Documento: Personal

Sísmica de Refracción

Práctica de Campo 2018 - Cátedra de Geofísica
UNPSJB

Germán Guerra, Nestor Acosta, Alejo Agüero

dave_lomas55 · Seguir
Totten Glacier Tongue

EXPLORACION DEL SUBSUELO MEDIANTE ONDAS ELASTICAS

Introducción

La prospección con métodos sísmicos consiste en explorar el subsuelo mediante ondas sísmicas. El método involucra un elemento generador de ondas sísmicas (fuente), un medio de propagación (rocas, aire, agua) y sensor o detector de ondas (geófonos)

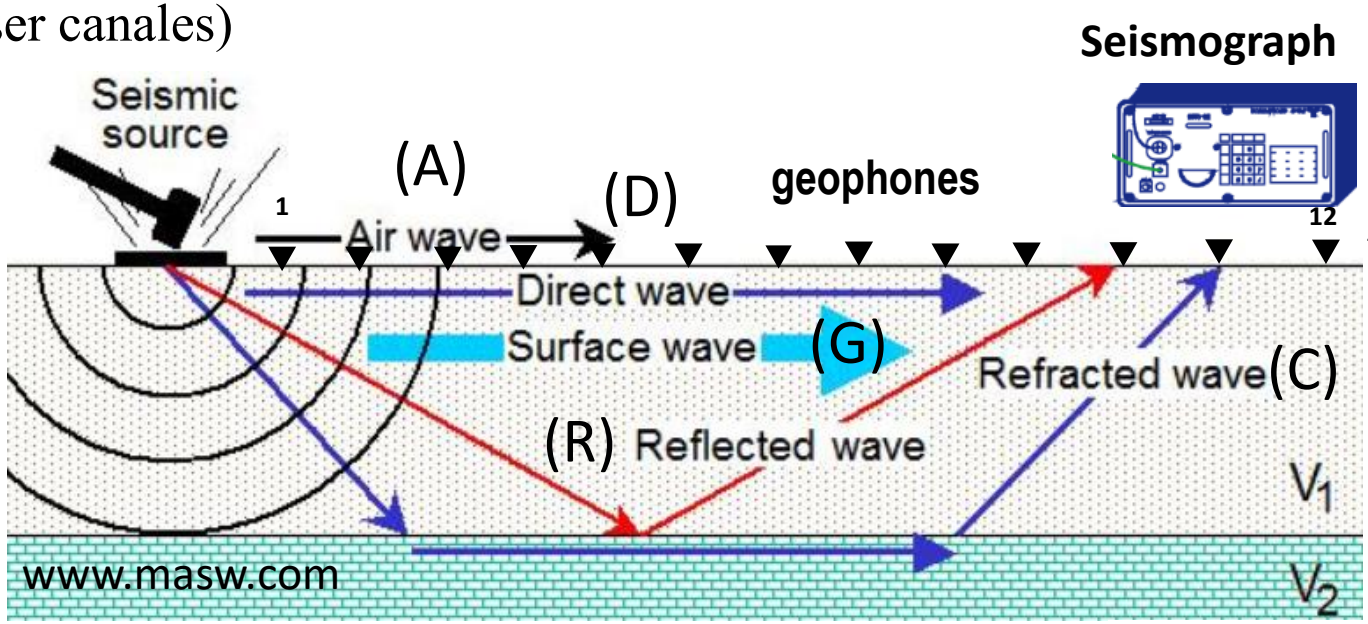
Los métodos de prospección sísmica se pueden clasificar según el tipo de ondas utilizadas:

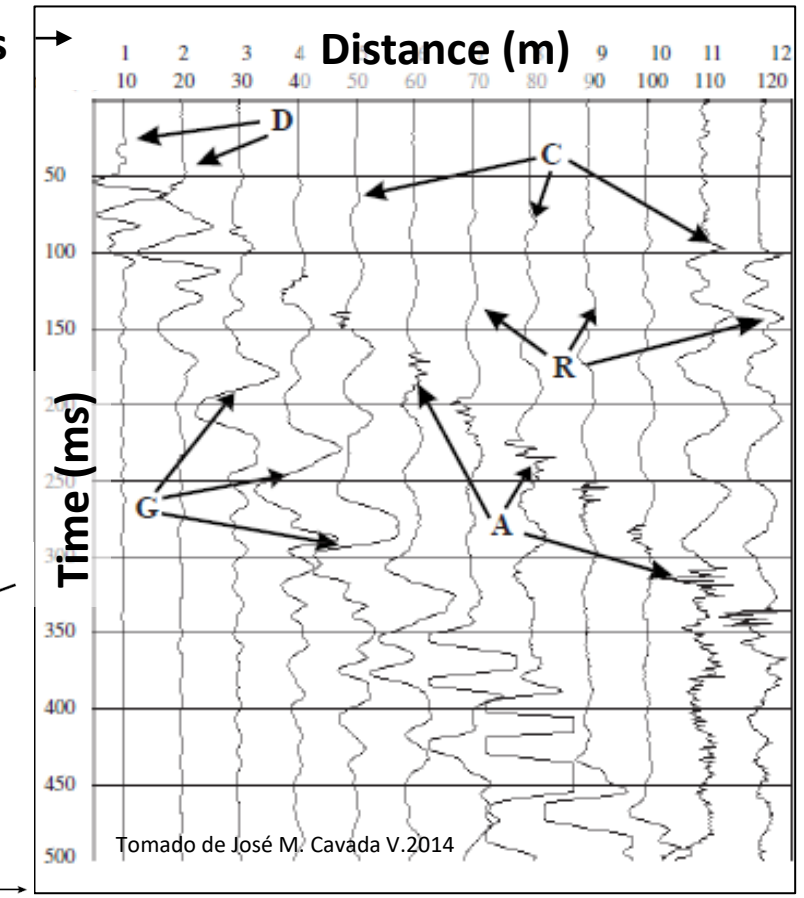
- ondas reflejadas → SISMICA DE REFLEXION
- ondas refractadas o cónicas → **SISMICA DE REFRACCION**
- ondas superficiales →MASW, REMI, entre otros

En general los métodos geofísicos aportan datos para aproximarse a la solución de un problema geológico, minero, petrolero o geotécnico, estos se suman a los proporcionados por geología de superficie, perforaciones, ensayos de penetración, ensayos estáticos sobre muestras o in situ, etc. Los métodos de exploración sísmica, en los sitios donde resultan efectivos, suelen utilizarse para reducir costos ya que son más baratos y rápidos que las perforaciones. Ellos no sustituyen las perforaciones, simplemente pueden ayudar a disminuir su número haciendo más rentables determinados proyectos

