

Prospección Geofísica

2da Parte

SISMICA DE REFLEXIÓN

SÍSMICA DE REFLEXION

- 1. Introducción General**
- 2. Principios básicos de reflexión de ondas sísmicas. Trayectoria de rayos**
- 3. Métodos de energetización y registro sísmicos. Una comisión sísmica.**
- 4. Tipos de tendidos. Método del CDP**
- 5. Registro y reducción de datos sísmicos. Sismograma.**
- 6. Correcciones estática y dinámica. Ley de velocidades. Apilado. Sección sísmica.**
- 7. Migración. Deconvolución. Filtros**
- 8. Principios de interpretación. Sismoestratigrafía. Atributos de la señal sísmica.**
- 9. Sísmica 3D**
- 10. Ondas S y Sísmica triaxial**
- 11. Sísmica de Pozo: Sismograma sintético y VSP. AVO**

Bibliografía Básica

- **Gadallah, M.R y Fisher, R., 2009. Exploration Geophysics. Springer**
- **Robinson y Çoruh, 1988. Basic Exploration Geophysics. John Wiley and Sons.**
- **Sheriff, R.E. y Geldart, L.P., 1990. Exploración sísmica (2 volúmenes).**
- **Parasnis, D.S., 1997. Principles of Applied Geophysics. Chapman and Hall.**
- **Reynolds, J.M., 2000. An introduction to applied and environmental geophysics. John Wiley and Sons.**
- **AAPG, Memoir 26, 1977. Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration. Payton, Ch. (ed). 516 pp.**
- **Telford, Geldart y Sheriff, 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press**
- **Brown, A., 1986. Interpretation of three dimensional seismic data. AAPG, Memoir 42.**
- **Sleep y Fujita, 1997. Principles of Geophysics.**
- **Vail, P., 1990. Sequence Stratigraphy Workshop. Astra, Exploracion y Produccion.**
- **Vermeer, 2001. Fundamentals of 3D seismic survey design. Docvision BV**

Introducción General

- Sísmica de Reflexión:
 - Método geofísico más importante en la industria
 - Tecnología esencial en la exploración de hidrocarburos
 - Máxima sofisticación y resolución
 - Inversiones millonarias
 - Estructura, estratigrafía, presencia de fluidos (HC)
 - Aplicaciones en estudios geológicos, tectónicos, estratigráficos académicos (generalmente como subproducto)

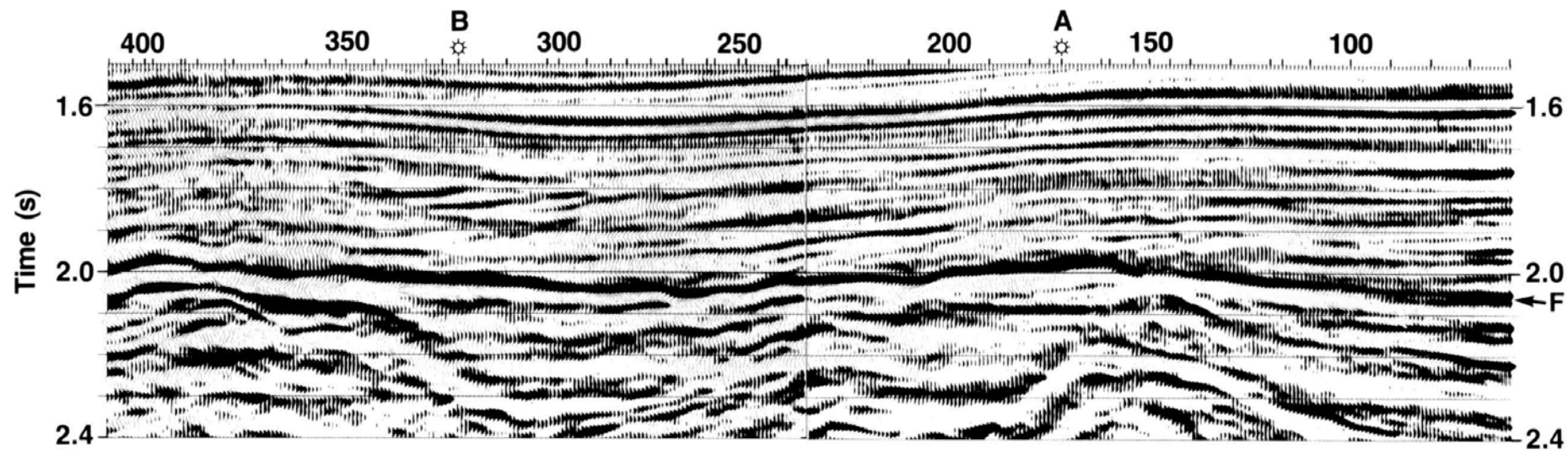


Figure 4. Migrated CMP stacked seismic data from the Offshore Africa line.

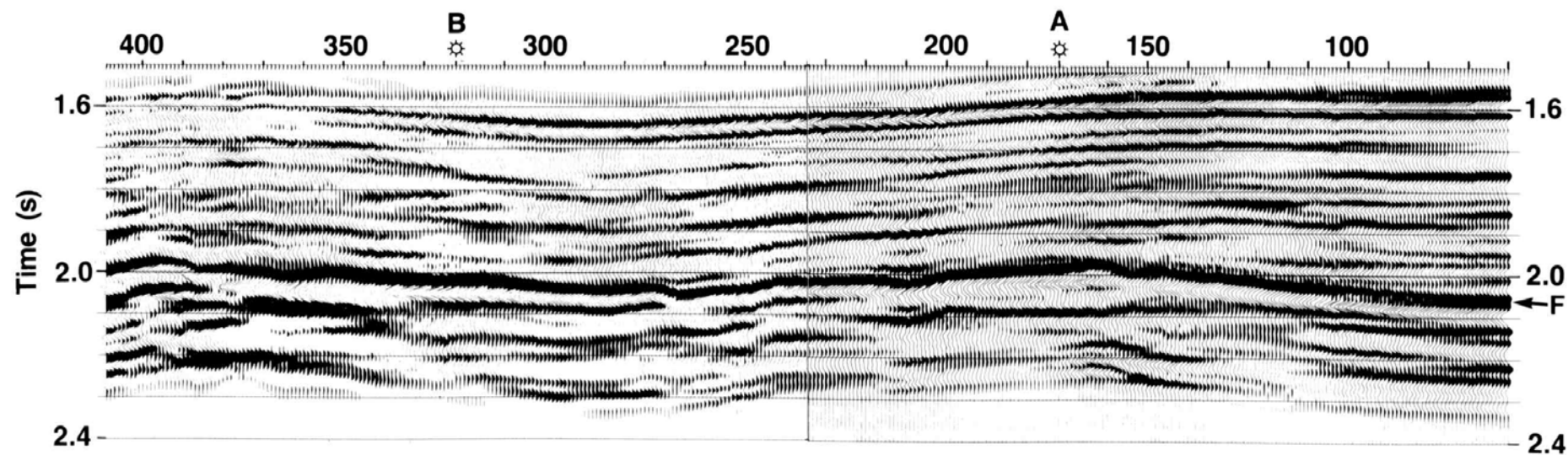
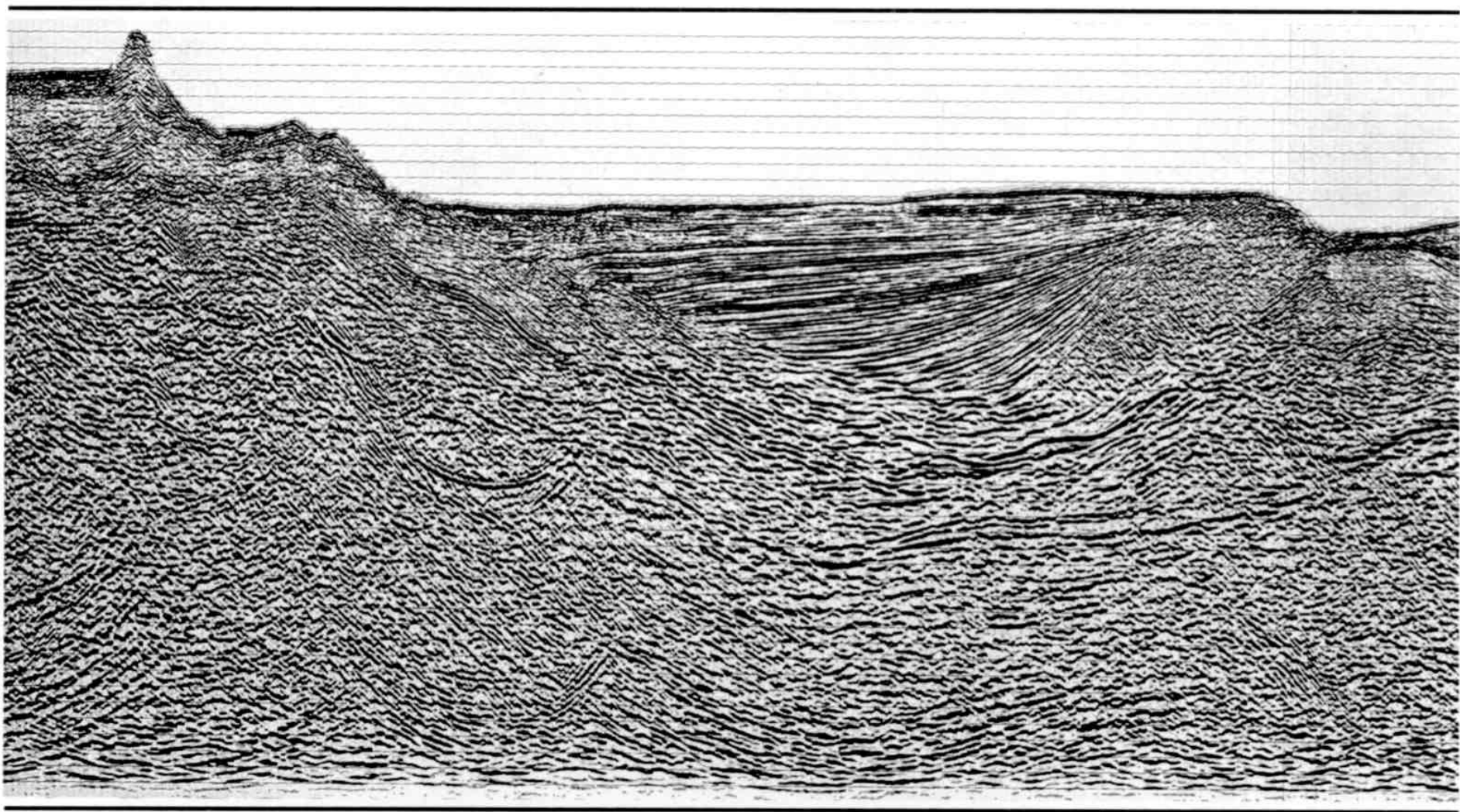


Figure 5. Final synthetic data obtained by the SLIM procedure.



