



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS
PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA**

FALLA DE ORIGEN

T E S I S

Que para obtener el Titulo de

INGENIERO GEOFISICO

P R E S E N T A N

**ALEJANDRO MISAEL CARRASCO CARRASCO
Y LUIS CASTILLO**

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

	pagina.
INTRODUCCION.	1
I.- EL DETECTOR SISMICO.	3
I.1.- Características Generales	3
I.2.- Interconexión.	15
I.3.- Su operación en campo.	20
II.- FILTROS ESPACIALES.	27
II.1.- Generalidades.	27
II.2.- Respuesta de los diferentes tipos de arreglos	32
II.2.1.- Análisis para detectores de igual sensibilidad, distribuidos en línea con espaciamientos constantes.	32
II.2.2.- Análisis para detectores de igual sensibilidad, distribuidos en línea con espaciamientos variables.	37
II.2.3. Respuesta de los patrones pesados con espaciamientos constantes.	43
II.3.- Curvas de Respuesta.	48
II.3.1.- Curvas de respuesta para un patrón lineal.	46

II.3.2.- Curvas de respuesta para un patrón lineal, con espaciamentos variables	50
II.3.3.- Curvas de respuesta para un patrón pesado.	51

III.-DETERMINACION DE PARAMETROS DE OPERACION CON SISTEMA VISROSEIS.	57
III.1.- Los diversos factores que afectan al registro sísmico.	57
III.2.- Pruebas de Campo.	76
III.2.1.- Generalidades.	76
III.2.2.- Antecedentes.	79
III.2.3.- Análisis de Ruidos.	87
III.2.4.- Pruebas de Frecuencia de Barrido.	99
III.2.5.- Pruebas de Longitud de Barrido.	103
III.2.6.- Pruebas de Patrones de Vibración.	105
III.2.7.- Prueba Multiple.	110
IV.- PROCESOS APLICADOS A LAS PRUEBAS DE CAMPO.	116
IV.1.- Filtrado de Frecuencias Variables en el Tiempo.	118
IV.2.- Filtrado de Velocidades.	136
IV.3.- Aplicación de Escalares Variables en el Tiempo.	159
IV.4.- Determinación de los Parámetros Optimos.	166
CONCLUSIONES .	171
BIBLIOGRAFIA .	172

INTRODUCCION

Estamos seguros, que para una mejor comprensión de los métodos sísmicos actuales o aún más adelante, conforme estos evolucionen, será siempre importante el conocimiento de sus fundamentos y las bases de las diversas técnicas que en ellos intervienen. A partir de esta idea, el interés nuestro al exponer este trabajo, es cooperar con algunos datos que puedan ser de utilidad para quien se desarrolle dentro del área de las técnicas de campo y por otra parte, que sirva de introducción para los compañeros que recién egresados de la carrera, deseen dedicarse a esta rama de la geofísica.

Es fundamental en los estudios del subsuelo terrestre, en los cuales se tiene que trabajar con datos obtenidos por métodos indirectos (Prospecciones Geofísicas), alcanzar la máxima calidad en la obtención de los datos de campo; ya que obtenidos éstos, es en algunas ocasiones imposible eliminar los efectos indeseables que nos enmascaran o distorsionan las señales que nos proporcionan la información deseada, por lo

CAPITULO I.- EL DETECTOR SISMICO.

I.1.- Características Generales.

El geófono o sismómetro, es un transductor el cual convierte las vibraciones terrestres en una señal eléctrica. Se han patentado a través de la historia de la exploración sísmica, diversos dispositivos en los cuales se han utilizado cristales piezoeléctricos, condensadores variables, inductancias variables, etc.

Un geófono de reluctancia variable, creó preferencia en la industria años atrás, pero el de tipo dinámico vino a desplazarlo y en actualmente el de uso general.

El geófono de tipo dinámico, que se muestra en la figura 1.1, genera un voltaje de salida por el movimiento de una bobina "A" en un campo magnético. La bobina esta ensamblada a una masa y este ensamble montado en dos resortes planos "B".

La figura 1.2, muestra un corte transversal de una bobina de las usadas por el geófono del tipo dinámico.

Una flexión en los resortes, permite a la bobina moverse libremente dentro y fuera del espacio magnético anular, pero

Cilindro protector
de la bobina

Salida negativa

Magneto fijo



Carga resistiva

Salida positiva

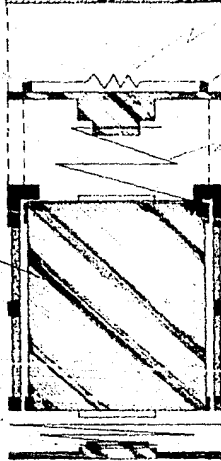
Soporte fijo

Resorte "B"

Bobina móvil "A"

Resorte "B"

Soporte fijo



Corte transversal de el interior de
una bobina GSC-20D de 10 Hz de fn.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SIMBOLOGICA	
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castellano	
	Dezembre de 1989	México, D.F.

presentando por medio de los soportes, bastante rigidez para otros tipos de movimientos. En operación, la inercia de la masa, sujeta los movimientos de la bobina, cuando las vibraciones de la tierra, mueven la caja del geófono y el magneto.

El voltaje generado es por consiguiente proporcional a la velocidad de las vibraciones de la tierra. El mecanismo está orientado, para que sea sensible al movimiento vertical. Como ya sabemos, la superficie terrestre, deberá moverse aproximadamente vertical, cuando una onda longitudinal reflejada desde una interfase profunda se aproxime a ella.

Para usos de campo, la estructura del geófono, debe de ser insensible a las variaciones de la temperatura, impermeable y de construcción resistente. Los métodos sísmicos actuales, requieren de un gran número de geófonos, por lo que es un requerimiento necesario, el poco peso para facilitar su manejo.

La sensibilidad del geófono sobre un rango de frecuencias de 10 a 100 ciclos por segundo, es suficiente para producir un registro útil, aunque una reproducción más fiel, del movimiento terrestre transitorio, pueda requerir un rango mucho más amplio.

La construcción actual del geófono, tiene una buena respuesta

a las altas frecuencias, y la tendencia reciente, ha sido extender la respuesta a las bajas frecuencias, por abajo de los 10 Hz. La sensibilidad debere ser lo suficientemente grande, tal que, las perturbaciones normales del terreno, puedan proveer una señal la cual sea igual o más grande que el ruido instrumental. Un número de geófonos apropiadamente espaciados, son usados para cada canal o traza, con el objeto de incrementar su sensibilidad y mejorar la relación señal a ruido.

El sistema masa-resorte del geófono, constituye un oscilador mecánico. La carga resistiva de la bobina, las corrientes en la bobina y todas las corrientes parásitas, pueden ser proporcionales a la velocidad instantanea de la bobina con respecto al campo magnético. Las fuerzas resultantes de estas corrientes dan origen a un tipo de viscosidad amortiguadora del sistema.

En modelos anteriores de geófonos, la viscosidad de amortiguamiento fue provista mediante una placa inmersa en aceite. Las corrientes parásitas, amortiguan en el moderno geófono dinámico, y se considera este amortiguamiento suficiente, además, es menos sensible este sistema a las variaciones de temperatura.

La curva de respuesta del sistema mecánico del geófono,

representa el desplazamiento de la masa con respecto a caja del geófono, vibrando para una amplitud constante en varias frecuencias. También describe la velocidad relativa masa-caja para todas las frecuencias, cuando la caja del geófono es conducida a velocidad constante, con respecto a una estructura de referencia externa.

La figura I-3, muestra las características de la amplitud de respuesta, para varios valores de amortiguamiento. En la porción plana de la gráfica, sobre la frecuencia de resonancia, vemos que $Y/A = 1$, lo cual indica que el movimiento relativo (Y), entre la masa y caja, es igual a la amplitud real del movimiento (A) de la caja misma. Esto implica que la masa permanece quieta mientras la caja se mueve.

Para una mayor eficiencia en el geófono, la mayor parte de la amortiguación debe de obtenerse de las mismas corrientes señaladas en la bobina y menos del 5 % debe de ser atribuible a otras causas. Ya que se desea una respuesta plana del geófono, se deberá evitar el alto "pico" de resonancia asociado a una baja frecuencia. Por otra parte, la resonancia generada por este "pico", podrá interferir en el registro apropiado del movimiento de la tierra. Un geófono de frecuencia de resonancia conocida, puede ser diseñado para

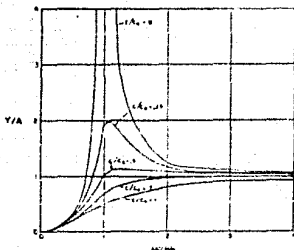


Fig. 13.- Curvas de respuesta de un geófono para varias constantes de amortiguamiento. Y es la amplitud de desplazamiento de la masa con respecto a la caja del geófono, A es la amplitud de desplazamiento del geófono, ω es 2π x la frecuencia de conducción, ω_0 es 2π x la frecuencia de resonancia de la masa, bobina y resortes; C es el amortiguamiento aplicado y C_0 es el amortiguamiento crítico.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS BASICOS DE	
	PROFESION TIPOLOGICA	
	Alejandro M. Carrasco C.	
Luis Castillo		
Diciembre de 1989		
México, D.F.		

tener la amortiguación deseada, mediante el acoplamiento de una resistencia a las terminales externas de la bobina; si la resistencia de terminación es considerada como parte integral de el geófono, el voltaje de salida será simplemente proporcional a la cantidad Y/A .

En la figura 1-4, se muestran las curvas de respuesta a diferentes frecuencias, para el geófono del tipo dinámico, mostrado en la figura 1-1, y que es el comunmente utilizado en la exploración sísmica en México.

Haremos algunos comentarios sobre los datos especificados en estas gráficas, que consideramos de importancia, ya que son los datos que ofrece el fabricante al usuario.

Primeramente, el estado de equilibrio de las fuerzas interactuantes en un geófono dinámico, está dado por la ecuación siguiente:

$$M_a \ddot{x} + M_s \dot{x} + C V_c \dot{x} + K_s x + \mu I = 0 \text{ -----(1.1)}$$

donde:

M = masa en movimiento.

a_g = aceleración de la caja del geófono con respecto a la tierra.

a_c = aceleración de la masa con respecto a la caja.

C = coeficiente de amortiguamiento.

V_c = velocidad de la masa con respecto a la caja.

K = coeficiente de rigidez de los resortes.

x_c = desplazamiento de la masa con respecto a la caja.

μ = constante de transferencia electromecánica.

I = flujo de corriente a través de un circuito cerrado mediante una resistencia de carga R

Esta ecuación, genera una serie de demostraciones muy extensa y complicada que puede ser motivo de un tratamiento único, nosotros la mencionamos para vincular con ella, los parámetros especificados en las curvas de respuesta a las frecuencias.

El voltaje generado por la bobina es:

$$E = \mu n d B V_c \text{-----} (1.2)$$

donde $\mu = \mu n d B$ y

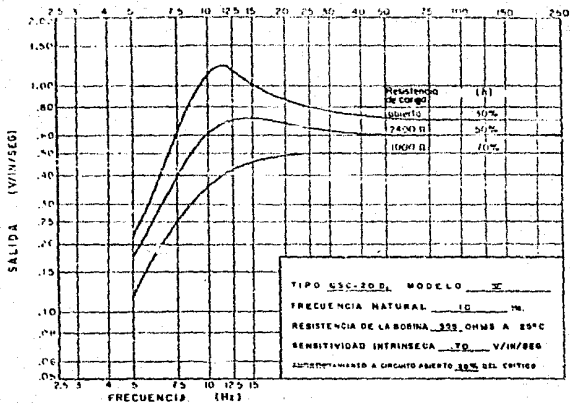


Fig. I.4.- Curvas de respuesta a la frecuencia del detector sísmico SALIDA contra FRECUENCIA.

MANU	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA.
	Alejandro M. Corrales C. Luis Castillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

n = número de vueltas de la bobina.

d = diámetro de la bobina.

B = densidad de flujo magnético (Webers/seg. mtr.)

En la gráfica de la figura 1-4, el primer parámetro observado en el eje vertical, denominado SALIDA, es la razón de la amplitud del voltaje de salida a la amplitud de la velocidad de la caja del geófono:

$$\text{SALIDA} = E/V_g = 4\pi^2 f^2 \mu / \sqrt{(4\pi^2 f^2 - 4\pi^2 f_c^2)^2 + (2\pi f(C/M) + 2\pi f(\mu^2/RM))^2} \quad \text{---(1.3)}$$

donde V_g es la velocidad de la caja con respecto a la tierra.

El valor de SALIDA está dado en volts por pulgada por segundo.

El segundo parámetro es "h" o amortiguación relativa, y se define como:

$$h = \frac{\text{Fuerza de atenuación por unidad de velocidad}}{\text{Fuerza requerida para la atenuación crítica}} = \frac{C}{C_0} \quad \text{---(1.4)}$$

de pruebas de laboratorio, se ha observado que:

$$C_0 = 2M \sqrt{K/M} \text{ -----(I.5)}$$

substituyendo el valor de $\sqrt{K/M}$ de la ecuación conocida, para un sistema oscilante no atenuado, tenemos:

$$f_0 = 1/2\pi \cdot \sqrt{K/M} \text{ -----(I.6)}$$

substituyendo (I.6) en (I.5):

$$C_0 = 4\pi f_0 M \text{ -----(I.7)}$$

por lo tanto:

$$h = (C/M)/4\pi f_0 \text{ -----(I.8)}$$

la relación C/M se puede obtener de la ecuación (I.3) para el valor de E/Vg para la frecuencia natural f_0 de tal manera que:

$$C/M = (E \pi f_0 \mu) / (E/Vg)_{f_0} - (\mu^2/RM) \text{ ----- (1.9)}$$

de donde se concluye que "h" es función del valor de la resistencia acoplada al sistema.

La sensibilidad intrínseca se define como el valor de la salida para un circuito abierto, cuando la frecuencia crece infinitamente.

Bajo esas condiciones, de la ecuación (1.3), tenemos que:

$$E/Vg = \mu$$

Finalmente, si los valores de μ , M, f_0 y E/Vg en f_0 son proporcionados por el fabricante, entonces el valor de C/M podremos calcularlo para diferentes valores de R, y con éste el de la amortiguación relativa "h".

1.2.- Interconexión.

Respecto a la interconexión de detectores en un solo grupo, con fundamento en los resultados obtenidos en las pruebas

realizadas por las compañías fabricantes, no importa, con respecto a la cancelación de ruidos, si los detectores están conectados en serie, en paralelo o en un arreglo serie-paralelo. Los análisis teóricos y las pruebas realizadas, han demostrado que el filtrado de señales no deseadas, que se ha obtenido con el uso de un arreglo en la distribución de los geófonos, es independiente del método de interconexión.

Los factores que determinan el mejor método de interconexión, son los siguientes: Frecuencia de respuesta, Fase de respuesta y Nivel de la señal.

El nivel de la señal, se puede incrementar conectando los geófonos en serie, pero los amplificadores en el equipo de registro son tan sensibles que incluso el ruido aleatorio antes del "tiro", excede el rango dinámico de el canal de grabación. Lo que de aquí se concluyó, es que el incremento excesivo de la señal del geófono, puede causar problemas, al distorsionarse las señales de alto nivel, además de no favorecer a las señales de bajo nivel.

Para determinar los efectos en la frecuencia y la fase de respuesta, es necesario considerar la impedancia de entrada de los amplificadores en el equipo de registro. Esto es debido a que la impedancia de entrada en el primario del transformador varía con la frecuencia. Por otra parte la

impedancia de entrada correspondiente a los geófonos y al cable es fundamentalmente resistiva. Esto significa que, a las bajas frecuencias, si la impedancia del grupo de geófonos y cable es alta, una buena parte del voltaje de la señal, aparecerá a través de ella, en lugar de aparecer a través del transformador amplificador de entrada. Con la progresión a frecuencias más altas, la impedancia de entrada del transformador crece y una mayor porción del voltaje se desarrollará a través de ella, mientras, menos se desarrollará a través de la impedancia del grupo de geófonos y cable. Esta condición reduce la respuesta a las bajas frecuencias del sistema. Otra consecuencia de tener una impedancia alta en el grupo de geófonos y cable, es que pequeñas variaciones de impedancia en cada uno de los amplificadores de entrada, causará una diferencia de fase entre trazas. Esencialmente, si las impedancias del cable y los geófonos se mantienen bajas, las diferencias de fase, que son causadas por ligeras diferencias en los amplificadores de entrada, no serán importantes.

No existe una regla precisa, para determinar el mejor arreglo en la conexión de los geófonos en un grupo, pero en el diseño de instrumentos de algunas compañías, la impedancia del grupo de geófonos, se mantiene más baja que la impedancia de

entrada de los amplificadores, por las razones antes expuestas y siempre se intenta mantener la impedancia de cada grupo de geófonos por abajo de 500 ohms.

Algunas veces, los geófonos dentro de un grupo están conectados en serie, otras veces en paralelo, pero el arreglo más utilizado es una combinación de serie-paralelo. Lo anterior se ilustra en las figuras 1.5, 1.6 y 1.7.

La resistencia a la corriente directa de cada grupo, puede ser medida con un óhmetro o calculada por las fórmulas de resistencias en serie y paralelo. Un método burdo para calcular la resistencia de una cuerda de geófonos en paralelo, consiste en dividir la resistencia de un geófono entre el número de geófonos en la cuerda. En particular, en un grupo compuesto por M hileras de geófonos, conectadas en paralelo y donde cada hilera está compuesta de un número N de geófonos y estos están conectados en serie, entonces:

---El grupo tendrá una sensibilidad de N veces la de un solo geófono.

---El grupo tendrá N/M veces la impedancia de un solo geófono y la respuesta de un solo geófono.

---La salida desde cualquier geófono en el grupo será esencialmente $1/MN$ veces la de el total.

Como se ha mencionado anteriormente, el requisito principal

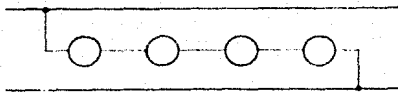


Fig. 15.- un grupo constituido de cuatro geófonos conectados en serie.

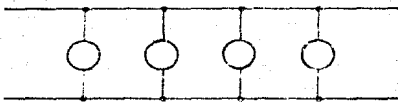


Fig. 16.- Un grupo constituido de cuatro geófonos conectados en paralelo.

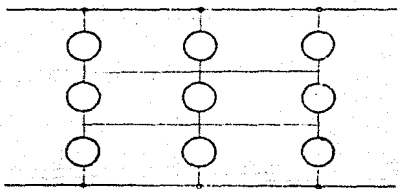
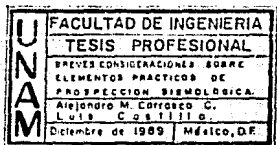


Fig. 17.- Un grupo constituido de tres cuerdas conectadas en serie, en donde cada cuerda consta de tres geófonos conectados en paralelo.



para los diferentes tipos de arreglos, será mantener el valor de la impedancia bajo. Los diferentes arreglos, por supuesto cambian las relaciones de voltaje y de corriente; para fines prácticos, los geófonos pueden considerarse como si fueran baterías; cuando son conectados en serie, los voltajes de salida se suman y cuando son conectados en paralelo, la corriente se incrementa, mientras el voltaje permanece aproximadamente igual al de un solo geófono.

1.3.- Su operación en campo.

El asentamiento apropiado del geófono, es siempre importante. El geófono, depende de su contacto con la tierra para su señal, por lo tanto no deberá ser situado en el pasto o en la tierra suelta. En una área rocosa, el geófono deberá ser situado de tal forma que no vacile en su posición vertical. La salida de la mayoría de los geófonos, no se afecta apreciablemente si el geófono está ligeramente fuera de la vertical, pero solidamente situado.

Independientemente del tipo de filtros, amplificadores, arreglos o geófonos que estén siendo usados, la calidad del

registro depende sobre todo del estado de los grupos de geófonos y cables, y de la manera en que los geófonos están siendo colocados. Ver la figura 1-8 para un ejemplo de la importancia de lo anteriormente aseverado.

Algunas mejoras pueden ser logradas, si se evitan las interferencias que los ruidos producidos por el viento nos introducen. Algunas medidas recomendables son las siguientes:

- Asegurarse que la longitud del cable conector es suficiente, para que éste, esté flojo entre los geófonos.
- Que el geófono no se coloque cerca de las raíces de los árboles, pues estos harán vibrar la tierra cuando el viento los golpee.
- Por último, aunque es poco práctico, se pueden enterrar los geófonos y poner tierra encima de los cables conectores, para evitar las vibraciones que el viento produce.

La mejor forma en campo de verificar el estado de los geófonos y cables, es realizando una prueba de "Duplicación de Geófonos" o "Rango Dinámico de los Geófonos".

Esta se realiza, situando los geófonos a una distancia de aproximadamente 40 ó 50 mts. de el pozo de tiro, conectando una cuerda por traza y tratando de situar los geófonos tan cerca uno de otro como sea posible, de tal manera que la distancia de todos los grupos al pozo sea la misma,

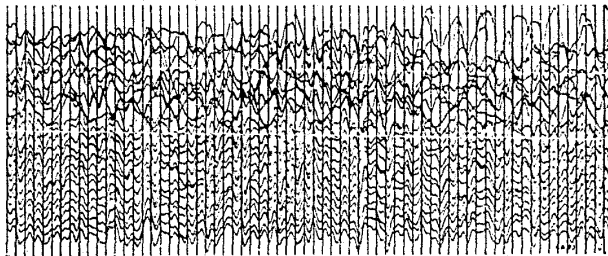
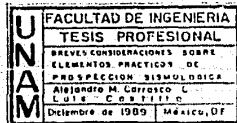


Fig. 1.8.- Esta es una porción de un registro de duplicación de geófonos, en el que las 10 primeras trazas muestran el resultado de situar sobre el terreno los geófonos sin clavarlos y en las restantes 14 trazas se equiparon a los geófonos, con clavos de 10 cms. para ser firmemente enterrados en el terreno.

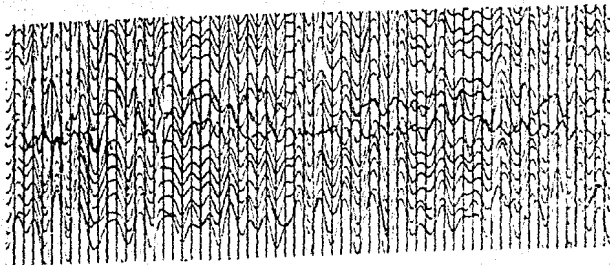


cerciorandose de que todos los geófonos estén firmemente acoplados a la tierra.

La prueba se repetirá con la previa recolocación y revisión de los grupos que hayan mostrado alguna anomalía, para verificar que no era su conexión o colocación lo que estaba fallando.

Un registro de una prueba de duplicación de geófonos, será muy semejante a un registro de un "tiro" con canales en paralelo, si todos los geófonos se encuentran en buenas condiciones.

Algunas anomalías características en estas pruebas, se muestran en las figuras I-9, I-10 y I-11.



25

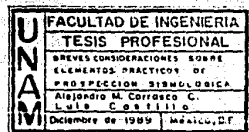
Fig. 1.10.- Bobinas defectuosas en dos grupos.

FIG. 1.10

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROTECCION DE MOTORES
Alejandro M. Carrasco C.	
Luis Castillo	
Diciembre de 1989 Mexico, D.F.	



Fig. I.11.- El grupo conectado a la traza número tres puede estar desconectado, ó éste puede estar abierto ó en corto circuito en el cable de conexión ó en los instrumentos.



CAPITULO II.- FILÍTROS ESPACIALES.

II.1.- Generalidades.

La energía sísmica emitida desde una fuente viaja indiscriminadamente en todas direcciones. En la exploración sísmica, a nosotros nos interesa la energía sísmica reflejada, la cual arriba a la superficie vertical o casi verticalmente. Agregadas a estas ondas reflejadas, los receptores también reciben ondas viajando horizontalmente en la proximidad de la superficie y por arriba de ella.

El modo más eficaz para cancelar las ondas que se desplazan horizontalmente consiste en desplegar varios geófonos en una distancia horizontal que corresponda a la longitud de onda de las ondas de ruido. Este procedimiento fue descrito por primera vez por Born W. T. en 1935.

El ruido que se propaga horizontalmente tiene una frecuencia f y una cierta velocidad V , por lo tanto la longitud de onda, o longitud de un período de onda, es:

$$\lambda = V/f$$

Si un grupo de geófonos es desplegado con intervalos uniformes λ y sus respuestas son sumadas, ellos no podrán cancelar el ruido si están registrando a la onda en fase (figura II-1).

Por otro lado, si los detectores son desplegados con intervalos iguales a la mitad de la longitud de onda ($\lambda/2$), ellos podrán cancelar totalmente a la onda de ruido (figura II-2).

Así, de esa manera, tenemos que un arreglo constituido por n detectores, desplegados a intervalos uniformes d , podrá atenuar en diferente grado a diferentes longitudes de onda, como lo ilustra la figura II-3 con un arreglo de 5 geófonos.

La respuesta del arreglo a las diferentes longitudes de onda puede ser calculado.

Si la longitud de onda λ es igual al espaciamiento d ($\lambda/d=1$), las ondas recibidas están en fase y la salida del arreglo es 5 veces la respuesta de un solo geófono (a). Si $\lambda/d = 2$, la salida es 1/5 de la respuesta para $\lambda/d=1$ (b). Similarmente, es evidente que para ambas relaciones $\lambda/d=3$ y

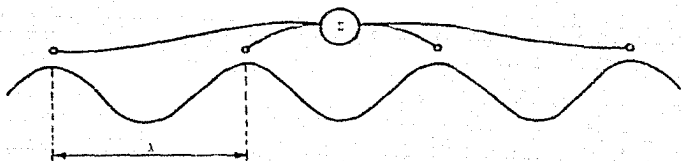


Fig. II.1.- Detectores con un intervalo igual a λ

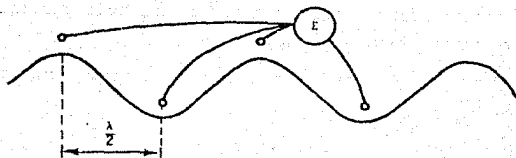


Fig. II.2.- Detectores con un intervalo igual a $\lambda/2$.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Corruico C. Luis Castillo
	Diciembre de 1985 México, D.F.