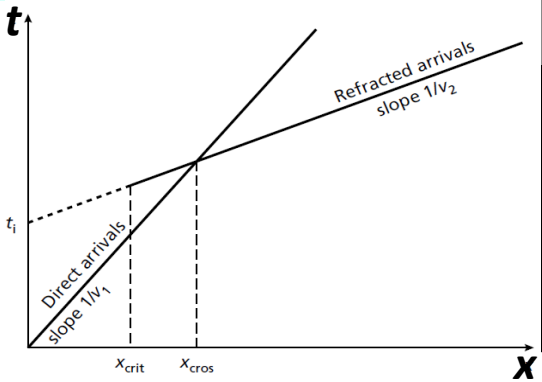
Sísmica de Refracción

En este método la fuente y los detectores se encuentran alineados en la superficie del terreno. Se obtienen registros de las ondas que viajan desde la fuente hasta los detectores a través del subsuelo siguiendo diversas trayectorias o caminos. En particular aquí interesan aquellas ondas que siguen la trayectoria de tiempo mínimo (principio de Fermat) y que son las primeras que llegan a los distintos geófonos (que para el sismógrafo pasan a ser canales)





Con el tiempo de llegada de las ondas directas y ondas refractas (cónicas) se construyen gráficos tiempo-distancia (Dromocronas) En principio, a partir de este gráfico es posible calcular el perfil de espesores y la velocidad de propagación de las ondas sísmicas primarias de cada estrato en el subsuelo.



Aplicaciones

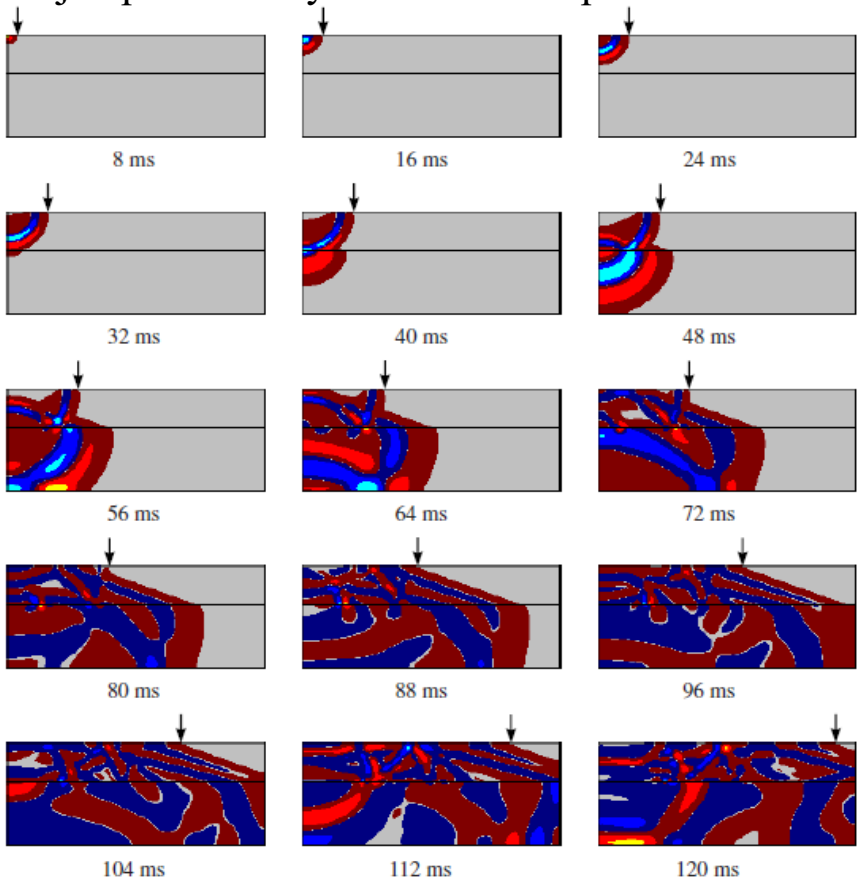
- Localizar fallas, paleocauces, zonas de fracturas en el basamento rocoso somero.
- Obtener un perfil de espesores y velocidades hasta la roca fresca, diferenciando suelo, roca meteorizada, roca submeteorizada y roca inalterada.
- Calcular volumen de material explotable principalmente en minas de arena, caliza, oro de aluvión, etc
- Determinar la continuidad de estratos acuíferos
- Calcular los tiempos de tránsito de las ondas a través de las capas de baja velocidad cercanas a la superficie, para corrección estática de campo en prospección por reflexión, entre otras
- El método de refracción de ondas sísmicas también se utiliza en Sismología para determinar la estructura interna de la Tierra.

Con el equipamiento de esta practica de campo, descartaremos las últimas dos aplicaciones. Ya que energía proporcionada por la fuente y la configuraciones de los geófonos en superficies mucho más compleja.

Principio Físico

En los registros sísmicos de refracción se utilizan sólo, o principalmente, los tiempos de las ondas que llegan primero a los detectores desde que se activa la fuente de ondas sísmicas. Las ondas que normalmente llegan primero son:

1. las denominadas ondas directas, que son ondas P que viajan en trayectoria recta desde la fuente hasta los detectores
2. las ondas P refractadas críticamente, denominadas también ondas cónicas, las cuales, aunque no siguen una trayectoria recta entre la fuente y los detectores (distancia mínima), sin embargo, llegan primero que cualquier otra onda porque viajan por una trayectoria de tiempo mínimo.



Las flechas indican la posición del frente de onda de primera llegada en la superficie.

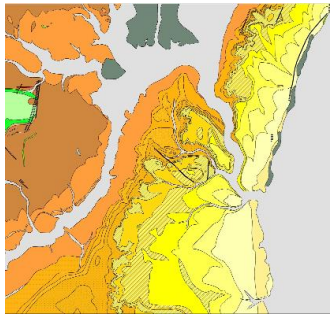
En la figura se muestra la evolución del campo de ondas a intervalos de 8 ms en un subsuelo constituido por dos estratos. El estrato superior tiene una velocidad de ondas sísmicas de 500 m/s y un espesor constante de 15 m . El estrato inferior tiene una velocidad de ondas sísmicas de 1500 m/s. Se destacan: el avance de la onda directa por la capa 1 (8 ms, 16 ms, 24 ms); la formación de la onda transmitida a la capa 2, la cual tiene mayor velocidad y longitud de onda que la directa (32 ms, 40 ms); la aparición de la onda cónica en el recubrimiento (48 ms), notándose que es tangente a la reflejada (56 ms); la llegada de la onda reflejada y la onda cónica a la superficie (64 ms); el adelantamiento de la onda cónica a la onda directa en su llegada a la superficie (80 ms, 88 ms). Notar que el avance de la onda directa por la superficie es real, mientras que el de la onda cónica es aparente. La onda cónica avanza por la superficie con una velocidad aparente igual a la velocidad verdadera del basamento porque el espesor del recubrimiento es constante (mapas 64 a 96 ms).