IBIS 3 - 1 - 2

1.0

2.0

3.0

4.0

5.0

5,000

7,500

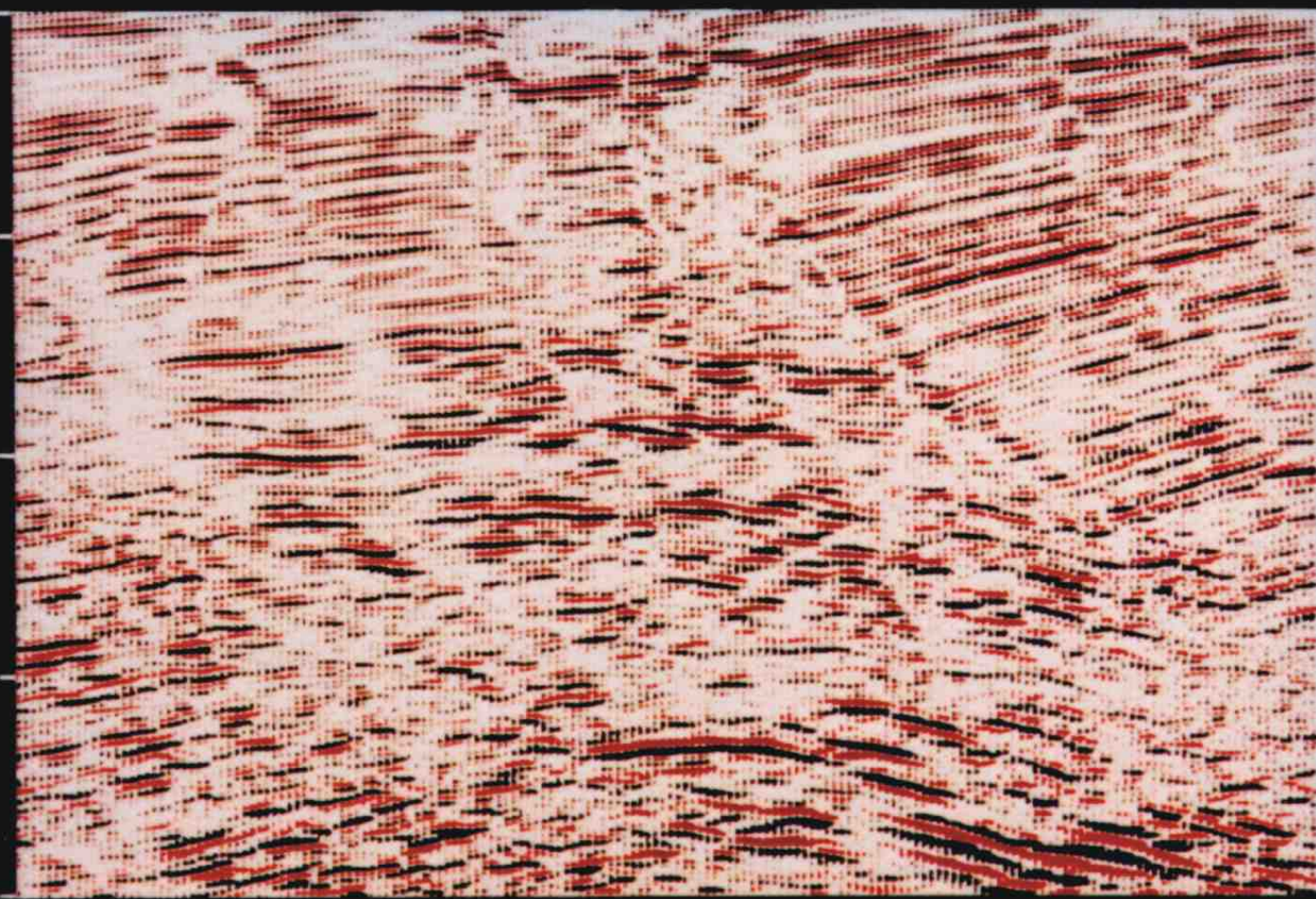
10,000

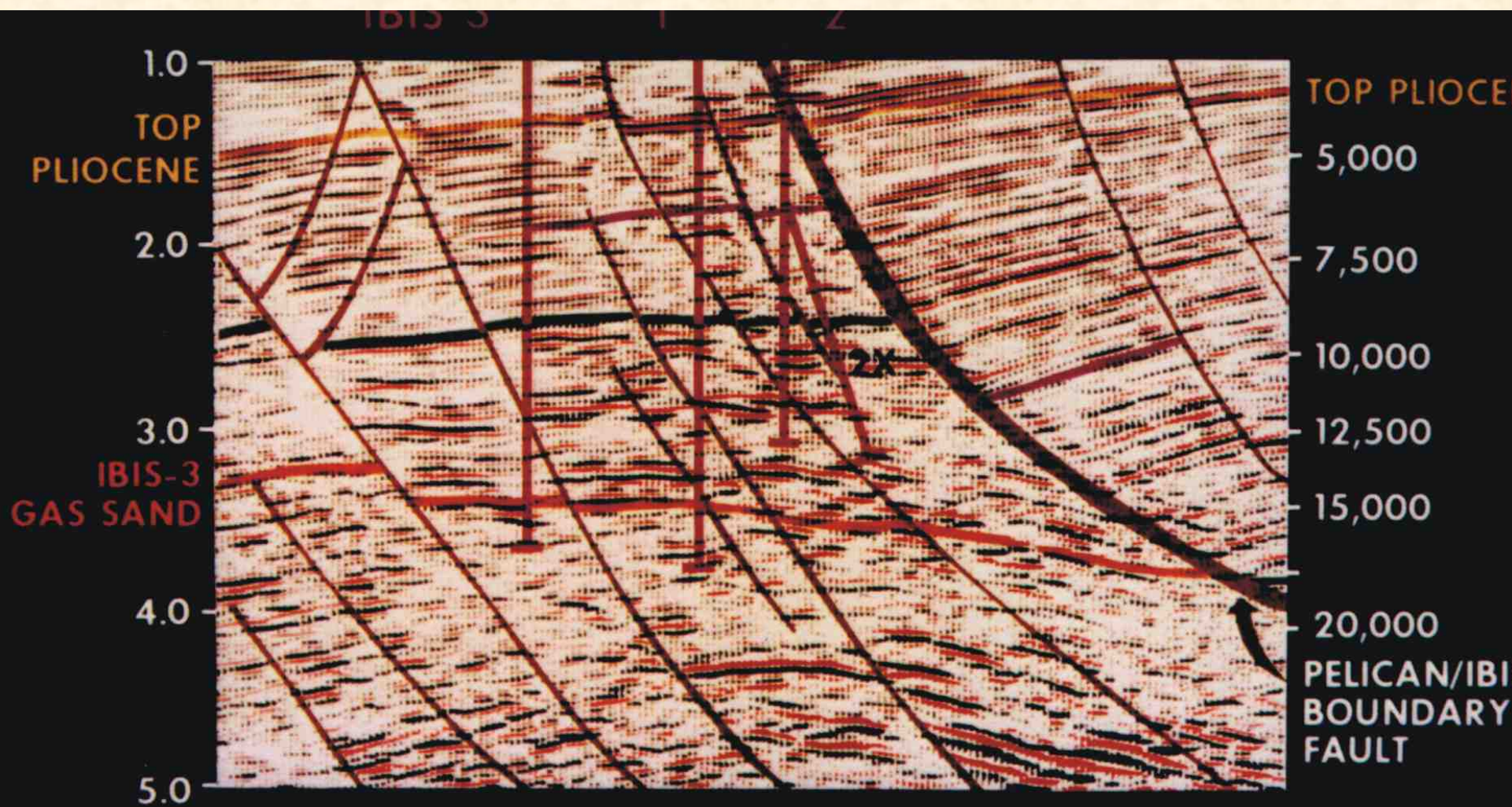
12,500

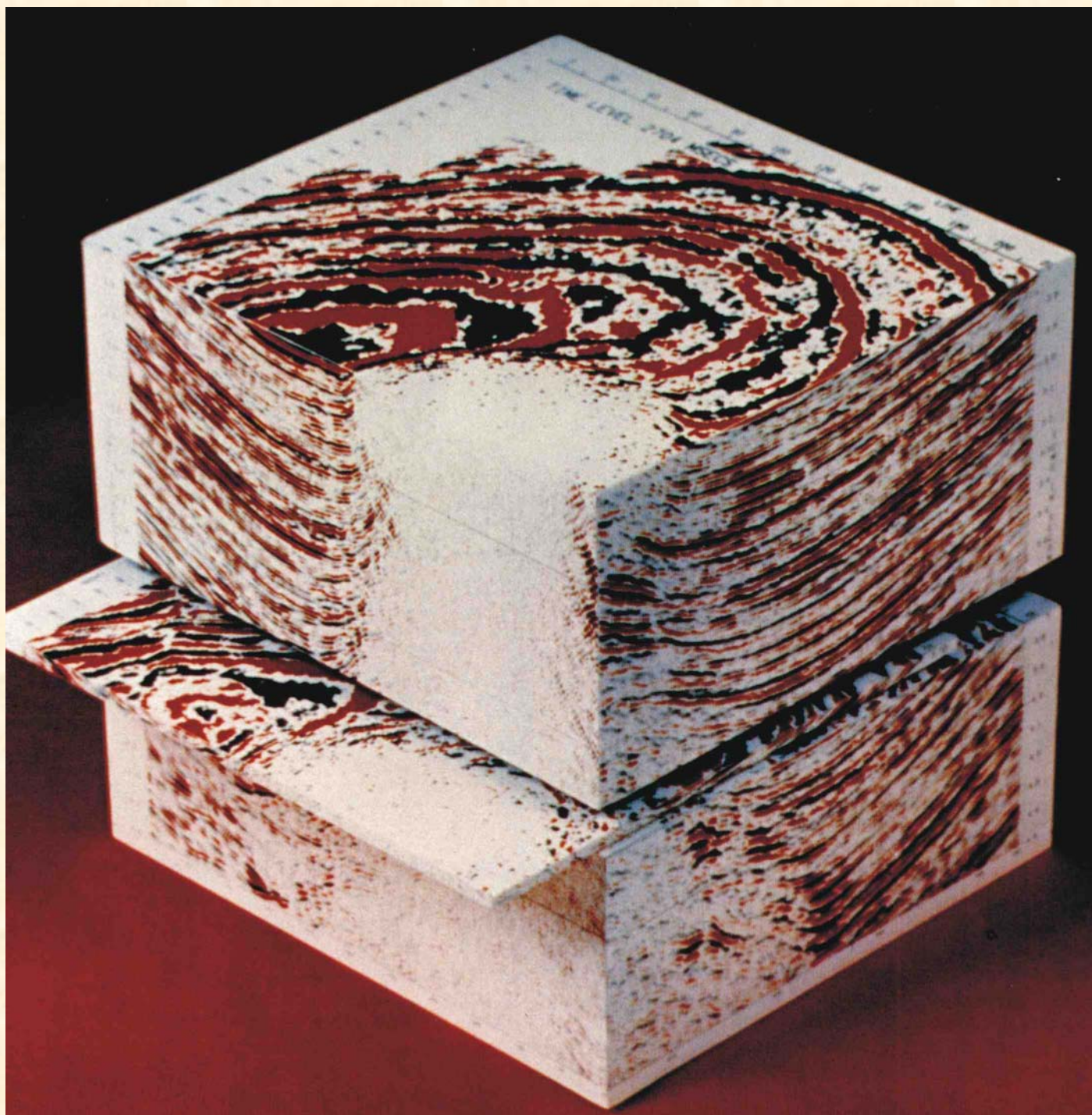
15,000

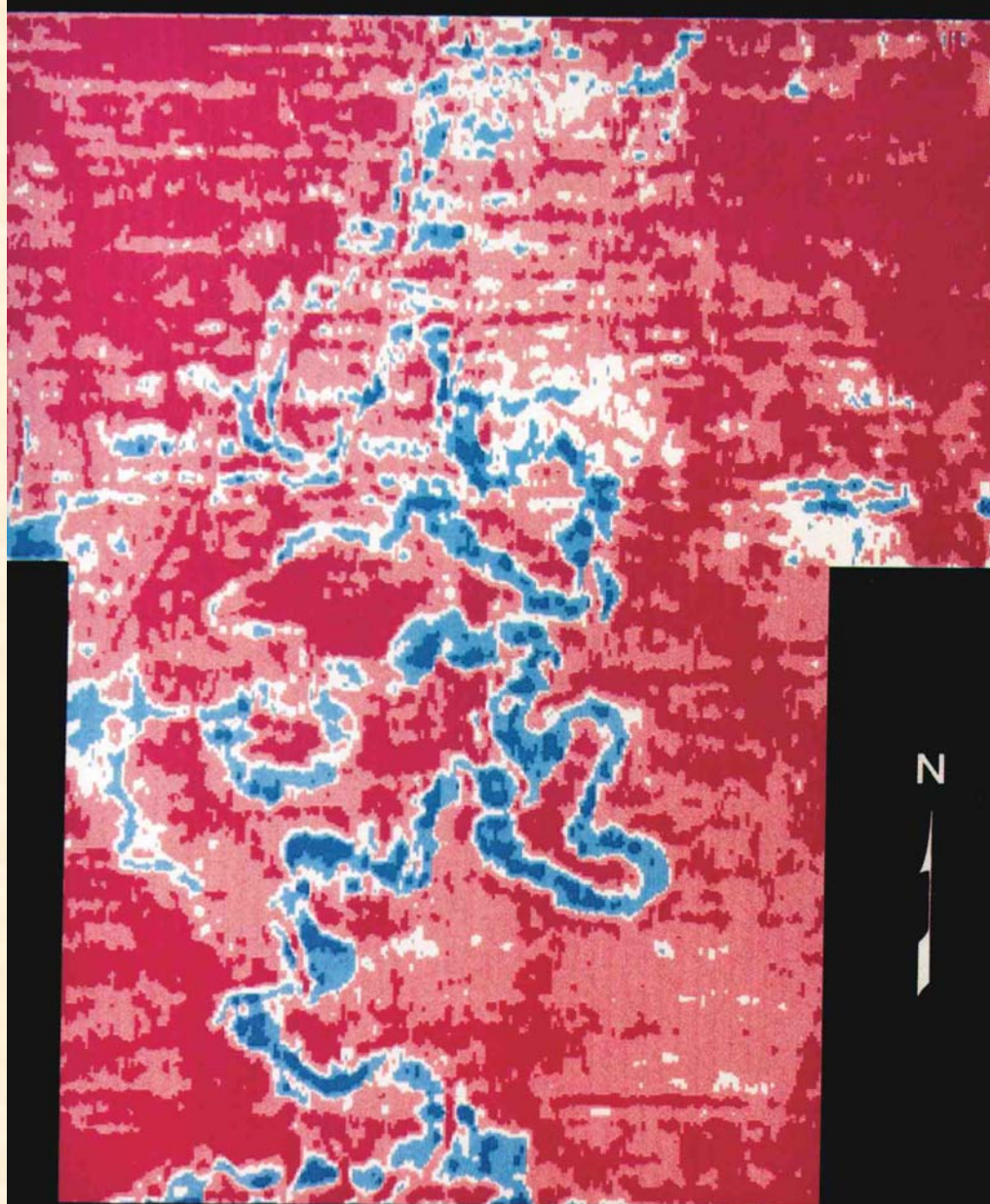
17,500

20,000





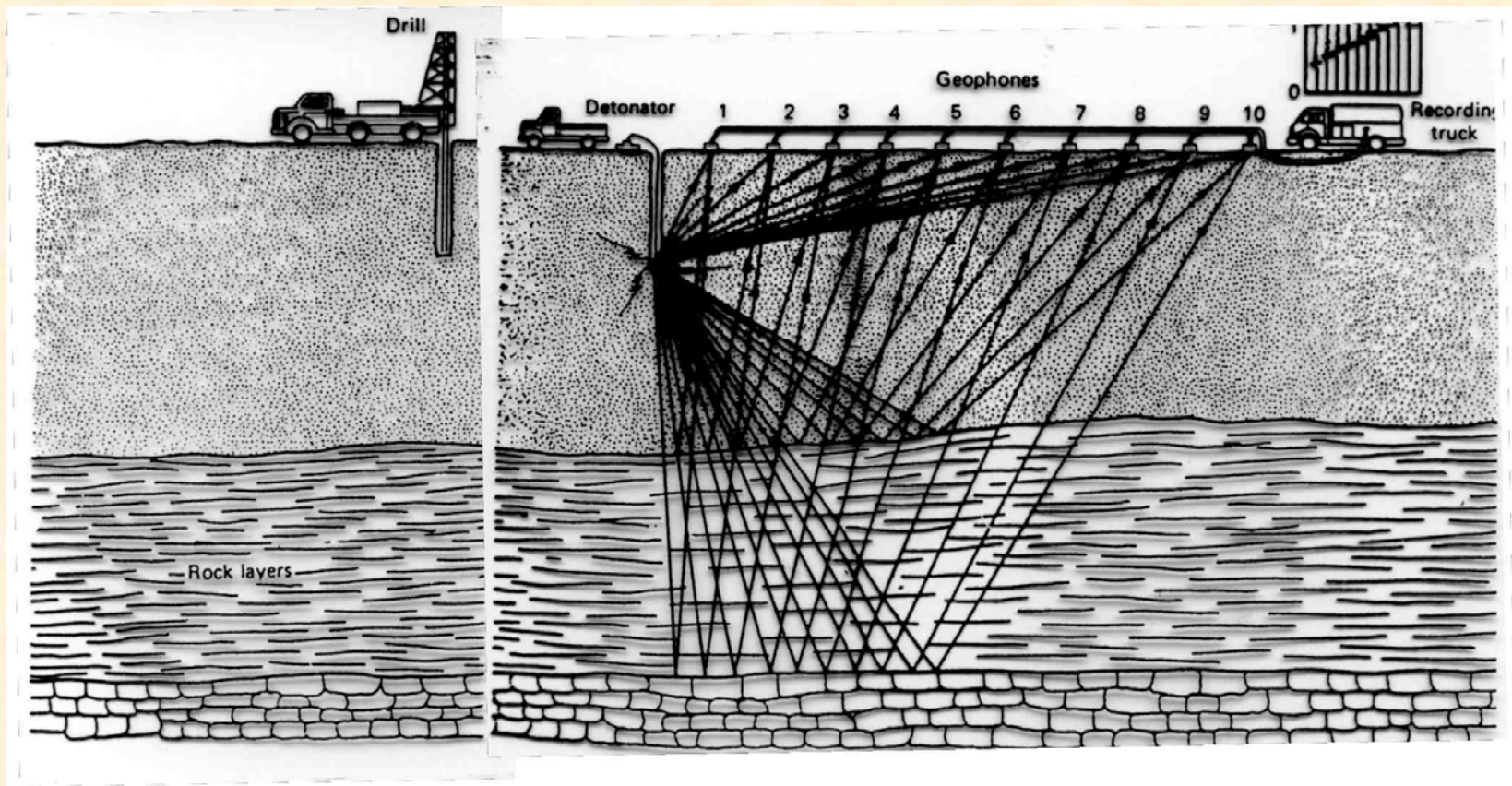




N

0 1 2 3 4 5

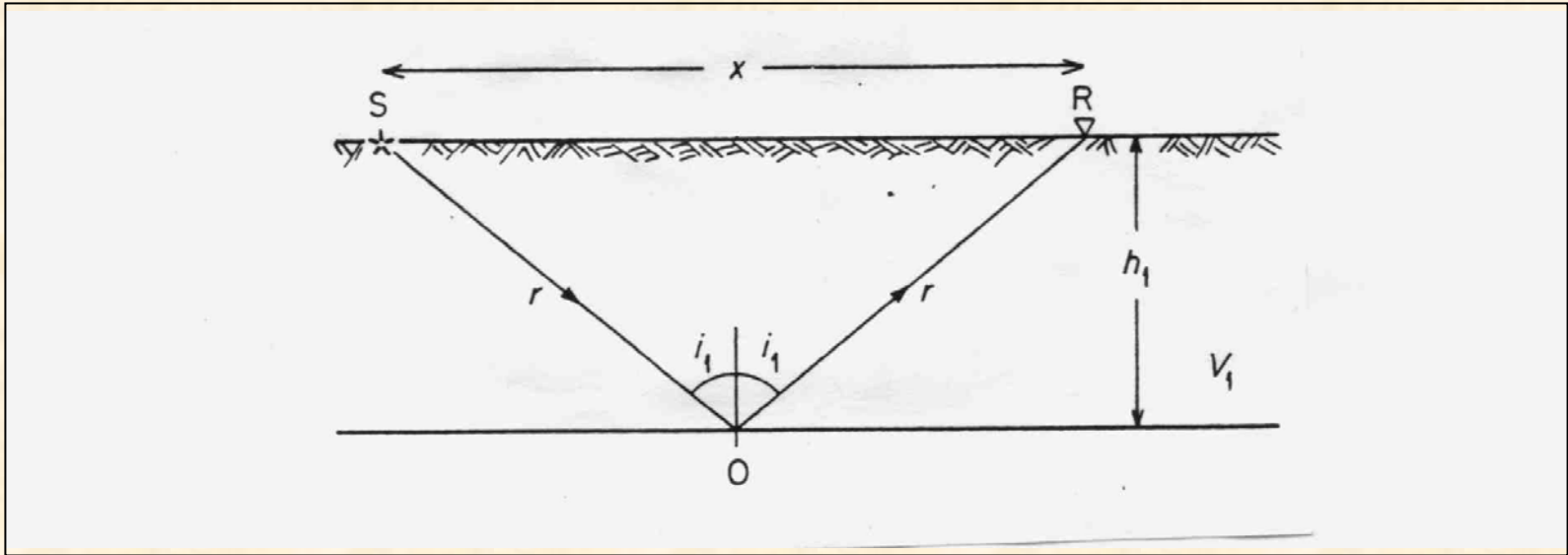
KILOMETERS



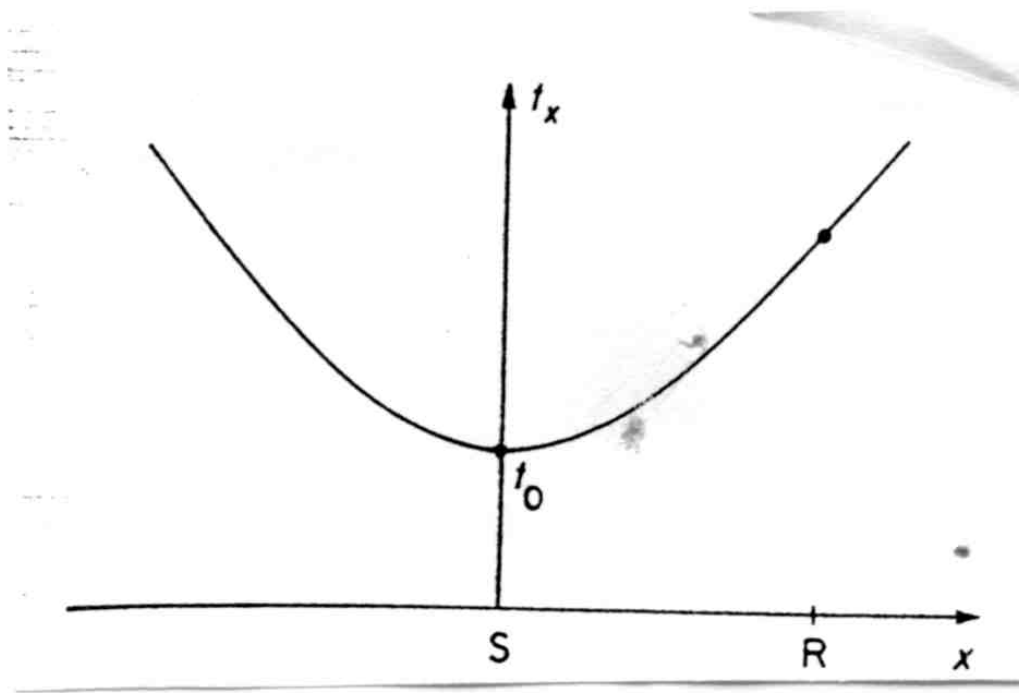