$\lambda / d = 4$, los movimientos hacia abajo exceden a los movimientos ascendentes en una unidad (c) y (d). Cuando $\lambda / d = 5$, las contribuciones positivas y negativas son iguales y se cancelan una a otra (e). Cuando la longitud de onda tiende a ser muy grande comparada con d, se aproxima al límite de $\lambda / d = \infty$ en el que el valor de la salida para cinco unidades (f), es observada nuevamente; la misma que $\lambda / d = 1$.

De acuerdo a lo descrito anteriormente, la manera de atenuar los diferentes tipos de ruidos es empleando arreglos. El término arreglo, se refiere a el patrón de un grupo de geófonos, los cuales alimentan un canal único, o a una distribución de pozos de tiro o fuentes superficiales, las cuales son activadas simultáneamente. En el caso de fuentes superficiales, el arreglo también incluye diferentes localizaciones de una fuente, combinadas por un apilamiento vertical realizado ya sea en el campo o en el centro de procesamiento de datos.

Así, el arreglo provee un medio de "filtrado espacial" o "filtrado de longitud de onda", para hacer una separación o discriminación entre reflexiones y ondas de ruido.

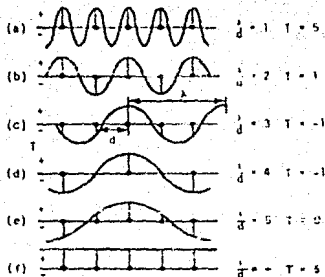


Fig. II.3.- Cinco geófonos uniformemente desplegados a intervalos d .

UNAM	FACULTAD DE INGENIERÍA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRÁCTICOS DE PROSPECCIÓN SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Costillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

II.2. Respuestas de los diferentes tipos de arreglos.

II.2.1.- Análisis para detectores de igual sensibilidad, distribuidos en línea, con espaciamentos constantes.

Es sabido, en base a los desarrollos formulados ya con anterioridad por diferentes personas interesadas en el mismo tema, que la amplitud de una señal registrada por un detector sísmico, ya sea reflejo o ruido, o una composición de ambos eventos, puede expresarse de manera muy aproximada mediante la siguiente expresión:

$$S_1 = \sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin[2\pi f_n (t + (\Delta x/V_n)) + \theta_n] \text{ -----(II.1)}$$

Se debe de tomar en cuenta que esta expresión toma como referencia una señal S_1 , que ha llegado a un detector colocado a una distancia Δx del detector que nos proporciona la señal S_2 y que se encuentran alineados en la dirección en la cual viaja la perturbación.

Por lo cual:

Ondas de señal

$$V_{ap} = \frac{\Delta X}{\Delta t_s}$$

Ondas de ruido

$$V_{ar} = \frac{\Delta X}{\Delta t_r}$$

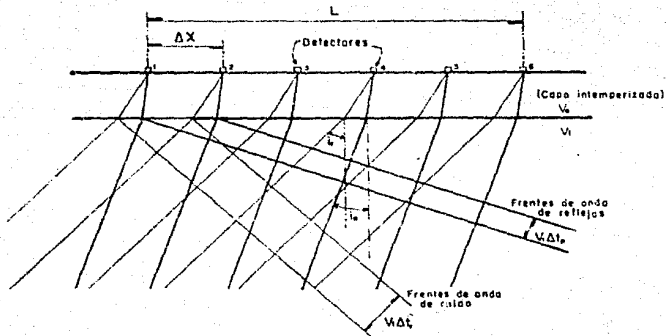


Fig. II.4.- Ondas de señal y ruido, que están siendo registradas por los detectores sísmicos.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA.
	Alejandro J. Carrasco C. Luis C. Castillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

$$S_i = \sum_{n=0}^M A_n \sin(2\pi f_n t + \theta_n) \text{ -----(II.2)}$$

en donde A_n es la amplitud de la componente de frecuencia n , f_n es la frecuencia de las componentes al descomponer a la onda en series de Fourier y θ_n el defasamiento de la componente de frecuencia f_n con relación a la frecuencia fundamental.

Si los detectores son conectados en serie, a una salida común, las señales de un número M de detectores, espaciados una distancia uniforme Δx , darán una señal resultante cuya amplitud será:

$$S_T = \sum_{n=0}^M A_n [\sin(2\pi f_n t + \theta_n) + \sin(2\pi f_n t + 2\pi f_n \Delta x / v_a + \theta_n) + \sin(2\pi f_n t + 2\pi f_n 2\Delta x / v_a + \theta_n) + \dots + \sin(2\pi f_n t + 2\pi f_n (M-1)\Delta x / v_a + \theta_n)] \text{ -----(II.3)}$$

Si tomamos la resultante para una componente de frecuencia f y de amplitud A tenemos:

$$A_T = A \frac{\sin(2\pi f \Delta x / 2v_a)}{\sin(2\pi f \Delta x / v_a)} \cdot \sin [2\pi f (t + (M-1)\Delta x / 2v_a) + \theta] \text{ ---(II.4)}$$

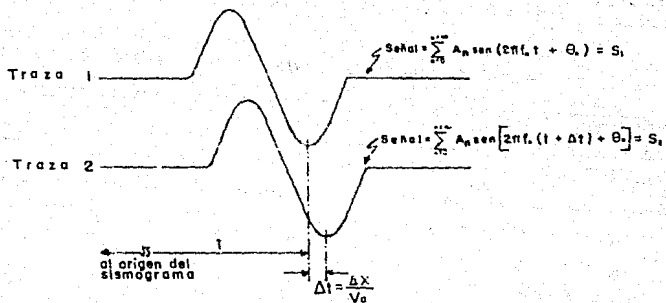


Fig. II.5.- Esquema de las señales registradas por los detectores D_1 a un tiempo t y D_2 a un tiempo $(t + \Delta t)$.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRÁCTICOS DE	
	PROSPECCION SISMOLÓGICA	
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castillo	
Diciembre de 1989	México, D.F.	

siendo la longitud que cubren los detectores, igual a el espaciamento entre ellos multiplicado por el número de detectores menos uno:

$$L = (M-1) \Delta x \text{ -----(II.5)}$$

sustituyendo (II.5) en (II.4):

$$A_T = A \frac{\text{sen} \left[\pi f \frac{ML}{(M-1) v_0} \right]}{\text{sen} \left[\frac{\pi f L}{(M-1) v_0} \right]} \cdot \text{sen} \left[2\pi f \left(t + \frac{L}{2v_0} \right) + \theta \right] \text{ ----(II.6)}$$

en donde podemos observar que la salida para el grupo de detectores es igual que la salida de un detector colocado a una distancia $L/2$ (en el centro del grupo) pero multiplicada por el coeficiente:

$$C = \frac{\text{sen} \left[\pi f \frac{ML}{(M-1) v_0} \right]}{\text{sen} \left[\pi f \frac{L}{(M-1) v_0} \right]} = \frac{\text{sen} \left[\frac{\pi M}{(M-1)} \frac{L}{\lambda_0} \right]}{\text{sen} \left[\frac{\pi}{(M-1)} \frac{L}{\lambda_0} \right]} \text{ ----(II.7)}$$

Dado que el máximo valor que C puede adquirir es M , normalizando su valor a 1 tenemos:

$$A_T = C/M = (1/M) \cdot \frac{\text{sen} \left[\left(\frac{\pi M}{M-1} \right) \left(\frac{L}{\lambda_0} \right) \right]}{\text{sen} \left[\left(\frac{\pi}{M-1} \right) \left(\frac{L}{\lambda_0} \right) \right]} \text{ ----(II.8)}$$

en donde A_n es la respuesta relativa del grupo con relación a la salida de M detectores agrupados, es decir $A_n \neq 0$.

Algunas observaciones importantes en cuanto a los valores que C puede adquirir, se concluyen de la observación de la gráfica de la figura II-6, realizada para el caso de seis detectores y para diferentes valores de la relación L/λ_a .

Observamos que A_n tiene valores de cero para los casos en que $\frac{M}{M-1} \cdot \frac{L}{\lambda_a}$ toma valores enteros 1, 2, 3, etc. También observamos que el valor de A_n recorre un ciclo completo cuando la relación $\frac{L}{(M-1)\lambda_a}$ toma valores enteros 1, 2, 3, etc. es decir se repite después de M máximos del valor de A_n .

II.2.2.- Análisis para detectores de igual sensibilidad distribuidos en línea con espaciamentos variables.

Partiendo de la gráfica de ganancias contra distancias para un patrón pesado como se muestra en la figura II-7, se simula una curva bajo la cual quedarán inscritas, las ganancias que en forma proporcional deberán corresponder a los pesos que nosotros tenemos en nuestro patrón. Esto es, el área total

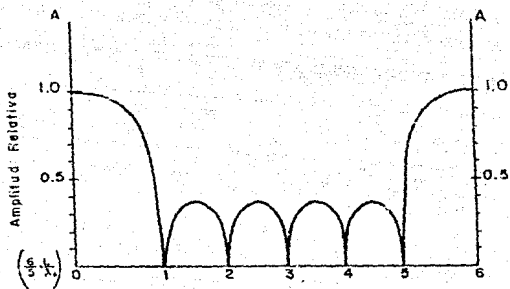


Fig. II.6.- Variación de la respuesta relativa para un grupo de 6 detectores y diferentes valores de la relación L/λ .

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVE CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SINUSOIDAL.	
	Alejandro M. Carrasco C. C. U. B. C. A. S. T. I. L. L. A.	
	Diciembre de 1999	México, D.F.

bajo la curva se dividirá en tantas áreas iguales como número de elementos tenga el patrón deseado. Las distancias variables entre elementos, estarán dadas por la multiplicación de las diferentes distancias a los centroides de las áreas bajo la curva, normalizadas éstas a uno, por la mitad de la longitud total que deseemos en nuestro patrón ($L/2$), debido a que el origen, lo hemos situado en el eje de simetría del patrón de detección a construir.

En seguida, de manera abreviada, ilustraremos el procedimiento de cálculo para la construcción de un patrón de detección de 30 elementos.

La figura II-8, nos muestra la curva $y = \cos^2 x$, representativa de las ganancias para los pesos que se desean. Debido a la simetría de la curva, se hará el análisis sólo para la variación de x de 0 a $\pi/2$.

El área bajo la curva $y = \cos^2 x$ para x variando de 0 a $\pi/2$ vale:

$$A = (x/2) + (1/4)\text{sen}2x \Big|_0^{\pi/2} = \pi/4 \text{ ----- (II-9)}$$

por lo tanto, cada una de las 15 áreas equivalentes en esta sección, deberá valer:

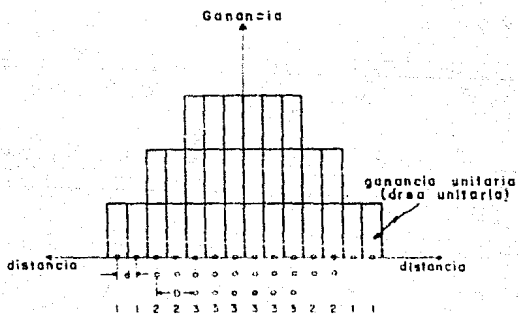


Fig. II.7.- Gráfica de un patrón pesado.

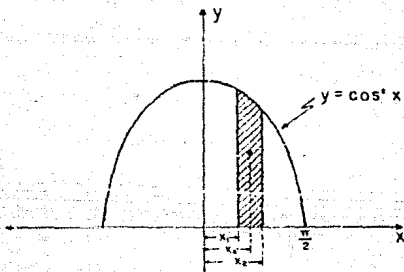
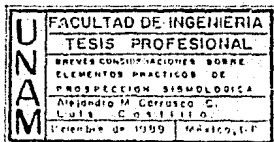


Fig. II.8.- Curva representativa de los pesos que se desean.



$$A_N = \pi / [(15)(4)]$$

de la ecuación (II-9):

$$A_N = \pi/2 + (1/4) \text{sen } 2x \Big|_{x_1}^{x_2} = \pi/60 \text{ ----- (II-10)}$$

Por definición, la distancia centroidal de una superficie al eje x es:

$$x_c = M_y / A \text{ ----- (II-11)}$$

donde M_y es el momento estático de la superficie con respecto al eje y :

$$M_y = \int_{x_1}^{x_2} xy \, dx = \int_{x_1}^{x_2} x \cos^2 x \, dx$$

$$\therefore x_{CN} = \frac{\int_{x_1}^{x_2} x \cos^2 x \, dx}{A_N}$$

resolviendo esta ecuación, tenemos:

$$x_{CN} = \frac{[(x^2/4) + (x/4) \text{sen} 2x + (1/8) \text{cos} 2x]_{x_1}^{x_2}}{(\pi/60)}$$

$$= \frac{[15x^2 + 15x\sin 2x + 7.5\cos 2x]_{x_1}^{x_2}}{11} \quad \text{---(II.12)}$$

donde observamos la necesidad de conocer los límites (x) de las áreas equivalentes bajo la curva $y = \cos^2 x$.

De la ecuación (II.10) y con la ayuda del Método de Segundo orden de Newton que nos dice que:

para un valor dado de $f(x)$ en $x=x_n$, entonces:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n) - [(f''(x_n)f(x_n))/2f'(x_n)]} \quad \text{---(II.13)}$$

con este método de aproximaciones sucesivas, particularmente, buscamos los valores de x_1 y x_2 , partiendo de $x_1 = 0$ y una x_2 aproximada.

Tabla de valores de x para un patrón de 30 elementos.									
x_1	0.0000	x_2	0.0524	x_3	0.1051	x_4	0.0158	x_5	0.2126
x_6	0.2681	x_7	0.3254	x_8	0.3850	x_9	0.4476	x_{10}	0.5142
x_{11}	0.5863	x_{12}	0.6661	x_{13}	0.7574	x_{14}	0.8682	x_{15}	1.0202
x_{16}	1.5708								

Nota: recuerdese que el patrón es simétrico a partir del origen, para valores negativos de x .

Sustituyendo estos valores en la ecuación (II.13), obtendremos las distancias centroidales de las quince áreas equivalentes correspondientes a la mitad del área total y luego, dividiendo X_{CN} entre 1.16065 que fué el mayor valor para estas distancias, normalizamos los valores a 1 y obtendremos los coeficientes que multiplicados por $L/2$ (L = Longitud de la cubierta de detectores), nos darán las distancias variables buscadas, hacia uno y otro lado del eje de simetría del patrón de detección.

Tabla de valores de los coeficientes X_{CN} normalizados.									
X_{C1}	0.0226	X_{C2}	0.0678	X_{C3}	0.1135	X_{C4}	0.1599	X_{C5}	0.2070
X_{C6}	0.2556	X_{C7}	0.3058	X_{C8}	0.3584	X_{C9}	0.4140	X_{C10}	0.4737
X_{C11}	0.5389	X_{C12}	0.6122	X_{C13}	0.6985	X_{C14}	0.8090	X_{C15}	1.0000

II.2.3.- Respuesta de los patrones pesados con espaciamentos constantes.

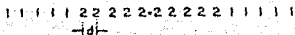
La respuesta de un patrón pesado puede ser calculada de dos diferentes maneras: por Modificación o por Descomposición.

Por Modificación.- En este método, la respuesta total del arreglo, es la convolución de las respuestas individuales en el dominio de la frecuencia espacial, de los sub-arreglos obtenidos de la modificación del arreglo original. En la figura II-9, se muestra un arreglo pesado y su modificación. La respuesta total es el producto de las respuestas individuales, o la suma de las respuestas individuales en decibeles.

Por Descomposición.- Este método, que es el que utilizaremos para el cálculo de las curvas de atenuación, del arreglo empleado en la realización de las pruebas de campo que veremos más adelante, se basa en la simple descomposición del arreglo original, en diferentes e igualmente pesados sub-arreglos. En la figura II-9 se muestra un arreglo pesado y su descomposición. La respuesta total, es la suma de las respuestas individuales de los sub-arreglos.

Nosotros podremos obtener el resultado deseado, si sumamos la respuesta del arreglo lineal de 20 elementos con la respuesta del arreglo lineal de 10 elementos.

Arreglo deseado

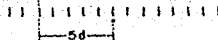


Modificación del arreglo

Primer sub-arreglo
15 elementos con separación d

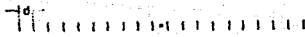


Segundo sub-arreglo
2 elementos con separación $5d$



Descomposición del arreglo

Primer sub-arreglo
20 elementos con separación d



Segundo sub-arreglo
10 elementos con separación d

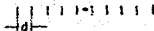
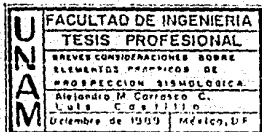


Fig. II.9.- Arreglo deseado y los sub-arreglos.



II.3.- Curvas de Respuesta.

II.3.1.- Curvas de respuesta para un patrón lineal.

En este inciso, aprovecharemos la ocasión para mostrar, el procedimiento de construcción de las curvas de atenuación, para un patrón lineal de 30 elementos con separaciones de 4 mts., dicho patrón fué probado en la realización de las Pruebas de Campo, que trataremos en el próximo capítulo.

Primeramente, generalizando para construir una gráfica de atenuación que nos sea útil para diversas distancias d , donde N , el número de elementos permanece constante, tenemos de la ecuación II-8 del inciso II-2.1:

$$A_r = \frac{\text{sen}(\pi N K d)}{N \text{sen}(\pi K d)}$$

en donde A_r está en función de Kd .

De las observaciones hechas en el mismo inciso, sabemos que

el valor de A_r recorre un ciclo, cuando NK_d toma el valor del número de elementos o un múltiplo de éste, esto es:

$$NK_d = xN \text{ donde } x = (1, 2, 3, \dots, \infty)$$

Por lo tanto, a nosotros nos interesa el primer ciclo completo, y lo podemos obtener, variando K_d de 0 a 1.

La respuesta es generalmente graficada como la potencia de la respuesta relativa en decibeles, contra la longitud de onda (λ) o el número de onda por unidad de distancia (K_d) o simplemente el número de onda (K), que es finalmente lo que nosotros haremos.

$$R_f = 20 \log (A_r) \text{ -----(II.14)}$$

R_f = Respuesta final en decibeles.

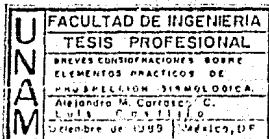
A_r = Respuesta relativo.

La respuesta relativa es la relación de la señal observada con N detectores, separados una distancia d a la señal observada con los N detectores agrupados, es decir $d=0$.

La tabla de la figura II.10, resume el cálculo para un arreglo lineal de 30 elementos, con los valores generales

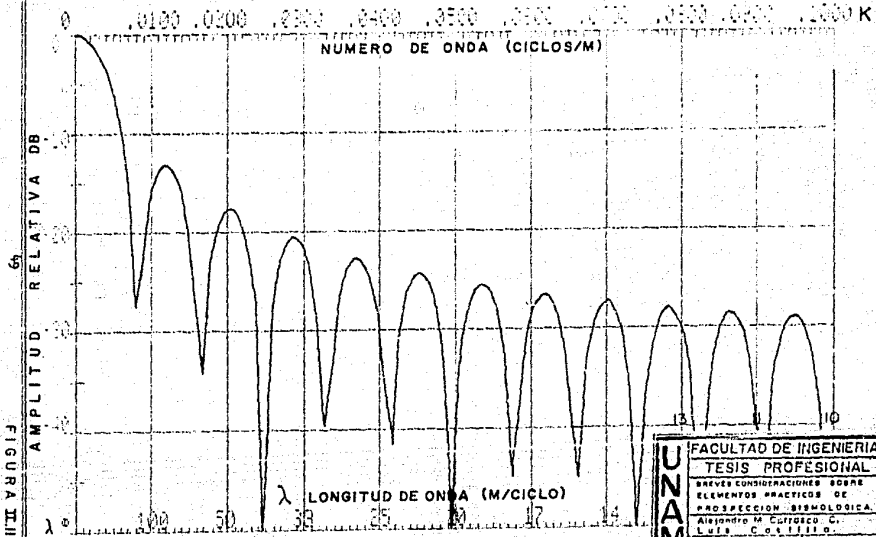
Fig. II.10 Cálculo de la resistencia de un elemento lineal con 10 elementos, con valores en 1/100.

Γ	Fact. de dist.	$\Delta \sigma$	Fact. de ab.
0.000	0.000	1.000	0.00
0.002	0.007	0.998	-0.20
0.004	0.015	0.992	-0.80
0.006	0.023	0.981	-1.60
0.008	0.032	0.962	-2.60
0.010	0.040	-0.150	-4.10
0.012	0.048	-0.210	-5.20
0.014	0.056	-0.261	-6.50
0.016	0.064	-0.302	-7.60
0.018	0.072	0.072	-8.60
0.020	0.080	0.127	-9.90
0.022	0.088	0.111	-10.40
0.024	0.096	0.041	-11.70
0.026	0.104	-0.058	-12.60
0.028	0.112	-0.088	-13.20
0.030	0.120	-0.086	-13.50
0.032	0.128	-0.041	-14.70
0.034	0.136	0.030	-15.00
0.036	0.144	0.064	-15.80
0.038	0.152	0.071	-16.90
0.040	0.160	0.041	-17.30
0.042	0.168	-0.008	-17.60
0.044	0.176	-0.049	-18.20
0.046	0.184	-0.061	-18.30
0.048	0.192	-0.040	-17.90
0.050	0.200	2E-07	-17.50
0.052	0.208	0.038	-16.80
0.054	0.216	0.053	-16.50
0.056	0.224	0.040	-16.00
0.058	0.232	0.006	-14.40
0.060	0.240	-0.029	-10.90
0.062	0.248	-0.047	-8.60
0.064	0.256	-0.040	-8.20
0.066	0.264	-0.011	-59.0
0.068	0.272	0.021	-13.40
0.070	0.280	0.041	-17.70
0.072	0.288	0.058	-20.50
0.074	0.296	0.015	-20.30
0.076	0.304	-0.015	-20.80
0.078	0.312	-0.075	-22.00
0.080	0.320	-0.078	-22.50
0.082	0.328	-0.019	-24.60
0.084	0.336	0.010	-26.40
0.086	0.344	0.072	-28.00
0.088	0.352	0.057	-28.70
0.090	0.360	0.022	-29.70
0.092	0.368	-0.005	-29.80
0.094	0.376	-0.028	-29.40
0.096	0.384	-0.038	-29.00
0.098	0.392	-0.024	-28.30
0.100	0.400	1E-06	-133.0



GRAFICA DE ATENUACION

Patron de Detección: Lineal 30(1) * 4 mts.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRÁCTICOS DE
	PROSPECCION SISMOLÓGICA
Alexandro M. Castiello G.	
Luis Castiello G.	
Septiembre de 1950 México, D.F.	

FIGURA III

para Kd y se incluyen los valores de K para una $d=4$ mts.

La figura II-11, nos muestra las curvas de respuesta para el arreglo antes mencionado.

II.3.2.- Curvas de respuesta para un patrón lineal con espaciamentos variables.

A partir de la fórmula inicial, para la respuesta de un patrón con distancias constantes en función de cosenos, se llega a la respuesta total de un patrón con espaciamentos variables, que es:

$$A(K) = 2(\cos 2\pi Kd_1 + \cos 2\pi Kd_2 + \dots + \cos 2\pi Kd_n)$$

por lo tanto la respuesta relativa del patrón será:

$$Ar(K) = \frac{2}{2N} \sum_{i=1}^N \cos 2\pi Kd_i$$

de acuerdo a la ecuación (II.14) del inciso anterior y debido a la simetría de nuestro patrón, respecto del origen, tenemos

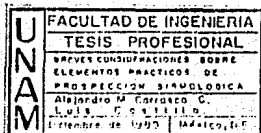
Tabla de valores de d_1 para 1-1, 2-2, ..., 10-10 en pies									
d1	1.38	d4	0.59	d7	18.25	d10	38.12	d11	d1, 11
d2	4.07	d5	1.04	d8	21.01	d11	52.78	d14	65.61
d3	6.51	d6	1.57	d9	24.01	d12	68.12	d17	84.00

Fig. II-12.- Valores de d_1 para un patrón de 20 elementos con una longitud de 4-120 mts.

K (m ²)	R _i (db)	K (m ²)	R _i (db)	K (m ²)	R _i (db)	K (m ²)	R _i (db)	K (m ²)	R _i (db)	K (m ²)	R _i (db)
0.000	0.0	0.017	-51.9	0.024	-51.5	0.031	-51.2	0.038	-51.0	0.045	-50.9
0.001	-0.2	0.018	-51.1	0.025	-51.3	0.032	-51.1	0.039	-51.0	0.046	-50.9
0.002	-0.6	0.019	-50.9	0.026	-51.7	0.033	-50.9	0.040	-50.9	0.047	-50.9
0.003	-1.4	0.020	-50.8	0.027	-50.9	0.034	-51.2	0.041	-51.0	0.048	-50.9
0.004	-2.4	0.021	-50.0	0.028	-51.7	0.035	-51.0	0.042	-51.0	0.049	-50.9
0.005	-3.7	0.022	-50.6	0.029	-50.5	0.036	-51.3	0.043	-51.0	0.050	-50.9
0.006	-5.7	0.023	-51.8	0.030	-50.6	0.037	-51.3	0.044	-50.9	0.051	-50.9
0.007	-8.0	0.024	-50.3	0.031	-50.1	0.038	-51.2	0.045	-51.1	0.052	-50.9
0.008	-10.5	0.025	-51.1	0.032	-50.2	0.039	-51.9	0.046	-51.0	0.053	-50.9
0.009	-14.6	0.026	-52.9	0.033	-52.1	0.040	-51.9	0.047	-50.7	0.054	-50.9
0.010	-19.4	0.027	-55.8	0.034	-59.6	0.041	-51.5	0.048	-50.8	0.055	-50.8
0.011	-26.4	0.028	-50.4	0.035	-54.0	0.042	-52.4	0.049	-54.1	0.056	-50.7
0.012	-32.3	0.029	-77.2	0.036	-52.7	0.043	-57.8	0.050	-55.8	0.057	-52.8
0.013	-36.8	0.030	-59.4	0.037	-58.6	0.044	-54.5	0.051	-52.1	0.058	-52.6
0.014	-33.0	0.031	-53.9	0.038	-56.6	0.045	-53.1	0.052	-50.4	0.059	-50.4
0.015	-33.9	0.032	-51.4	0.039	-56.2	0.046	-53.0	0.053	-50.9	0.060	-50.9
0.016	-38.3	0.033	-50.7	0.050	-57.0	0.047	-54.1	0.054	-50.7		

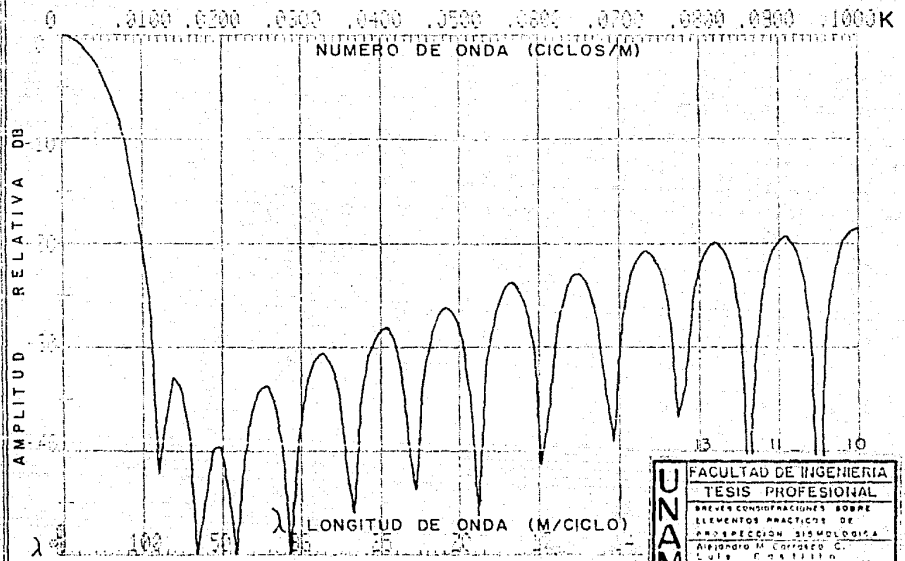
Fig. II-13.- Cálculo de la respuesta de un patrón de 20 elementos, con 4-120 mts. y distancias de enlistadas en la tabla de la figura II-12.