El fenómeno que origina la onda cónica se produce sólo si el estrato subyacente tiene una velocidad de ondas P mayor que el estrato por encima. Si esto no es así, se tiene una “inversión de velocidad” y el estrato subyacente no es posible detectarlo con el método de refracción sísmica.

Documento: Personal

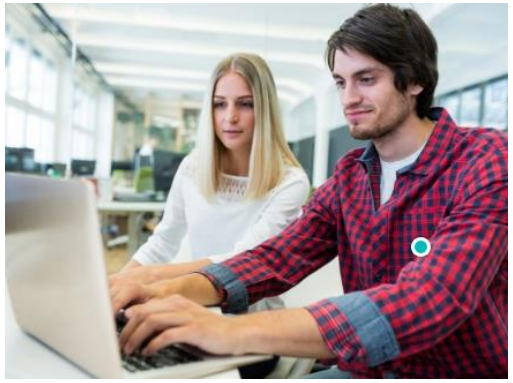
Etapas de la prospección sísmica por refracción

1) Recopilación de información y Diseño de Adquisición

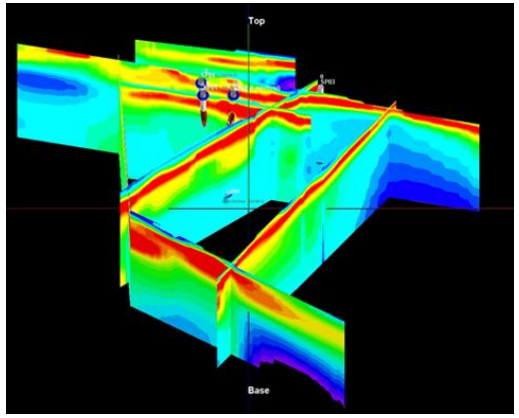


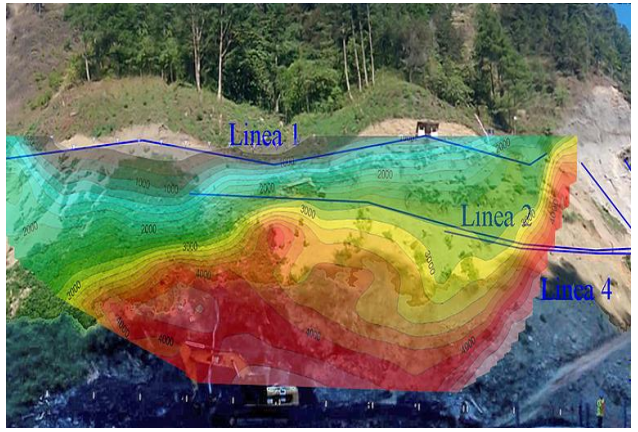
2) Adquisición de datos en campo

3) Procesamiento de los datos



4) Interpretación





1. Recopilación de información

Los **mapas e informes de geología de superficie** proporcionan información de la distribución areal y vertical de las formaciones geológicas presentes en el lugar.. Con la información de espesores y buzamientos se puede estimar el tiempo de registro. Finalmente, el rumbo de los estratos en los afloramientos permite establecer el rumbo preferente de los tendidos de refracción.
Los **informes geofísicos previos** de refracción permiten preveer la relación señal/ruido del sitio, los requerimientos de energía, posibles dificultades de adquisición, cantidad de estratos detectables, sus velocidades y tiempo de registro. Los informes geofísicos de otros métodos como sondeos eléctricos también resultan de utilidad porque también definen alguna propiedad de los estratos y sus espesores.
Los **informes de perforaciones geotécnicas** pueden proporcionar información de los espesores y distribución vertical de las principales unidades geológicas. Los datos de pozos son muy importantes para calibrar los espesores calculados por refracción e identificar las unidades geológicas que se manifiestan en los registros sísmicos.

Los **mapas topográficos** permiten preveer la irregularidad del terreno en el sitio de adquisición, planificar la ubicación de los tendidos sísmicos, calcular correcciones por topografía de los espesores calculados (si no es posible realizar un perfil topográfico para los tendidos sísmicos). Una vez realizado el levantamiento también sirven como mapa de ubicación de los sondeos para el informe técnico.

Las **fotografías aéreas** sirven para conocer las condiciones del terreno donde se efectuará el sondeo (por ejemplo vegetación, pantano, taludes). También para ubicar las vías de acceso al lugar.

1. Diseño de adquisición

Según el objetivo de la prospección y la información disponible se diseñan los parámetros de adquisición, en donde se tiene en cuenta

· rumbo de las líneas sísmicas

· número de líneas sísmicas

· distancia entre líneas

· distancia entre tendidos

· distancia entre receptores

· distancia fuente-primer receptor

· duración de registro

· intervalo de muestreo

· tipo de fuente sísmica (explosivos, impacto)

1. Diseño de la adquisición

El **rumbo de las líneas sísmicas** se procura en lo posible que sea perpendicular al rumbo de las estructuras a explorar en el subsuelo. La información del rumbo se obtiene normalmente de datos de geología de superficie, de la tectónica regional o de líneas sísmicas previas. Si se desea realizar un mapa de los refractores en el subsuelo es conveniente efectuar también líneas ortogonales a las líneas principales.

La **distancia entre tendidos** en una misma línea debe ser tal que permita un seguimiento continuo del refractor de interés, sin que queden intervalos sin registrar. Esto siempre implica el solapamiento de los tendidos. Por ejemplo, un tendido puede medir 300 m, pero el siguiente tendido en la línea puede estar a sólo 120 m, por lo que existirá un solapamiento de 180 m .

La **separación entre líneas** paralelas depende del detalle que se desea del relieve del subsuelo. Como regla, la distancia entre líneas debería ser menor o igual que la mitad de la longitud del detalle deseado del subsuelo.

La **distancia fuente-primer receptor** suele ser más corta que la distancia entre detectores para asegurar el registro de primera llegada de la onda directa, la cual proporciona la velocidad de la primera capa y un estimado de su espesor. Esta distancia generalmente es inferior a los 10 m .

La **duración del registro** debe ser suficiente para asegurar la llegada de ondas cónicas del refractor más profundo que se desea registrar. Se puede hacer un estimado en base a la profundidad del objetivo y la distribución de velocidades hasta la superficie. El rango típico es de 100 a 400 ms de duración.