Sísmica de Reflexión: envío de señal elástica al terreno (normalmente desde superficie) y registro de eventos reflejados (más otros) en estaciones registradoras (geófonos, hidrófonos) hincados en el terreno en forma regular y equidistante.

Registro de tiempo de arribo de la señal, su amplitud y su polaridad

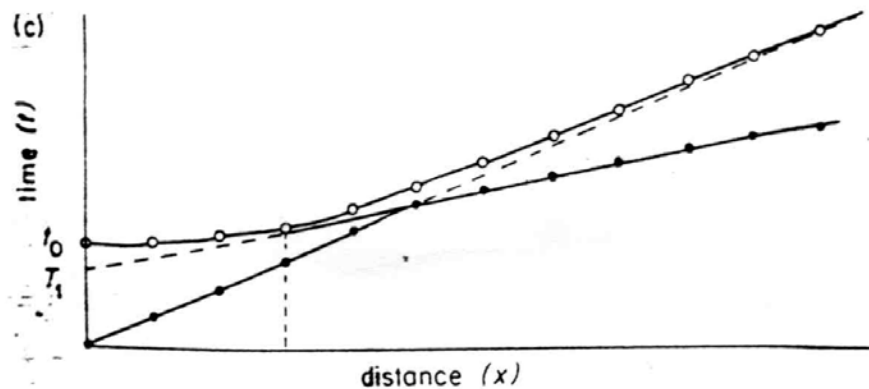
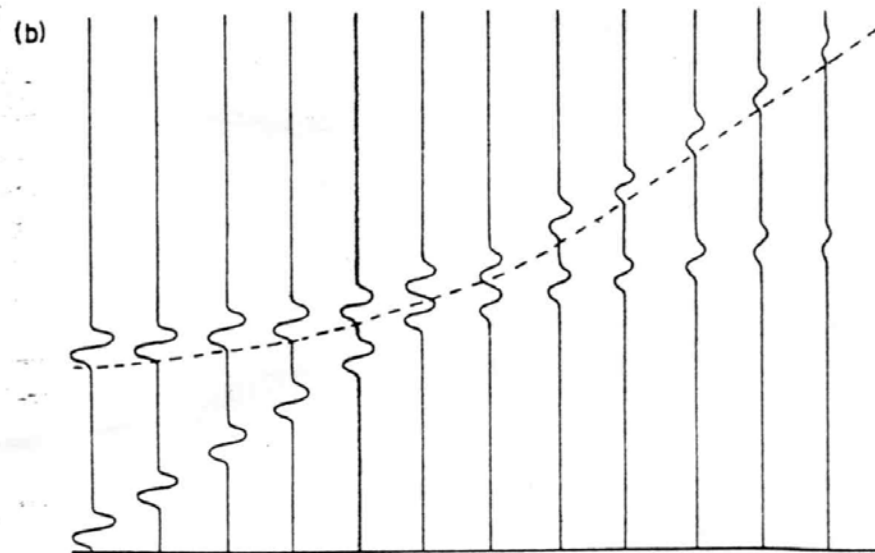