Las curvas de respuesta se muestran en la figura II-14.



GRAFICA DE ATENUACION

30 Elementos a dist. variable
 (cos² x) L = 120 mts.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRÁCTICOS DE
	ARROBACIÓN SIMBOLÓGICA
ARROBACIÓN SIMBOLÓGICA	
EN UNO DE LOS SIGLOS C.	
EN UNO DE LOS SIGLOS C.	
EN UNO DE LOS SIGLOS C.	
EN UNO DE LOS SIGLOS C.	

FIGURA II.14

lineal con distancias constantes; deberemos buscar la respuesta individual para un patrón lineal de 20 elementos con 5 mts. de separación, y la respuesta individual para un patrón lineal de 10 elementos con separación de 5 mts. igualmente.

La respuesta total será la suma de las respuestas individuales; posteriormente, siguiendo los mismos pasos que para la construcción de las curvas de atenuación del patrón lineal, deberemos calcular la respuesta relativa y finalmente con la ayuda de la ecuación (11.14) del inciso 11.3.1 podremos obtener la respuesta final en decibeles.

La tabla de la figura 11-15, resume el cálculo para un arreglo pesado $5(1)5(2)5(2)5(1) * 8$ mts., con los valores generales para K_d y se incluyen los valores de K para una $d = 8$ mts.

La figura 11-16, nos muestra las curvas de respuesta para el arreglo antes mencionado.

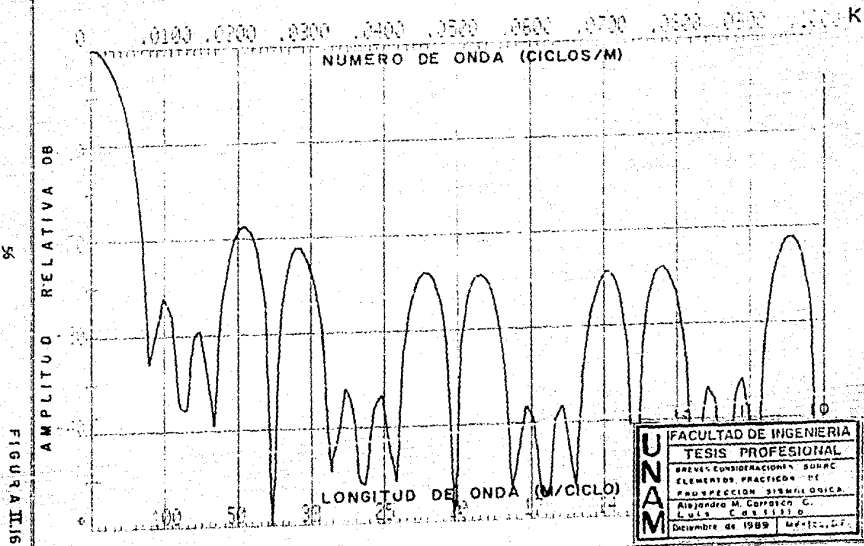
f	f(1/256)	Age	Age	X ₁ (Age)	Y ₁ (Age)
0.0000	0.0000	20.0	10.0	20.0	10.0
0.0002	0.0016	19.8	9.9	19.6	9.9
0.0004	0.0032	9.0	8.0	17.0	8.0
0.0006	0.0048	0.8	5.6	7.5	7.5
0.0008	0.0064	-2.4	4.5	-0.7	4.5
0.0010	0.0080	-7.8	2.4	-1.0	2.4
0.0012	0.0096	-6.8	0.4	-0.4	0.4
0.0014	0.0112	2.0	-1.1	0.5	0.5
0.0016	0.0128	2.8	-2.0	0.5	-1.5
0.0018	0.0144	0.8	-2.8	-1.4	-1.4
0.0020	0.0160	-1.2	-2.0	-3.0	-3.0
0.0022	0.0176	-1.4	-1.5	-3.2	-3.4
0.0024	0.0192	-0.8	-0.4	-1.2	-2.3
0.0026	0.0208	0.0	0.4	1.2	-2.3
0.0028	0.0224	1.5	1.1	2.6	-2.1
0.0030	0.0240	0.9	1.4	3.7	-2.5
0.0032	0.0256	-0.5	1.4	0.9	-3.0
0.0034	0.0272	-1.5	1.0	-0.2	-3.6
0.0036	0.0288	-0.9	0.5	-0.4	-3.5
0.0038	0.0304	0.2	-0.2	0.1	-3.9
0.0040	0.0320	1.1	-0.7	0.4	-3.9
0.0042	0.0336	0.9	-1.0	-0.1	-4.5
0.0044	0.0352	-0.1	-1.1	-1.2	-4.7
0.0046	0.0368	-1.0	-0.9	-1.4	-4.5
0.0048	0.0384	-0.9	-0.5	-1.1	-3.8
0.0050	0.0400	0.0	0.5	0.5	-3.8
0.0052	0.0416	0.9	0.5	1.4	-3.8
0.0054	0.0432	0.1	1.0	1.1	-2.4
0.0056	0.0448	-0.8	0.8	0.1	-2.4
0.0058	0.0464	-1.5	0.6	-0.4	-2.8
0.0060	0.0480	-0.2	0.6	-0.4	-2.7
0.0062	0.0496	-0.2	0.1	-0.1	-2.5
0.0064	0.0512	1.0	-0.4	0.2	-2.5
0.0066	0.0528	1.0	-0.8	0.7	-4.5
0.0068	0.0544	0.4	-1.0	0.6	-3.7
0.0070	0.0560	-0.6	-1.0	-1.6	-2.6
0.0072	0.0576	-1.0	-0.2	-1.7	-3.0
0.0074	0.0592	-0.5	-0.2	0.8	-1.0
0.0076	0.0608	0.5	0.2	1.8	-1.0
0.0078	0.0624	1.1	0.7	1.8	-2.4
0.0080	0.0640	0.6	1.1	1.2	-2.4
0.0082	0.0656	-0.4	1.1	0.2	-2.7
0.0084	0.0672	-1.1	0.9	-0.2	-3.1
0.0086	0.0688	-0.5	0.4	-0.4	-3.5
0.0088	0.0704	0.2	-0.2	0.1	-4.5
0.0090	0.0720	1.2	-0.8	0.4	-3.1
0.0092	0.0736	1.6	-1.2	-0.2	-4.1
0.0094	0.0752	-0.2	-1.2	-0.7	-3.5
0.0096	0.0768	-1.0	-0.8	-2.1	-3.1
0.0098	0.0784	-1.0	-0.8	-2.1	-2.1
0.0100	0.0800	1.2	-0.4	-2.1	-1.0

FIG. II.15 - Cálculo de la respuesta de un arreglo pasivo
 5.1110V, 25.1118 mhz, con cables en Vía.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SIMULACIONES
	Alejandro M. Carrasco Luis Corral
	Diciembre de 1989 México, D.F.

GRAFICA DE ATENUACION

Patrón Pesado: 5(1)5(2)-5(2)5(1)* 8 mts.



CAPITULO III.- DETERMINACION DE PARAMETROS DE OPERACION CON SISTEMA VIBROSEIS.

III.1.- Los diversos factores que afectan el registro sísmico.

Las ondas de sonido que son iniciadas y transmitidas a través de la tierra, en el caso más simple consisten de compresiones y expansiones alternantes que viajan en forma de esteras expandentes de energía.

Cuando estas ondas viajan a través de un medio elástico homogéneo, las partículas en el cuerpo son primero unidas unas con otras durante la compresión y posteriormente relajadas y separadas durante la expansión. Esto ocurre con cada ciclo de la onda que pasa.

Las ondas elásticas se clasifican en ondas internas y ondas superficiales.

Las ondas internas son aquellas que viajan en el interior del medio elástico y se distinguen en dos tipos: Ondas Longitudinales y Ondas transversales. Las figuras III.1 y

III.2 muestran la dirección del movimiento de las partículas en el medio para ondas longitudinales y transversales respectivamente.

Las ondas superficiales, son aquellas que existen únicamente en la superficie de un medio elástico y se conocen cuatro tipos: Ondas Rayleigh, Ondas Love, Ondas Hidrodinámicas u Ondas H y Ondas C (acopladas).

Las ondas Rayleigh, se generan a lo largo de superficies libres, con un movimiento de las partículas elíptico vertical. El ejemplo más claro de este tipo de ondas, es el que observamos al dejar caer un objeto en una superficie de agua.

Las ondas Love, se generan en las superficies de baja velocidad, que sobreyacen a capas de alta velocidad, y tienen un movimiento de partículas transversal a la dirección de propagación.

Las ondas Hidrodinámicas y las Acopladas tienen un movimiento de partículas también elíptico y fueron descubiertas en 1945 y 1939 respectivamente.

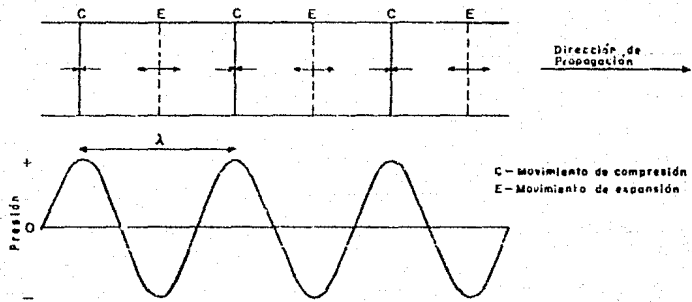


Fig. III.1.- Movimiento de las partículas para ondas longitudinales.

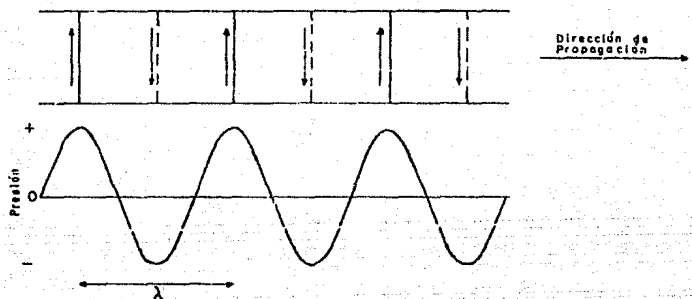


Fig. III.2.- Movimiento de las partículas para ondas transversales.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castillo	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

Las ondas compresionales longitudinales, son las principalmente asociadas con la energía sísmica de reflexión, ellas viajan a través de los medios elásticos con velocidades mucho más altas que las ondas transversales y de superficie, resultado con esto, tiempos de reflexión mucho más pequeños que aquellos para las ondas transversales y de superficie.

Las esferas dependientes de energía que viajan sucesivamente una tras otra, al ser accionada una fuente, tienen las siguientes propiedades:

- Cada esfera de idéntica fase es denominada un frente de onda.
- La distancia entre frentes de onda sucesivos de idéntica fase, es la longitud de onda, cuyo símbolo es λ (lambda).
- Un frente de onda, es la localización de todos los puntos con idéntico tiempo de viaje desde la fuente.
- Como los frentes de onda se expanden y su radio viene siendo muy grande en relación a la longitud de onda, los frentes de onda se consideran esencialmente planos en una zona local de interés y por tal motivo son denominadas ondas planas.
- Las líneas perpendiculares a los frentes de onda planos (denominados patrón de rayos), son convenientes para indicar

el viaje de los frentes de onda a través de la tierra.

Los factores que afectan al registro sísmico, actualmente conocidos y que han sido estudiados, son los siguientes:

- Ruidos generados por la fuente.
- Atenuación Inelástica.
- Divergencia Esférica.
- Efectos de transmisión.
- Diferencias de elevación en los receptores y la fuente de energía (Estáticas).
- Desviación Dinámica (NMO).
- Ruidos ambientales.
- Ruidos instrumentales.
- Respuesta instrumental.

En forma general, en el diagrama de la figura III.3, se ilustra el contenido total de un registro sísmico, el cual muestra que los datos contenidos en una cinta de campo, nos proporciona una complicada, distorsionada y compleja imagen del subsuelo.

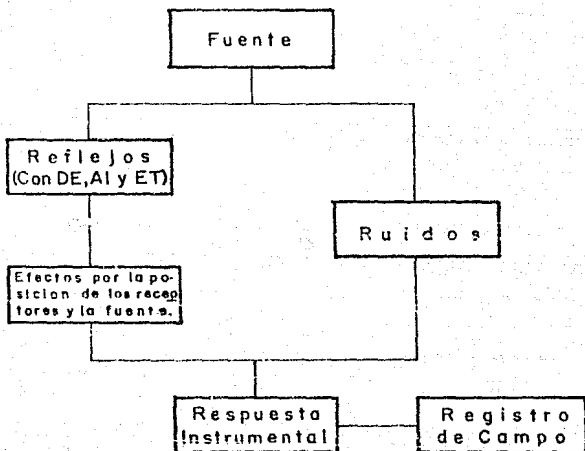


Fig. III.3.- Diagrama de flujo del registro total de campo.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRACTICOS DE	
	PROSPECCION SISMOLOGICA.	
	Alejandro M. Carrasco C.	
Luis Castillo		
Diciembre de 1999		
México, D.F.		

Atenuación Inelástica.— Las pérdidas de energía debido a la absorción en las capas y a la disipación como calor por la fricción en el subsuelo, es denominada Atenuación Inelástica y es generalmente tratada como un decaimiento exponencial en el tiempo.

El factor de compensación es $AI = 10^{\alpha t/20}$ donde α se denomina coeficiente de absorción y es directamente proporcional a la frecuencia: $\alpha = \frac{\pi}{Q} \cdot f$ (db/seg.) donde $1/Q$ es la "atenuación específica" y depende únicamente del tipo de roca y de la saturación de fluidos.

Divergencia Esférica.— Cuando la energía, que es transmitida en forma de frentes de onda esféricos, recorre una cierta distancia, la zona de perturbación es distribuida sobre de una área cada vez más grande. La amplitud de la energía decrece proporcionalmente a la distancia desde la fuente, llamandosele a este efecto, Divergencia Esférica de la Energía.

El factor de compensación es:

$$DE(t) = V \cdot t \quad \text{para un medio de } V = \text{cte}, \quad DE(t) = t$$

En el procesado de datos, la aplicación de estos dos factores

se denomina comúnmente "Recuperación de Amplitud Verdadera".

Figura III.4

Efectos de transmisión.- Es el efecto introducido por la estratificación del subsuelo, y por los coeficientes de reflexión de estas diferentes capas; debemos recordar que parte de la energía se refleja y parte continúa su viaje descendente.

Desviación dinámica.- El efecto que la geometría del tendido nos genera en un registro sísmico es comúnmente conocido como NMO, siglas del inglés Normal Moveout o Desviación Dinámica y se observa como una diferencia en tiempos de llegada de la señal sísmica a los receptores extremos de un tendido con respecto a los receptores más cercanos a la fuente de energía.

Se resume en la figura III.5 la corrección por este efecto.

Estáticas.- Son las anomalías en el tiempo de viaje, que generan la aplicación de una corrección a la traza sísmica, originadas por variaciones en las capas intemperizadas

• CORRECCION POR DIVERGENCIA ESFERICA (CDE)

• CORRECCION POR ATENUACION INELASTICA (CAI)

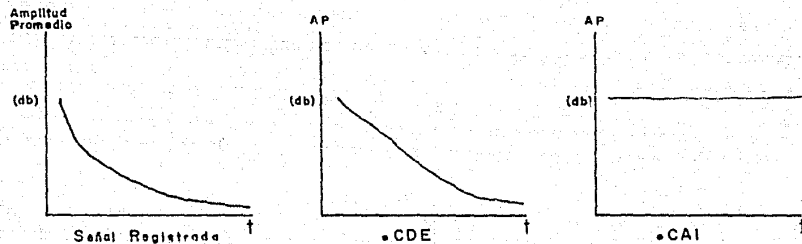
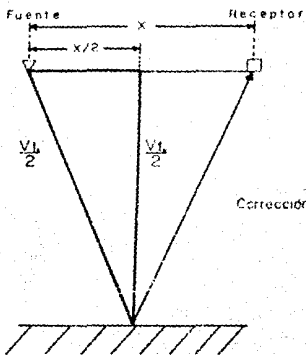


Fig. III.4.- Recuperación de la Amplitud Verdadera.





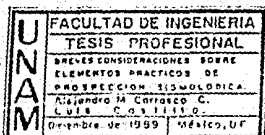
$$\left(\frac{V_1 x}{2}\right)^2 = \left(\frac{V_1 t_0}{2}\right)^2 + \left(\frac{x}{2}\right)^2$$

$$t_0^2 = t_0^2 + \left(\frac{x}{V}\right)^2$$

Corrección Dinámica = CD = $t_0 - t_0$

$$CD = \sqrt{t_0^2 + \left(\frac{x}{V}\right)^2} - t_0$$

Fig. III.5.- La Corrección Dinámica.



próximas a la superficie. Estas variaciones son debidas a cambios en:

- La elevación de la superficie.
- La velocidad de las capas intemperizadas.
- El espesor de las capas intemperizadas.

Respuesta Instrumental.- Dependerá de las características de nuestro equipo de registro. y se refiere a las alteraciones en fase, amplitud y frecuencia, que nuestra señal de entrada pueda sufrir durante el flujo a través de el mismo equipo.

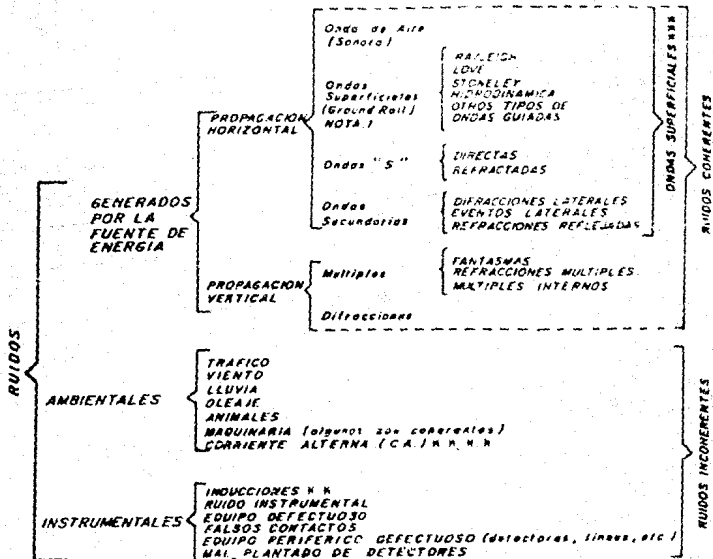
Por último, existe una amplia gama de ruidos, que enmascaran nuestra señal, y que el Ing. Héctor Palafox R. muy completamente sintetizó en la tabla que mostramos en la figura III-6, conjuntamente con otros eventos, los cuales constituyen nuestra señal útil.

Se ha definido convenientemente a la señal indeseable como ruido. Las ondas reflejadas, para nuestros propósitos son definidas como señal, todos los demás tipos de ondas son consideradas ruido.

EVENTOS REGISTRADOS EN LOS SISMOGRAMAS

SEÑAL
UTIL

REFLEJOS
ONDAS DIRECTAS N
ONDAS REFRACTADAS N
ONDAS DIFRACTADAS N



NOTA 1: El Ground Roll no incluye la onda hidroacustica

N N En algunos casos se consideran como ondas "S" y otros casos como interferencia

N N N Se mezcla de las ondas las laterales y ondas superficiales coherentes

N N N Algunos otros agregan como ondas superficiales los ondas que vienen desde el fondo de la superficie de la tierra.

N N N N N Los inducciones de corriente alterna (C.A.) son del tipo coherentes

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	PRUEBAS CONSISTENCIAS SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA
	Alejandro M. Carrasco C.
	L. U. S. C. S. I. I. C. Diciembre de 1989 México, D.F.

La amplitud de algunos ruidos es aproximadamente mayor que la amplitud de la señal; si tal ruido fuera registrado, podría en algunos casos saturar el rango dinámico del equipo de registro. La manera de elevar el nivel de la señal sobre el nivel del ruido, en algunos casos es muy difícil. Un medio para atenuar los ruidos, como lo mencionamos en el inciso II.1 del capítulo II, es el empleo de acregios.

El sistema Vibroseis* es un ejemplo de una fuente superficial, la cual agrega una manera más de incrementar nuestra relación señal a ruido, ya que combina diferentes posiciones de la fuente, con un apilamiento vertical de los datos. La figura III.7 ilustra la ventaja del apilamiento vertical.

Existen tres tipos de Apilamiento Vertical:

- a).-- Apilamiento Simple o Pecto (Straight Stack)
- b).-- Apilamiento de Diversidad de Potencias (Diversity Power Stack)
- c).-- Apilamiento de Diversidad de Amplitudes (Diversity Amplitude Stack)

*Marca Registrada de la "Continental Oil Co."

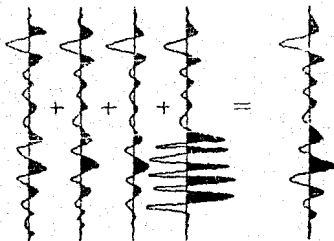


Fig. III.7.- Apilamiento Vertical.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROSPECCION SIMOLOGICA.
	Alejandro M. Carrasco C. Luis C. Castillo
Diciembre de 1989 México, D.F.	

a).- Apilamiento Simple.

Este es usado cuando la señal y el ruido tienen igual amplitud en los registros por ser apilados. Cada traza de salida es enteramente el promedio de las trazas de entrada.

b).- Apilamiento de Diversidad de Potencias.

Este es usado cuando la señal en cada registro de entrada es aproximadamente de igual amplitud; el ruido ambiental es de mayor amplitud que la señal y no tiene coherencia de registro a registro.

Las trazas en este proceso, son divididas en ventanas de tiempo dentro de las cuales se calcula un escalar que es el inverso de la suma de los cuadrados de las amplitudes en esa ventana, los diferentes escalares son interpolados de centro a centro de las ventanas adyacentes, manteniendose constantes en los extremos, o sea, del tiempo inicial al centro de la primera ventana y del centro de la última ventana al tiempo final, (figuras III-8 y III-9). Los valores de las amplitudes son entonces escalados multiplicandolos por su escalar correspondiente. El registro ya apilado y escalado es al final dividido por la suma de los diferentes escalares calculados para las ventanas coincidentes con el fin de

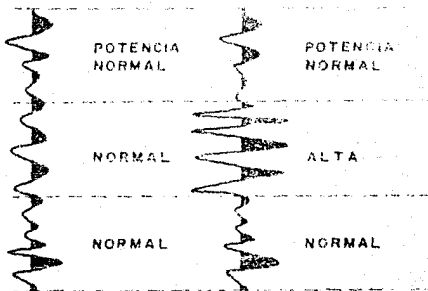


Fig. III.8 - Niveles de potencia en las ventanas de tiempo

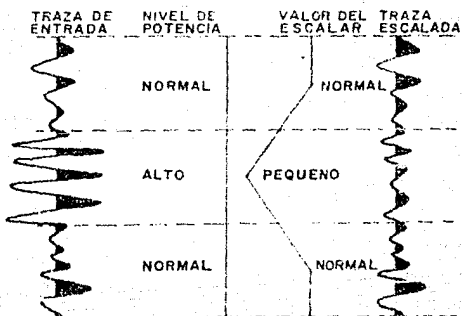


Fig III.9 - Trazo escalado (Multiplicando por el recíproco de la potencia)

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRÁCTICOS DE	
	PROYECCION SIMULADICA	
Alejandro M. Carrasco C.		
Julio C. Castillo		
Diciembre de 1989		
México, D.F.		

preservar las variaciones en la amplitud de la señal en las ventanas.

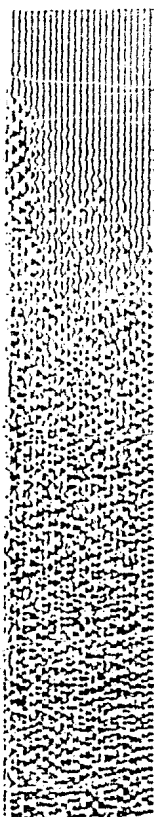
c).- Apilamiento de Diversidad de Amplitudes

Es similar al anterior, sólo que en lugar de tomar los cuadrados de las amplitudes, toma el valor absoluto de éstas.

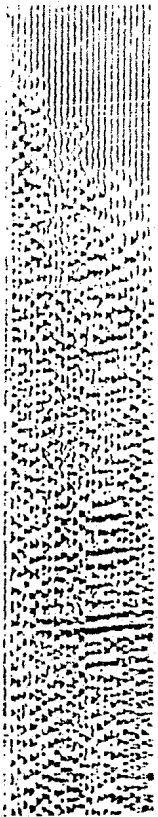
En la figura III-10, se puede observar el enorme mejoramiento de nuestra relación S/R, haciendo uso del método de apilamiento de registros, mediante la diversidad de potencias. En el ejemplo se apilaron 60 registros obtenidos con tres vibradores y frecuencias de barrido 10-40 Hz.

