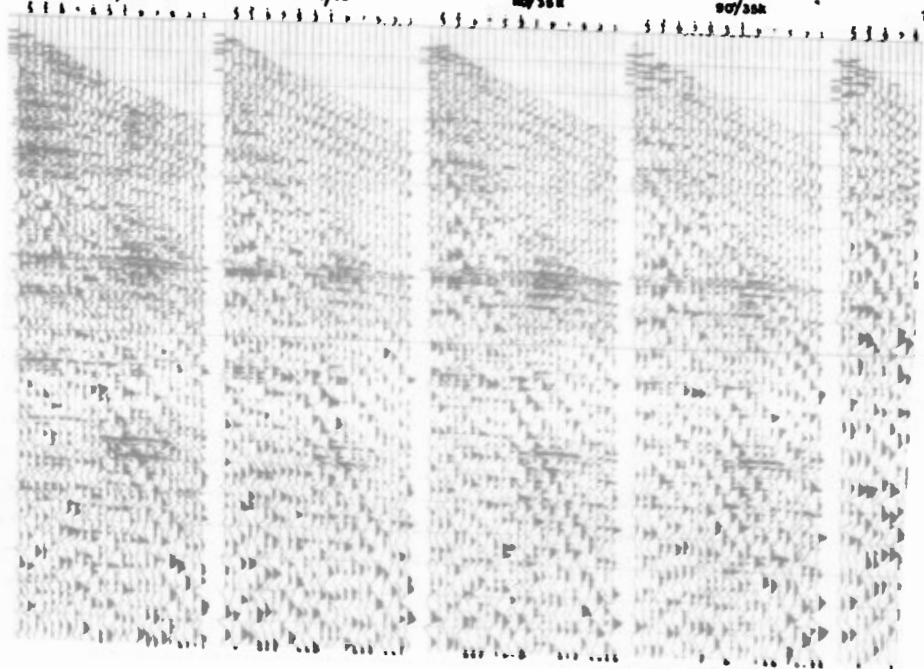
Después se deberán comparar los sismogramas y elegir el que mejor tenga la relación señal-ruido, de esta manera se obtendrá cualitativamente la mejor profundidad de tiro. En la fig. 22, se pueden apreciar varios sismogramas, cada uno tomados a diferente profundidad y se ve, que a medida que se incrementa la profundidad, la calidad del sismograma es mejorada, y se podrá elegir - la profundidad de 160 pies, como la profundidad óptima. En la - fig. 23 se muestra el diagrama de pozos - tendido usado.

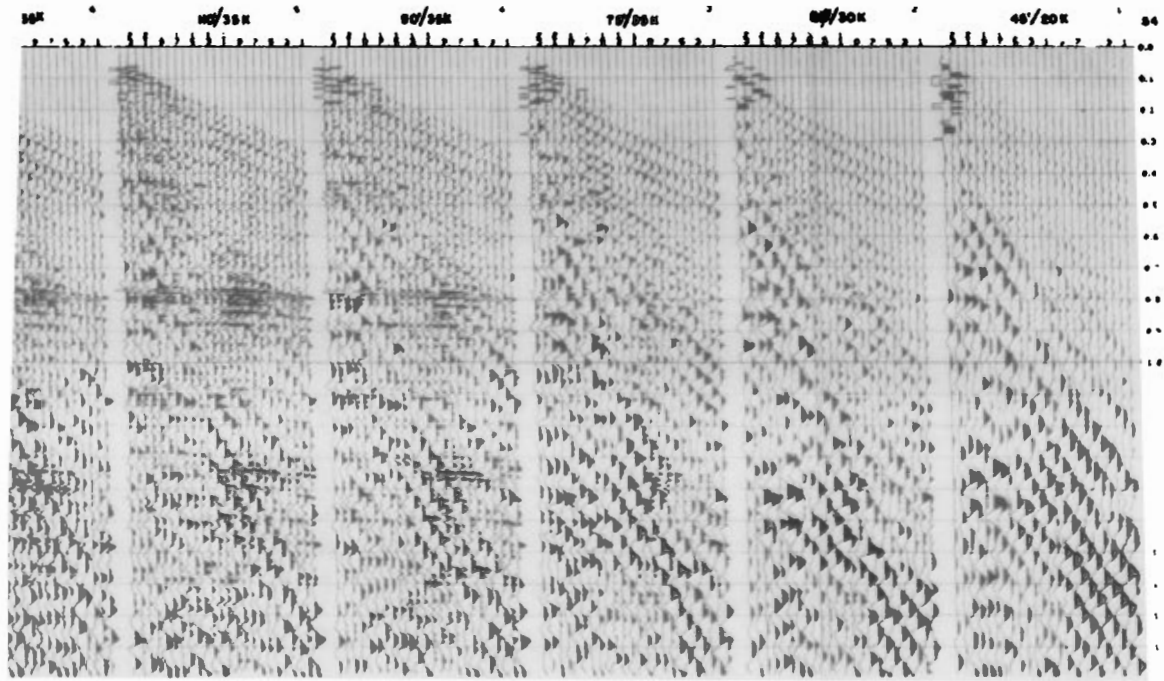
180/35K

130/35K

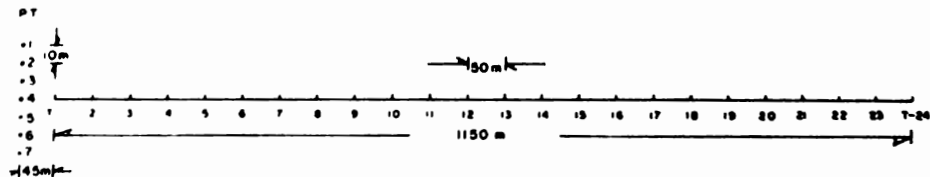
90/35K

50/35K





PRUEBA DE PROFUNDIDAD OPTIMA
DIAGRAMA DE POZOS Y DEL TENDIDO DE GEOFONOS



PATRON DE DETECCION ||||22222222||||
 7M ENTRE DETECTORES
 DISTANCIA ENTRE ESTACAS 50 M.

SECUENCIA DE TIRO

P T	PROFUNDIDAD	CARGA
1	45 PIES	20 Kg
2	60 "	30 "
3	75 "	35 "
4	90 "	35 "
5	110 "	35 "
6	130 "	35 "
7	160 "	35 "

FIG. 23

2.5.5 Carga Optima

Una vez, que se ha obtenido la profundidad óptima, se deberán probar varias cargas de dinamita, colocada a la profundidad óptima y seleccionar el mejor registro que a la vez corresponderá a la mejor carga de tiro.