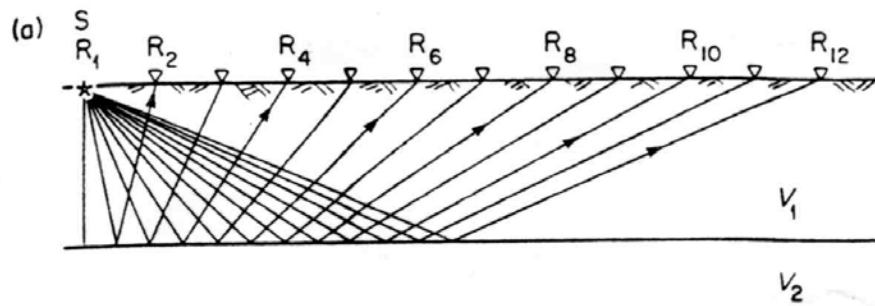
REFLEXIÓN SÍSMICA



- $T_x = 2r / V_1 \longrightarrow r = ((x/2)^2 + h_1^2)^{1/2}$
- $T_x = 2 ((x/2)^2 + h_1^2)^{1/2} / V_1$ para $x=0$ $T_o = 2 h_1 / V_1$
- elevando al cuadrado
- $T_x^2 = x^2 / V_1^2 + 4 h_1^2 / V_1^2$ dividiendo por $4 h_1^2 / V_1^2$ y reordenando
- $T_x^2 / (4 h_1^2 / V_1^2) - x^2 / 4 h_1^2 = 1$ Ecuación de una hipérbola