Las Técnicas de Campo, son la herramienta fundamental, para tratar de obtener un registro sísmico, lo más "limpio" posible de ruido y con un muestreo de la señal, lo más fielmente parecido a la forma de la señal original, emitida por la fuente.

Como observamos en la tabla de la figura III-6, los ruidos están clasificados en dos grandes grupos: Ruidos Incoherentes y Ruidos Coherentes.



APILAMIENTO SIMPLE



APILAMIENTO DE DIVERSIDAD DE POTENCIAS
0.0
1.0
2.0

3.0

4.0

FIG. III.10

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA
	Alejandro M Carrasco C. Luis Castillo
	Diciembre de 1989 Mexico, D.F.

FIG. III.10

Para eliminar los ruidos incoherentes, es necesario aplicar un estricto control de calidad en cuanto al estado del equipo de registro se refiere, y a la operación de campo en un trabajo de producción normal. Aun con esto, los ruidos incoherentes remanentes se podrán eliminar o atenuar con un buen procesamiento de los datos.

Ahora bien, en el segundo grupo, existe una gran cantidad de ruidos coherentes, que se pueden eliminar, sin afectar los atributos de nuestra señal, mediante el uso de arreglos, como lo mencionamos ya anteriormente.

El primer paso, es realizar en el campo un "Análisis de Ruidos", que nos permita conocer las características de éstos. El muestreo de los datos es generalmente a intervalos muy cortos de entre 5 y 10 mts. Existen diversos métodos de realizar un análisis de ruidos; con la técnica Vibroseis, lo más práctico, tomando en cuenta la limitación que generalmente se tiene con el número de grupos de geófonos, es dejar el tendido fijo y mover la fuente de energía a determinadas distancias, de tal manera que se mantenga la continuidad de los eventos. Se tratará siempre de que la distancia máxima entre la fuente y la traza más alejada, sea igual o más grande que la longitud del tendido de producción normal. El análisis de ruidos deberá ser registrado sin

ningún filtro análogo.

La mayor parte de los ruidos coherentes, tienen características ya bien conocidas y son rápidamente identificables en un perfil de ruidos. En la figura III.11, se muestran los eventos más comúnmente registrados y en la tabla de la figura III.12, se detallan las características de estos eventos.

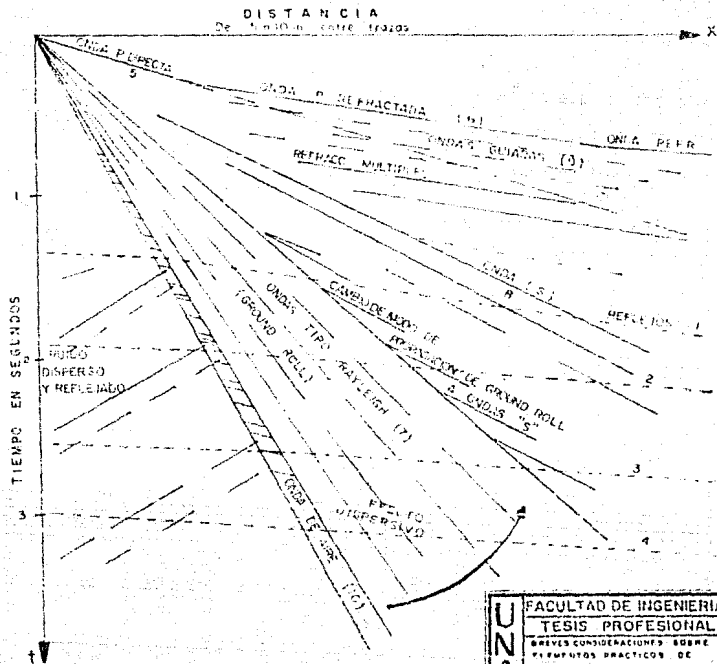
III.2.- Pruebas de Campo.

III.2.1.- Generalidades.

Antes de exponer este tema a ustedes, queremos agradecer a Petróleos Mexicanos, por permitirnos hacer uso de estos datos que son reales, y que fueron obtenidos de un estudio que se le encomendó a la compañía G.S.I. de México, el cual se llevó a cabo en el Norte del país, en el estado de Tamaulipas.

El prospecto a estudiar, se ubicó entre los 98 00' y 98 15' Longitud Oeste, 22 30' y 23 00' Latitud Norte, teniendo como referencias a las poblaciones de Ciudad Aldama

EVENTOS REGISTRADOS EN UN PERFIL DE RUIDO



Realizado por ING. HECTOR PALAFIX R.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	FENOMENOS PRACTICOS DE
	PROSPECCION SISMOLOGICA
	Alejandro M. Carrasco C. 1979, C. U. N. A. M. Diciembre de 1979, México, D.F.

FIG. III. II

al Norte y Estación Manuel al Oeste. El plano de localización se muestra en la figura III-13.

El objetivo del trabajo se marcó a niveles de Jurásico Superior y de los probables acuíferos en contra de paleorelieves.

Como se puede observar en el plano de localización, existe en el área un trabajo antecedente y algunos pozos exploratorios ya perforados.

Nuestra responsabilidad fue, la de determinar los parámetros óptimos de operación, utilizando el sistema vibración.

III.2.2.- Antecedentes.

Antes de pasar al trabajo práctico-operativo de campo, haremos algunos comentarios que consideramos de fundamental importancia.

Longitud de onda aparente de la señal en función de la distancia de registro.- La velocidad aparente de un frente de onda, es igual a la velocidad de propagación, de dicho frente

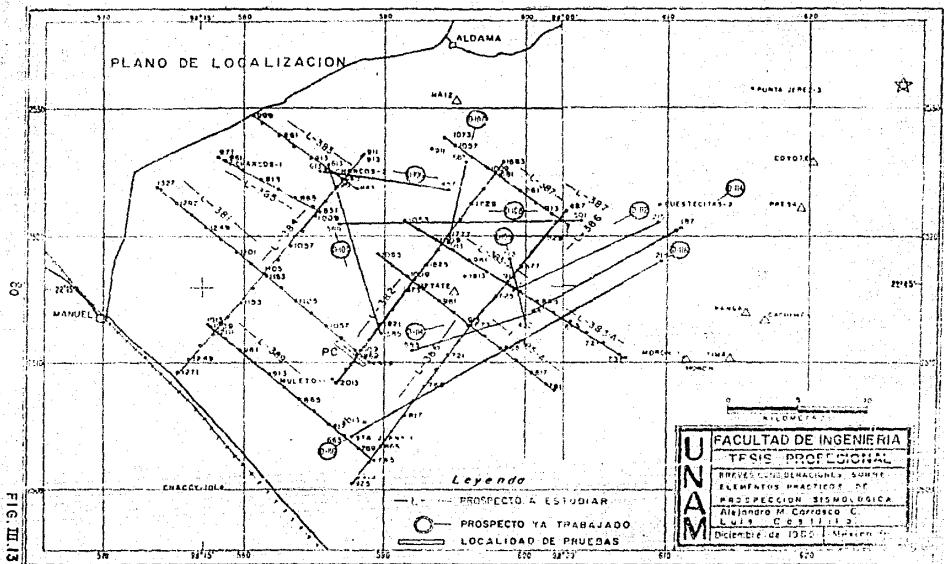


FIG. III.3

de onda, dividida por el seno del ángulo de emergencia:

$$V_a = \frac{V}{\text{sen } \theta} \quad \text{-----(III.1)}$$

donde: θ = ángulo de emergencia.

V = velocidad media al horizonte de interés.

La longitud de onda aparente de la señal (λ_s), queda determinada por la velocidad aparente del frente de onda y el espectro de frecuencias de la señal, relacionadas de la siguiente manera:

$$\lambda_s = \frac{V_a}{f} \quad \text{-----(III.2)}$$

por lo cual:

$$\lambda_s = \frac{V}{f \text{ sen } \theta} \quad \text{-----(III.3)}$$

Expresión en la cual, el seno del ángulo de emergencia, varía de acuerdo a la dirección de tiro, con respecto al echado geológico. Considerando estos casos, tenemos:

- Caso de tiro a favor del echado:

$$\text{sen } \theta = \frac{t_0 V \text{ sen } \phi + x}{(t_0^2 V^2 + x^2 + 2t_0 Vx \text{ sen } \phi)^{1/2}} \quad \text{---(III.4)}$$

donde: t_0 = tiempo doble de reflexión vertical.
 V = velocidad media al horizonte de interés.
 ϕ = ángulo del echado.
 x = distancia de registro.

con lo cual:

$$\lambda_s = \frac{V (t_0^2 V^2 + x^2 + 2t_0 Vx \text{ sen } \phi)^{1/2}}{f (t_0 V \text{ sen } \phi + x)} \quad \text{---(III.5)}$$

-Caso de tiro en contra del echado:

$$\text{sen } \theta = \frac{x - t_0 V \text{ sen } \phi}{(t_0^2 V^2 + x^2 - 2t_0 Vx \text{ sen } \phi)^{1/2}} \quad \text{---(III.6)}$$

con lo cual:

$$\lambda_s = \frac{V (t_0^2 V^2 + x^2 - 2t_0 Vx \text{ sen } \phi)^{1/2}}{f (x - t_0 V \text{ sen } \phi)} \quad \text{---(III.7)}$$

Al analizar estas relaciones, se observa que la longitud de onda aparente de la señal, decrece al aumentar la distancia de registro, al aumentar la frecuencia, al aumentar el echado y al disminuir la velocidad.

Intervalo de grupo en función de la longitud de onda aparente de la señal.- En este caso, sencillamente tenemos, de acuerdo a la teoría del muestreo:

$$I = \frac{\lambda_{aparente}}{2} \text{-----} (111.8)$$

Para la prospección sísmológica a realizar, se cuenta con los datos antecedentes siguientes, proporcionados en este caso por PEMEX:

De la Ley de Velocidades del pozo Cuestecitas-2:

Horizonte: Jurásico Superior Sn. Andrés.

z - 1715 mts.

Vm - 3040 m/s

t₀ - 1.126 seg. (tiempo doble)

De algunas secciones sísmológicas del trabajo antecedente, se

concluyó que la máxima frecuencia que la señal contenía era de 45 Hz y que el máximo echado que se podría presentar en la zona, tomando un caso extremo, era de $1.15''$

Tomando en cuenta que se cuenta en el campo con un equipo de grabación de 48 canales y que en el caso de que la distancia entre trazas fuera de 60 mts., tendríamos una longitud de tendido de 2820 mts., más el offset práctico que generalmente es de 300 mts., podemos hablar de una distancia de registro máxima de 3200 mts. para el caso de un tendido lateral.

Sustituyendo nuestros datos en las relaciones (III.5) y (III.7) tenemos:

-Caso de tiro a favor del echado:

$$\lambda_s \approx 87 \text{ mts.}$$

-Caso de tiro en contra del echado:

$$\lambda_s \approx 118 \text{ mts.}$$

por lo que de acuerdo a la relación (III.8):

$$l \approx 43.5 \text{ mts.}$$

Ahora, considerando el caso de un tendido bilateral simétrico, con 24 trazas por lado y suponiendo la misma distancia entre trazas y el mismo offset que en el caso anterior, nuestra máxima distancia de registro sería de 1700 mts. Haciendo las mismas sustituciones, tenemos:

-Caso de tiro a favor del echado:

$$\lambda_s = 110 \text{ mts.}$$

-Caso de tiro en contra del echado:

$$\lambda_s = 283 \text{ mts.}$$

-Intervalo entre trazas:

$$I = 55 \text{ mts.}$$

De acuerdo a estos resultados, es posible, si se tiene un control adecuado del rumbo de los echados, utilizar un tendido asimétrico de 36 trazas por un lado (tiro en contra del echado) y 12 trazas por el otro (tiro a favor del echado), de tal manera que las longitudes de onda en la superficie serían:

Para 36 trazas ($x = 2400$ mts.).

-Caso de tiro en contra del echador

$$\lambda_s = 162 \text{ mts.}$$

Para 12 trazas ($x = 960$ mts.).

-Caso de tiro a favor del echador

$$\lambda_s = 139 \text{ mts.}$$

lo cual exigirá un intervalo entre trazas menor o igual a:

$$I \leq 69.5 \text{ mtr.}$$

Pasamos ahora, al aspecto práctico y operativo de nuestras pruebas de campo.

III.2.3.- Análisis de Ruidos.

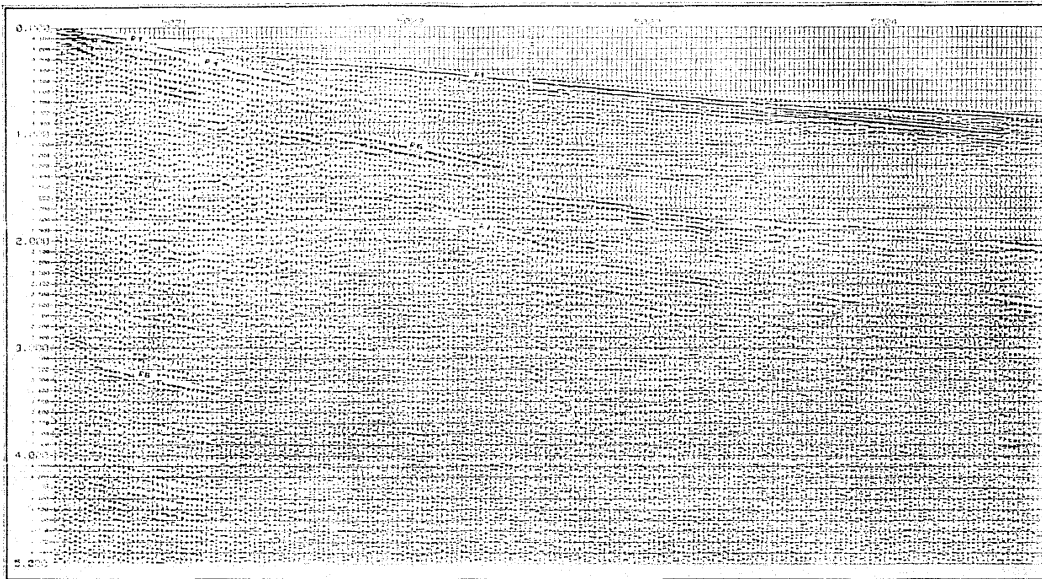
Para la realización de esta prueba, se utilizó el método de tendido fijo y fuente móvil, de acuerdo a la disposición de campo mostrada en la figura III-22

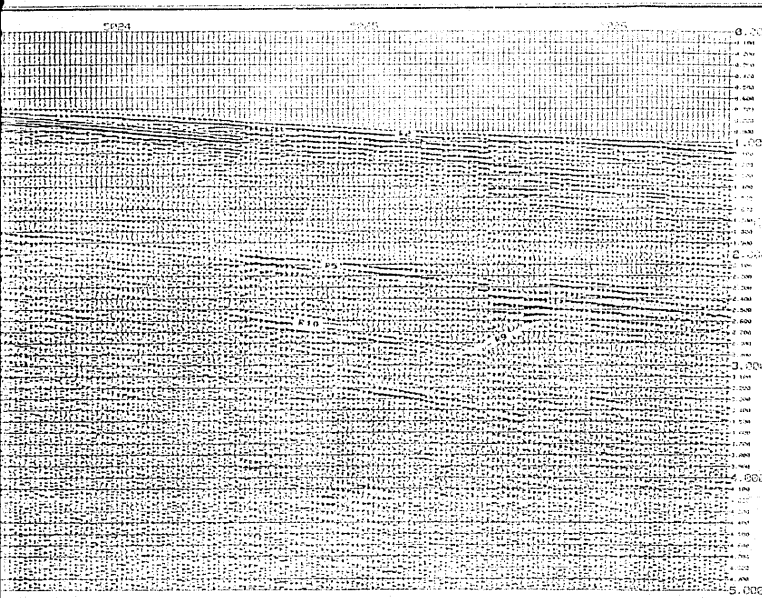
Se vibraron seis posiciones diferentes, del punto vibrado A (PVA), al PVF, con una separación entre puntos vibrados de 480 mts. El tendido de receptores fue de 48 trazas con separación de 10 mts. entre ellas; por traza se conectó una cuerda de 15 geófonos agrupados.

Como fuente se utilizaron dos vibradores, los cuales se formaron paralelamente, al momento de inyectar la energía al subsuelo, con el objeto de no atenuar con una separación entre ellos, las ondas que viajan horizontalmente.

La Lámina No. 1, nos muestra los resultados obtenidos en esta prueba y la tabla de la figura III-14, sintetiza los principales ruidos que a nuestro criterio, están enmascarando a la señal y que representan a los ruidos propios de esta área.

Se observa también en esta lámina, la ausencia notoria de la onda de aire, que es muy común en los trabajos con vibradores y suponemos se deba, a las características del suelo de esta





ANALISIS DE RUIDOS

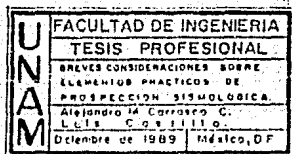
- PARAMETROS UTILIZADOS:
- DISTANCIA ENTRE TRAZAS 10 MTS.
 - TRAZA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS CERCAÑA 0 MTS.
 - TRAZA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS ALEJADA 800 MTS.
 - PATRON DE DETECCION ELEMENTOS ALEJADOS
 - PATRON DE VIBRACION 2V.0M.0M.0M.
 - REFERENCIA DE PUNTO 10 - 56 Hz.
 - LONGITUD DE BARRIDO 12 SEG.
 - LONGITUD DE ESCALACION 17 SEG.

LANINA No. 1

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVE CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRACTICOS DE
	INSPECCION BIOMEDICA
	ALVARO W. GOTTSCHEW
	Luis C. GOTTSCHEW
	Diciembre de 1955 México, D.F.

TABLA DE
 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS RUIDOS
 LOCALIDAD : PC

EVENTO	VELOCIDAD APARENTE V_{ap} (m/s)	FRECUENCIA APARENTE f_{ap} (Hz)	LONG. DE ONDA APARENTE λ_{ap} (m)	No. DE ONDA APARENTE k_{ap}
R1	2500	27	93	0.011
R2	3700	23	161	0.006
R3	1500	18	83	0.012
R4	900	16	56	0.018
R5	2500	21	119	0.008
R6	1050	16	64	0.016
R7	900	19	47	0.021
R8	870	20	44	0.023
R9	5e7	16	35	0.029
R10	1600	18	89	0.011



región, que está compuesto de una capa muy gruesa y suelta de aluvidón, en la cual, llegan hasta enterrarse las "planchas" de los vibradores, impidiendo con esto, la transmisión de la onda acústica que se genera en el contacto plancha-terreno al momento de la vibración.

De acuerdo a las características físicas máximas y mínimas de los ruidos, sin considerar a las ondas refractadas, tenemos:

$$\begin{array}{lll} V_{p\text{máx.}} = 1600 \text{ m/s} & f_{p\text{máx.}} = 20 \text{ Hz} & \lambda_{p\text{máx.}} = 80 \text{ mts.} \\ V_{p\text{mín.}} = 567 \text{ m/s} & f_{p\text{mín.}} = 16 \text{ Hz} & \lambda_{p\text{mín.}} = 35 \text{ mts.} \end{array}$$

Cálculo de los arreglos, para intentar filtrar espacialmente estos ruidos:

Número de geófonos mínimo (N):

$$N = \frac{\lambda_{\text{máx.}}}{\lambda_{\text{mín.}}} + 1 \quad \text{---(III.9)}$$

por lo tanto:

$$N = \frac{80}{35} + 1 \quad \therefore \quad N = 4$$

Sabemos que cumplimos sobradamente esta condición, ya que para el trabajo, la compañía dispone de dos cuerdas, de 15 geófonos cada cuerda para alimentar una sola traza.

Los patrones teóricos de detección a probar, serán:

Patrón Lineal.-

Calculando la distancia (d) entre geófonos:

$$d = \frac{\lambda_{\text{máx.}}}{N} \quad \text{---(III.10)}$$

sustituyendo nuestros valores:

$$d = \frac{89 \text{ mts.}}{30} \approx 3 \text{ mts.}$$

por lo que el patrón a probar será:

$$\text{lineal } 30(1) \approx 3.0 \text{ mts.}$$

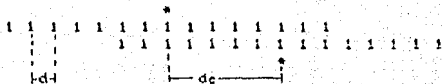
Patrón Pesado -

Ya que el número mínimo de geófonos lo permite, se probará un

patrón con la siguiente distribución de pesos:

1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1

Por el método de Modificación:



tenemos una combinación de 2 cuerdas de 15 geófonos cada una.
Calculando la distancia (d) entre geófonos para una cuerda:

$$d = \frac{89 \text{ mts.}}{15} \approx 6 \text{ mts.}$$

Calculando la distancia entre cuerdas (d_c):

$$d_c = \frac{1}{K_{cc} N_c} \quad \text{---(III-11)}$$

donde: $K_{cc} = 1.5 K_c = \frac{1.5}{\lambda_{\text{max.}}}$ y $N_c = \text{número de cuerdas}$

por lo tanto:

$$d_c = \frac{1}{(0.016854)} \approx 30 \text{ mts}$$

Por lo que el patrón a probar será:

$$5(1)10(2)5(1) \approx 6 \text{ mts.}$$

Los patrones teóricos de vibración a probar serán:

Para 4 vibradores y 12 barridos.-

de la relación (III.10):

$$\text{Avance(Move Up)} = \frac{\lambda_{\max}}{N_b} = \frac{89}{12} \text{ mts.} \approx 7.5 \text{ mts.}$$

donde N_b es el número de Barridos.

de la relación (III.11), calculamos la distancia entre

vibros (dv):

$$dv = \frac{\lambda_{\max}}{1.5(N_v)} = \frac{89}{1.5(4)} \text{ mts.} \approx 15 \text{ mts.}$$

Por lo que el patrón a probar será:

$$4V - 15.0 \text{ m} - 7.5 \text{ m} - 12B$$

Para 3 vibradores y 16 Barridos:

$$\text{Avance} = \frac{89}{16} \text{ m} \approx 6 \text{ mts.}$$

$$dV = \frac{89}{1.5(3)} \text{ m} \approx 20 \text{ mts.}$$

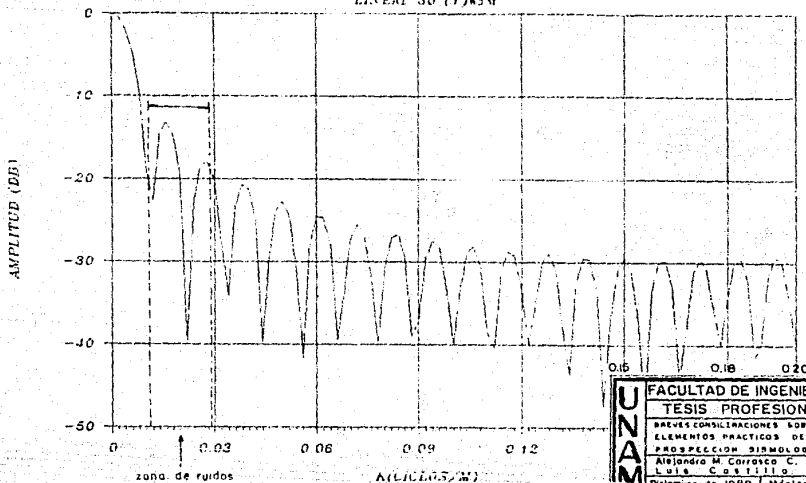
Por lo que el patrón a probar será:

$$3V - 20.0 \text{ m} - 6.0 \text{ m} - 16B$$

Nota: Al estar realizando estas pruebas, a sugerencia del supervisor en brigada, en la realidad se probó un patrón de detección pesado, con 5 mts. de separación entre pesos y las curvas de atenuación correspondientes a los arreglos probados se muestran en las figuras III-15, III-16, III-17 y III-18.

CURVA DE ATENUACION

LINEAL 30 (1) x 3M



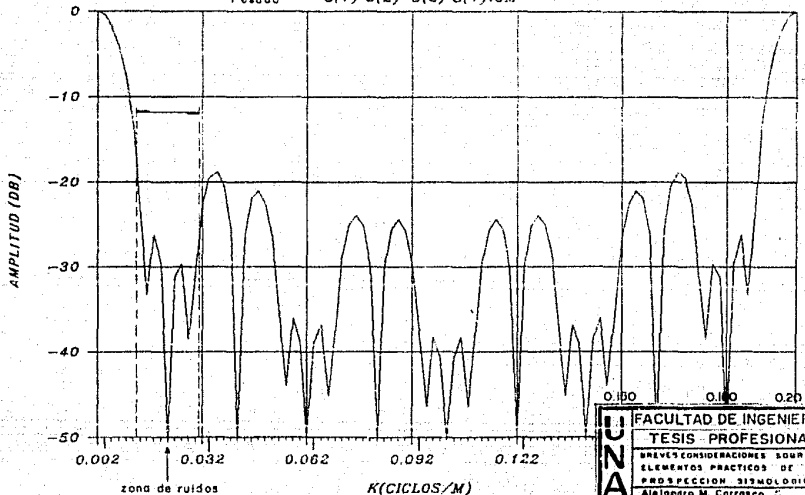
56

FIG. III.15

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SIMULADICA
	Alejandra M. Carrasco C. Luis C. y 11119
	Diciembre de 1989 México, DF

CURVA DE ATENUACION

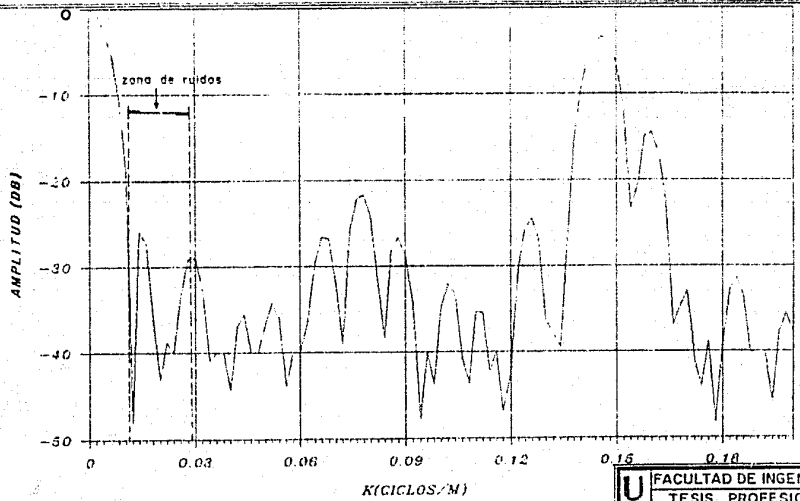
Pesado - $S(1) S(2) - S(2) S(1) + 5M$



INAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castillo
	Diciembre de 1989 México, U.F.