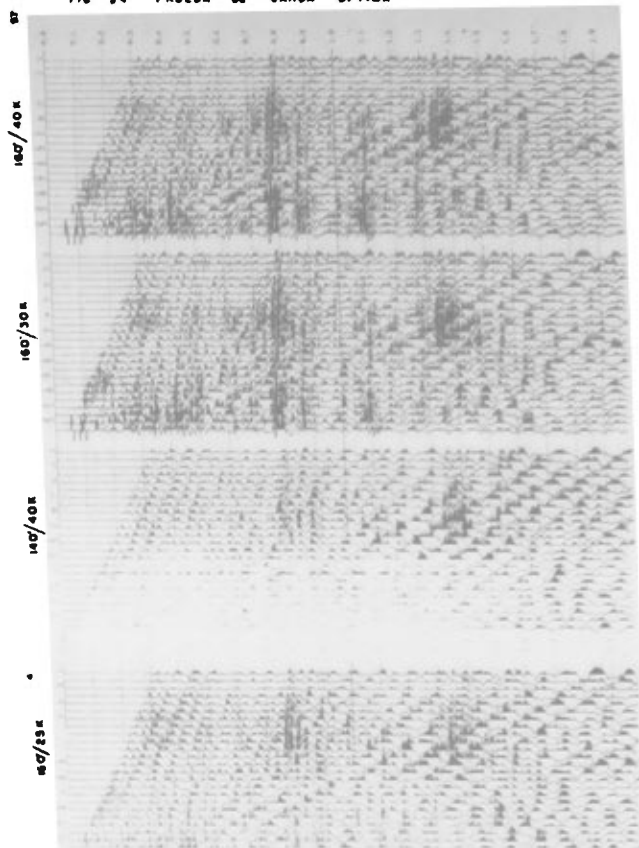
Desde luego, la carga depende de la profundidad a la que se requiera la información, en general se recomiendan cargas pequeñas para obtener reflejos someros con poca distorsión y el empleo de cargas grandes para obtener reflejos profundos, siendo posible que se pierda fidelidad en los reflejos someros cuando se emplean cargas grandes. También se pueden utilizar cargas intermedias para satisfacer ambas condiciones.

En la Fig. 24, se muestran varios sismogramas a la profundidad de 160 pies y en los cuales se ve que las cargas de 30 y 40 Kgs. dan buena respuesta, y en la Fig. 25, se tiene el diagrama de pozos y tendido utilizado. Se eligieron 35 Kgs. como carga óptima.

2.5.6 Off-Set

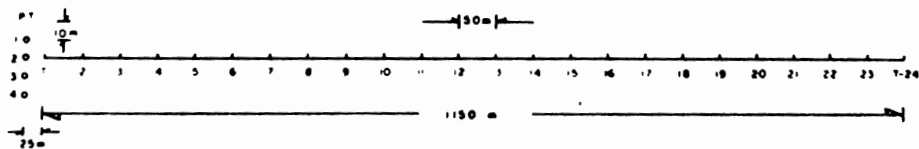
El off-set ó distancia del punto de tiro a la primera traza se puede calcular de un análisis de ruidos sin AGC y sin normalización lateral, esto se logra en el procesamiento, pero como en el campo esto no es posible, lo que se hace es incluir esta prueba en una prueba múltiple en la que el punto de tiro se va alejando del tendido y ver cual es el mejor off-set. En la Fig. 36, del capítulo 3 se puede ver el efecto del off-set, y se podrá ver que este debe de ser de 100 mts. aproximadamente.

FIG 34 PRUEBA DE CARGA OPTIMA



PRUEBA DE CARGA OPTIMA

DIAGRAMA DE POZOS Y DEL TENDIDO DE GEOFONOS



PATRON DE DETECCION |1111222222221111|
 7M ENTRE DETECTORES
 DISTANCIA ENTRE ESTACAS 50 M

SECUENCIA DE TIRO

PT	PROFUNDIDAD	CARGA
1	160 PIES	40 KG
2	160 "	30 "
3	140 "	40 "
4	160 "	25 "

FIG. 25

2.5.7 Filtros Eléctricos de Registro

El sismógrafo está provisto de varios filtros que nos ayudan a cancelar ruidos, estos filtros de frecuencia se deben describir de la siguiente forma:

El filtro de corte bajo se seleccionara de acuerdo con la frecuencia de resonancia de los detectores, el patrón de detección y la profundidad del objetivo geológico, en nuestro caso se elige el filtro de 12 Hz., como se vera en el próximo capítulo.

Al seleccionar el filtro de corte bajo se deberá de tener cuidado de no atenuar nunca el reflector más profundo.

El filtro de corte alto será un filtro alias que estará dado por la frecuencia de muestreo que se desea utilizar y la cual estará dada por el intervalo de muestreo como sigue:

Si se desea un intervalo de muestreo de 2 milisegundos tendremos que la frecuencia de muestreo será:

$$f_m = \frac{1}{\Delta t} = \frac{1}{2(0.002)} = 125 \text{ Hz.}$$

Por lo que el filtro de corte alto sera 125 Hz.

El filtro Notch elimina frecuencias de 70 ó 80 Hz., y se usa cuando hay líneas de alta tensión cerca de la línea de observación.

2.6.1 Forma de Tiro

A la disposición geométrica que guarda el punto de tiro, con los truenos de los detectores, se le conoce con el nombre de forma de tiro. Cuando el punto de tiro se encuentra en el ex-

trazo del tendido, se le conoce como forma de tiro lateral: - cuando el punto de tiro se encuentra en el centro del tendido, se conoce como tiro bilateral; si el punto de tiro se encuentra fuera de la línea de observación, se conoce como tiro con off-set perpendicular y lateral. Existen muchas variantes en la forma de tiro, pero las anteriores son las más comunes. En la Fig. 26, se puede ver un diagrama de estas formas de tiro.

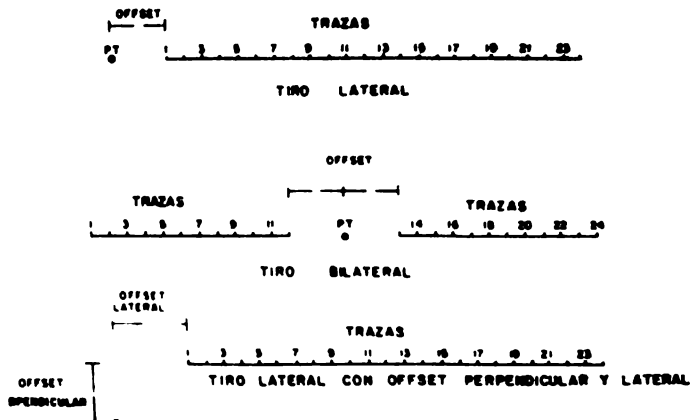


FIG. 26 FORMAS DE TIRO MAS COMUNES PARA UN SISMOGRAFO DE 24 CANALES

CAPITULO 3

TEORIA DE PATRONES

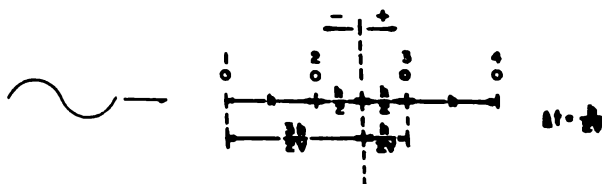
Un patrón, ya sea de fuentes de energía como de sismodetectores, es un filtro de longitudes de onda, sus características dependen de la distribución física de los elementos (sismodetectores, pozos, vibradores) dentro del patrón.

Al ser un filtro, un patrón nos va a ayudar, para mejorar la relación señal-ruido. En general un patrón se diseña para tener una atenuación mínima para ondas reflejadas, y una atenuación máxima de longitudes de onda de ruido.

3.1 TEORIA

3.1.1. RESPUESTA TEORICA DE UN PATRON

Vamos a suponer que tenemos cuatro sismodetectores conectados en serie, y suponemos una onda de baja frecuencia que viaja en el sentido marcado en la Fig. 27.