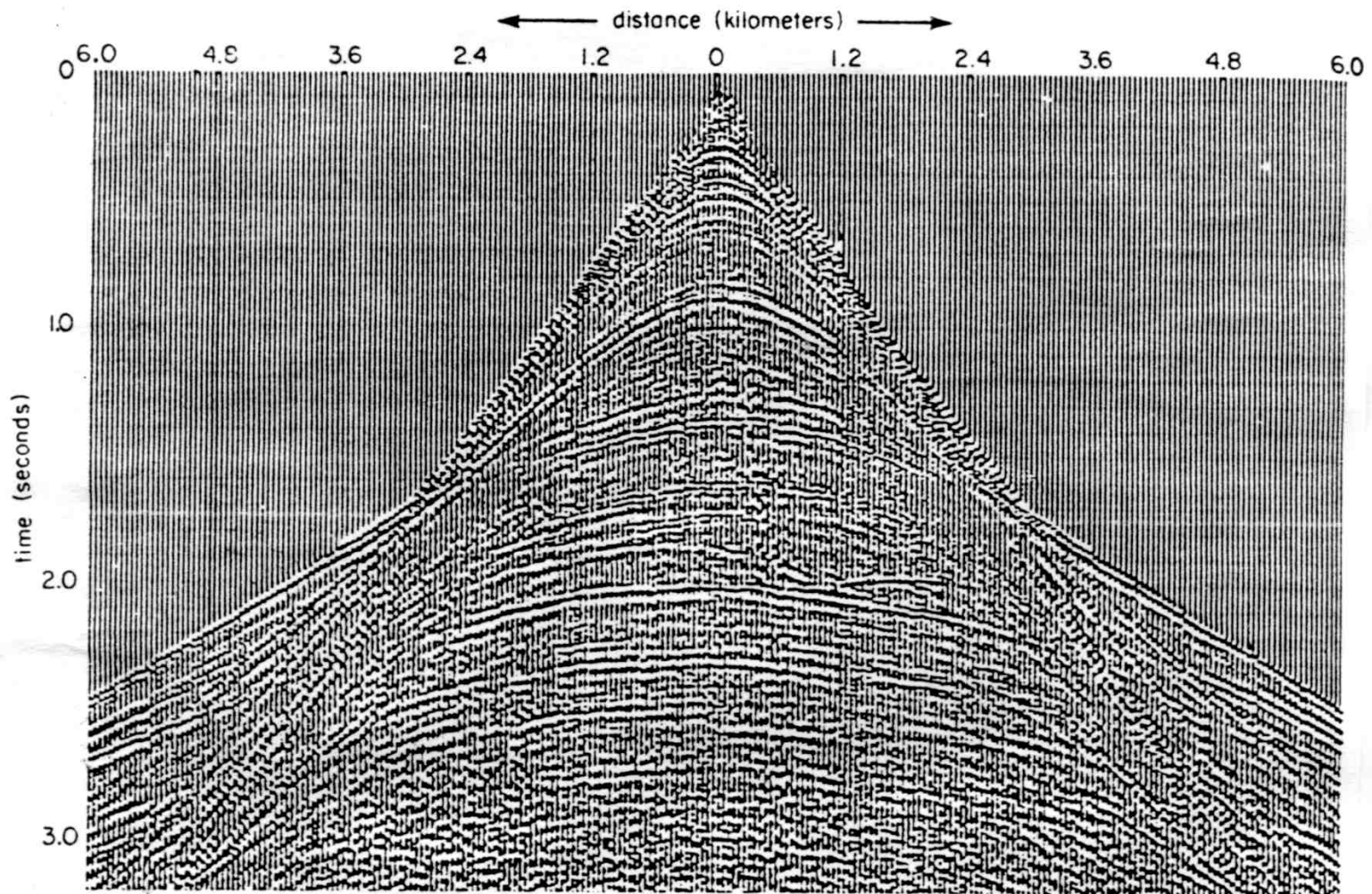


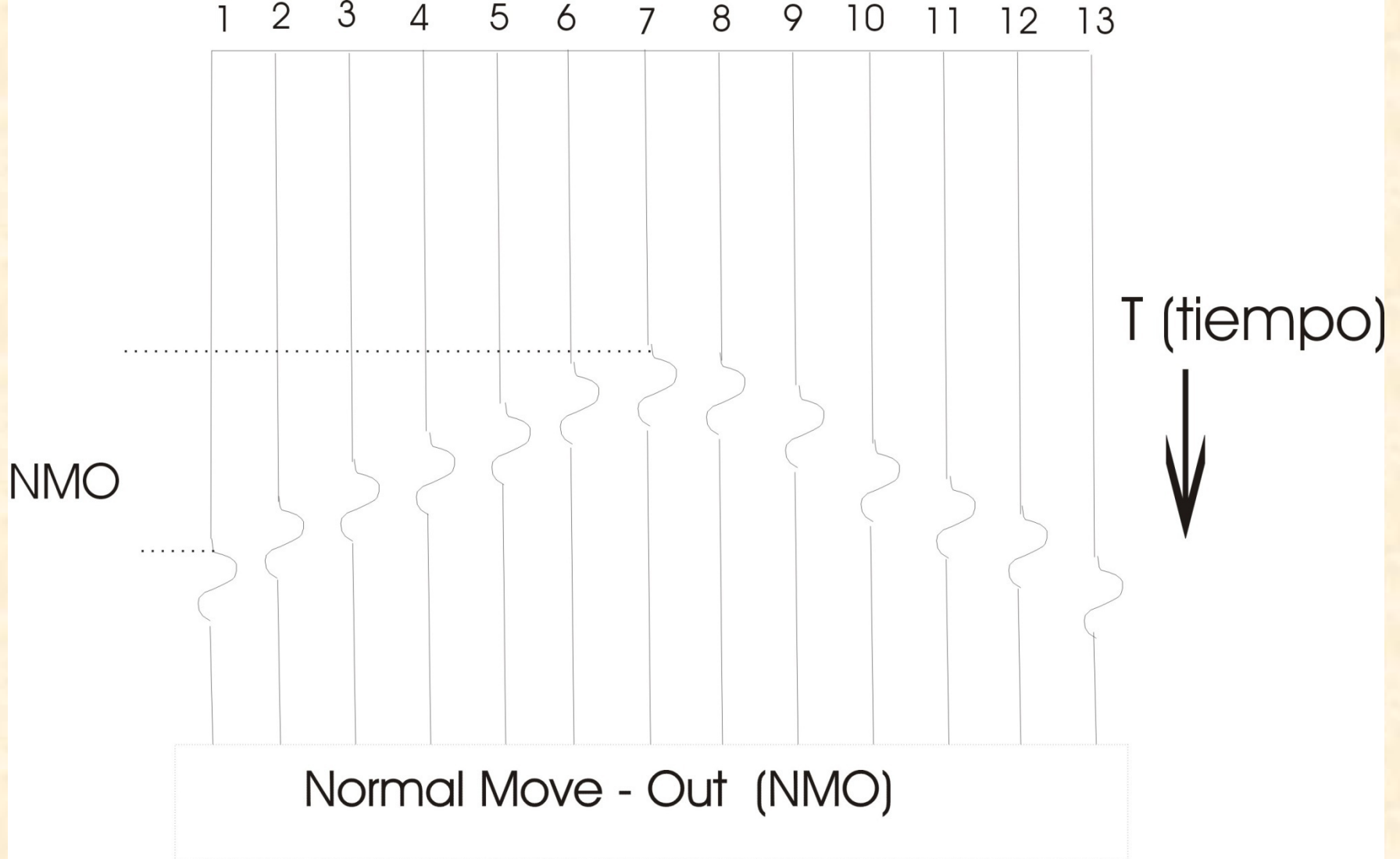
- $Tx^2 / (4 h_1^2 / V_1^2) - x^2 / 4 h_1^2 = 1$
- Ecuación de una hipérbola



- Las ondas directas y refractadas describen una trayectoria recta en un gráfico T vs d o en un **sismograma**
- **La onda reflejada describe una hipérbola**

Registro sísmico (sismograma)





- **NMO : diferencia de tiempo de arribo de una reflexión en diferentes canales por distinto recorrido debido a geometría del tendido**

Normal Move-Out

- Diferencia de T entre T_x y T_o
- $T_x = T_o + \delta T$ δT : NMO
- Sabemos que $T_x^2 = x^2 / V_1^2 + 4 h_1^2 / V_1^2$
- y que $T_o = 2 h_1 / V_1$
- entonces $T_x = (T_o^2 + x^2 / V_1^2)^{1/2}$
- $\delta T = (T_o^2 + x^2 / V_1^2)^{1/2} - T_o$
- pero $T_x = T_o (1 + x^2 / T_o^2 V_1^2)^{1/2}$
- usando una expansión binomial tenemos que
- $T_x = T_o (1 + x^2 / 2 T_o^2 V_1^2 + x^4 / 8 T_o^4 V_1^4 + \dots)$

- usando una expansión binomial tenemos que
- $T_x = T_o (1 + x^2 / 2 T_o^2 V_1^2 + x^4 / 8 T_o^4 V_1^4 + \dots)$
- usando solo los dos primeros términos
- $T_x \cong T_o + x^2 T_o / 2 T_o^2 V_1^2 = T_o + x^2 / 2 T_o V_1^2$
- Entonces
- $NMO = \delta T \cong x^2 / 2 T_o V_1^2$