FIG. III.16

FIG. II. 17

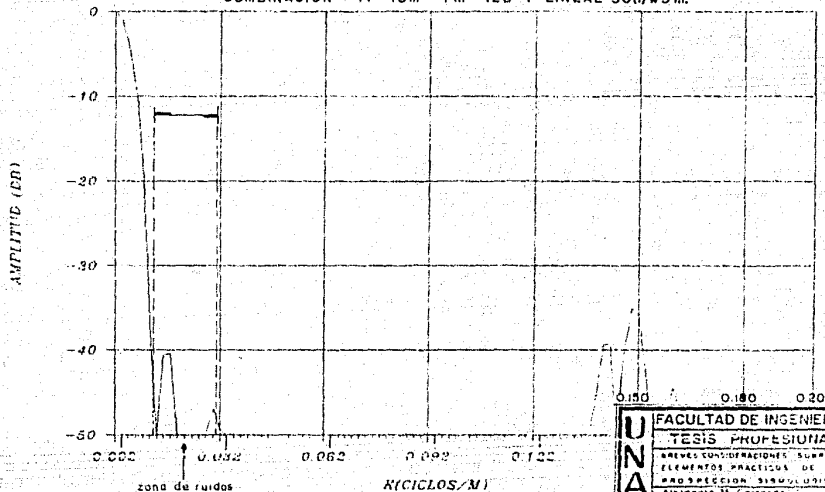


CURVAS DE ATENUACION
4V - 13m - 7m - 12B

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SIMULADIZA
	Alexander M. Fernandez C. Luis Castillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

CURVA DE ATENUACION

COMBINACION 4V-13m-7m-12B Y LINEAL 30(l) * 3 m.



UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRÁCTICOS DE PROYECCION SIMULADORA	
	Alejandro M. Carrasco C. Luis C. Castillo	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

III.2.4.- Pruebas de Frecuencias de Barrido.

Para la realización de esta prueba, se utilizó la disposición de campo mostrada en la figura III.22, vibrando únicamente en el PV 1 y teniendo los tendidos "A" de la traza 1 a la 24 y "C" de la traza 25 a la 48.

Para ilustrar la importancia de esta prueba, en la figura III.19 se observa la resolución de diferentes ondículas, al utilizar diferentes anchos de banda en el barrido, y en la figura III.20 se presentan las características del pulso sísmico generado utilizando el sistema vibroseis.

Como sabemos, conforme el ancho de banda sea mayor, tendremos una mayor definición y una mejor resolución de nuestro pulso sísmico generado.

La Definición es la relación A_0/A_b y es función del ancho de banda de frecuencias.

La Resolución es una función del ancho del lóbulo primario y del ancho de la ondícula.

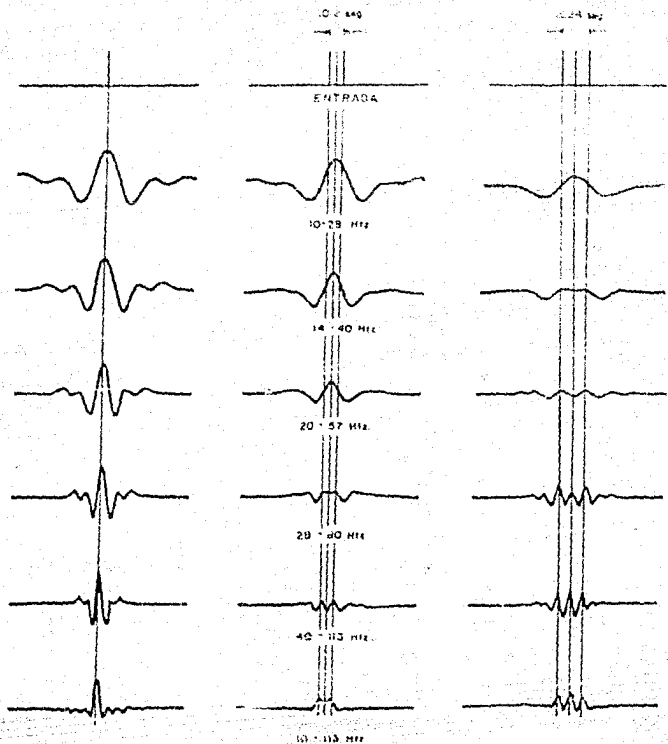


Fig III 19 - Resolución de ondas sísmicas, incrementada con el incremento del ancho de banda.

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SIMBOLICA
	Alejandro M. Carrasco C.
	Calle ...
	Octubre de 1989 México, D.F.

$b_0 = \frac{1}{2f_0}$ y b deberá ser siempre menor o igual a $2b_0$

la diferencia será mayor cuando $F_2 = \frac{F_1}{4}$ sea más alta.

Tomando en cuenta estas consideraciones, se sabe que una señal satisfactoria para aplicaciones sísmicas, es obtenida usando un ancho mínimo de banda de 2 octavas y una frecuencia media que depende de las características del área y las especificaciones de el equipo disponible.

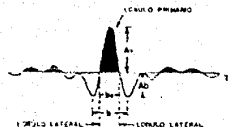
Las limitaciones para nuestro caso son los filtros de corte del equipo de grabación los cuales son:

Corte Alto = 128 Hz y Corte Bajo = 8 Hz

Existen en la actualidad, barridos en los cuales las funciones de variación de las frecuencias con el tiempo no son lineales, ejemplos de estos son los Barridos Cuadráticos y Logarítmicos, pero aun cuando se carecía de estas técnicas al momento de realizar las pruebas, los barridos lineales son los más recomendables para estudios con objetivos estructurales.

CARACTERISTICAS DEL PULSO SISMICO

DOMINIO DEL TIEMPO



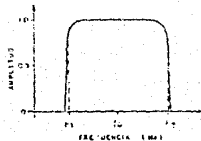
- T = TIEMPO DE DURACION.
- A₀ = AMPLITUD DEL LOBULO PRIMARIO.
- A_b = AMPLITUD DEL LOBULO LATERAL.
- b = ANCHO DEL LOBULO PRIMARIO.
- f = PERIODO DOMINANTE O ANCHO DE LA ONDULA.

$$\text{FRECUENCIA DOMINANTE } f_d = \frac{1}{b}$$

$$\frac{A_0}{A_b} = f \left(\frac{F_2}{F_1} \right)$$

TRANSFORMADA DE FOURIER

DOMINIO DE LA FRECUENCIA



- F₁ = FRECUENCIA INICIAL
- F₂ = FRECUENCIA FINAL
- f₀ = FRECUENCIA MEDIA

ANCHO DE BANDA

$$\Delta = (F_2 - F_1) = \text{Hz}$$

$$R_f^* = \frac{\log (F_2/F_1)}{\log 2} = \text{OCTAVAS}$$

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA.	
	ALEJANDRO M. GARRASCO C. Luis Castellanos	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

Las frecuencias probadas fueron:

14-56 Hz , 16-56 Hz, 12-56 Hz y 10-56 Hz

Todos barridos ascendentes, lo que nos permite tener la distorsión generada por la segunda armónica a tiempos negativos y a un tiempo t dado por la expresión:

$$t = \frac{f_i \cdot T}{f_f - f_i}$$

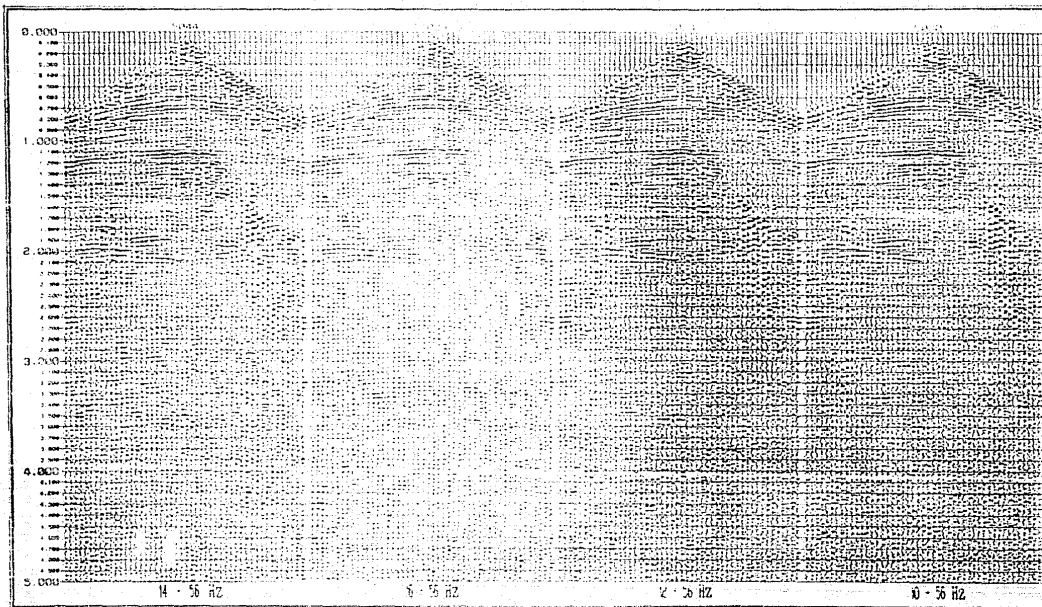
T = longitud de Barrido
 f_f = frecuencia final
 f_i = frecuencia inicial

Los resultados se muestran en la Lámina No. 2.

III.2.5.-- Pruebas de Longitud de Barrido.

Para la realización de esta prueba, se utilizó la disposición de campo mostrada en la figura III.22, vibrando únicamente en el PV 1 y teniendo los tendidos "A" de la traza 1 a la 24 y "C" de la traza 25 a la 48.

Este parámetro, nos permite variar la cantidad de energía que estamos inyectando al subsuelo.



Su importancia radica, en que nos permite mejorar la relación S/R, sobre todo para los objetivos profundos, pero por otro lado, corremos el riesgo de incrementar la amplitud de los ruidos horizontales que nos enmascaran los reflejos superficiales.

En la selección de este parámetro, se debe de considerar también el costo de la operación.

Las longitudes probadas fueron:

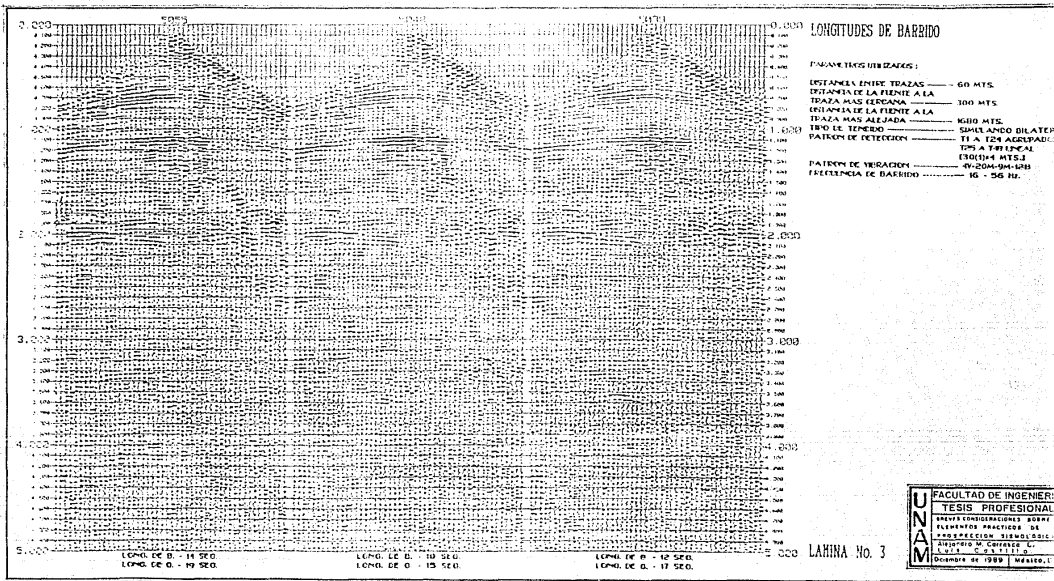
14 seg., 10 seg. y 12 seg.

Los resultados se muestran en la Lámina No. 3.

III.2.6.- Pruebas de Patrones de Vibración.

Para la realización de estas pruebas, se utilizó la disposición de campo mostrada en la figura III.22, vibrando únicamente en el PV 1 y teniendo los tendidos "B" de la traza 1 a la 24 y "D" de la traza 25 a la 48.

El objetivo de esta prueba, es encontrar el arreglo para



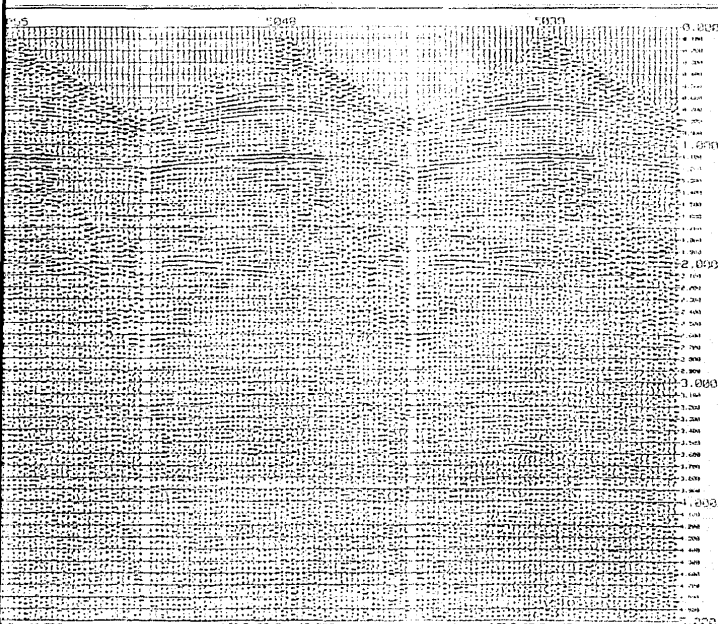
LONGITUDES DE BARRIDO

PARAMETROS UTILIZADOS:

- DISTANCIA ENTRE TRAZAS — 60 MTS.
- DISTANCIA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS CERCA — 100 MTS.
- DISTANCIA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS ALEJADA — 1600 MTS.
- TIPO DE TERRENO — SIMILAR AL TIPO T1 A 124 AGRUPADO
- PATRON DE DETECCION — T1 A 124 AGRUPADO
- PATRON DE REGISTRACION — 4V-204-94-548
- FRECUENCIA DE BARRIDO — 16 - 56 Hz.

UNAM FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
 ELEMENTOS PRACTICOS DE
 INSPECCION SISMOLÓGICA
 INSTITUTO DE GEOFISICA
 UNAM - CUERPO DE INVESTIGACIONES
 Y SERVICIOS CIENTÍFICOS
 Diciembre de 1959 MEXICO, D.F.

LAMINA No. 3



LONGITUDES DE BARRIDO

- UNIDAD DE LOS VERTICALES :
- DISTANCIA ENTRE TRAZAS ----- 50 MTS.
 - DISTANCIA DE LA FRENTE A LA TRAZA MAS PRÓXIMA ----- 300 MTS.
 - DISTANCIA DE LA FRENTE A LA TRAZA MAS ALEJADA ----- 1600 MTS.
 - TIPO DE TEMPORO ----- SIMILANDO BILATERAL
 - PATRON DE DETECCION ----- T1 A 124 AGREGADOS
 - 125 A 740 LINEAL
 - [30(1)+4 MTS.]
 - FRECUENCIA DE VIBRACION ----- (V-20M-2M-120)
 - FRECUENCIA DE BARRIDO ----- 16 - 56 Hz.

8. - 14 SEG.
0. - 19 SEG.

LONG. DE B. - 10 SEG.
LONG. DE G. - 15 SEG.

LONG. DE R. - 12 SEG.
LONG. DE O. - 17 SEG.

5.000 LAMINA No. 3

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	EXAMEN CONDICIONALES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROFESION SIMULADILLA
	Alejandro M. Cortés C.
	N.º 12 - C. 9. 11 11 0. Diciembre de 1989 México, D.F.

cuatro vibradores con doce barridos y tres vibradores con dieciséis barridos, de tal manera que la suma en decibeles de la respuesta del patrón de detección con la respuesta del patrón de vibración, nos permita incrementar la atenuación de ruidos de baja frecuencia (mayor longitud de onda).

Debido a que, cuando se realizan este tipo de pruebas, el tiempo que es un factor que significa costos para cualquier empresa en general, exige que los cálculos y las evaluaciones de los resultados sean hechos con los monitores de campo y en el mismo sitio de las pruebas, por tal motivo, los patrones técnicos deducidos en el inciso III-2.3 difieren ligeramente de los patrones probados en el campo.

Se probaron los patrones técnicos* y otros, utilizados en el trabajo antecedente.

*4V - 13.0 m - 7.0 m - 12B

4V - 26.0 m - 10.0 m - 12B

4V - 24.0 m - 8.0 m - 12B

4V - 20.0 m - 10.0 m - 12B

*3V - 22.0 m - 6.0 m - 16B

3V - 18.0 m - 5.0 m - 16B

3V - 26.0 m - 7.0 m - 16B

3V - 31.0 m - 8.0 m - 16B

Los resultados se muestran en las Láminas Nos. 4 y 5 respectivamente.



0.0883

PATRONES DE VIBRACION

1.000
 0.990
 0.980
 0.970
 0.960
 0.950
 0.940
 0.930
 0.920
 0.910
 0.900
 0.890
 0.880
 0.870
 0.860
 0.850
 0.840
 0.830
 0.820
 0.810
 0.800
 0.790
 0.780
 0.770
 0.760
 0.750
 0.740
 0.730
 0.720
 0.710
 0.700
 0.690
 0.680
 0.670
 0.660
 0.650
 0.640
 0.630
 0.620
 0.610
 0.600
 0.590
 0.580
 0.570
 0.560
 0.550
 0.540
 0.530
 0.520
 0.510
 0.500
 0.490
 0.480
 0.470
 0.460
 0.450
 0.440
 0.430
 0.420
 0.410
 0.400
 0.390
 0.380
 0.370
 0.360
 0.350
 0.340
 0.330
 0.320
 0.310
 0.300
 0.290
 0.280
 0.270
 0.260
 0.250
 0.240
 0.230
 0.220
 0.210
 0.200
 0.190
 0.180
 0.170
 0.160
 0.150
 0.140
 0.130
 0.120
 0.110
 0.100
 0.090
 0.080
 0.070
 0.060
 0.050
 0.040
 0.030
 0.020
 0.010
 0.000

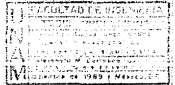
4V - 24H - 3H - 2D

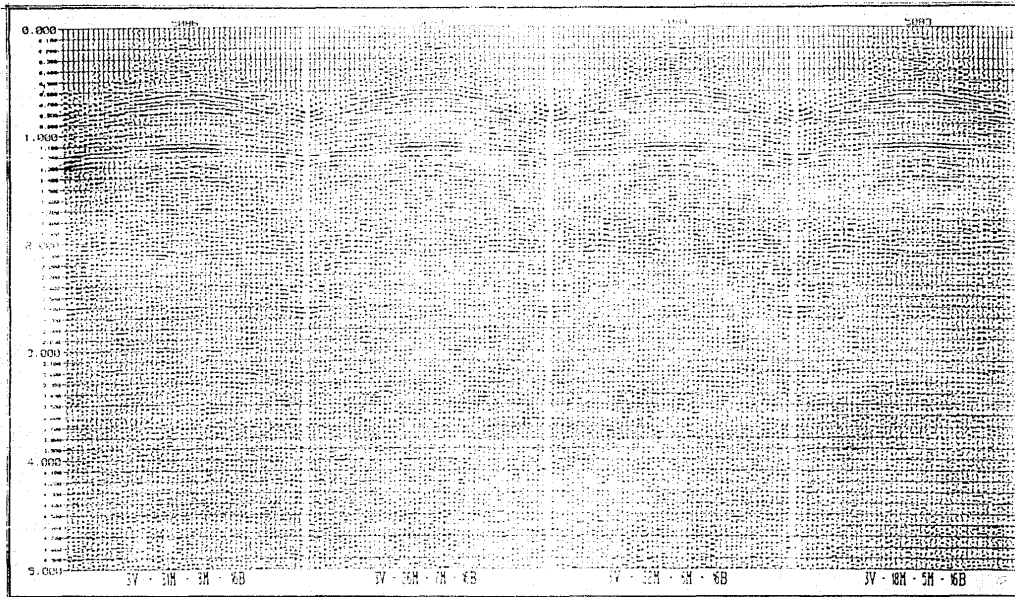
4V - 28H - 4H - 2D

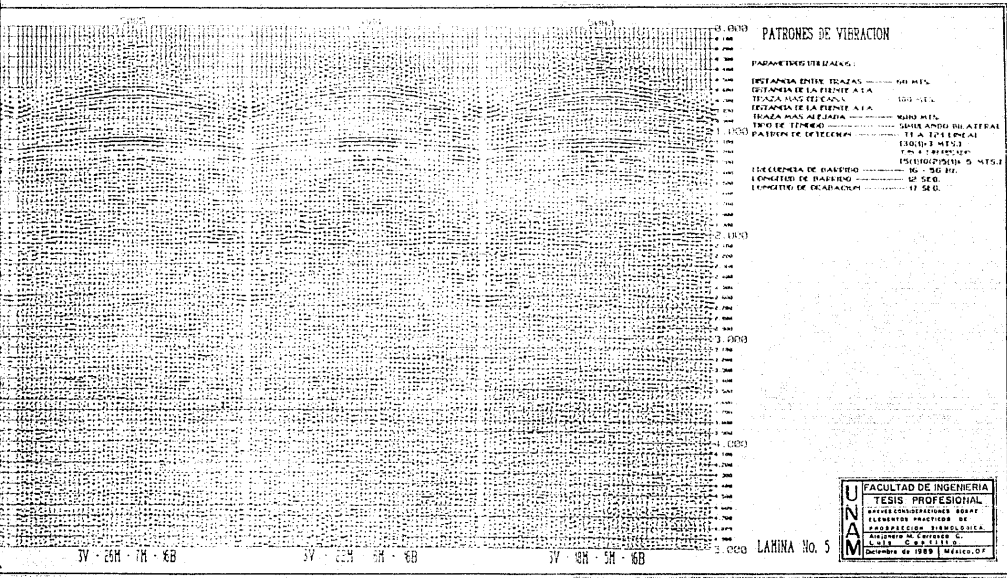
4V - 36 - 7H - 2D

0.0883

LAMINA No. 1







PATRONES DE VIBRACION

PARAMETROS VIBRACION:

- DISTANCIA ENTRE TRAZAS 50 MET.
- DISTANCIA DE LA FRENTE A LA TRAZA MAS CERCA 100 MET.
- DISTANCIA DE LA FRENTE A LA TRAZA MAS AL LEJOS 5000 MET.
- TIPO DE TERRENO SUELO ANDO SUALTEAL
- PATRON DE VIBRACION TI A 101 LPMAL
- 1500000 MET.S
- 1500000000 MET.S
- VELOCIDAD DE BARRIDO 50 SEC.
- LONGITUD DE BARRIDO 10 SEC.
- LONGITUD DE OCADACION 10 SEC.

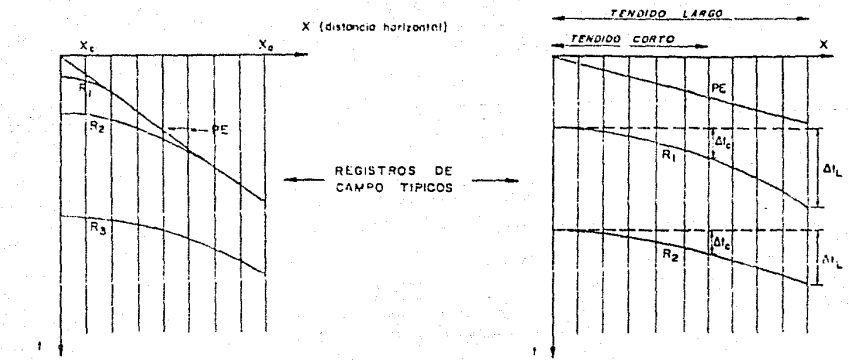
UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	ANALISIS CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECTO DE INGENIERIA
	ANALISIS M. CONTRERAS C. 1989

III.2.7.- Prueba Múltiple.

Para la realización de esta prueba, se utilizó la disposición de campo mostrada en la figura III-22, vibrando en los PV's 1, 2 y 3 y teniendo los tendidos "E" de la traza 1 a la 24 y "D" de la traza 25 a la 48.

El objetivo principal en esta prueba, es la selección de nuestras distancias entre la fuente y la traza más cercana (X_c), y entre la fuente y la traza más alejada (X_a), tomando en cuenta las conclusiones sacadas del análisis realizado en el inciso III.2.2, en donde vimos que para un tendido lateral, que sería el caso de nuestra X_a más grande, la longitud de onda mínima de la señal sería de 87 mts., longitud que estaría siendo atenuada a esa distancia por nuestro patrón de detección; lo que implica que las altas frecuencias a esta distancia estarían siendo atenuadas, tanto por los factores que el subsuelo introduce, como por el patrón de detección.

Otros aspectos que deben de considerarse en la selección de X_a son:



X_c Distancia a la traza más cercana
 X_o Distancia a la traza más alejada
 R_1, R_2 y R_3 Reflexiones
 PE Primeras entradas

PE Primeras entradas
 R_1 y R_2 Reflexiones primarias

(a)

(b)

Figura III.21. (a) Ilustración del problema generado por el uso de distancias inadecuadas a la traza más alejada, en los reflejos someros.

(b) Representación esquemática del efecto de tendidos muy cortos en el Δt y, por consecuencia, en la estimación automática de velocidades.