1. Diseño de la adquisición

El **intervalo de muestreo** depende de la precisión con que se deseen medir los tiempos de llegada de las ondas sísmicas. Esto afecta la precisión de las profundidades y velocidades calculadas. En la práctica depende también de la duración del registro sísmico, porque los sismógrafos sólo pueden almacenar un número finito de valores de amplitud por registro. El producto de el intervalo de muestreo por el número de muestras de una traza es igual a la duración del registro. También depende de la mayor frecuencia que es posible recibir del subsuelo debido a la atenuación. Los valores típicos del intervalo de muestreo son 0.5 y 0.25 milisegundos, los cuales permite grabar señales con frecuencias en el rango de 0 hasta 1000 y 2000 Hz respectivamente. (Teorema de Nysquit)

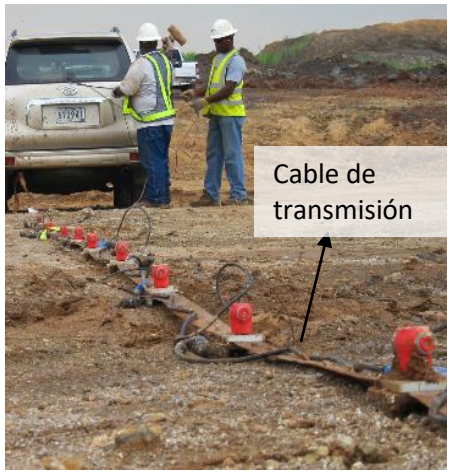
La **fuente sísmica** más adecuada son los explosivos, tales como pólvora o dinamita. Ellos proporcionan la mayor cantidad de energía para una buena detección de las primeras llegadas. Presentan inconvenientes, como son la necesidad de tomar medidas de seguridad en su manejo, transporte y almacenamiento; los trámites y permisos para su adquisición; su costo; la necesidad de excavar para su explosión. Otras fuentes son los impactos de mandarria sobre una placa metálica o la caída de pesos (Esta última va a hacer nuestra fuente)

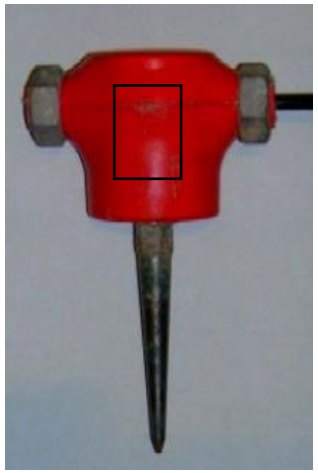
“Una vez planteado el problema geológico-ingenieril es clave realizar un diseño adecuado de adquisición. En base al diseño se presupuesta el trabajo, donde siempre se busca alcanzar el objetivo de la manera más eficiente (ahorrando tiempo y recursos)”

Adquisición de datos en campo: Instrumentos → Detectores:

Los geófonos son unos transductores que convierten el movimiento vibratorio del terreno en señales eléctricas. Los geófonos detectan las componentes de un campo vectorial, como lo son el desplazamiento, la velocidad y la aceleración de las partículas del terreno. La mayoría de los geófonos usados en prospección sísmica son "geófonos de velocidad"; esto es, tienen una respuesta espectral plana a la velocidad de la partícula en una banda usualmente comprendida entre 10 - 500 Hz

Están diseñados para responder sólo a la componente vertical de la velocidad de la partícula, por eso **deben colocarse lo más vertical posible para evitar que pierdan sensibilidad**. Existen también geófonos de componente horizontal, los cuales se usan cuando se desea registrar preferentemente ondas S. También existen geófonos de tres componentes ortogonales (geófonos triaxiales): una vertical y dos horizontales. Los geófonos vienen provistos de un clavo, de unos 10 cm de largo para fijarlos al suelo.

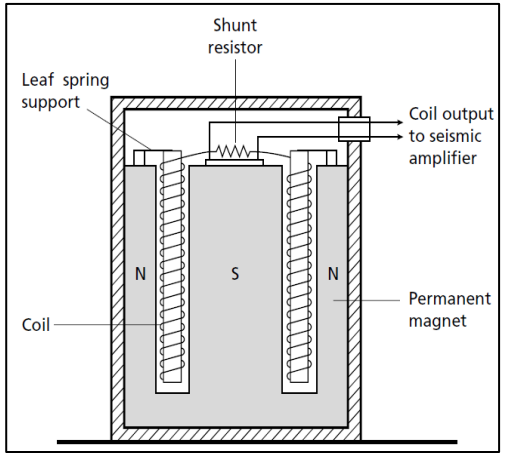




$$E = -L\frac{\mathrm{d}H}{\mathrm{d}t}$$

L= Longitud de la bobina

H = Campo Magnético



Adquisición de datos en campo: Instrumentos → Fuentes: De impacto

La más simple consiste en un golpe de una masa (martillo) sobre una placa metálica. La masa pesa unos 10kg. La placa de acero, que apenas se deforma, reparte la fuerza del golpe en toda la superficie de contacto con el terreno, por lo que la presión aplicada es relativamente pequeña y de esta manera la deformación del suelo se mantiene dentro de su rango elástico. Lo que se debe asegurar es un buen acople entre la placa y el terreno.

El tiempo cero se puede establecer utilizando un geófono de referencia cerca de la plancha (punto de impacto) o bien un circuito eléctrico (trigger) donde se atornilla a la masa un extremo del cable unipolar y el otro a la placa. Cuando la masa golpea la placa, el impacto hace que se cierre el circuito eléctrico, lo cual sirve de señal al sismógrafo para indicar t=0 y a su vez activa la lectura.

Adquisición de datos en campo: Instrumentos → Fuentes: Explosivos

Los explosivos proporcionan la mayor cantidad de energía posible requerida en prospección. Producen un pulso o vibración de corta duración, alta intensidad y fase mínima, todas ellas características deseables.
La duración corta del pulso de explosión implica que contiene una banda espectral de frecuencias ancha y ello es deseable para tener buena resolución y unos tiempos de primera llegada bien definidos. La alta intensidad es necesaria para poder observar refracciones o reflexiones de estratos profundos y receptores alejados de la fuente. Cuanto mayor sea la distancia que tenga que recorrer la onda sísmica desde la fuente hasta el receptor más se atenuará, reduciendo de esta forma la relación señal/ruido. Por ello cuanto más largo sea el tendido o más atenuante el material se requerirá mayor cantidad de explosivo por disparo. Hay varias consideraciones a tener en cuenta cuando manejamos este tipo de fuente, como la seguridad, la excavación de huevos para la detonación, la cantidad y tipo de material explosivo, los cuales no serán abordados en esta practica de campo, ya que no los utilizaremos.