Esta onda se puede expresar como una suma de seno y coseno ó en forma exponencial:

$$A = B e^{i\omega t} = B (\cos \omega t + i \sin \omega t)$$

siendo $\omega =$ frecuencia angular

Haciendo $\Delta t =$ si tomamos el Δt de tiempos al centro del sonido, cada detector tendrá un incremento en el tiempo de llegada de la onda, por lo que tendremos que la amplitud de la onda en la salida de cada detector, estará en fase por las siguientes relaciones:

$$A_1 = e^{i\omega \frac{h}{2V}} = \cos \omega \frac{h}{2V} + i \sin \omega \frac{h}{2V} \dots \dots \dots 1$$

$$A_2 = e^{i\omega \frac{h}{2V}} = \cos \omega \frac{h}{2V} + i \sin \omega \frac{h}{2V} \dots \dots \dots 2$$

$$A_3 = e^{i\omega \frac{h}{2V}} = \cos \omega \frac{h}{2V} + i \sin \omega \frac{h}{2V} \dots \dots \dots 3$$

$$A_4 = e^{i\omega \frac{h}{2V}} = \cos \omega \frac{h}{2V} + i \sin \omega \frac{h}{2V} \dots \dots \dots 4$$

La salida de los cuatro detectores será la suma de las amplitudes.

$$A = 2 \left(\cos \frac{\omega h}{2V} + \cos \frac{\omega h}{2V} \right) \dots \dots \dots 5$$

En donde ω existen términos de fase, haciendo las relaciones $\omega = 2\pi f$ y $k = \frac{f}{V}$, en donde $k =$ número de onda.

Entonces

$$A = 2 \left(\cos \frac{2\pi f h}{2V} + \cos \frac{2\pi f h}{2V} \right) \dots \dots \dots 6$$

$$A(k) = 2 (\cos \pi h k + \cos \pi h k) \dots \dots \dots 7$$

Si en vez de cuatro detectores, se utiliza n en fase por n detectores

$$A(k) = 2 (\cos \pi h k + \cos \pi h k + \dots + \cos (n-1) \pi h k) \dots \dots 8$$

Utilizando la siguiente relación:

$$\sum_{k=0}^{n-1} \cos (2k+1)x = \frac{\sin 2nx}{\sin x} \quad \text{cuando } n = \frac{N}{2} \text{ para } N \text{ par}$$

En la ecuación 8 tenemos

$$A(k) = \frac{\sin N\pi h k}{\sin \pi h k} \quad - 9$$

Por utilizar la ecuación anterior

$$A(k) = \frac{\sin N\pi h k}{\sin \pi h k} = 1$$

cuando $k=0$ los senos serán iguales a los arcos y tendremos:

$$\frac{N\pi h k}{\pi h k} = N$$

entonces para que:

$$A(k) = 1$$

tenemos que dividirlo por N

$$A(k) = \frac{\sin N\pi h k}{N \sin \pi h k}$$

Para encontrar los ceros de la función, solo necesitamos que el numerador sea cero en la ecuación 10, esto se cumple cuando:

$$N\pi h k = \pi, 2\pi, 3\pi, \dots, n\pi$$

$$k = \frac{n}{N h}$$

Se debe tener la función en valores de decibels por lo que solo se necesita utilizarlo por 20 log.

$$A(k) = -20 \log_{10} \frac{\sin N\pi h k}{N \sin \pi h k} \text{ en dB.}$$

Esta es la fórmula de atenuación de un patrón de N elementos

Si analizamos la gráfica de la Fig. 26, ora la respuesta teórica de un patrón, podemos ver que K_c corresponde a la máxima longitud de onda análoga, uno de los objetivos a eliminar en la protección sigilística, por lo tanto tenemos

$$K_c = \frac{1}{N h}$$

donde N es el número de elementos del patrón

h la separación entre elementos

de donde tenemos des de h

$$h = \frac{1}{N K_c}$$

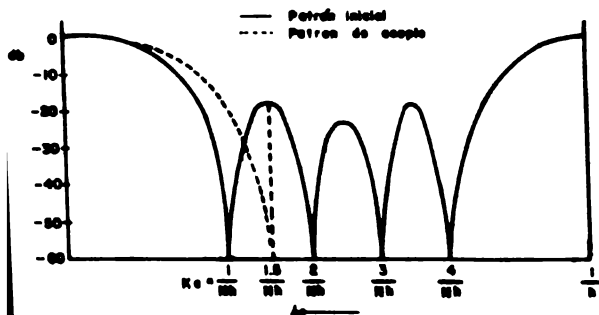


FIG. 26 RESPUESTA TEORICA DE UN PATRON

El criterio para el diseño de arreglos es el siguiente

- 1.-Iniciar la respuesta al primer lóbulo secundario
- 2.-Maximizar la relación de atenuación.

3.1.2 PATRÓN SENCILLO

Un patrón sencillo es una disposición lineal de sismodetectores separados una distancia h , y su respuesta está dada por la fórmula de respuesta teórica de un patrón.

En la Fig. 20, se muestra un patrón sencillo de 5 sismodetectores separados 7 metros, y en la Fig. 20, se puede ver su respuesta teórica.

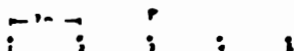


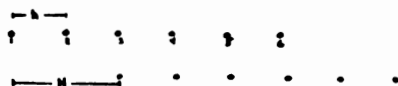
FIG. 20

Como se puede ver la distribución de teléfonos se dispone de forma que el centro del patrón coincida con la estaca, que corresponde al punto asignado de recepción, determinado por el centrado del subsuelo que se desea.

3.1.3 PATRONES COMBINADOS

Se ha visto en la práctica que un solo tendido, no da resultados satisfactorios en áreas en la que el ruido es considerable, por lo que para mejorar las reflexiones se emplean dos o más cuerdas del mismo patrón desplazadas una de la otra para mejorar dicha atenuación.

Tomemos el caso siguiente en el cual hay tres cuerdas de seis elementos, cada una desplazadas a 11 metros



La atenuación en este caso será

$$A(\kappa) = -20 \log_{10} \left(\frac{\text{Sen } 6\pi h \kappa}{6 \text{ Sen } \pi h \kappa} \right) \left(\frac{\text{Sen } 2\pi h \kappa}{3 \text{ Sen } \pi h \kappa} \right)$$

Por lo que para N elementos, N cuerdas, H la separación entre cuerdas, y h la separación entre elementos, se tendrá.

$$A(\kappa) = -20 \log_{10} \left(\frac{\text{Sen } N\pi h \kappa}{N \text{ Sen } \pi h \kappa} \right) \left(\frac{\text{Sen } N_1 \pi H \kappa}{N_1 \text{ Sen } \pi H \kappa} \right)$$

En la Fig. 28 se tiene que, para que haya una máxima atenuación el primer punto de corte del patrón de cuerdas debe ser igual al máximo del primer lóbulo adyacente, esto es

$$\frac{1}{N_1 H} = \frac{1.5}{N h}$$

de donde

$$H = \frac{N h}{1.5 N_1}$$

Al aplicar cualquiera de las anteriores fórmulas, el resultado puede ser un número fraccionario, por lo general se toma el valor entero más próximo al calculado, en el caso de "1" la aproximación se hace a 2h, 3h, etc. por razones prácticas. La respuesta será la misma si en lugar de cuerdas fueran pozos, vibradores, pistolas de aire, etc.

3.1.4 PATRONES A DISTANCIAS VARIABLES

Aún existe una forma más de mejorar las señales sísmicas con arreglos de sismodetectores: hasta ahora se ha supuesto una distancia de separación entre elementos constantes, con este método se podrá evaluar un patrón a distancia variable.