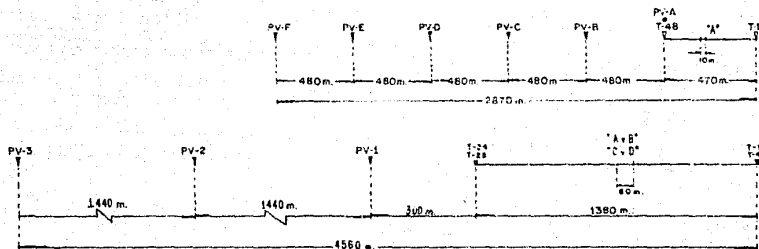
112
 FIG. III.21

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROTECCION SISMOLÓGICA
	Alejandro V. Carrasco Luis C. Belli
	Diciembre de 1989 México, D.F.

DIAGRAMA DE CADENAMIENTO PARA PRUEBAS EXPERIMENTALES
DE CAMPO.

PRUEBAS DE: ANALISIS DE RUIDO, FRECUENCIAS DE BARRIDO,
LONGITUD DE BARRIDO, PATRONES DE VIBRACION,
Y PRUEBA MULTIPLE.

LOCALIDAD: PC



- "A" _PATRON DE DETECCION: GEOFONOS AGRUPADOS.
- "B" _PATRON DE DETECCION: LINEAL 30(1) @ 3 m.
- "C" _PATRON DE DETECCION: LINEAL 30(1) @ 4 m.
- "D" _PATRON DE DETECCION: PEÑANO 5(1)10(2)5(1) @ 5 m.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Contreras C. Luis Castillo.
	Diciembre de 1987 México, D.F.

banda del barrido seleccionado, a su longitud, al patrón de vibración y una vez más, la respuesta de los patrones de detección a distancias de la fuente mayores.

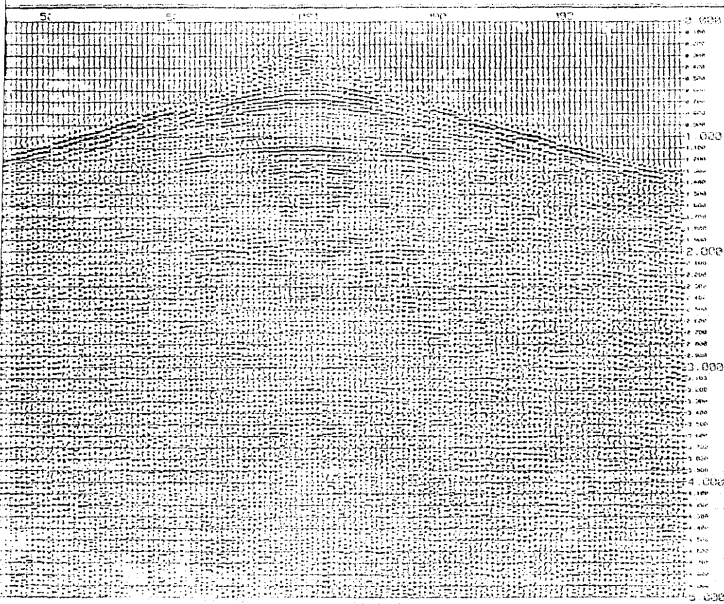
El resultado de esta prueba, se muestra en la Lámina No. 6.

Al finalizar estas pruebas, el geofísico de campo, tiene los elementos para poder recomendar un grupo de parámetros que considere óptimos, para que la brigada encomendada de esta exploración pueda iniciar su operación.

Cualquier modificación a estos parámetros, será comunicada posteriormente a la brigada, desde el centro de procesado de datos, ya que se analicen nuevamente los registros reproducidos y obtenidos con un graficador de área variable.

Existen procesos, para estas pruebas de campo, que tienen el fin de mejorarnos la presentación de los registros, para una mejor evaluación de ellos y para su presentación a las personas interesadas y responsables del prospecto a estudiar.

Estos procesos, son tema del siguiente capítulo, por lo que nuestras observaciones y recomendaciones con respecto a este conjunto de pruebas, también las hemos pospuesto para la finalización del mismo.



PRUEBA MULTIPLE

PARAMETROS UTILIZADOS:

- ESTANCIAS ENTRE TRAZAS 60 MTS
- ESTANCIAS DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS CERCAANA 300 MTS
- ESTANCIAS DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS ALEJADA 3000 MTS
- TIPO DE TENDIDO SIMULANDO BILATERAL
- PATRON DE DETECCION 11 A TIR LINEAL (300) X 3 MTS X 173 A 174 PESADO (5) (10) (15) (20) (25) (30) (35) (40) (45) (50) (55) (60) (65) (70) (75) (80) (85) (90) (95) (100) (105) (110) (115) (120) (125) (130) (135) (140) (145) (150) (155) (160) (165) (170) (175) (180) (185) (190) (195) (200) (205) (210) (215) (220) (225) (230) (235) (240) (245) (250) (255) (260) (265) (270) (275) (280) (285) (290) (295) (300)
- PATRON DE UBICACION 47-204-104-121
- FRECUENCIA DE BARRIDO 15 - 216 HZ
- LONGITUD DE BARRIDO 12 SEG
- LONGITUD DE GRABACION 17 SEG

0306 LAMINA No.6

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRÁCTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA
	ALFONSO M. CALDERON C.
	L. A. B. - S. A. B. S. I. S. T. A. S.

Ciudad de México, México, D.F.

CAPITULO IV.- PROCESOS APLICADOS A LAS PRUEBAS DE CAMPO.

En la etapa del proceso de los datos sísmicos, se considera como objetivo fundamental, mejorar la relación señal a ruido. Esto es, eliminar o atenuar los ruidos coherentes e incoherentes, remanentes, que están interfiriendo en la señal sísmica de los datos recolectados en el campo y así auxiliar mediante un análisis objetivo, en la interpretación del comportamiento geológico del subsuelo terrestre.

Usualmente el procesado de datos que es puramente matemático, es dividido en varias fases, por lo que el orden del sistema de proceso depende del objetivo y de los datos sísmicos disponibles. Estas fases del procesado son ilustradas en la figura IV.1.

Pero para los fines del desarrollo de este tema, únicamente nos concretaremos a describir las fases de procesado que son aplicadas a las pruebas de campo; es decir, las aplicaciones de los métodos de proceso que sirven como apoyo para la determinación de los parámetros óptimos de operación de campo en la prospección sísmológica, y estos son:

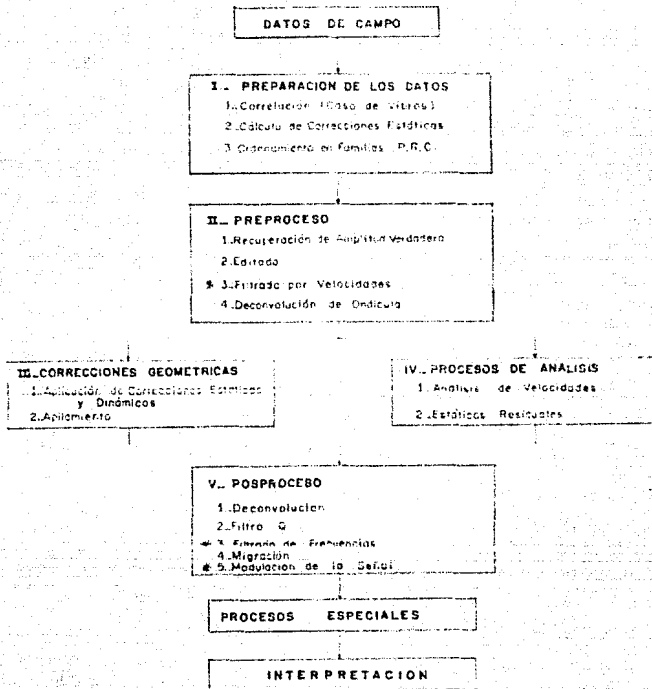


Fig. IV.1: Fases del Procesado Sísmico por Ondicuto

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	TAVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA
	Alejandro M. Carrasco C. Luis C. Castillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

a).- Filtrado de frecuencias Variables en el Tiempo.*

b).- Filtrado por Velocidades.*

c).- Aplicación de Escalares Variables en el Tiempo.*

IV.1.- Filtrado de Frecuencias Variables en el Tiempo.

Este tipo de filtrado se realiza, aprovechando que las frecuencias que componen algunos ruidos, quedan fuera del rango de frecuencias de la señal sísmica, de tal forma que es posible diseñar un filtro paso de banda que permita conservar el rango de frecuencias de la señal, atenuando aquellas correspondientes a ruidos indeseables (ver figura IV.2).

La definición óptima de un evento sísmico requiere de un amplio ancho de banda de frecuencias, es decir, con un espectro de amplitud que contenga componentes de baja y alta frecuencia. Sin embargo, la mayor parte de los datos obtenidos por registros de campo son filtrados con pasos de banda entre 15 y 50 Hz.

REPRESENTACION DE LA INFORMACION SISMICA
EN EL DOMINIO DE LA FRECUENCIA

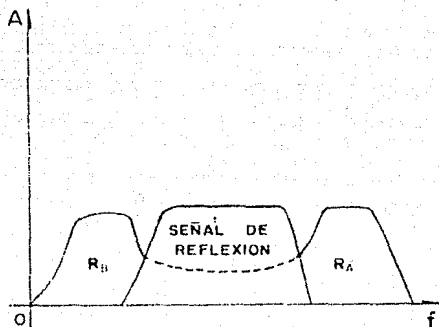
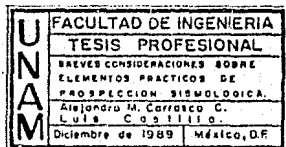


Fig. IV.2

R_A = Ruido de Alta Frecuencia

R_B = Ruido de Baja Frecuencia



La razón considerada, se debe a la respuesta sísmica natural de la tierra, pues proporciona frecuencias útiles de 20 a 49 Hz. En la figura IV-3, se observa un registro de campo del cual se obtuvieron los espectros de potencia para la traza número 18; el intervalo de muestreo en este registro es de 2 milisegundos.

La pobre respuesta aparente de bajas frecuencias de la tierra en la señal sísmica, es debida a la dificultad de la generación de señal libre de ruido en bajas frecuencias y de las limitaciones instrumentales. La pobre respuesta aparente de altas frecuencias es debido principalmente a la fácil absorción causada por la inelasticidad de la tierra y al efecto de múltiples de período corto. Dado que el espectro sísmico útil es más amplio en los datos superficiales, debido a su mayor contenido de altas frecuencias que en los profundos, se demuestra así una ligera atenuación variable con el tiempo. Las figuras IV-4 y IV-5, presentan los espectros que corresponden a la traza 18 del registro de la figura IV-3, con ventanas de 200 a 800 mseg. y 800 a 2000 mseg. respectivamente. Observe que la pendiente de las altas frecuencias baja rápidamente en la ventana profunda.

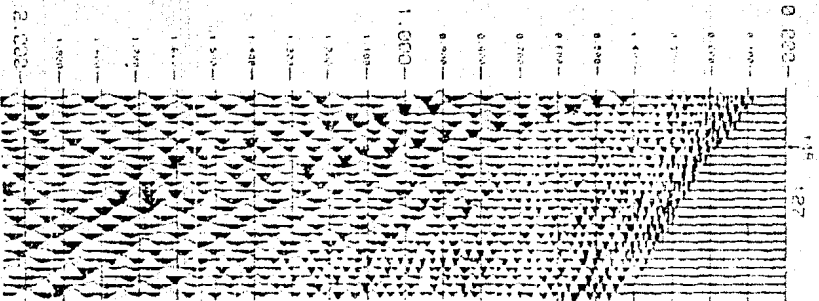


Figura 1 Registro de Campo con Groundraii iniciado en O 4 sag, couado por uno tiente superficial. La froza 18 fué usada para obtener los Espectros de potencia de las figuras

UNAM	
FACULTAD DE INGENIERIA	
TESIS PROFESIONAL	
BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SIMBOLICA.	
ASIGNADO A CARLOS C. LUI S. C. 93 1 11 9	
Diciembre de 1989	México, D.F.

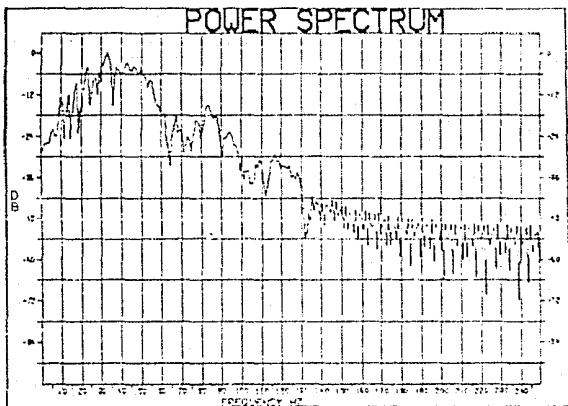


Fig. IV.4 Espectro de Potencia de una traza sísmica en una ventana somera

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE INSPECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Corroto C. Luis Castillo.	
	Diciembre de 1989	México, DF

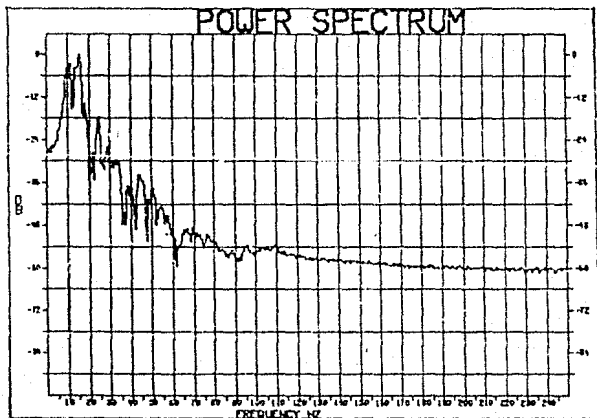


Fig. IV.5 Espectro de Potencia de una traza sísmica en una ventana profunda.

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA.
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Carrillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

Pero también otros efectos tienden a limitar el contenido de altas frecuencias de la señal sísmica. Algunos de ellos dependen del tipo de fuente y arreglos de receptores utilizados, y de los caminos de elevación en estos arreglos. Los errores durante el proceso de correcciones estáticas y dinámicas nos causen mayor atenuación en las altas frecuencias; esto es, un desplazamiento a un tiempo dado, nos genera un desplazamiento de fase mayor en las altas frecuencias, como se puede observar en la figura IV-6.

Ya que el espectro de la señal disminuye tanto en altas y bajas frecuencias, el ruido llega a ser más dominante, obscureciendo nuestra señal sísmica. En bajas frecuencias, principalmente el ruido es generado por la fuente. Una forma común de ruido de baja velocidad generado por la fuente superficial es la "onda de tierra" (Ground Roll). En la figura IV-3 se observa un registro de campo con la onda de tierra iniciando a los 400 msec. Este sismograma fue tirado con Geoflex como fuente de energía. Las bajas frecuencias dominantes en el espectro de amplitud de la figura IV-5 se deben a la onda de tierra.

En ciertos casos de ruidos ambientales, estos son de alta

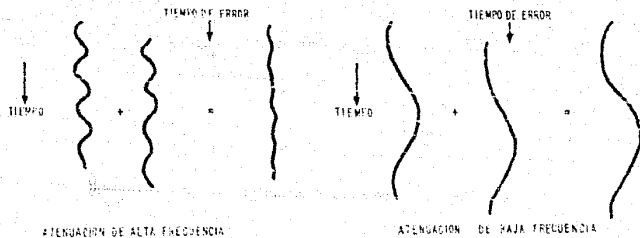


Fig IV.6. Efecto y Errores de Procesado en Apilado de Bajas y Altas Frecuencias.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVE CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS FUNDAMENTALES DE	
	PROYECCION SIMPOLDRICA	
Alejandro de Herrera C.		
Luis Castillo		
Diciembre de 1989	México, D.F.	

frecuencia y pueden dominar el espectro en tiempos finales de una sección sísmica, debido a la baja amplitud relativa de la señal.

La capacidad de transportación de información de cualquier señal, está relacionada con el ancho de banda del filtro paso de banda, el cual elimina una parte de la información, por lo tanto se reduce la resolución.

Por otro lado, el ruido además limita la resolución de eventos sísmicos y puede distorsionar su carácter. La resolución es la habilidad de representar horizontes reflejados en espacios muy cerrados. Así, los lentos arenosos, acunamientos y discordancias requieren de alta resolución. El carácter de un evento permite de traza a traza la correlación de un horizonte sísmico a través de fallas, domos salinos y otras discontinuidades geológicas. La presencia de ruido origina que la forma de onda varíe de traza a traza (ver fig. IV.7).

Con el nombre de "Filtro de Frecuencias Paso de Banda", se sobrentiende un proceso que es utilizado para retener solamente la banda de frecuencias donde se pretende mejorar la resolución de la señal. Las frecuencias fuera de esta banda, donde predominan los ruidos adicionales a la señal son

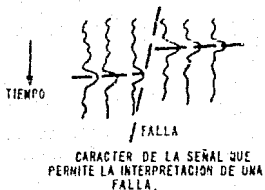
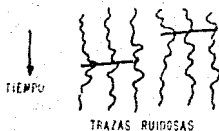
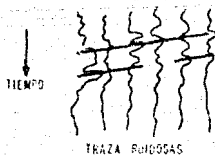


Fig. IV.7. Resolución y Caracter de la Señal Mejorada por Filtrado.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castillo.
Diciembre de 1989	México, D.F.

atenuados.

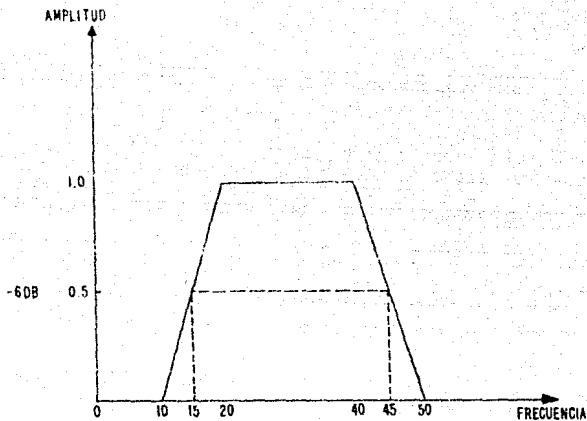
Un filtro paso de banda es inicialmente diseñado en el dominio del tiempo, por lo que su espectro de frecuencias puede no estar claramente definido, pero los parámetros críticos en el diseño del filtro, los cuales determinan el paso de banda del mismo, deben de ser establecidos.

Un filtro queda definido por sus frecuencias de corte y las frecuencias de esquina.

Las frecuencias de corte estarán siempre a la mitad de la amplitud de respuesta del filtro o en los puntos de -6 db de atenuación. Cada frecuencia de corte está determinada por dos puntos denominados frecuencias de esquina.

Las frecuencias de esquina, son las frecuencias donde la respuesta del filtro es idealmente cero y uno; las frecuencias de esquina son normalmente llamadas F_0 y F_1 en el corte bajo y F_2 y F_3 en el corte alto. La figura IV-8 ilustra lo anteriormente explicado.

Para que en el efecto del diseño del filtro, no se observe la presencia de fuertes lóbulos laterales, se recomienda una cuidadosa selección en los valores de las frecuencias de esquina y de la longitud del filtro. En las figuras IV-9, IV-10 y IV-11 se observan los diversos efectos al variar



FILTRO PASO DE BANDA = 15-45 (HZ)
 FRECUENCIAS DE ESQUINA: FO=10 (HZ)
 F1=20 (HZ)
 F2=40 (HZ)
 F3=50 (HZ)

Fig. IV.8. El Filtro Pasobanda.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVE CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRACTICOS DE	
	PROSECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Carrasco C.	
Luis Castillo		
Diciembre de 1989		
México, D.F.		

estos parámetros.

La operación de filtrar en el dominio del tiempo es llamada CONVOLUCION. La convolución puede ser considerada como la superposición de la respuesta al impulso de el filtro, en cada punto de la función de entrada y multiplicada por el valor del dato en ese punto. De otra manera, se puede obtener una salida equivalente invirtiendo el filtro, llevándolo hacia atrás y luego desplazandolo punto por punto, a intervalos del intervalo de muestreo; en cada desplazamiento el valor de los puntos coincidentes se multiplican y el valor de la salida será la suma total para cada desplazamiento, esta operación se ilustra en la figura IV-12.

La expresión matemática para la operación de convolución de funciones continuas es:

$$P_12(T) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t) f_2(T-t) dt$$

o sea:

$$P(T) = f_1(T) * f_2(T)$$

Para describir la operación de la convolución en el dominio de las frecuencias, se requiere conocer los espectros de amplitud y de fase de ambas funciones; sin embargo, si el

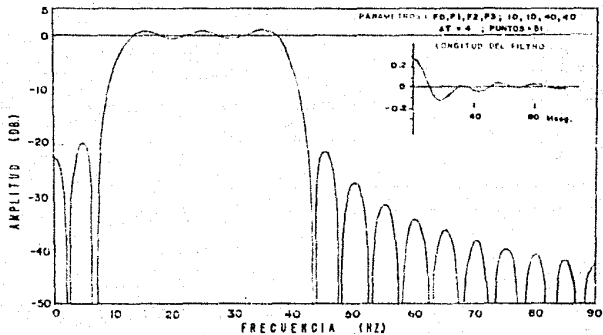


Fig. IV.9. Espectro de Amplitud (Altos Lobos Laterales)

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	FENOMENOS ENVIADOS DE	
	PROYECCION SIMULADORA	
Alejandro M. Carrasco C.		
Luis Castillo		
Diciembre de 1989 México, D.F.		

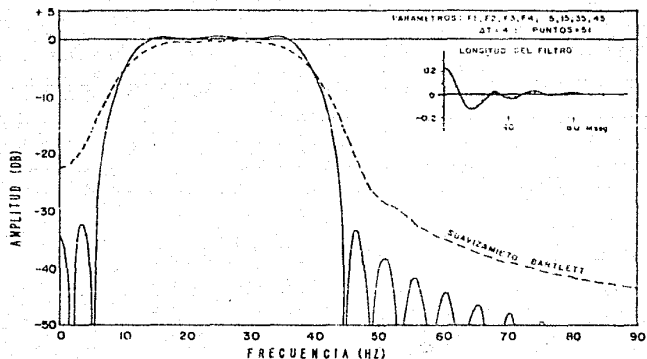


Fig.IV.10. Espectro de Amplitud (lobulos laterales reducidos)

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRACTICOS DE	
	PROSPECCION SISMOLOGICA.	
Alejandro M. Carrasco C.		
Luis C. Castillo P.		
December de 1989	México, D.F.	

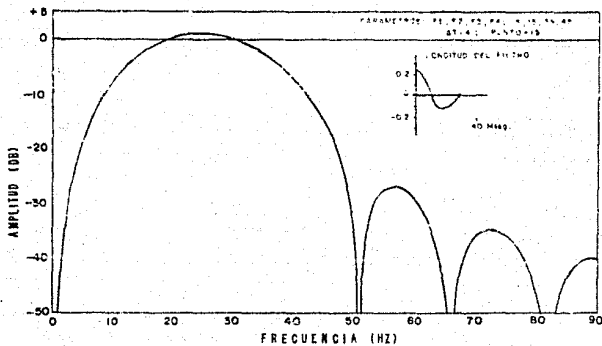


Fig.IV.11. Espectro de Amplitud (lobulos laterales altos y redondeados)

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Corresco C. Luis C. de la Cruz	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

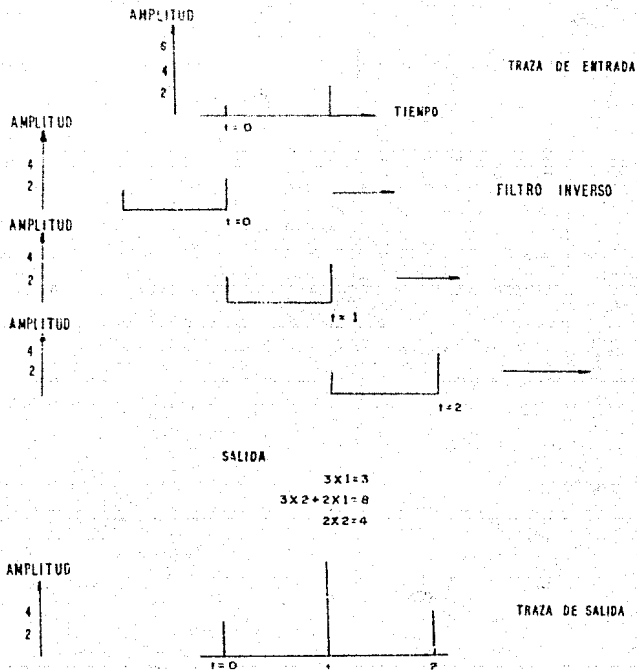


Fig.IV.12. Filtrado en el Dominio del Tiempo por Convolución.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Carrasco C. Luis Castillo	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

filtro es de fase cero, la información de su espectro de fase no es necesaria:

Para obtener el espectro de amplitud de la salida, se multiplican los valores de los espectros de amplitud de la señal y del filtro a la misma frecuencia. Para obtener el espectro de fase resultante, se suman los espectros de fase de la señal y del filtro para la misma frecuencia. Si el filtro es de fase cero, el espectro de fase resultante será igual al espectro de fase de la señal de entrada.

En el dominio de las frecuencias, la operación del filtrado se describe matemáticamente como:

$$F_A(f) = A_i(f) \cdot A_A(f) e^{-j(\theta_i(f) + \theta_A(f))}$$

No es posible separar completamente el ruido de la señal con el filtro paso de banda, sólo es posible mejorar significativamente la relación S/R como lo ilustramos en la figura IV-2 anteriormente.

El filtro paso de banda es usualmente aplicado como una de las últimas etapas en la secuencia de procesamiento. Sin embargo, este tipo de filtrado es un proceso auxiliar inmediato, para la determinación más adecuada de los parámetros óptimos de

operación, ya que en algunos casos, la relación señal a ruido de los sísmogramas de campo, presentan algunas similitudes por lo que en estos casos se procede al uso del filtrado de frecuencias.

La aplicación práctica del uso del filtro paso de banda, se observa en la Lámina No. 7. En ésta podemos ver la intere-rencia del ruido de baja frecuencia (onda de tierra), tendiendo a mejorar con la aplicación del filtrado.

En estos registros, que corresponden a las pruebas de frecuencias de barrido que mostramos en la lámina no. 2 del capítulo III, se observa el mejoramiento de la relación S/R con el filtro [18 - 40] Hz. aplicado en la ventana entre 0 y 1.7 segs., mientras que para los eventos profundos, se obtuvo un mejor resultado con el filtro [16 - 30] Hz. aplicado a partir de 1.7 segs. hasta el tiempo final de registro.