Cables de transmisión (ver figura en pág. 11)

La señal eléctrica generada por los geófonos o hidrófonos es transmitida mediante un conductor eléctrico hasta el sismógrafo. La señal de cada detector a una distancia dada a la fuente es independiente de la de otros detectores a otras distancias; por ello, por cada uno se requiere un par de conductores eléctricos aislados. Cada par de conductores lleva la señal a un canal de amplificación y registro en el sismógrafo. Por ejemplo, si se tienen 12 geófonos independientes, el cable de geófonos debe tener 24 conductores aislados y el sismógrafo debe tener 12 canales.

Adquisición de datos en campo: Procedimiento sugerido

- Se clavan estacas en los lugares donde se ubicaran los detectores (geófonos) y los puntos donde se generarán las ondas sísmicas.
- Se efectúa un perfil topográfico de las líneas sísmicas tomando los valores de cota con navegadores GPS en los puntos donde estarán situados las fuentes y los geófonos.
- Se clavan los detectores en el terreno (con el cuidado de que queden firmemente clavados, verticales y alineados) y se conectan a través del cable que lleva la señal al sismógrafo.
- Se conecta el cable de detectores al sismógrafo.
- Se controla el sismógrafo que no existan contacto en tres los canales (cable de transmición) o que hayan canales muertos o no conectados.
- Se monitoreó el nivel de ruido ambiental.
- Se asignaron las ganancias y filtros adecuados en cada canal del sismógrafo después de haber realizado un golpe de prueba.
- Se efectuó un golpe en uno de los extremos del tendido y se comenzaron a registrar las ondas luego de que el martillo golpeara la placa metálica, cuyo impacto cierra el circuito eléctrico lo cual indica al sismógrafo que inicie el registro. Las ondas quedan almacenadas provisionalmente en la memoria electrónica del sismógrafo. Este proceso se repite como mínimo 3 veces en cada punto fuente con el fin de eliminar el ruido incoherente mediante la suma o stacking.
- Se grabaron las trazas definitivas, las que luego fueron procesadas e interpretadas en la computadora.
- Se borro el registro de la memoria del sismógrafo
- Se efectuó el golpe en otro punto fuente del tendido y se repitió de forma similar el proceso de registro y grabación.

Procesamiento

El procesamiento de datos de refracción sísmica es relativamente sencillo en comparación con otros métodos.
Existen sismógrafos que efectúan automáticamente el procesamiento a medida que se van adquiriendo los datos en campo.
El procesamiento manual involucra:

- Leer los tiempos de primeras llegadas en los registros (figura A)
- Representar estos tiempos en gráficos tiempo-distancia (dromocrónicas) Figura B
- Agrupar los puntos por alineaciones (ramas) de primeras llegadas. Debe existir una rama por cada estrato, siempre que no ocurran inversiones de velocidad o que las capas sean muy delgadas. La primera rama debe corresponder a los tiempos de llegada de la onda directa y las demás corresponderán a ondas cónicas provenientes de refractores cada vez más profundos.

Estos son registros reales, tomados cerca de las costas del Estado Miranda,Venezuela. Tomado de José M. Cavada V.2014

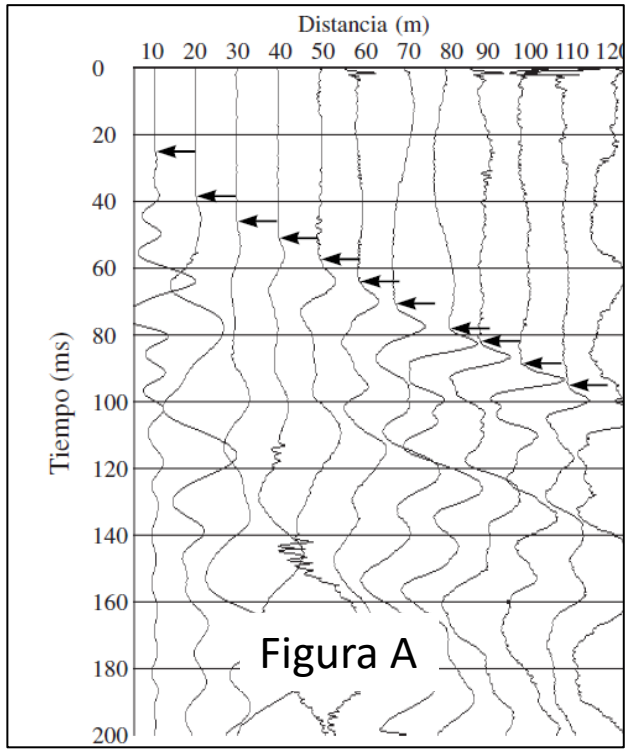


Figura A

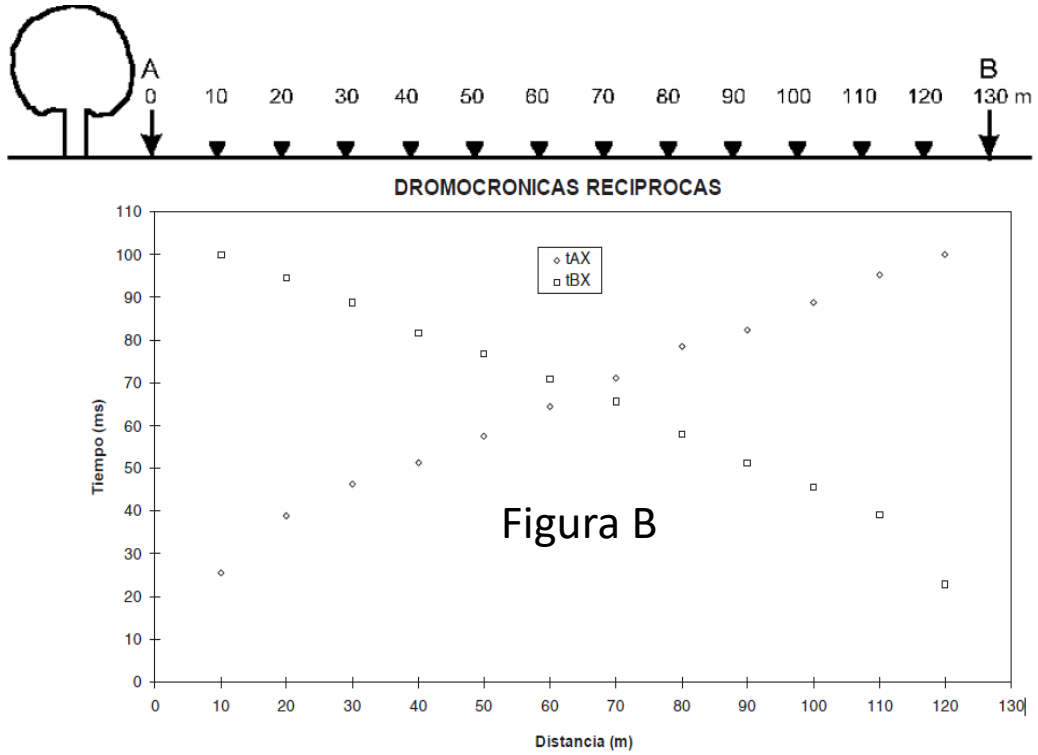


Figura B

• Caso de la Onda Directa

Se representa un gráfico del Tiempo en función de la distancia, y la onda directa queda reflejada por una recta que pasa por el origen y cuya pendiente es la inversa de la velocidad:

$$T = \frac{X}{V_1}$$

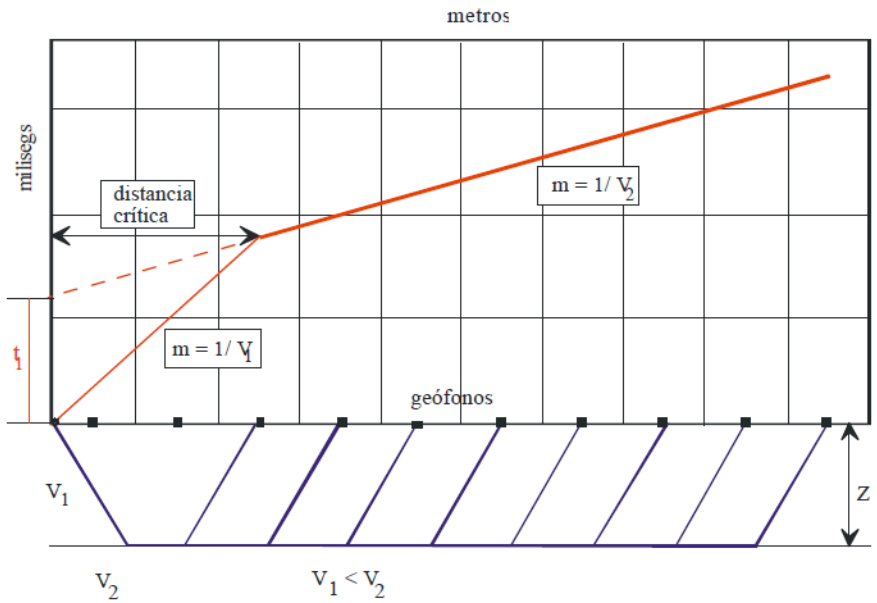
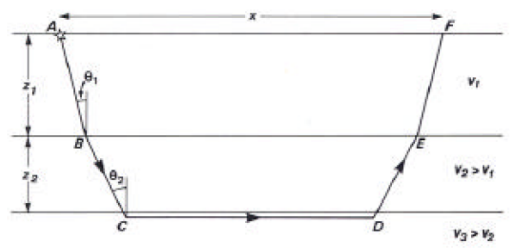


Figura 1: Trayectorias de los rayos directos, reflejados y refractados en una superficie cercana hacia un detector, para el caso de un modelo geológico simple de dos capas.

• Caso de la Onda Refractada

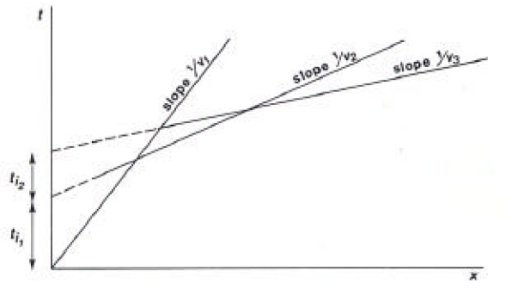
En este caso se cumple que $T = T_{AB} + T_{BC} + T_{CD}$, y la ecuación que define el tiempo en función de la distancia para el caso de dos capas y $V_2 > V_1$ es:



$$T = \frac{Z}{\cos\ ? \cdot V_1} + \frac{X - 2 \cdot Z \cdot \mathrm{Tan}\ ?}{V_2} + \frac{Z}{V_1 \cdot \cos\ ?}$$

Agrupando los términos en X, tenemos:

$$T = \frac{X}{V_2} + \frac{2 \cdot Z\sqrt{V_2^2 - V_1^2}}{V_1 \cdot V_2}$$



Esta ecuación es la de una recta cuya pendiente es la inversa de la velocidad en el segundo medio ($m = 1 / V_2$), y el segundo término independiente es la ordenada en el origen de la dromocrona, que guarda relación con las velocidades en el medio y la profundidad.

• Caso de tres capas (dos medios)

Si tenemos dos medios, a partir de una distancia crítica recibo las refracciones de otra litología, y las ecuaciones pasan a ser las siguientes:

$$T = \frac{X}{V_3} + \frac{2 \cdot Z_2 \cdot \cos\ \theta_C}{V_2} + \frac{2 \cdot Z_1 \cdot \cos\ \theta_1}{V_1}$$

Que corresponde a la ecuación de una recta cuya pendiente es la inversa de la velocidad en el tercer medio ($1/V_3$) y el resto el término independiente (T_2), que relaciona las velocidades y las profundidades:

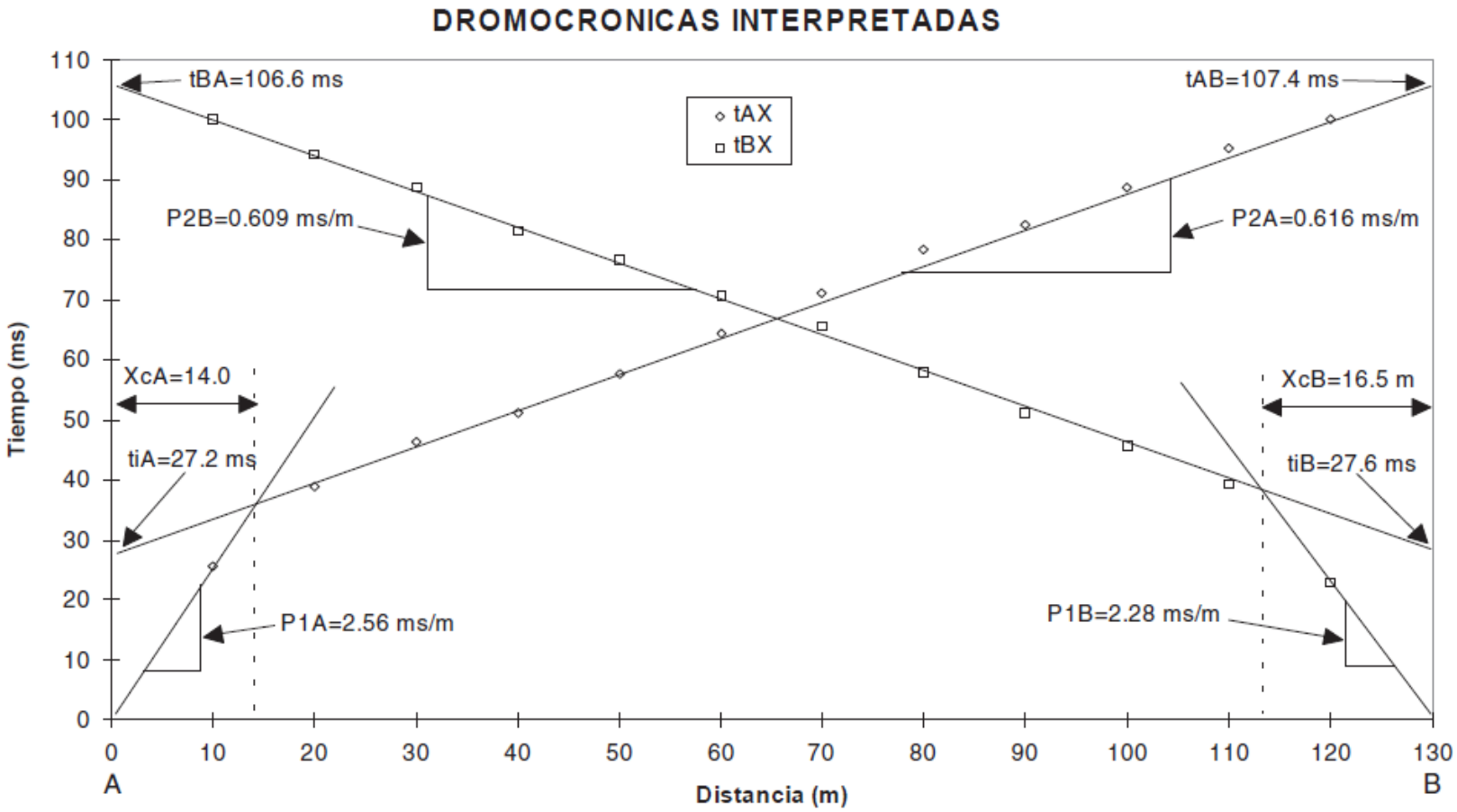
$$Z_1 = \frac{t_1 \cdot V_1 \cdot V_2}{2 \cdot \sqrt{V_2^2 - V_1^2}} \qquad Z_2 = \frac{t_2 \cdot V_2 \cdot V_3}{2 \cdot \sqrt{V_3^2 - V_2^2}} - \frac{Z_1 \cdot V_2 \cdot \sqrt{V_3^2 - V_1^2}}{V_1 \cdot \sqrt{V_3^2 - V_2^2}}$$

• Caso general de n capas

$$T = \frac{X}{V_3} + \sum_{i=1}^{n-1}\left[\frac{2 \cdot Z \cdot \cos\ \theta_i}{V_i}\right] \quad donde \quad sen\ \theta_i = \frac{V_i}{V_n}$$

Procesamiento

Luego se identifican las alineaciones de puntos en las dromocrónicas correspondientes a las ondas directas y a las ondas cónicas y trazar rectas de ajuste en cada alineación



Tomado de José M. Cavada V.2014

Calculamos la lentitud de la primera capa

$$P1 = \frac{P1A + P1B}{2}$$

$$P1 = \frac{2.56\,ms/m + 2.28\,ms/m}{2} = 2.42\,ms/m$$

Ahora se calculan el ángulo de refracción crítica y el buzamiento de la interfase:

$$\alpha c = \frac{\operatorname{arcsen}\left(\frac{P2B}{P1}\right) + \operatorname{arcsen}\left(\frac{P2A}{P1}\right)}{2}$$

$$\beta = \frac{\operatorname{arcsen}\left(\frac{P2B}{P1}\right) - \operatorname{arcsen}\left(\frac{P2A}{P1}\right)}{2}$$

Luego calculamos la lentitud del segundo medio:

$$P2 = P1 \times \operatorname{sen}(\alpha c)$$ Ley de Snell

Método de los tiempos de intercepto

Los espesores verticales de la primera capa, H1A y H1B bajo las fuentes A y B respectivamente, se calculan con las siguientes fórmulas:

$$H1A = \frac{TiA}{2 \times P1 \times \cos(\alpha c) \times \cos(\beta)} \qquad H1A = \frac{TiA}{2 \times P1 \times \cos(\alpha c) \times \cos(\beta)}$$

Cuando los tiempos de intercepto son muy similares, como en este ejemplo, ello es indicativo de que el espesor de la primera capa probablemente se mantiene constante. En ese caso, se puede calcular una lentitud aproximada de la segunda capa mediante el promedio de las lentitudes aparentes:

$$\hat{P}2 = \frac{P2A + P2B}{2}$$

Luego estimamos el espesor con la siguiente expresión:

$$H1 = \frac{\left(\frac{XcA + XcB}{2}\right)}{2} \times \sqrt{\frac{P1 - \hat{P}2}{P1 + \hat{P}2}}$$

Tomografía Sísmica

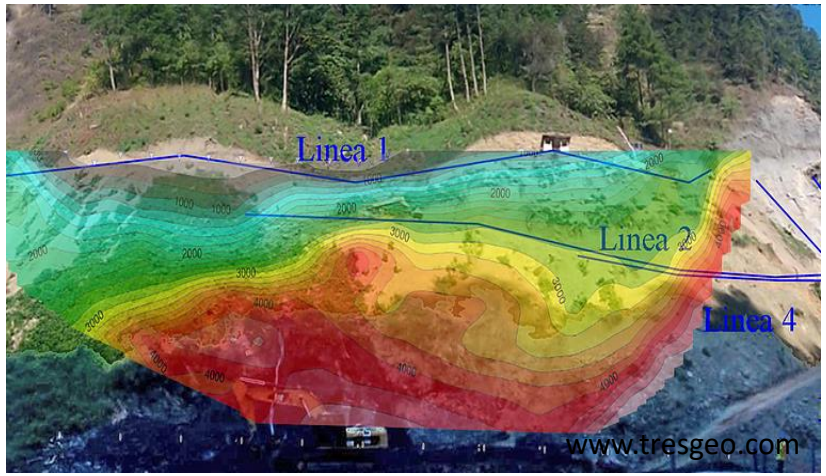
Consiste en que las anomalías observadas del tiempo de viaje de varias trayectorias de rayos sísmicos, que entrecruzan la tierra en varios puntos, cerca de la superficie terrestre y a profundidades diferentes en su interior, se pueden utilizar para reconstruir la variación lateral de la velocidad de las ondas sísmicas en el subsuelo.