Consideremos la Fig. 30 en la cual tenemos un patrón de elementos y los cuadrados de éstos

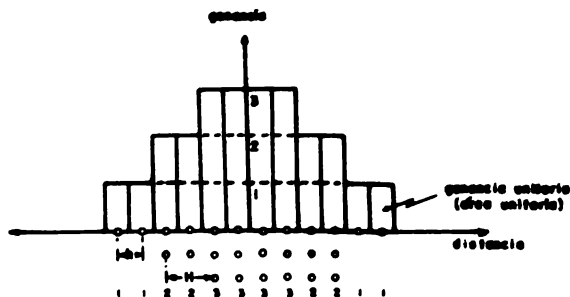


FIG. 30 GRAFICA DE UN PATRON PESADO

Se pueden representar las ganancias por áreas, por lo que existe una relación de proporcionalidad entre ellos.

Si nosotros queremos que estos pesos sigan una curva matemática, las áreas que correspondan a esos pesos serán fracciones de la ganancia de un elemento.

Lo que se hace es dividir el área de la curva entre el número de elementos que tenga el patrón y en vez de calcular el área por peso, se calculará el equivalente a distancias, a partir de un orden a los centroides de cada una de las áreas iguales.

La fórmula de atenuación para este tipo de patrones se deduce a partir de la fórmula para patrones a distancia constante.

$$A = 2 (\cos \omega t_1 + \cos \omega t_2 + \dots + \cos \omega t_n)$$

Como las distancias serán variables, los tiempos estarán dados por:

$$t_1 = \frac{d_1}{V_1}, \quad t_2 = \frac{d_2}{V_2}, \quad \dots, \quad t_n = \frac{d_n}{V_n}$$

Haciendo un proceso similar a la deducción de la fórmula para patrones a distancia constante obtendremos que:

$$A(x) = -20 \log_{10} \frac{1}{N} (\cos 2\pi K d_1 + \cos 2\pi K d_2 + \dots + \cos 2\pi K d_n)$$

$$A(x) = -20 \log_{10} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos 2\pi K d_i$$

La cual es la fórmula para calcular la respuesta teórica de un patrón a distancia variable.

3.1.5 FILTRO SINERGETICO

Se le conoce con el nombre de filtro sinerético al efecto total de atenuación causado tanto por los filtros espaciales como por los filtros de frecuencia.

Cuando la fuente de energía es la dinamita se tiene que la atenuación total es la suma de las atenuaciones debidas a los patrones de sismodetectores y pozos, así como al efecto de profundidad de carga, y a la atenuación de ruido causada por los filtros eléctricos del sísmógrafo.

En el caso del vibrosismo se tiene que la atenuación total será debida al patrón de detectores más el patrón de vibradores, al como el efecto del ancho de banda del barrido de frecuencias y a los efectos de los filtros eléctrico del sísmógrafo.

Todos los efectos de atenuación se pueden combinar de manera que la atenuación total sea máxima.

3.2 RESULTADOS

Para la aplicación de la teoría de patrones vamos a utilizar la información obtenida en el análisis de ruidos del capítulo 2.

En el cálculo del número mínimo de detectores, que se deben de utilizar para cancelar los ruidos cuyas velocidades se muestran en la tabla 2.1, depende de las longitudes de onda máxima y mínima que se pueden registrar en el sismógrafo, de acuerdo con los filtros eléctricos de corte bajo, y para nuestro caso son:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{V_{\text{ap. máx.}}}{f_{\text{mín}}} = 187 \text{ m/s.}$$

$$\lambda_{\text{mín}} = \frac{V_{\text{ap. mín.}}}{f_{\text{máx.}}} = 37 \text{ m/s.}$$

Por lo tanto el número mínimo de detectores será:

$$N_0 = \frac{\lambda_{\text{máx.}}}{\lambda_{\text{mín.}}} + 1$$

$$N_0 = \frac{187}{37} + 1 = 6.05 \approx 6 \text{ det}$$

La distancia entre detectores será:

$$N_0 = \frac{1}{N_0 K_c} = \frac{1}{6 (.6653)} = 31.17$$

En donde K_c = número de onda correspondiente a la longitud máxima de onda de ruido.

De manera que el patrón teórico será de 6 telefonos separados 31.17 metros.

$$\begin{matrix} & & r & & & \\ i & i & i & i & i & i \end{matrix}$$

→→→→→

Ahora veamos los medios con los que se cuenta prácticamente:

Distancia máxima entre detectores de 10 mts.

Existan otros tipos de cuerdas que den una separación máxima entre detectores de 7 mts.

Frecuencia de resonancia de 10 Hz.

Se podrán utilizar un máximo de 24 detectores por traza, cada cuerda es de 6 geófonos, cables de 100 mts. entre salidas.

Filtros posibles a 2 milisegundos de muestreo, 0-128 Hz., - 0-128 Hz., 12-128 Hz., 16-128 Hz., 16-128 Hz. y 30-128 Hz.

Puesto que la frecuencia de resonancia es de 10 Hz., se utilizarán los filtros de 12-128 Hz., por lo que $\lambda_{\text{máx}} = 125$ mts. ahora el número mínimo de detectores será:

$$N_b = \frac{125}{37} + 1 = 4.38 \approx 5 \text{ det.}$$

$$N_b = \frac{1}{5 (.002)} = 25 \text{ mts.}$$

$$\begin{array}{ccccc} & & P & & \\ 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ P = 5 \rightarrow \end{array}$$

Como se dijo anteriormente los grupos de detectores tienen una distancia máxima de 10 mts., por lo que la distancia de 25 mts. está fuera del alcance de estos, de tal forma que deberemos de ajustarnos a esa longitud.

$$N_b = \frac{1}{10 (.002)} = 12.5 \text{ det.}$$

Como se ve es necesario tener 12 detectores separados 10 mts. para poder atenuar esos ruidos. Pero como se puede disponer de un máximo de 24 teléfonos, tendremos que la separación entre ellos será:

$$H_1 = \frac{1}{24 (.008)} = 5.2 \approx 5 \text{ mts.}$$

Este será uno de los patrones que construiremos físicamente para ver su respuesta.

Ya se vio que 12 teléfonos pueden atenuar los ruidos, pero es lo podemos disponer de 24 calcularemos ahora un patrón combinado de 2 cuerdas de 12 teléfonos cada una. La separación entre las cuerdas va a ser de:

$$N_1 = 12 \text{ det.}$$

$$N_2 = 10 \text{ mts.}$$

$$N_2 = 2 \text{ cuerdas}$$

$$N_2 = ?$$

$$H_2 = \frac{N_1 H_1}{1.5 N_2} = \frac{12(10)}{1.5(2)} = \frac{120}{3} = 40 \text{ mts.}$$

El patrón combinado quedará físicamente en 2 cuerdas separadas 40 mts., 12 teléfonos por cada cuerda = 10 mts. de separación entre detectores. Este será otro patrón que se probará físicamente.

Como para nuestro ejemplo práctico se tienen también bastantes cuerdas de separación máxima de 7 mts., podría darse el caso de que las cuerdas de 10 mts. de separación fueran insuficientes en determinado momento, se puede en el futuro patrón de separación de 7 mts. entre detectores.