A mayor **x** mayor **NMO**

A mayor **To** menor **NMO**

A mayor **V₁** menor **NMO**

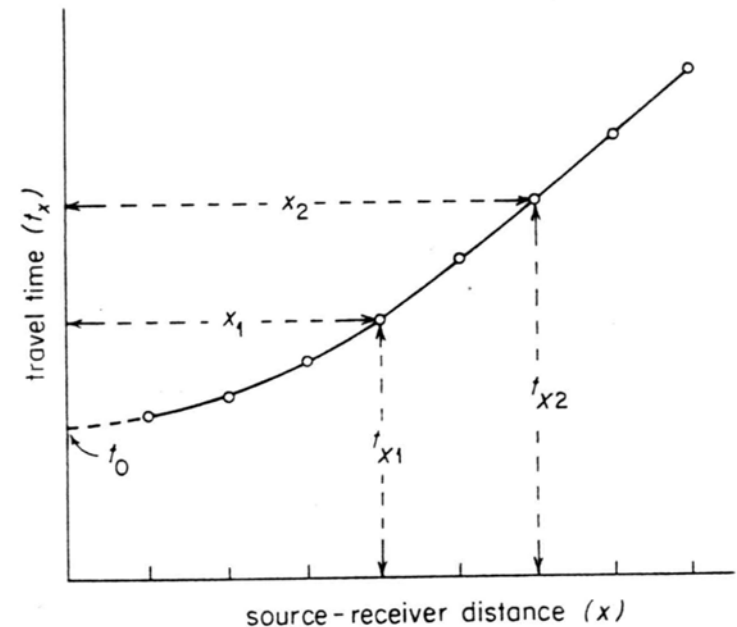
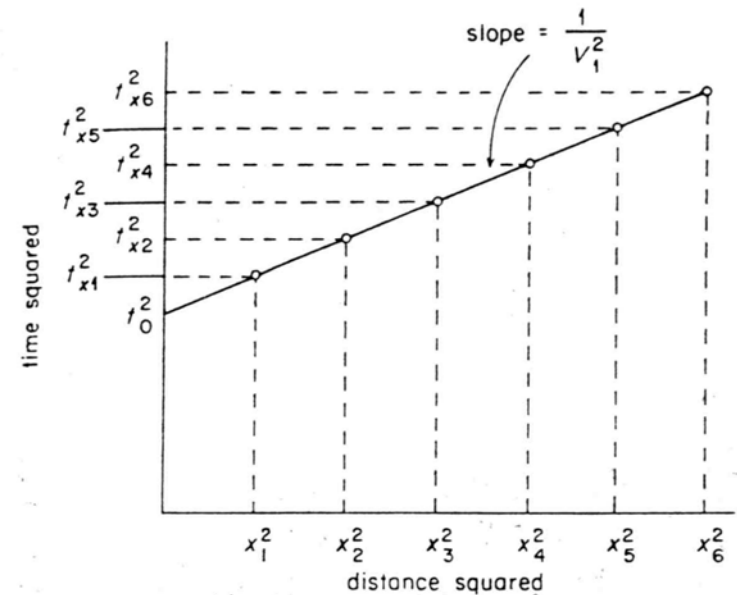
NMO disminuye con la profundidad

Cálculo de velocidad y profundidad

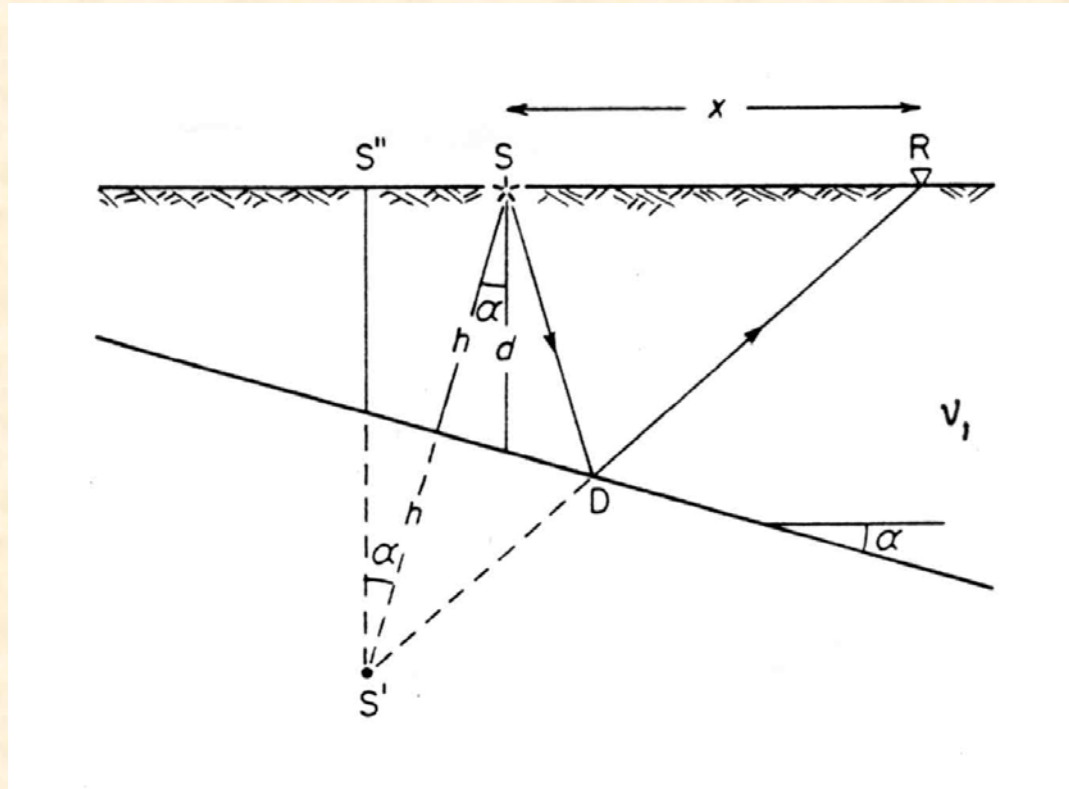
- $T_o = 2 h_1 / V_1 \longrightarrow h_1 = T_o V_1 / 2$
- T_o : tiempo de arribo para trayectoria vertical
- Sabemos que $Tx^2 = x^2 / V_1^2 + 4 h_1^2 / V_1^2 = x^2 / V_1^2 + T_o^2$
- $T_o = (Tx^2 - x^2 / V_1^2)^{1/2}$
- Para un mismo arribo a distintos canales se da:
- $T_o^2 = Tx_1^2 - x_1^2 / V_1^2 = Tx_2^2 - x_2^2 / V_1^2$
- $Tx_2^2 - Tx_1^2 = (x_2^2 - x_1^2) / V_1^2$
- entonces $V_1 = ((x_2^2 - x_1^2) / (Tx_2^2 - Tx_1^2))^{1/2}$
- calculando V_1 se puede calcular h_1 y también T_o

Cálculo de V_1 y T_0 usando todas las trazas

- $T_x^2 = (1 / V_1^2) (x^2) + T_0^2$
- graficando T_x^2 vs x^2
- ecuación de una recta:
- T_0^2 (ordenada al origen)
- $1 / V_1^2$ (pendiente)

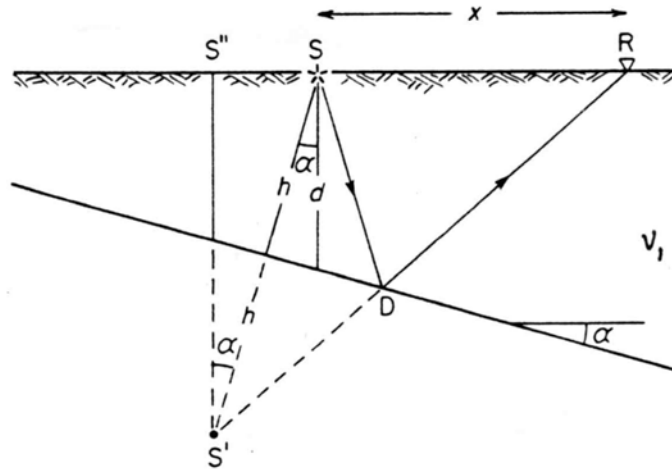


Reflexiones en superficies buzantes



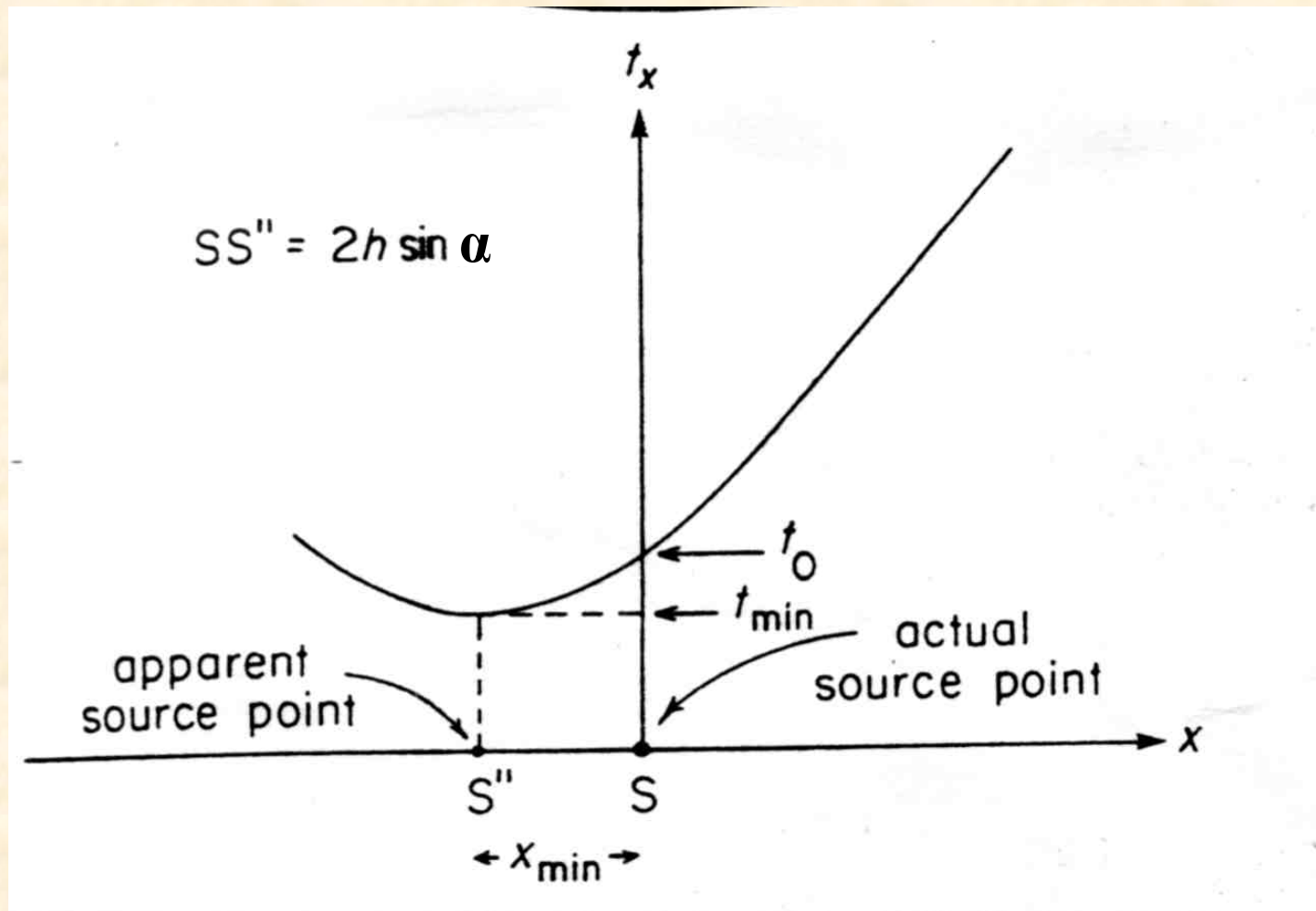
- S' : punto imagen, auxiliar p/ trayectoria de rayos
- Distancia entre punto imagen y receptor es igual a la trayectoria total
- $SDR = S'R \longrightarrow SD + DR = S'D + DR$ (pues $SD = S'D$)
- S'' : punto en la vertical sobre S'
- Dado que $S''S'$ es la menor distancia de S' a la superficie
- S'' : punto receptor de Tx mínimo