IV.2.- Filtrado de Velocidades.

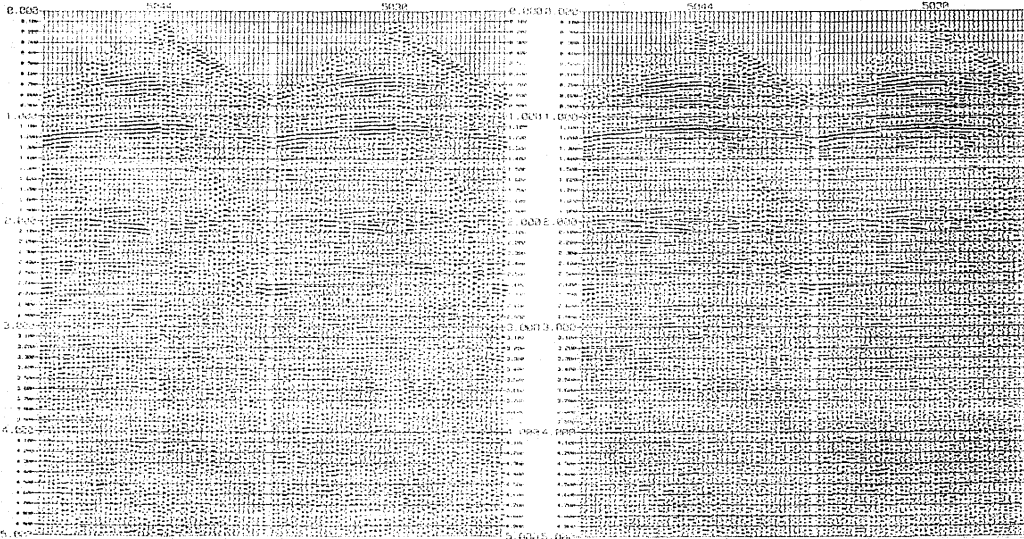
El objetivo de aplicar determinados parámetros de campo en el

F. EC B - 14-56 Hz.

F. EC B - 10-56 Hz.

F. EC B - 14-56 Hz.

F. EC B - 10-56 Hz.



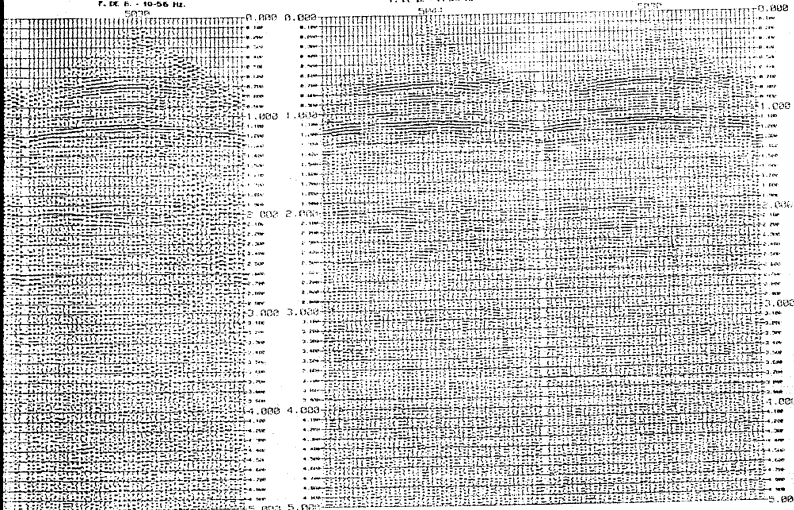
FILTR 1 16 - 30 119

FILTR 1 10 - 40 119

F. DE B. - 10-56 Hz.

F. DE B. - 14.54 Hz.

F. DE B. - 10-56 Hz.



PRUEBA DE FILTROS

PARÁMETROS UTILIZADOS:

- ENTANZIA ENTRE TRAZAS — 60 MTS.
- ENTANZIA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS CERCA — 300 MTS.
- ENTANZIA DE LA FUENTE A LA TRAZA MAS ALEJADA — 600 MTS.
- TIPO DE TENIDO — SIMULANDO BILATERAL
- PATRON DE DETECCION — 11 A TES AGRANDADOS
- TIPO DE FILTRO — TES A TRIPLEZ (8000-60-60)
- LONGITUD DE BARRIDO — 12 SEG.
- LONGITUD DE GRABACION — 17 SEG.

REGISTROS CON CEN 000000 MISE.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	SECRETARIA DE EDUCACION PUBLICA
	DIRECCION GENERAL DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS
	LABORATORIO DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

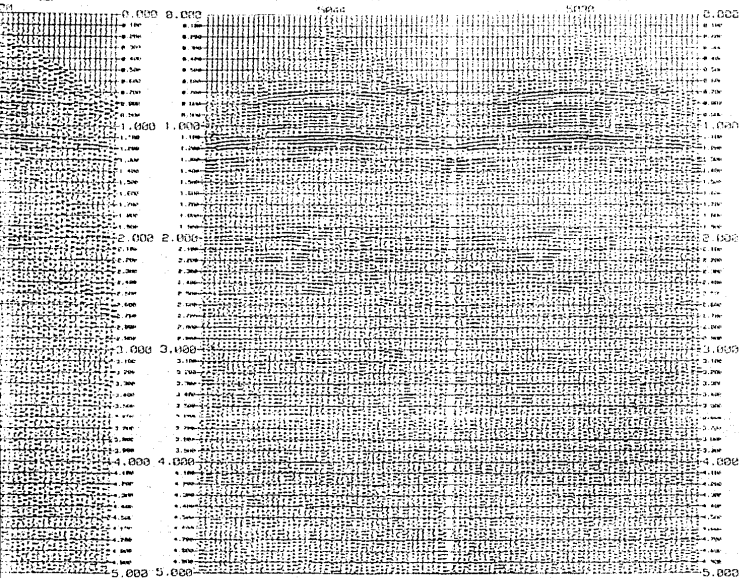
LAMINA No. 7

FILTRADO 26 - 44 Hz
 LONG. DE TRAZA 1000 MISE.
 (ENTRE 3.0 Y 4.0 SEG.)

10-56 Hz.

F. DE B. 10-56 Hz

F. DE B. 10-56 Hz



PRUEBA DE FILTROS

PARAMETROS UTILIZADOS:

DISTANCIA ENTRE TRAZAS	60 MTS.
DISTANCIA DE LA FIENDE A LA TRAZA MAS CERCA	300 MTS.
DISTANCIA DE LA FIENDE A LA TRAZA MAS ALEJADA	1600 MTS.
TIPO DE TENIDO	SMILANDO BILATERAL
PATRON DE DETECCION	TI A TON ADESPALMS
	T25 A T45 LINEAL
	130(1)14 MTS.1
PATRON DE VERDADEN	49-20M-9M-120
LONGITUD DE BARRIDO	12 SEC.
LONGITUD DE GRABACION	11 SEC.

VELOCIDADES EN CM=1000 M/S.

LAMINA No. 7



FILTRO E 26 - 44 3 10
 LONG. DE TYS : 8000 MZG.
 (ENTRE 3.0 Y 4.0 SEC.)

trabajo de exploración sísmológica, es el de obtener información del subsuelo mediante reflexiones (señal), que estén libres de ruidos que interfirieran en la interpretación preliminar de campo; pero debido a las condiciones del terreno y medio ambiente del área, esto no es posible en un 100 %, ya que en los resultados se observan remanencias de ruidos coherentes e incoherentes interfiriendo a la señal, como se ilustra en la figura IV-13.

Uno de los métodos utilizados para atenuar este tipo de ruidos, es el desarrollado en el inciso IV.1, pero debido a que algunos ruidos presentan características en frecuencia y amplitud iguales a las de la señal, no puede ser aplicado el filtrado de frecuencias; por consiguiente, para lograr la atenuación de los ruidos remanentes, se recurre al uso de el "Filtrado de Velocidades".

El filtrado por velocidad atenua los ruidos coherentes por discriminación entre las reflexiones (señal) y estos ruidos, en base a la velocidad horizontal aparente, de allí el nombre de filtrado de velocidades. Este proceso se lleva a cabo filtrando en el dominio de la frecuencia y del Número de Onda ($F-K$).

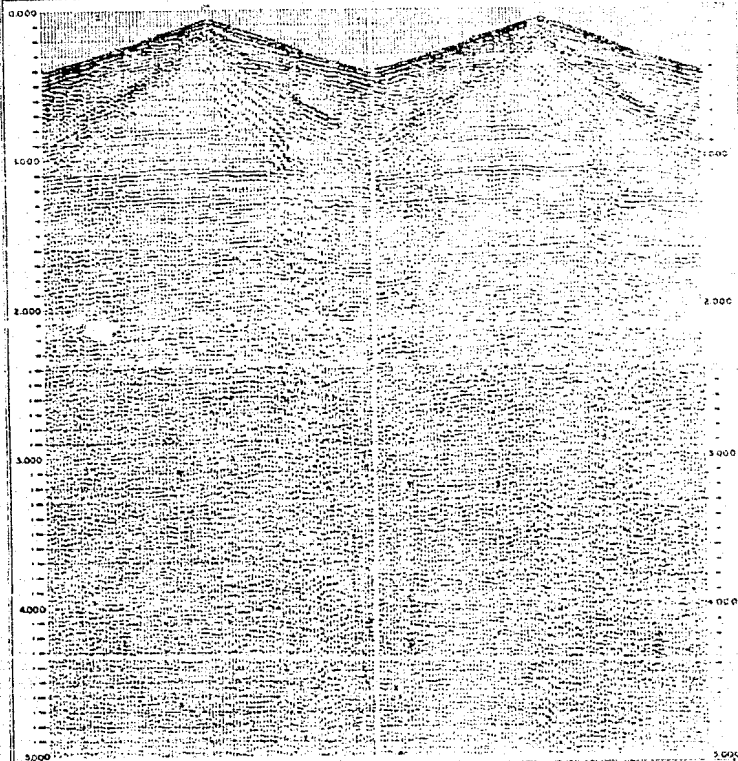


Fig. IV.13. Registros de Campo de 96 Canales con Interferencia de Ruidos Coherentes e Incoherentes en la Señal.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE	
	ELEMENTOS PRACTICOS DE	
	PROYECCION SISMOLOGICA	
	Alejandro M. Carrasco G. Luis C. Castillo	
Diciembre de 1989 México, D.F.		

En la figura IV.14. se ilustra la aparición de la señal y el ruido coherente en un registro en el dominio tiempo - distancia (t-x).

Para llevar a cabo el desarrollo del filtrado de velocidades, primeramente necesitamos pasar del dominio t-x al dominio F-K, y este proceso es realizado mediante la transformación del dominio del tiempo (t) al dominio de la frecuencia (f) y del dominio de la distancia (x) al dominio del número de onda (K). Esta doble transformación puede ser expresada por la Transformada Bidimensional de Fourier, dada por la siguiente expresión:

para una función:

$$a(t,x) \longrightarrow A(\omega,K)$$

donde:

$$[A(\omega,K)] = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} a(t,x) e^{-j(\omega t + Kx)} dt dx.$$

En la figura IV.15, se observa en forma gráfica la transformación del dominio t-x al dominio F-K.

Para la descripción de los eventos en el plano F-K a partir del plano t-x, es necesario recordar que los ruidos se propagan linealmente en la superficie, por lo que la penden-

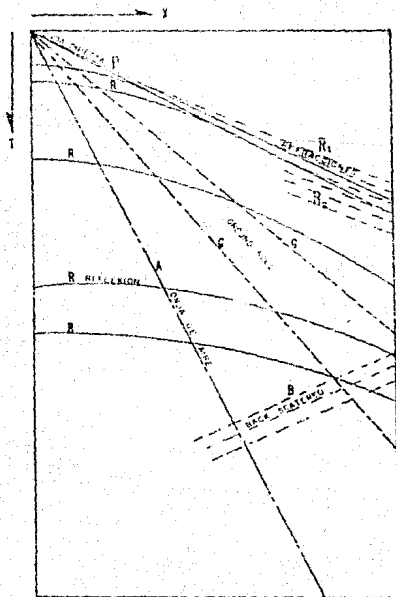


Fig. IV.14. Registro de Campo Mostrando la Apariencia de la Señal y Ruidos Coherentes.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA
	Alejandra M. Carrasco C. Luz C. Castillo
	Diciembre de 1989 México, D.F.

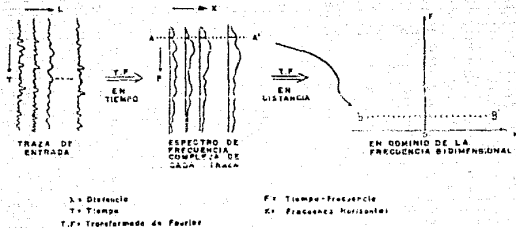
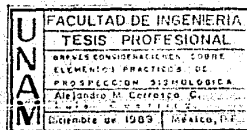


Fig. IV.15 La Transformada Bidimensional como Dos Suscesivas Transformadas Unidimensionales.

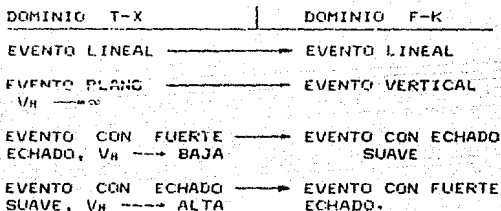


te de estos ruidos es el inverso de la velocidad horizontal aparente, donde:

$$V_H = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

y las señales en un registro no aparecen como eventos lineales, sino como eventos con curvatura (hiperbólicos) debido a los echados geológicos y a sus trayectorias triangulares. Por lo tanto, eventos con mayor velocidad horizontal tendrán un echado menor y eventos con una baja velocidad horizontal, tendrán un echado mayor.

Para comprender como el filtrado de velocidades es capaz de discriminar entre la señal y ruido coherente, en base a la velocidad horizontal aparente, es necesario mencionar algunas relaciones entre datos de los dominios t-x y F-K que a continuación se describen:



En base a las consideraciones anteriores, podemos determinar que eventos lineales en el plano $t-x$ aparecen como eventos lineales en el plano $F-k$, que intersectan al origen ($F=0$, $k=0$). Para eventos planos con velocidad horizontal que tiende a infinito -característica de las reflexiones-, se grafican como eventos verticales en el plano $F-k$, a lo largo del eje $k=0$. Datos con una fuerte pendiente en $t-x$ (velocidad horizontal baja), aparecen casi horizontales en el plano $F-k$. También, dos eventos de diferente echado que interfieren en el dominio $t-x$, aparecerán en áreas diferentes en el plano $F-k$; de la misma manera, dos eventos diferentes con igual echado en $t-x$, se graficarán en la misma área del plano $F-k$. Lo importante de distinguir los eventos en el plano $F-k$, es que permite el filtrado de velocidad diferencial entre la señal y el ruido coherente en base a la velocidad horizontal. En la figura IV-16, se observa el plano $F-k$ para los datos contenidos en el registro de la figura IV-14. Los datos de reflexión (R), considerados como eventos no lineales, pero con una velocidad alta y con un suave echado, son concentrados en el eje vertical ($k=0$) del plano $F-k$. Los otros eventos que presenta la figura IV-16, son eventos

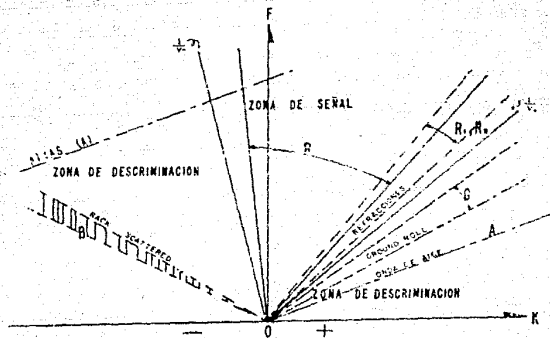
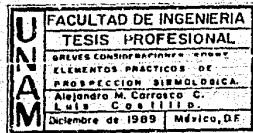


Fig. IV.16. Apariencia de la Señal y Ruido Coherente de un Registro en el Dominio F-K, así como Zonas de Señal y de Discriminación.



lineales de energía coherente. En el registro de la figura IV-14, los arribos directos (ondas P- (P)), refracciones someras de alta velocidad (P1), refracciones reflejadas (P2), la onda de tierra (G) de baja velocidad extendida en gran parte del registro y la onda de aire (A) de muy baja velocidad, son ruidos que mantienen un echado diferente en una misma dirección; por lo tanto, éstos se presentan en diferentes áreas del plano F-K, de acuerdo a su echado o velocidad horizontal aparente. Algunos ruidos coherentes pueden presentarse también en dirección inversa o con echado inverso (B), siendo estos ruidos dispersiones viajando de regreso (back-scatter), originados por alguna discontinuidad en el medio de transmisión; estos eventos son graficados en el cuadrante negativo (-) del plano F-K. Entonces, para reflectores que no son totalmente planos, parte de la señal puede aparecer en el cuadrante negativo cerca del eje vertical (K=0).

Un ejemplo práctico donde se observan algunos ruidos anteriormente descritos, se ilustra en las figuras IV-17 y IV-18. La primera corresponde a un registro de campo donde se analizó el tipo de ruidos predominantes en una área

ANALISIS DE RUIDO

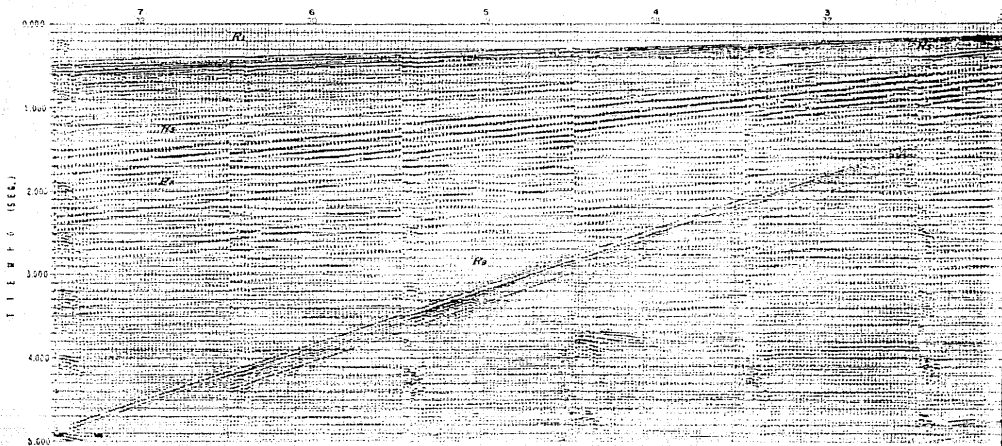


Fig. 17. Registro de Campo Donde se Observan Ruidos Coherentes e Incoherentes.

ANÁLISIS DE RUIDO

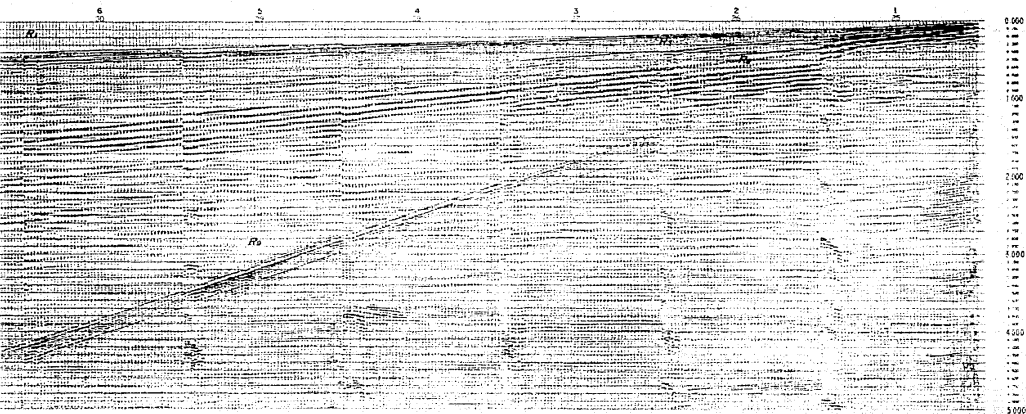
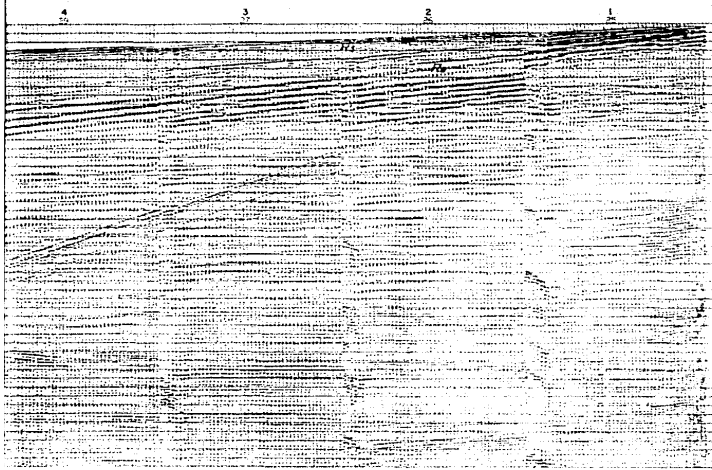


Fig IV.17. Registro de Campo Donde se Observan Ruidos Coherentes e Incoherentes.

ANÁLISIS DE RUIDO



5000
4000
3000
2000
1000
100
10
1

DATOS DE CAMPO

NUMERO DE P.T. 7
 PROFUNDIDAD 15 m.
 CARGA P.T. 1 al P.T. 3 2 cañas
 P.T. 4 al P.T. 7 3 cañas
 DISTANCIA ENTRE TNAZAS 5 m.
 VELOCIDAD DEL VIENTO 8

PATRON DE DETECCION
 TAZA 1 A 4
 24 RESPUESTAS/TAZA LEVANTADOS

1 Campo Donde se Observan Ruidos Coherentes e Incoherentes.

U N A M	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVESE COMENTARIOS SOBRE ELEMENTOS PRÁCTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Corrales C. Luis C. Orellana
	Diciembre de 1989 México, D.F.

FIG IV 17

ANALISIS DE RUIDO
EN EL DOMINIO F-K

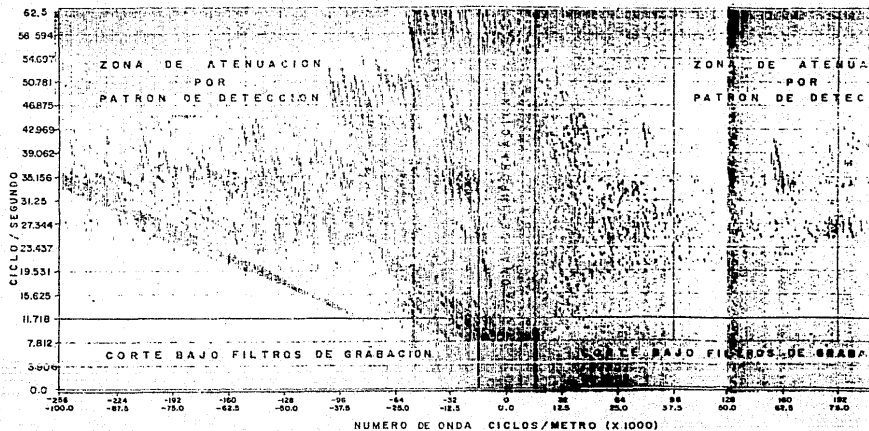


Fig. IV.18. Analisis de Ruido en el Dominio de la Frecuencia y Número de Onda.

ANALISIS DE RUIDO
EN EL DOMINIO F-K

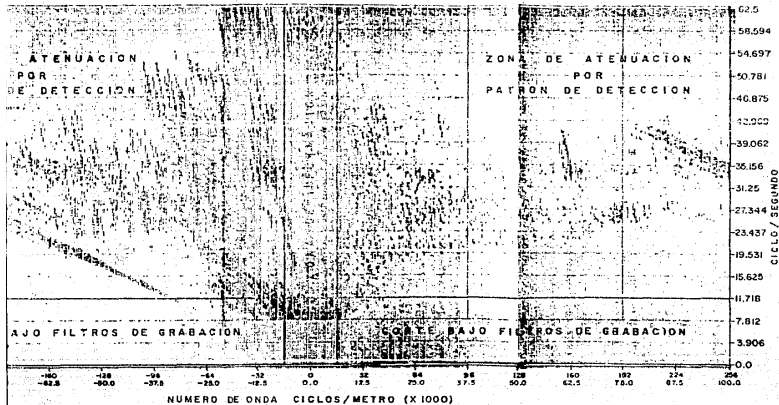


Fig.IV.18. Analisis de Ruido en el Dominio de la Frecuencia y Número de Onda.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Carrasco C. Luis C. S. Villig
	Diciembre de 1989 México, D.F.

FIG.IV.18.

determinada (análisis de ruidos); en éste se pueden apreciar los ruidos más comunes, como refracciones, onda directa, onda de tierra, onda de aire y las dispersiones de regreso; también algunos ruidos ambientales incoherentes como inducciones de alta frecuencia y otros originados por pasos de personas o ganado. La segunda figura, corresponde al plano $F-K$ o la gráfica transformada del dominio $t-x$ al dominio $F-K$; en este plano se pueden observar las zonas donde se muestran los diferentes ruidos coherentes. El área de reflexiones se limita a $K=0$; cerca de $K=0$ se grafican claramente las refracciones (R_1 y R_2); más al centro del cuadrante negativo ($-K$) se muestra un poco atenuada al final la onda de tierra; un poco más a la izquierda se ve claramente la onda de aire. En el cuadrante opuesto ($+K$), se observan ruidos que presentan echado negativo (ruidos no bien definidos), pudiendo corresponder a las dispersiones de regreso; así mismo se aprecia el alias correspondiente a la onda de aire (A). El graficado de los eventos lineales coherentes en el cuadrante negativo en este ejemplo, se debe a la forma en que fue graficado el análisis de ruidos en el dominio $t-x$.

El filtrado de velocidades se complementa una vez habiendo

especificado las áreas del plano $F-k$ que contienen la señal y las áreas que contienen el ruido (áreas de discriminación). Los datos que aparecen en la zona de discriminación son igualados a cero, mientras que los datos que aparecen en la zona de señal, se dejan sin cambio. En la figura IV-16, se indican las zonas de señal y las zonas de discriminación. En el lado positivo, la zona de señal es aún más amplia, especialmente en altas frecuencias donde la señal puede tener variados números de onda grandes (las componentes de más alta frecuencia de una reflexión no son tan planas como las componentes de baja frecuencia). La zona de discriminación en el cuadrante positivo ($+k$), es donde existe la mayor cantidad de ruidos coherentes indeseables.