De la fórmula para la distancia entre detectores tenemos:

$$N = \frac{1}{N \pm}$$

$$N = \frac{1}{\Delta \text{mils.}}$$

$$N = \frac{\Delta \text{mils.}}{N}$$

$$\Delta \text{mils.} = 7 \times 12 = 84 \text{ mils.}$$

De la Fig. 22, se podrá ver que las componentes que quedarán con baja atenuación serán las de 2-12 Hz en R1 y 2-14 Hz en R2. Por lo tanto si se decidiera emplear este patrón por razones -- prácticas, requeriré de un prefiltro de 12-124 Hz para atenuar esas componentes de frecuencia de los ruidos R1 y R2.

Las figuras 21, 22 y 23, muestran la respuesta teórica de los patrones que se van a probar físicamente, y se puede ver claramente que el de 22-40 mts.- 12D-10 mts. es el que atenúa todos los ruidos con un promedio de más de 25 DB, por lo que se considera el mejor. Para probar lo anterior se diseñó una prueba en la cual se compararon los tres patrones, el offset, pesos múltiples contra los ruidos, y la longitud del tendido.

En las figuras 24 y 25, se muestran los detalles de esta prueba. En la figura 24 se muestra el patrón de los cuatro primeros tiros con el patrón de 22-40 mts.- 12D-10 mts. y en la Fig. 25, se muestra el patrón de 22-40 mts.- 12D-10 mts. es el adecuado para cancelar los ruidos presentes en este corte del área, sin cancelar otros. El offset es del orden de 100 mts. -- la longitud del tendido para objetivos cercanos (0-0.5 seg.) -- es de 50 mts. y para objetivos medios y profundos (0.5-5 seg.) es de 150 mts., como el objetivo es somero (0.7 seg.), dato de un peso dentro del área, y observando que la distancia entre -- trazo es de 50 mts., valor en la Fig. 27, que la mejor informa

FIG 31 GRAFICA DE ATENUACION DE 2C-40m-12D-10m

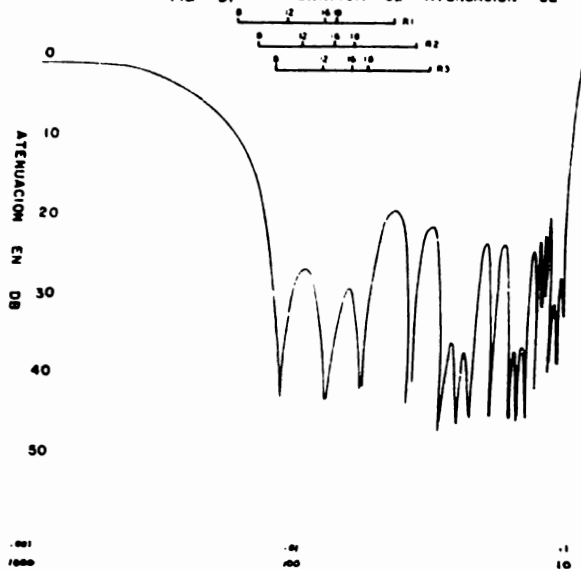


FIG 32 GRAFICA DE ATENUACION DE 2C-28m-12D-7m

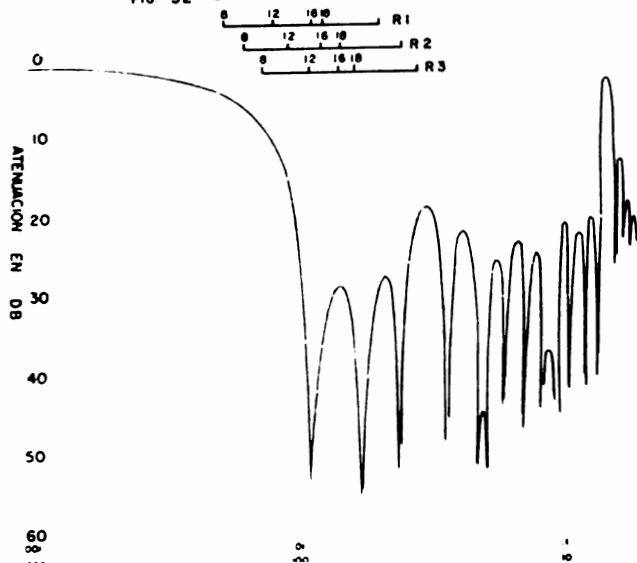


FIG. 33 GRAFICA DE ATENUACION DE 240-8m

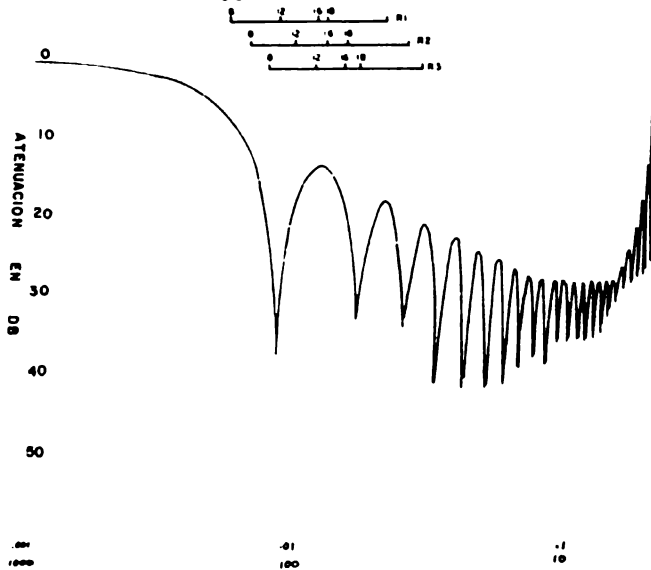
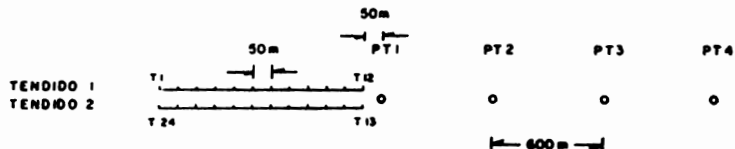


FIG. 34 PRUEBA MULTIPLE

(OFF-SET, LONG. DEL TENDIDO, COMPARACION DE PATRONES DE DETECCION, ETC)

DIAGRAMA DE POZOS Y DE LOS TENDIDOS DE GEOFONOS

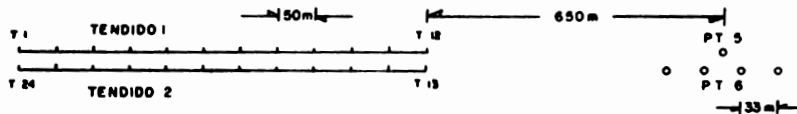


PATRON DE DETECCION ||||22222222|||||
 TENDIDO 1 7M ENTRE DETECTORES
 TENDIDO 2 10M ENTRE DETECTORES
 DISTANCIA ENTRE ESTACAS 50M