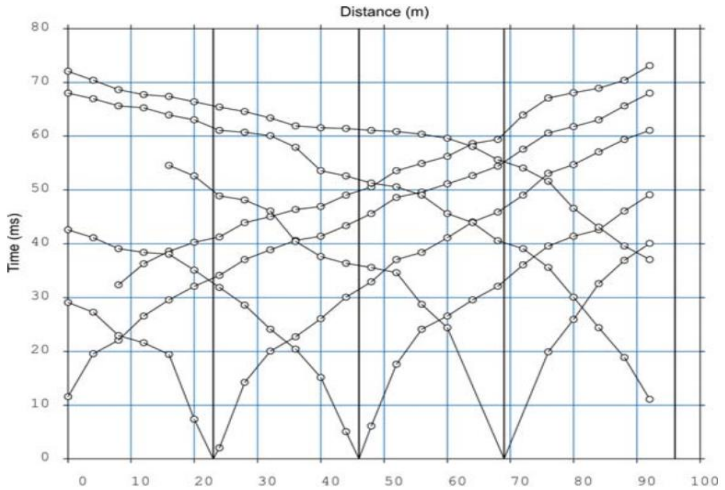
Para llevarla a cabo, es necesario generar un modelo de velocidades inicial, a través del cuál se rastrean los rayos sísmicos de manera iterativa a través de éste y se compara el tiempo de viaje calculado con el tiempo de viaje observado, modificando el modelo original, y repitiendo el proceso hasta que la diferencia entre los tiempos calculados y medidos se minimiza.

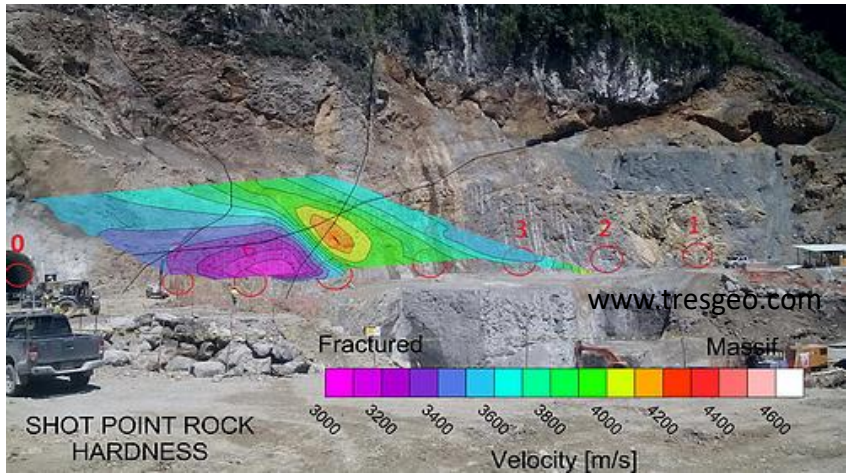
La tomografía sísmica puede ser definida como la reconstrucción de un campo a partir de integrales de línea conocidas en ese campo (Teorema de Randon) o bien se pueden utilizar otros algoritmo para resolver el problema inverso.

De este modo, reconstruye las variaciones laterales de velocidad de un medio, a partir de las observaciones de los tiempos de viaje de las ondas sísmicas. Lográndose así construir un modelo del subsuelo representado por gráficos cromáticos de los estratos en función de las velocidades de onda.

El método de la tomografía sísmica consiste básicamente en 3 pasos: 1- adquisición de datos, 2- procesamiento de datos y construcción de modelos, y 3- interpretación de modelos matemáticos.







Ventajas y limitaciones del método de prospección por refracción

Ventajas

- Permite prospectar estratos a muy poca profundidad en tierra. Esto es difícil de lograr con métodos de reflexión.
- La adquisición, procesamiento e interpretación son relativamente rápidos y sencillos.
- Es un método barato tanto por el equipo de adquisición de datos como por el procesamiento.
- No requiere el uso de filtros espaciales, ni técnicas de cobertura múltiple.
- La determinación de las velocidades es bastante sencilla.
- La identificación de las ondas de interés es sencilla porque son las primeras llegadas.

Desventajas

- Presenta limitaciones impuestas por la física de propagación de ondas, tales como el fenómeno de inversión de velocidad, el de capa delgada, el solapamiento de ondas cónicas de un mismo refractor, difracciones, refracciones no críticas.
- Presenta limitaciones de resolución debidas a la atenuación rápida de las longitudes de onda corta.
- Para detectar capas a mayor profundidad requiere tendidos de mayor longitud.
- Capas más profundas son más difíciles de diferenciar por su velocidad en las dromocrónicas.
- Sólo permite diferenciar las capas del subsuelo que presenten mayor contraste de velocidad y mayor espesor.
- En la práctica está limitado a profundidades hasta unos 100 metros y a 3 o 4 estratos principales.
- No es fácil identificar ondas S refractadas porque como nunca son primera llegada siempre llegan mezcladas con ondas P de reflexiones o refracciones, con ondas S convertidas, con ruido superficial, etc. En consecuencia el método presenta dificultad para determinar parámetros elásticos dinámicos.

BIBLIOGRAFÍA

-Astier, J. (1975) **Geofísica aplicada a la Hidrogeología**. Paraninfo. 344 p.
-Chelotti,L., Acosta,N., Foster,M., LedesmaVallvè,M., Costantino,D., Cid de laPaz,M., Guerra,G., 2018. **-**
-Apuntes de Cátedra de Geofísica Aplicada, U.N.P.S.J.B. Chubut, Argentina.
-**An Introduction to Geophysical Exploration**. Philip Kearey, Michael Brooks, Ian Hill THIRD EDITION
-Dobrin, M. (1960) **Introduction to Geophysical Prospecting**. 3a edic. McGraw-Hill. 630 p.
-Mooney H. (1977) **Handbook of Engineering Geophysics**. Bison Instruments, Inc.
-Musgrave, A. (1967) editor. **Seismic Refraction Prospecting**. Society of Exploration Geophysicists. 604 p.
-Parasnis, D. (1971) **Geofísica Minera**. Paraninfo. 376 p.
Palmer, D. (1980) **The Generalized Reciprocal Method of Seismic Refraction Interpretation**. Society of –Exploration Geophysicists. 104 p.
Park, C. B., Xia, J., and Miller, R. D., 1998, **Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record**: 68th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys., Expanded Abstracts, 1377–1380.
-Sjøgren, B. (1979) Refractor Velocity Determination-cause and Nature of Some Errors. **Geophysical Prospecting**27(3):507-538
-Sjøgren, B. (1984) **Shallow Refraction Seismics**. Chapman and Hall. 268

Preparó Germán A. Guerra
guerragerman01@Gmail.com
wsp= +549 2644471673