Las fronteras entre las zonas de señal y de discriminación, se especifican como líneas positivas y negativas, cuyas pendientes pueden ser expresadas en términos de velocidad de echado. Todos los eventos en un registro con velocidades horizontales menores que las velocidades de corte especificadas serán eliminados. Las líneas de corte para el filtrado de velocidades en el dominio $F-k$, se determinan con las pendientes de los límites del área de señal como sigue:

$$\text{ECHADO DEL CORTE} = \Delta F / \Delta f$$

$$\text{VELOCIDAD DE CORTE} = \Delta F / \Delta K$$

Obviamente se deberá de determinar una velocidad positiva (+V) y una negativa (-V).

Una vez obtenidas las velocidades de corte, se procede a realizar el filtrado de velocidades en el dominio F-K, donde las amplitudes en las zonas de discriminación se igualan a cero; los datos son transformados de nuevo al dominio t-x y el registro filtrado de velocidades es la salida. A continuación resumimos el proceso del filtrado de Velocidades:

- 10.- Transformar el registro en el dominio t-x al dominio F-K.
- 20.- Una vez localizadas las zonas de Señal y Discriminación, se procede a igualar los datos a cero en F-K que caen fuera de los límites de corte.
- 30.- Se procede a la transformación inversa del dominio F-K al dominio t-x y la salida es el registro filtrado por velocidad.

El ejemplo práctico donde se desarrolla todo el proceso del Filtrado de Velocidades, lo podemos observar de la figura IV.19 a la figura IV.23. En la figura IV.19 (Prueba Múltiple), en el inicio del registro se observan arribos directos, los cuales dan paso a refracciones a distancias fuente-traza mayores. A partir de 0.600 seg., la señal de reflexión relativamente plana se manifiesta ligeramente interferida por frecuencias de la onda de tierra, teniendo mayor influencia o interferencia en los eventos de reflexión de 1.900 y 2.500 segs. a distancias (x) mayores. También se observan interferencias de inducciones de alta frecuencia a partir de 2.600 segs. a lo largo de varias trazas (energía incoherente).

La figura IV.20 contiene la representación del F-K para el mismo registro. Debido a que el registro es simétrico, las reflexiones se concentran en los dos cuadrantes, cercanas a $K=0$. Las refracciones y onda de tierra aparecen como eventos lineales concentrados más lejos del eje vertical ($K=0$), manifestándose con mayor claridad en el cuadrante positivo (+K). Nótese como algunos eventos (ligeramente atenuados), se manifiestan como alias en el cuadrante negativo (-K).

La figura IV.21 contiene la misma gráfica F-K después del

PATRÓN DE DETECCIÓN

TRAZA No. 17
 ESTACION 10511, 12, 13
 1 WVA 10/11, 12, 13
 TRAZA No. 004
 PATRÓN AER. 10/11, 12, 13
 7 MIL ENTRE DETECTORAS

PRUEBA MULTIPLE

CARGA 4.55 Kg
 FRECUENCIA DE PULSOS 25 MHz
 FILTROS DE GENERACION 27718 10MHz
 DISTANCIA ENTRE TRAZAS 50 MIL
 DISTANCIA ENTRE PULSOS 50 MHz
 VELOCIDAD DE CENSAJE 60 MPH
 INTERVALO DE MUESTREO 0.002 Seg

117

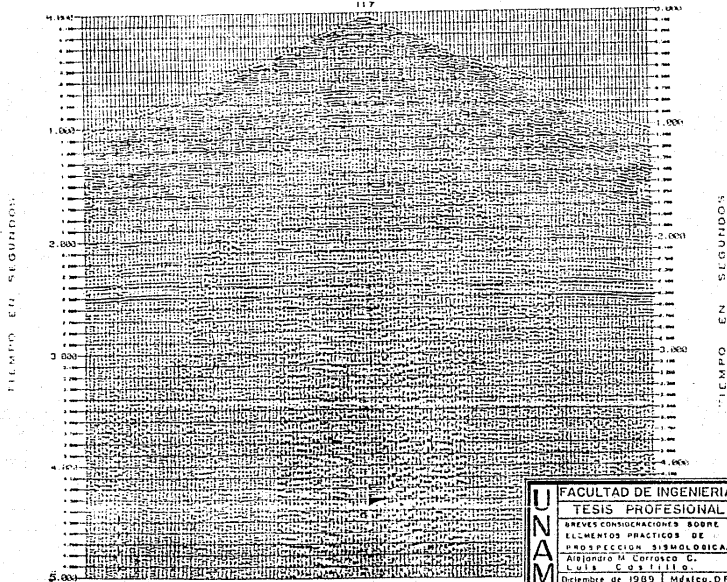


Fig. IV.19. Registro de Campo sin Filtrar.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROSPECCION SISMOLOGICA.	
	Alejandro M. Corroasco C. Luis Costillo. Diciembre de 1989 México, D.F.	

FIG. IV.19.

GRAFICO F-K DE LA PRUEBA MULTIPLE
SIN FILTRAR

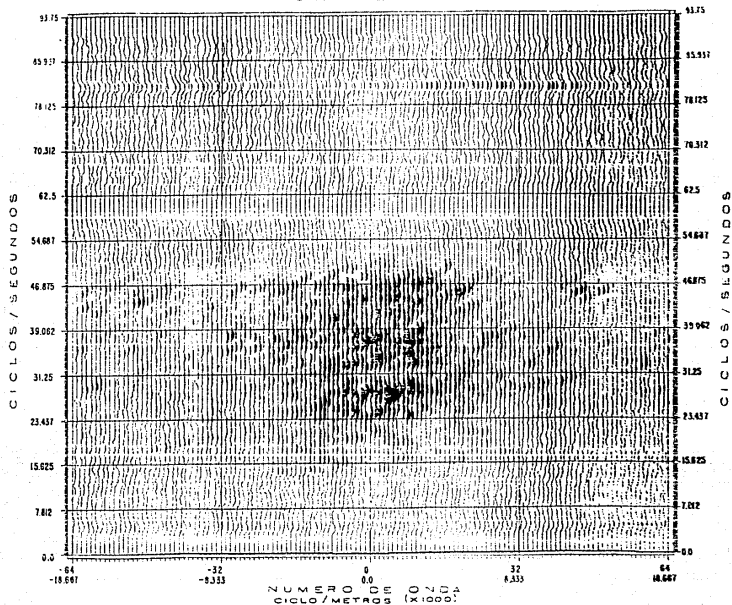


Fig.IV.20. Gráfico F-K del
Registro de Campo
Sin Filtrar.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE MEDIACION SIMBOLICA.
	Alejandro M. Corrao C. Luis Castillo.
	Diciembre de 1989 México, D.F.

FIG.IV.20.

filtrado de velocidades. Las remanencias de la onda de tierra incluyendo los componentes alias, han sido atenuados. Los límites de la zona de señal son indicados. La línea de corte positiva (+V) corresponde a una velocidad de 2212 m/seg., y los eventos de velocidad menor a esta cantidad han sido atenuados. La línea de corte negativa (-V) corresponde a una velocidad de 3450 m/seg..

La figura IV.22 contiene el registro transformado, en el dominio $t-x$, después de aplicar el filtrado de velocidades. En esta figura se observa que el ruido de interferencia ha sido eliminado, a excepción de las inducciones de alta frecuencia, y la señal de reflexión es fácilmente reconocible en todo el registro.

En la figura IV.23 se muestra el resultado final, donde se aplicó el filtrado de velocidades y el filtrado de frecuencias variante con el tiempo; los filtros paso de banda aplicados fueron: [21-100] Hz a 2-600 seg. y [20-62] Hz a 4.000 seg. En este registro se aprecia que las altas frecuencias de interferencia han sido atenuadas, con lo cual concluimos que nuestro filtrado de velocidades ha sido realizado exitosamente.

UNAM
FACULTAD DE INGENIERIA
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
EN INGENIERIA
CARRERA DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD
LABORATORIO DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

PRUEBA MULTIPLE FILTRADO POR VELOCIDAD

PROGRAMA DE INVESTIGACIONES
EN INGENIERIA EN ELECTRICIDAD
LABORATORIO DE INGENIERIA EN ELECTRICIDAD

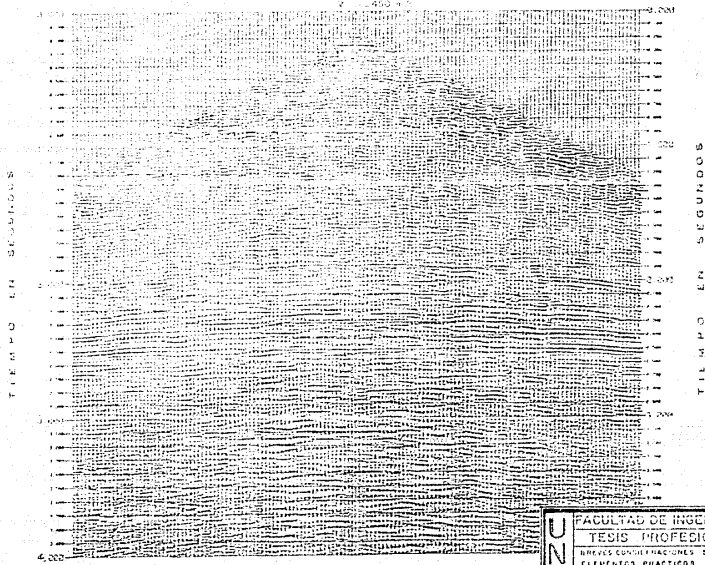


Fig.IV.22. Registro de Campo Filtrado por Velocidad.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE
	ELEMENTOS PRACTICOS DE
	PROTECCION SIMBOLICA
	ALVARO M. GARCIA C.
Luis CASTILLO	
Diciembre de 1980 México, D.F.	

FIG.IV.22.

PATRON DE DETECCION,
 TRAZA 1 A 70
 PATRON RESCIBO 40 STACION
 POR 7 MIN. ENTRE ALIQUIS
 TRAZA 73 A TRAZA 84
 PATRON LINEAL 100 STACION
 POR 7 MIN. ENTRE DETECCIONES

PRUEBA MULTIPLE FILTRADO POR FILTROS DE VELOCIDAD FRECUENCIAS VARIABLE CON EL TIEMPO

PARAMETROS UTILIZADOS
 $v = 2312 \text{ MMS / SEG}$
 $f = 1453 \text{ MMS / SEG}$
 FRECUENCIA TIEMPO
 20.624 4.000 SEG.
 20.624 4.000 SEG.

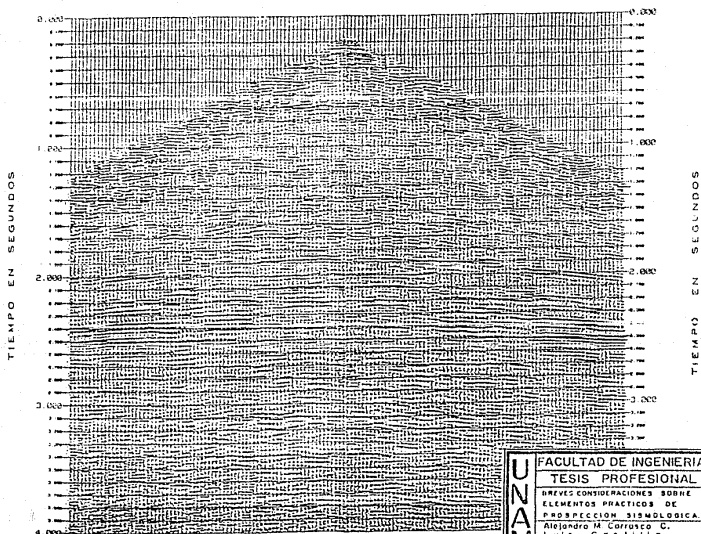


Figura IV 23 Filtrado Final

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA
	TESIS PROFESIONAL
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE INSPECCION SISMOLÓGICA.
	Alejandro M. Coriasco C. Luis Castiello.
	Diciembre de 1989 México, D.F.

FIG. IV.23.

IV.3.- Aplicación de Escalares Variables con el Tiempo.

La aplicación de los escalares en las trazas es una técnica de proceso de datos sísmicos ideal, que no es requerida en el procesamiento de la ondícula en amplitud real. Todas las formas de escalares de una traza representan algunos tipos de ajustes de las amplitudes relativas de los reflectores primarios. Sin embargo, el escalar en una traza puede ser requerido para minimizar los efectos de amplitudes anómalas, o para realizar reflexiones coherentes débiles en la presencia de ruidos no coherentes. Algunos tipos de escalares en la traza, pueden ser aplicados con poco riesgo de distorsión de las amplitudes relativas. Otros tipos distorsionan evidentemente las amplitudes y pueden ser utilizados en la aplicación de procesos especiales o para datos en los cuales la recuperación de la amplitud real es poco probable. Los tipos mas comunes aplicados a las trazas son:

- a).- Escalares Invariantes en el tiempo.
- b).- Escalares Variables con el Tiempo.
- c).- Escalares de Coherencia.

adversos de ruidos de gran amplitud que varían con el tiempo, tales como:

a).- Eventos de ruidos originados por el tráfico superficial, inducciones eléctricas, estáticas, etc.

b).- El ruido generado por la fuente, como: onda de tierra, onda de aire y las dispersiones laterales.

La aplicación de los escalares variables con el tiempo, realmente no remueven el ruido, sino que disminuyen su amplitud, para que así, no domine en el apilamiento o en otros procesos de trazas múltiples. El cálculo del escalar variable con el tiempo está dado por la siguiente expresión:

$$B_{gk}^s = \left[\frac{LMS_{gk}}{\bar{A}_{gk}} \right]^{1/2} * \frac{C}{LMS_{gk}}$$

Donde:

B_{gk}^s = Escalar raíz cuadrada para la ventana y en la traza k .

- C = Valor constante de rutina (2^{-3})
- $\bar{A}gk$ = Promedio de los valores absolutos o amplitudes absolutas en la ventana g de la traza k .
- $LMSgk$ = Amplitud promedio absoluta en la ventana g del suavizamiento estimado de la $\bar{A}gk$ para $g = 1, 2, \dots, G$. El suavizamiento es el promedio del cuadrado correspondiente a una línea recta.

La aplicación teórica se observa en la figura IV-24. La traza de entrada es dividida en ventanas que pueden variar en longitud. La raíz cuadrada de la energía promedio es calculada para cada ventana y un escalar de normalización es determinado para ajustar la raíz de la energía promedio en cada ventana a una constante. Los escalares son aplicados en los centros de las ventanas y una suave interpolación de escalares se lleva a cabo entre los centros de las ventanas, la cantidad de traslape en la aplicación de las ventanas puede estar bajo el control del analista.

El evento de alta amplitud ha sido reducido en la traza de salida ajustada en la figura IV-24. Aun así, el ajuste de los escalares variables con el tiempo tiene más potencial para

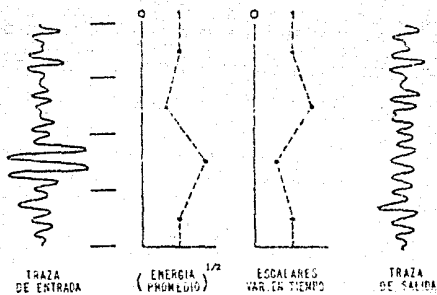


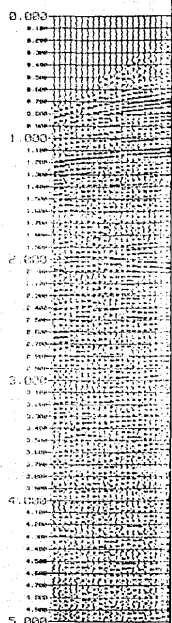
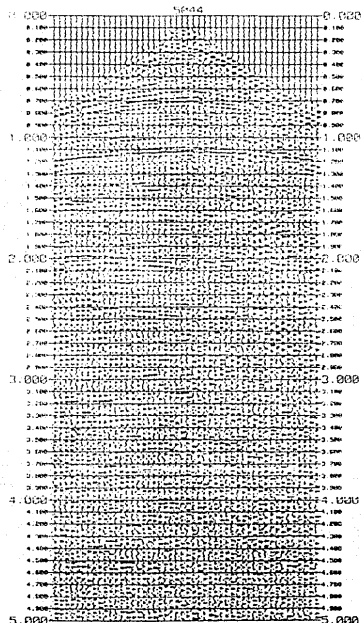
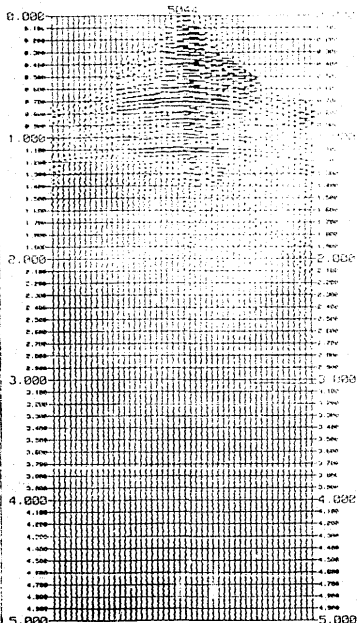
FIG. IV.24. Aplicación de Escalares Variante con el Tiempo en una Traza Sísmica.

UNAM	FACULTAD DE INGENIERIA	
	TESIS PROFESIONAL	
	BREVES CONSIDERACIONES SOBRE ELEMENTOS PRACTICOS DE PROYECCION SISMOLÓGICA.	
	Alejandro M. Corroto C. Luis Castiella	
	Diciembre de 1989	México, D.F.

distorsionar amplitudes verdaderas de reflexión, que los escalares invariantes con el tiempo, por lo que las ventanas de ajuste deben de ser seleccionadas con mucho cuidado.

La lámina no. 8, con registros correspondientes a las pruebas de campo efectuadas con vibradores como fuente de energía, y tratadas en el capítulo anterior, es un ejemplo práctico en la aplicación de Escalares Variables con el Tiempo. En esta lámina podemos apreciar un sismograma, obtenido con amplitud de grabación real, y se puede observar que el registro carece de ruidos significativos, notándose únicamente las altas amplitudes al inicio de éste.

En la misma lámina, también se muestran dos registros donde se aplicaron diferentes tipos de ventanas. En el primer registro (lado derecho de la lámina), se dio una ventana grande de 1.500 seg., mientras que para el segundo (registro del centro), se usó una ventana corta de 0.300 seg.. De la comparación de ambos registros, podemos determinar que los escalares en la traza actúan mejor para ventanas cortas, es decir se efectúa un mejor ajuste de las altas amplitudes; pero puede correrse el riesgo de disminuir también las amplitudes de la señal, como puede apreciarse en las reflexiones someras entre 0.600 y 1.200 segs. (registro del



centro). Mientras que para ventanas muy grandes, las altas amplitudes de los ruidos, poco se ven afectadas, ya que en el registro donde se utilizó una ventana de 1.500 seg., se observan todavía remanencias de altas amplitudes correspondientes a las primeras entradas (refracciones), a la onda de tierra entre 1.100 y 2.000 seg. y de la onda de aire. De lo anterior, podemos concluir que existe la necesidad de efectuar pruebas antes de determinar un tipo de longitud de ventanas a usar, hasta obtener la mejor relación señal a ruido.

IV.4.- Determinación de los Parámetros Optimos.

Para concluir nuestras pruebas de campo, cuya realización vimos en el capítulo III, esbozaremos aquí algunos comentarios finales, respecto a cada una de ellas.

Prueba de Frecuencias de Barrido.- De los registros de la lámina no. 2, podemos observar que para los eventos someros, la calidad de la información es semejante en todas las

pruebas, con la notoria mejoría de la relación s/r , en el lado en el cual se empleó un arreglo en el patrón de detección. Por otra parte, el factor de selección del ancho de banda del barrido, lo determinaron los eventos profundos, para los cuales con el barrido de 16-56 Hz se obtuvo una mejor definición y además se observa una atenuación de las bajas frecuencias en la onda de tierra que afecta la información, sobre todo a los 2.0 segs.

La selección realizada la corroboramos, al aplicar el filtro paso de banda [16-30] Hz al registro obtenido con el barrido 10 - 56 Hz, en el cual aparecen los eventos profundos observados en el registro sin filtrar correspondiente al barrido 16 - 56 Hz.

Prueba de Longitud de Barrido.- Tomando en cuenta, los eventos que marcaron la pauta para la selección de las frecuencias de barrido, realizamos una evaluación semejante en los registros mostrados en la lámina no. 3; estos registros fueron obtenidos manteniendo constante el ancho de banda del barrido en 16 - 56 Hz.

La mejor relación señal a ruido y como consecuencia, la mejor

definición en los eventos observados, la tenemos en el registro 5039 que fue obtenido con una longitud de barrido de 12 segs.

Prueba de Patrones de Vibración.- Al ejecutar estas pruebas de acuerdo al procedimiento normal de realización, se aplicaron los parámetros óptimos seleccionados preliminarmente de los monitores de campo, de las dos pruebas anteriores.

Las láminas 4 y 5 nos muestran los resultados logrados en las pruebas de los patrones de vibración, para 4 y 3 vibradores respectivamente.

El patrón seleccionado para 4 vibradores fue 4V-13m-10m-12B y para 3 vibradores fue 3V-18m-3m-16B.

Se observa en el registro seleccionado para 4 vibros, un mayor alineamiento en los eventos profundos. Con respecto a la atenuación de los ruidos, el patrón de detección lineal nos proporciona la mejor relación s/r y una mayor definición en los eventos en todos los niveles del sismograma.

La selección del patrón para 3 vibradores se hizo difícil ya que los registros son muy similares, notandose una

disminución de energía a partir de los 2.0 segs., en todos los registros.

Prueba Múltiple.- Primeramente respecto al patrón de detección, diremos que de acuerdo a los resultados observados en las pruebas de frecuencias y longitud de barrido, en las cuales se probó el patrón lineal con 4 mts. entre detectores y en las pruebas restantes en las que se probaron, un patrón pesado y un patrón lineal con 3 mts. entre detectores; se seleccionó el patrón de detección lineal con 3 mts. de separación entre elementos, ya que es el arreglo que mejor definición proporcionó en los eventos profundos, dado que en la porción somera del registro, las características de la respuesta es similar para los tres arreglos. Además, de acuerdo a las consideraciones hechas en el inciso III.2.2 del capítulo III, este arreglo es el que proporcionará menor atenuación a las altas frecuencias de la señal, para las trazas más alejadas de la fuente.

En seguida, con respecto al tipo de tendido a utilizar, de acuerdo con los resultados obtenidos en las pruebas y con los objetivos geológicos indicados, se confirma en la lámina no.

6. que el tendido bilateral cumple con las recomendaciones especificadas en el inciso III.2.7 del capítulo III, para la selección de este parámetro. En este tendido bilateral, recomendamos disminuir la distancia de la fuente a la traza más cercana, con el objeto de incrementar el apilamiento del evento observado en la prueba múltiple a 300 msecs.; logrando con esto en procesado mejorar la calidad de los eventos más someros.

Parámetros Recomendados --

Distancia entre trazas -----	60 mts.
Distancia de la fuente a la traza más cercana-----	240 mts.
Distancia de la fuente a la traza más alejada -----	1620 mts.
Tipo de tendido -----	Bilateral Simétrico. (1620-240-0-240-1620 mts.)
Patrón de Detección -----	Lineal 30(1)*3 mts.
Patrón de Vibración -----	4V - 13m - 10m - 12B 3V - 18m - 5m - 16B
Frecuencias de Barrido -----	16 - 56 Hz
Longitud de Barrido -----	12 seg.
Longitud de Grabación -----	17 seg.

CONCLUSIONES.

En el desarrollo de la prospección sísmológica, la recomendación de parámetros de operación, es una de las responsabilidades más importantes del Geofísico de Campo.

Al describir nosotros en esta obra la realización de las pruebas de campo, y en el capítulo anterior llegar a los parámetros recomendados, estamos con esto logrando la conclusión de nuestro trabajo.

Sólo nos resta enfatizar, la importancia que tiene la calidad en la operación, lo mismo al realizar las pruebas de las cuales obtenemos estos parámetros, que durante el trabajo de operación normal. Es fundamental posteriormente, la vigilancia permanente de la correcta aplicación de ellos en el campo, y a criterio del geofísico, la recomendación de las pruebas complementarias necesarias en el transcurso de la operación, para alcanzar finalmente los resultados deseados.

Bibliografía.

- Instrumentación Sísmica. Geophysical Service Inc. (1950)
Publicación Interna. Curso V.
- Física General. F. W. Sears y M. W. Zemansky.
Ed. Aguilar. Madrid 1966.
- Notas sobre el empleo de sismo- Antonio García Rojas. Boletín
detectores múltiples. A.M.G.E., Vol. III No.2, 1962.
- Aspectos sobre el uso de sismo- Antonio C. Limón, Boletín A.M.
detectores múltiples G.E., Vol. II No. 1, 1961.
- Uso de detectores múltiples en Jesús Basurto G., Boletín A.M.
la exploración sísmológica. G.E., Vol. V No. 3, 1964.
- Teoría básica sobre patrones y Compañía Mexicana de Explora-
aplicaciones prácticas. ciones, S.A. Publicación In-
terna.
- Field Seismologists Handbook. Geophysical Service Inc. (1981)
Publicación Interna Vol. 1.

Tratado de geofísica aplicada.

José Cantos Figuerola, Escuela
I.S. de I. de Minas. Madrid
1978.

Introducción a la prospección
geofísica.

M. B. Dobrin. Ed. Omega, Bar-
celona (España), 1975.

Input Geophysics.

Geophysical Service Inc. (1979)
Publicación Interna.

G e o p h y s i c s .

Geophysical Service Inc. (1979)
Publicación Interna. Vol. I y
II.

Apuntes tomados del curso sobre
El Método Vibroseis. impartido
por:

Héctor Palafox Rayón. PEMEX,
Poza Rica, Ver. 1981.

Diseño de parámetros de campo
para exploración sísmico-estra-
tigráfica empleando una fuente
de energía explosiva.

Rubén Darío Martínez M., G. S.
I. de México, S.A. Publicación
Interna.