$T_o > T_x \min$



- $T_x = (SD + DR) / V_1 = S'R / V_1$
- ahora $(S'R)^2 = (S'S'')^2 + (S''R)^2$
- y $SS' = 2h$; $SS'' = 2h \sin a$; $S'S'' = 2h \cos a$
- y $S''R = SS'' + SR = x + 2h \sin a$
- entonces expresando distancias como tiempo ($V_1 = \text{cte}$)
- $T_x^2 = (2h \cos a / V_1)^2 + (x + 2h \sin a / V_1)^2$
- ecuación de una hipérbola con desplazamiento de T_0

- $Tx^2 = (2h \cos a / V_1)^2 + (x + 2h \sin a / V_1)^2$
- ecuación de una hipérbola con desplazamiento de T_0



Cálculo de profundidad y buzamiento del reflector

- De la lectura del sismograma
- $T_o^2 = 4 h^2 / V_1^2$ $T_o = 2 h / V_1$
- y tiempo mínimo $T_{min} = 2 h \cos a / V_1$
- entonces $\cos a = T_{min} / T_o$
- $a = \arccos (T_{min} / T_o)$
- $X_{min} = SS'' = 2 h \sin a$
- $h = X_{min} / 2 \sin a$

 y $h = d \cos a$
- $d = X_{min} / (2 \sin a \cos a)$
- d = profundidad del reflector debajo del punto de explosión (centro del tendido o canal central)

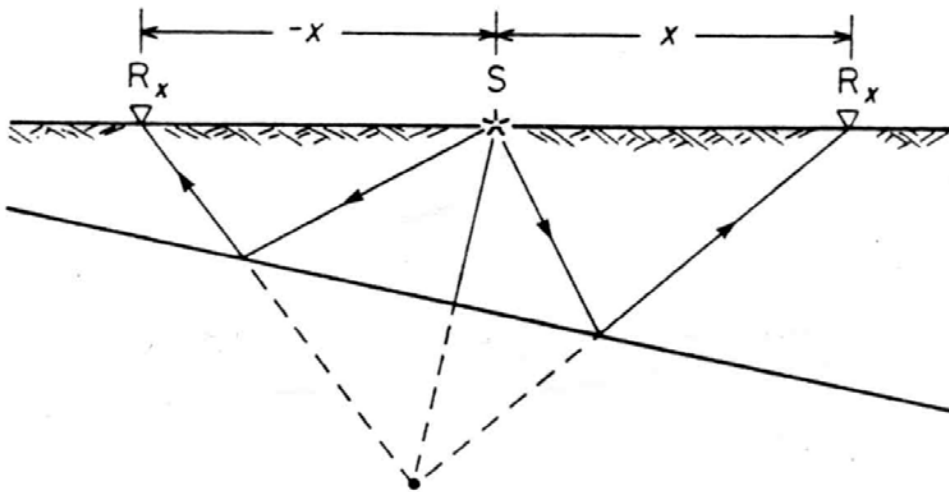
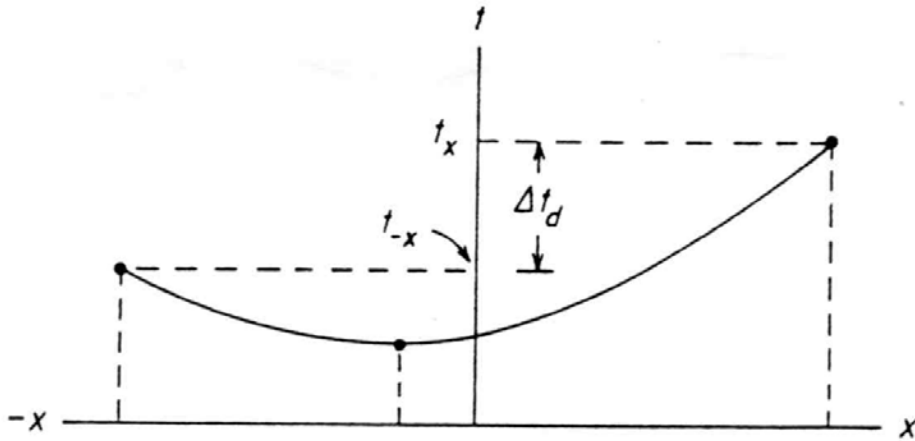
- DIP MOVE-OUT**
(δT_d)

$$\delta T_d = T_x - T_{-x}$$

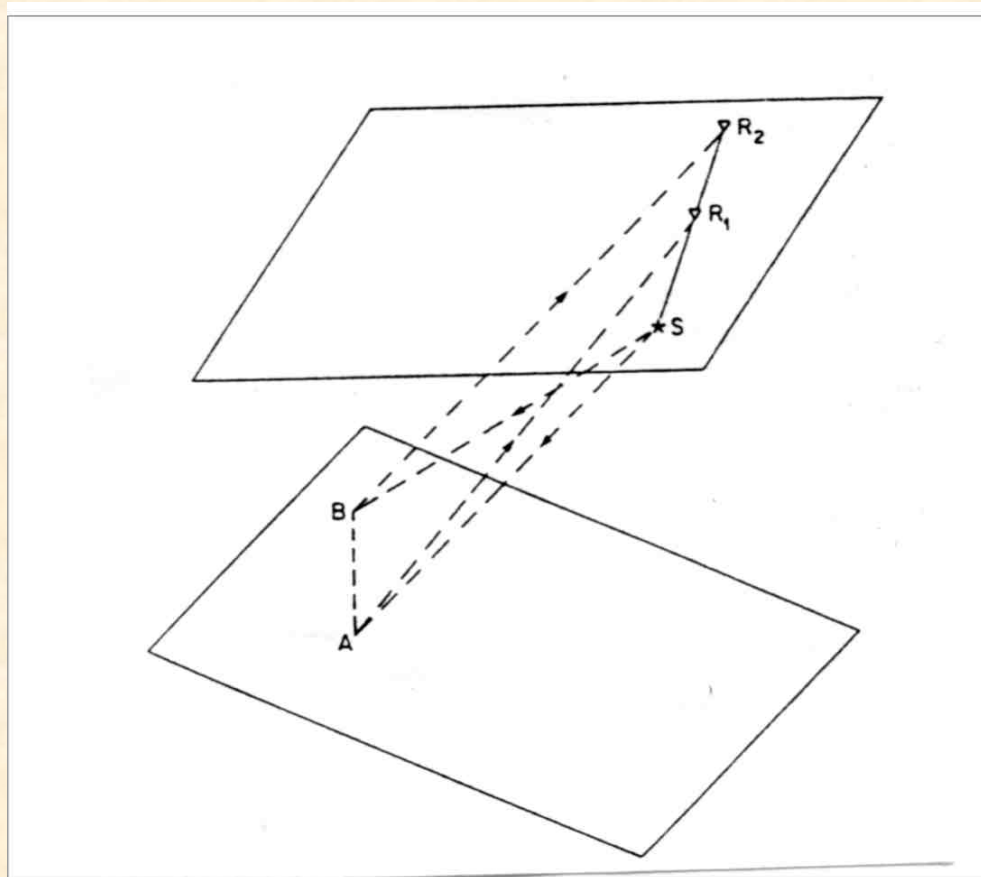
$$\delta T_d = (2 x \sin a) / V_1$$

$$a = \arcsin ((\delta T_d V_1) / 2x)$$

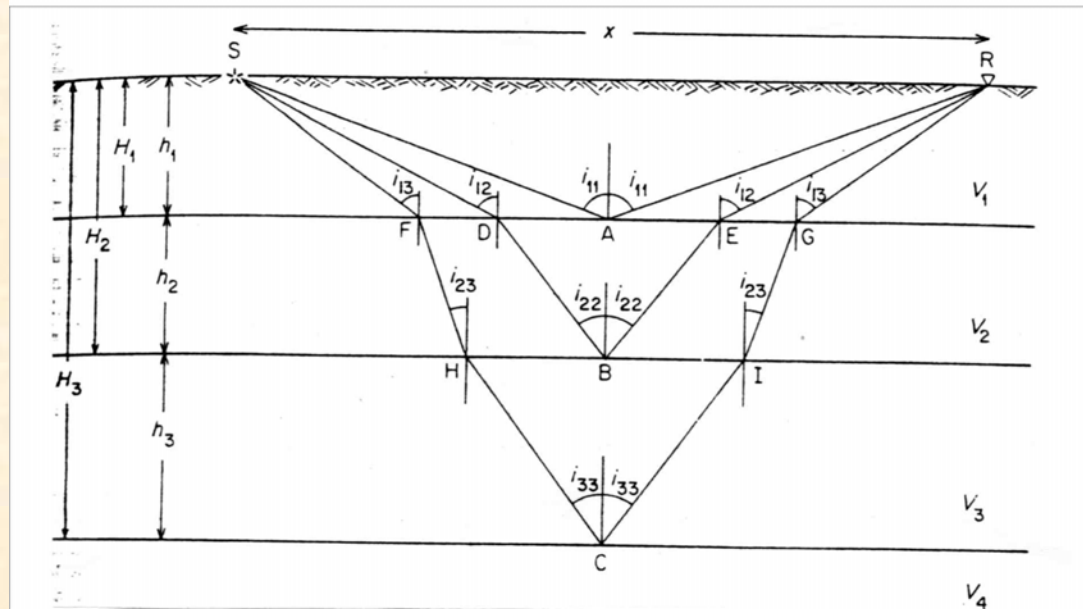
- El cálculo del Dip move out permite calcular el buzamiento del reflector