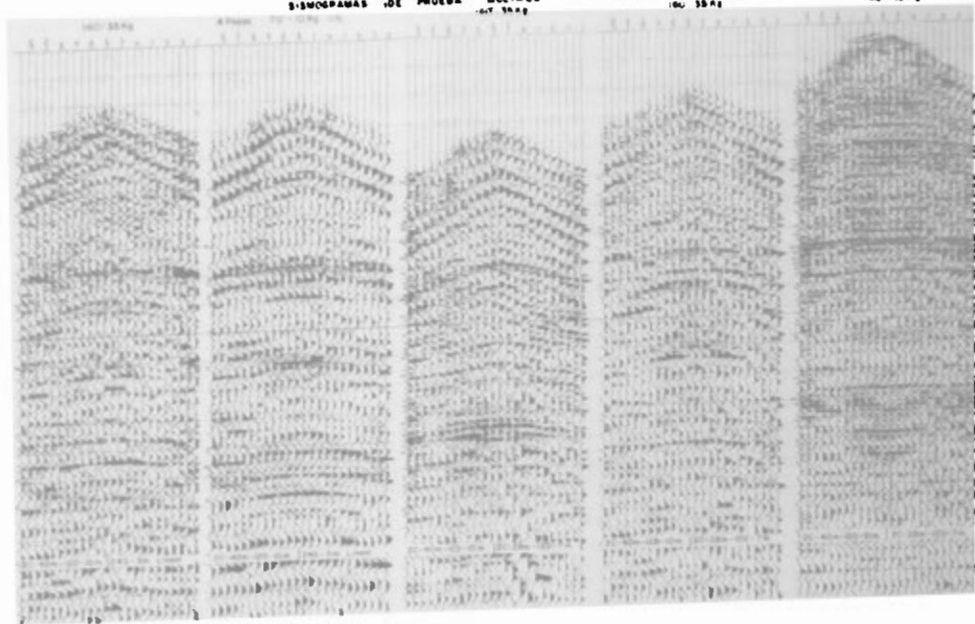
SECUENCIA DE TIRO

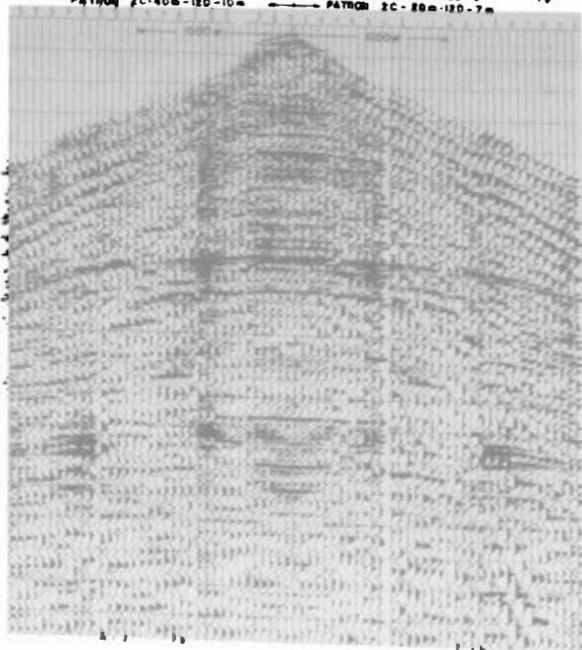
PT	PROFUNDIDAD	CARGA
1	160 PIES	35 Kg
2	160 "	35 "
3	160 "	35 "
4	160 "	35 "

FIG. 35 PRUEBA MULTIPLE
(POZO SENCILLO VS POZOS MULTIPLES, COMPARACION DE TENDIDOS, ETC)
DIAGRAMA DE POZOS Y DE LOS TENDIDOS DE GEOFONOS



TENDIDO 1 24 DETECTORES EN LINEA
 5M DE SEPARACION UNO DE OTRO
 TENDIDO 2 PATRON DE DETECCION ||||2222222|||
 10M ENTRE DETECTORES
 DISTANCIA ENTRE ESTACAS 50M PARA LOS DOS TENDIDOS





ción se encuentra entre el centro y 20 tramas $50 \times 20 = 1000$ mts., se podrá escoger un tendido bilateral $1000-00-0-00-1000$ mts., es decir 00 mts. de off-set y 00 mts. entre tramas.

Selección final de parámetros de observación.

- a).- 1 pozo a 160 mts con 35 Kg. de dinamita.
- b).- Patrón de detección $20-40$ mts.- $100-10$ mts.
- c).- Tendido $1000-00-0-00-1000$ mts.
- d).- Filtros de registro 12 - 124 Hz con 2 mseg. de muestreo.
- e).- Distancia entre pozos de 100 mts., para un brillo máximo de 600%.

CAPITULO 4

PROCESAMIENTO PRELIMINAR DE LA INFORMACION SISMOLOGICA

Debido a los grandes avances en las técnicas de registro y la innovación que trajeron las fuentes de energía superficial al método sismológico de reflexión, se hizo necesario que la información obtenida, fuera procesada para tener los datos sísmicos en una forma práctica y confiable, para luego poder hacer una interpretación más adecuada a la realidad geológica.

4.1.1 CORRELADORES

En la técnica de vibración aparte de todos los elementos de un equipo de registro como el utilizado cuando la fuente de energía es la dinámica, necesita de una unidad llamada correlador, que entre sus funciones, realiza la suma y correlación de los datos sísmicos.

En la Fig. 38 tenemos un diagrama de un correlador, compuesto por un sumador, un circuito retén de datos, un multiplicador, un circuito acumulador y un circuito de registro.

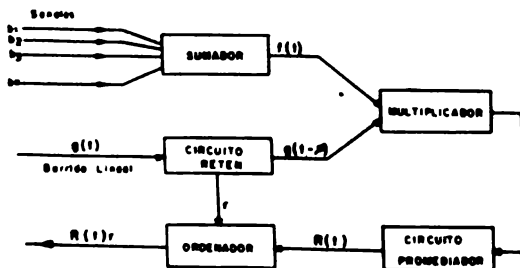


FIG 38 DIAGRAMA DE UN CORRELADOR

En donde $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$, son los barridos individuales.

$g(t)$ es la señal de barrido

$R(t)$ es el resultado de la correlación cruzada entre $F(t)$ y $g(t-X)$.

4.1.1 PROCESO DE SUMADO.- Durante la operación de campo del sistema vibroseis, las unidades vibroseis van haciendo barridos a incrementos de distancia que han sido fijados al calcular el patrón de vibración. Cada uno de estos barridos corresponde a un registro individual, por lo tanto el proceso de sumado vertical consiste en sumar todos los registros individuales asignados a un sólo punto de observación.

La calidad del registro mejorará, cada vez que se suma otro registro.

Actualmente este proceso, se realiza en el campo empleando un equipo especial para hacer la suma y correlación de datos adquiridos por el sistema vibroseis.

4.1.2 PROCESO DE CORRELACION

Un buen método para medir la similitud entre dos formas de onda, es multiplicarlas juntas, ordenada por ordenada y sumar los productos en la duración de las formas de onda.

En el caso sísmológico, una de las señales es el barrido y la otra es cada una de las trazas que componen un registro sumado verticalmente.

La señal de salida que corresponde a la correlación entre las dos señales, tendrá un valor máximo cuando las dos señales estén perfectamente alineadas y un valor mínimo cuando las dos

señales estén alineadas con valores de amplitud de igual magnitud pero de polaridad opuesta.

El correlograma es el equivalente a un sismograma convencional.

La autocorrelación del barrido lineal, nos da el tiempo de inicio ó tiempo cero.

4.1.2 MINICOMPUTADORAS

Con el advenimiento de las nuevas técnicas de grabación digital de datos sísmicos, se hizo posible procesar la información digital por medio de computadoras electrónicas.

El procesamiento digital, es la aplicación de los procesos matemáticos a los datos por medio de una computadora digital.

En lo que se refiere a los sistemas de computación electrónica, se ha desarrollado una alta tecnología hasta lograr pequeñas computadoras de fácil transporte e instalación, tal como es requerido en las brigadas sísmológicas, en las cuales es necesario cambiar el campamento en períodos relativamente cortos.

Una minicomputadora del tipo Texas Instruments, consta de -- los siguientes partes:

- 1) Unidad de proceso central de alta velocidad
- 2) Procesador matricial de alta velocidad
- 3) Disco de cabezas fijas, con capacidad de 2 millones de palabras
- 4) Unidad de cinta de 5 pistas de 1/2 pulgada, de doble densidad (600 y 1600 BPI)
- 5) Graficador Electroestático

6) Teletipo

7) Lectores de tarjetas

Este tipo de minicomputadoras pueden realizar todos los procesos matemáticos necesarios para obtener una sección apilada preliminar, ya que siempre queda la posibilidad de mejorarla -- aplicando procesos más refinados.

Al conjunto de programas mediante los cuales se lleva a cabo el proceso sísmico digital, se llama "Paquete de Proceso Sísmico". Para efectuar el proceso digital de una sección sísmológica, es necesario que las señales, estén digitalizadas a intervalos regulares de tiempo.

Existen varios paquetes de programas que son aplicados a los datos sísmicos; desde luego el nombre y literas variantes de cada programa cambian de una marca comercial a otra, pero básicamente realizan los mismos procesos.

Un paquete de proceso sísmico, esté integrado por varios programas que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a).- PROGRAMAS DE ENTRADA
- b).- PROGRAMAS DE PRE-PROCESO
- c).- PROGRAMAS DE PROCESO
- d).- PROGRAMAS DE SALIDA

4.2.1 PROGRAMAS DE ENTRADA

PROGRAMA DE ENTRADA.- Este programa lee la cinta de campo e ingresa la información preliminar para el proceso, tal como el número de archivo, número de carrate, intervalo de muestreo, número

ro de muestras, información de ganancia de los canales, marcas de fin de carrete, presencia de errores, así como la asignación de un número de identificación para cada registro.

PROGRAMA DE DEMULTIPLEXADO.- Ya se explicó en el capítulo 1, que los datos al grabarse quedan en forma multiplexada, pero para poderles aplicar los procesos matemáticos, es necesario que las muestras estén ordenadas secuencialmente para cada traza (muestras 1, 2, 3, 4, N de la traza 1, muestra 1, 2, 3, 4, N, de la traza 2 etc.), este proceso se le llama demultiplexado.

Este programa también efectúa la normalización de las amplitudes en función de la amplitud verdadera, es decir, considera la ganancia aplicada.

El formato del carrete demultiplexado, es el formato de entrada a todos los otros programas en el paquete.

PROGRAMA DE CORRECCIONES DE ERRORES

PROGRAMA DE CORRECCIONES DE ERRORES.- Este programa utiliza información de velocidad para calcular tablas de "MO" (Normal Move Out), para aplicar correcciones lineales a trazas digitalizadas.

Así mismo, el programa elimina todos los datos proporcionados por el operador de las bridas, para su empleo posterior en los programas de proceso.

La información de almacenaje este programa corresponde a la identificación de carrete, línea, punto de tiro, número de traza por seis orreza, omisiones e inversiones de trazas, correcciones estáticas, intervalo de muestreo, multiplicidad de apilamiento, zona, proyecto, área, brigada, fecha, etc.

4.2.3 PROGRAMAS DE PROCESO

PROGRAMA DE CORRECCIONES.- Este programa aplica las correcciones estáticas y dinámicas en tiempo.

PROGRAMA DE AFILAMIENTO.- Aquí se obtiene el afilamiento de trazas, agrupando en familias de GDF, los señales provenientes de diferentes puntos observados. Este afilamiento, está determinado por la forma de tiro y un número de observaciones que se hicieron dentro del período.

PROGRAMA DE SELECCION.- Este programa arregla las trazas en la secuencia que se desee con el objeto de obtener una sección 100 (perfil continuo). El objeto de obtener una sección de éste tipo, es para evaluar la calidad de los datos y posteriormente compararla con la sección afilada para asegurarse que el afilamiento ha reforzado la señal, o esta ha sido mejorada.

PROGRAMA DE ANALISIS DE VELOCIDAD.- Una vez que se ha revisado la sección 100 y seleccionando los lugares donde a criterio del analista son los de mejor calidad de los reflectores se toma un grupo de trazas con FRC, a las cuales se le aplican velocidades constantes aumentando su valor conforme aumenta el tiempo - en la sección, y se seleccionarán las partes de la sección en donde la velocidad aplicada es la correcta dando buenos reflejos. Este proceso, se repetirá a lo largo de toda la sección, seleccionando siempre la velocidad óptima de afilamiento para los diferentes reflejos.

PROGRAMA DE ANALISIS DE FILTROS.- Con el objeto de saber cuáles son los filtros de frecuencia, que mejor funcionan para -- obtener un buen proceso de datos, este programa nos ayuda aplicando varios juegos de filtros a un grupo de trazas, cambiando

do el ancho de banda para observar el comportamiento de estos - con la información y así poder determinar los filtros que mejor resultado dan en la sección sísmica.

PROGRAMA DE CORRECCIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS RESIDUALES.-

El propósito de éste programa, es determinar - aplicar automáticamente correcciones estáticas y dinámicas residuales.

El método consiste, en determinar ajustes de correcciones - estáticas crosscorrelacionando la traza en estudio con una traza de referencia, esto se aplica para todas las trazas del mismo punto de reflejo común.

Si las velocidades de apilamiento han sido altas ó bajas -- con respecto a la verdadera velocidad de apilamiento, habrá un residuo, que se puede eliminar al aplicar una corrección dinámica residual.

PROGRAMA DE AUTOCORRELACION.- Aplica la función de autocorrelación a datos sísmicos: su propósito principal, es revelar periodicidades causadas por reverberaciones, fantasmas y múltiples.

PROGRAMA DE CONVOLUCION.- El propósito del programa, es atenuar reverberaciones, fantasmas y múltiples de período corto empleando la técnica de de convolución.

La secuencia es autocorrelacionar la traza sísmica en una ventana de tiempo, seleccionada. Esta traza, autocorrelacionada es la que se emplea para calcular el operador de deconvolución. El operador es de banda limitada, de acuerdo a la especificación deseada: este operador es el que actúa sobre la traza en la operación de deconvolución.

4.2.4 PROGRAMAS DE UTILERIA

Prácticamente, estos programas, convierten los datos de un formato a otro, transfieren la información de un dispositivo a otro, tal como de cinta a cinta, de cinta a tarjetas etc.

También se encuentra el programa que invierte el orden de -- las trazas para aplicar el análisis de velocidad etc.

SECCION FINAL.- Una vez que se han aplicado todos los programas anteriormente descritos, se obtiene una sección final, la cual se encuentra normalizada, atilada u filtrada.

En la Fig. 30, tenemos la sección final correspondiente a la área donde se realizaron las pruebas usadas en los capítulos anteriores.