- Hasta ahora se consideró α como buzamiento verdadero. Esto es solo verdadero si la línea sísmica es perpendicular al rumbo del reflector.
- En caso contrario se deben realizar cálculos tridimensionales: horizonte reflector y tendido no comprendidos en el mismo plano; trazado de rayos sísmicos fuera de la vertical
- Migración de una sección sísmica



Reflexiones en sistemas de capas múltiples



- $V_1 > V_2 < V_3$

$$To_1 = 2 h_1 / V_1 = 2 dt_1$$

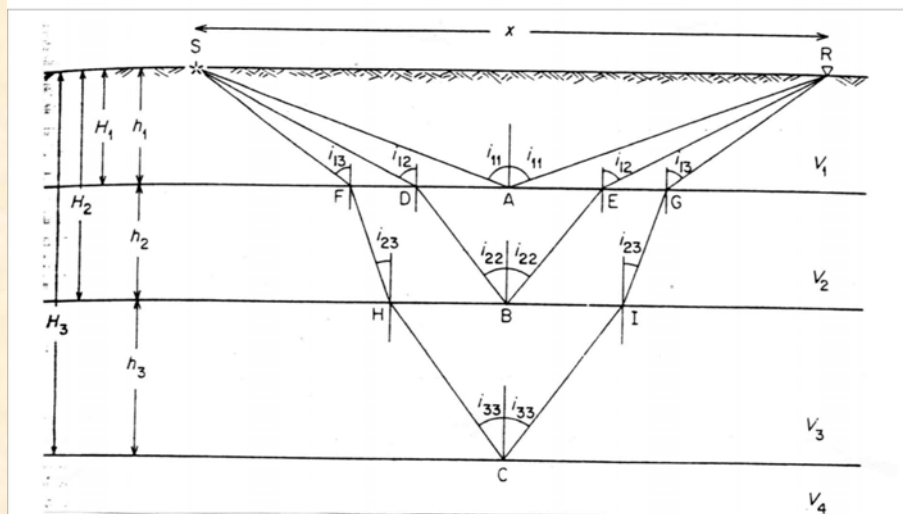
$$To_2 = 2 h_1 / V_1 + 2 h_2 / V_2 = 2 dt_1 + 2 dt_2$$

$$To_3 = 2 h_1 / V_1 + 2 h_2 / V_2 + 2 h_3 / V_3 = 2 dt_1 + 2 dt_2 + 2 dt_3$$

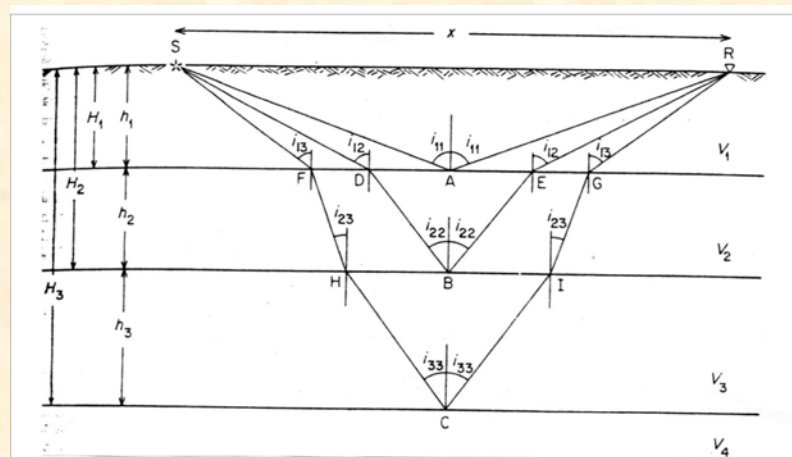
$$To_n = 2 \sum_{i=1}^n (h_i / V_i)$$

$$H_1 = h_1 ; H_2 = h_1 + h_2$$

$$H_3 = h_1 + h_2 + h_3$$



- **Velocidad promedio**
- $V_{1p} = 2 H_1 / T_{o1} = h_1 / dt_1 = V_1$
- $V_{2p} = 2 H_2 / T_{o2} = (h_1 + h_2) / (dt_1 + dt_2)$
- $V_{3p} = 2 H_3 / T_{o3} = (h_1 + h_2 + h_3) / (dt_1 + dt_2 + dt_3)$
- **o lo que es igual**
- $V_{3p} = (V_1 dt_1 + V_2 dt_2 + V_3 dt_3) / (dt_1 + dt_2 + dt_3)$
- **Expresión de las velocidades promedio en función de las de intervalo:**
- $V_{np} = \sum_{i=1}^n (V_i dt_i) / \sum_{i=1}^n dt_i$

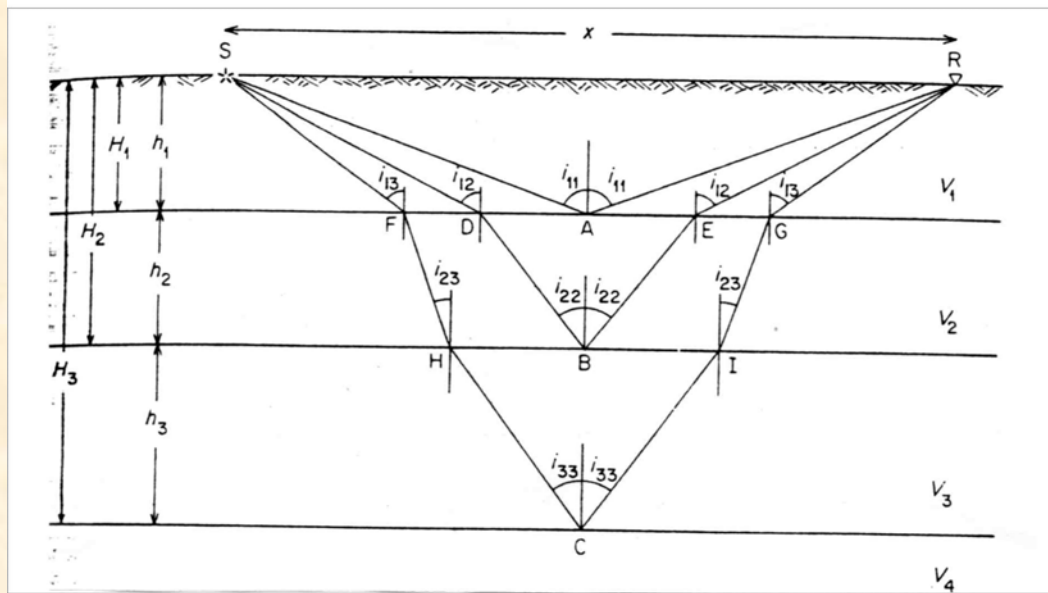


- $V_{np} = \frac{\sum_{i=1}^n (V_i dt_i)}{\sum_{i=1}^n dt_i}$

- La profundidad de una capa **n** será:
- $H_n = (V_{np} T_{0n}) / 2$

Velocidad de raíz cuadrática media (RMS vel.)

La velocidad promedio no puede usarse para trayectorias que no corresponden a la vertical ($x > 0$). La distancia recorrida en cada capa depende de los ángulos de refracción que dependen de la ley de Snell. Se define entonces la velocidad RMS que considera distintos recorridos en cada capa según los ángulos de refracción.



- *Por construcción* $\cos i_{11} = h_1 / SA = dt_1 / \delta t_1$
- $\delta t_1 = dt_1 / \cos i_{11}$
- *Definimos* $V_1 \text{ rms} = (V_1^2 \delta t_1 / dt_1)^{1/2}$
- $= ((V_1^2 dt_1 / \cos i_{11}) / (dt_1 / \cos i_{11}))^{1/2}$
- *Obviamente para una capa* $V_1 \text{ rms} = V_1$
- *Para el segundo reflector*
- $\delta t_1 = dt_1 / \cos i_{12}$ y $\delta t_2 = dt_2 / \cos i_{22}$

- $V_2 \text{ rms} = ((V_1^2 dt_1 / \cos i_{12} + V_2^2 dt_2 / \cos i_{22}) / (dt_1 / \cos i_{12} + dt_2 / \cos i_{22}))^{1/2}$
- *generalizando*

$$V_n \text{ rms} = (\sum_{k=1}^n (V_k^2 dt_k / \cos i_{kn}) / \sum_{k=1}^n (dt_k / \cos i_{kn}))^{1/2}$$

Para cualquier reflector entonces:

$$T_{xn} = (T_o^2 + x^2 / V_n \text{ rms}^2)^{1/2}$$

La velocidad RMS será ligeramente diferente para cada estación