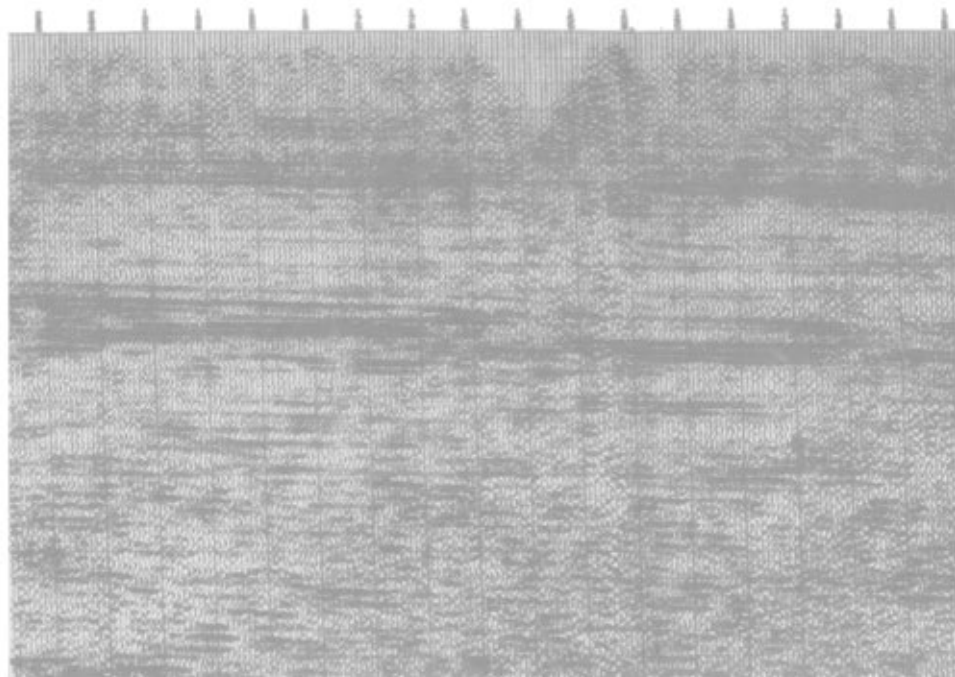


FIG. 24 SECCION APTILADA 400 S

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

El conocimiento adecuado de los elementos con los que cuenta el geofísico es de gran importancia para la obtención de buenos datos sísmicos.

Actualmente la sismología cuenta con las siguientes técnicas que bien empleadas ayudarán a mejorar la relación señal-ruído:

- 1.- El uso de sismodetectores múltiples, que en un despliegue bien diseñado, podrá atenuar el ruido coherente según la respuesta teórica de un retrón.
- 2.- Las fuentes múltiples es una técnica muy usada para actuar como un filtro espacial en la cancelación de ruido coherente utilizando la misma teoría para el diseño de un despliegue de sismodetectores.

Los fuentes de energía más usados en áreas terrestres, son - los pozos múltiples, unidades vibratorias y líneas de cordón - detonante.

- 3.- El ruido incoherente es disminuido en una relación dada por el factor estadístico $\frac{1}{\sqrt{mn}}$ donde n es el número de detectores y m el número de fuentes de energía usadas.
- 4.- La profundidad de tiro, en el caso de que la fuente de energía sea dinamita, se deberá elegir adecuadamente (en general por debajo de la capa intemperizada) para que pueda haber una buena transmisión de la energía sísmica.
- 5.- La carga de dinamita, debe ser elegida de acuerdo con el objetivo geológico de cada prospecto en particular. Por ejem--

plo, cuando el reflector que corresponde al objetivo es relativamente somero, se deben de emplear cargas pequeñas para tener la parte inicial de los registros con poca distorsión. Si el objetivo es profundo se emplearan cargas más grandes, aunque se pierda calidad en la parte inicial del registro y si el objetivo es mixto se puede obtener una carga intermedia que satisfaga ambas necesidades.

- 6.- El procedimiento de punto de reflexión común es útil en la eliminación de reflexiones múltiples, las cuales son consideradas como ruidos. Como las reflexiones primarias tienen poco decaimiento de una traza a otra se sumarán y el ruido al no estar en fase tenderá a cancelarse. En trabajos terrestres es muy común utilizar un atenuamiento de 600 y 1200%.

- 7.- En áreas en las que la energía sísmica no se transmite adecuadamente, el empleo del sistema de tiro central dará mejor resultado que el sistema de tiro lateral ya que en este último la energía sísmica tendrá que viajar mayor distancia.

Si el empleo del tiro central no da buen resultado se podrán emplear tiros o fuentes múltiples con desplazamiento lateral de la línea de observación; este sistema de tiro es empleado cuando el ruido coherente es de tal magnitud que no puede eliminarse con detectores múltiples.

- 8.- El equipo de registro debe tener un amplio rango dinámico y bajo ruido instrumental, así también los filtros de registro se deberán ajustar de manera que no se eliminen las más bajas frecuencias de reflexión, esto es muy importante cuando el objetivo es profundo, ya que las altas frecuencias son absorbidas por el terreno y a los detectores solo-

llegan las bajas frecuencias. Se deberá emplear el filtro "Notch" cuando se esté cerca de líneas eléctricas de alta tensión para evitar el ruido provocado por éstas.

9.- En el procesamiento digital de los datos sísmicos se deberán emplear correctamente las velocidades para obtener una buena correlación de eventos.

Hoy en día la exploración petrolera en México hace uso de 22 grupos de sísmología de reflexión entre los cuales 6 utilizan el sistema vibroseis - 13 utilizan la dinamita como fuente de energía, siendo eventualmente empleado el cordón detonante en las bridas de dinamita.

Todos los grupos emplean el equipo de registro magnético digital con amplificadores de punto flotante.

La sísmología es el método que utiliza el 70% del presupuesto de exploración, de ahí deriva gran parte de la importancia de aplicar correctamente esta técnica para la obtención de buenos datos, que ayuden a resolver los diversos problemas geológicos.

BIBLIOGRAFIA

1. CAPTOS F.J.: Tratado de Geofísica Aplicada.-Instituto Geológico y Minero de España.- Madrid 1974.
2. TELFORD W.M., GELDART L.P., SHERRIFF R.E., KEYS D.A.: Applied Geophysics.-Cambridge University Press.-1976.
3. DOUGLIS E.B.: Introducción a la Prospección Geofísica.- Ed. Omega S.A., 1969.
4. PARASKEIS D.S.: Principles of Applied Geophysics.-Chapman and Hall L.T.D., 1972.
5. SHERRIFF R.E.: Enciclopedia Dictionary of Exploration Geophysics.- SEG, 1976.
6. TOTOSANUS L. J. de J.: Fuentes de Energía en la Prospección Sísmológica.- Tesis profesional.-Fac. de Ingeniería, UNAM, 1976.
7. GARCIA R.A., BASURTO L.J.: Notas sobre el Empleo de Sísmodetectores Múltiples.-1a. y 2a. parte.-Boletín E'GE, 1962.
8. FALAZON R.H.: Principios Básicos para el Procesado Digital de Datos Sísmicos.- Boletín E'GE, 1975.
9. FALAZON R.H.: Introducción a los Sistemas de Grabación Digital.- Boletín E'GE, 1960.
10. BASURTO GARCIA L.J.: Uso de Detectores Múltiples en la Exploración Sísmológica.- Boletín E'GE, 1964.
11. MATHIE L.M.: Common Reflection Point Horizontal Stacking Techniques.-Geophysics, 1962.
12. WINEB'S E.P., LENZ I.L., DAYW A. E., HOTTSGW J.M.:
Formas Recomendadas para Formatos de Cinta Magnética Digi-

- tal.-Geophysics, 1972.
13. DAVITT J.L.: Comprensión del Sistema Vibrosigro.-Chevron Standard Limited, 1977.
 14. HAYES T.S., LAND D.G.: Surface and Guided Wave Attenuation by Use of Band-Stop Filters.- Paper presented at annual meeting of the American Geophysical Society.- May 1974.
 15. ASPIRIS A.R.: Proceso Digital de la Información Sísmológica.- Boletín AGE, 1970.