

Sísmica

-Clase 1-

INTRODUCCIÓN A LA
SISMOLOGÍA

Aplicaciones de la Sismología a la Prospección Geofísica

- **Sísmica de Refracción**
 - Somera
 - Profunda
 - Más barata y expeditiva que Sísmica de Reflexión
- **Sísmica de Reflexión:**
 - Alta resolución: oceanografía, geología marina y en lagos, geotecnia marina, obras ingenieriles en mar
 - última etapa de prospección de hidrocarburos, estructuras locales, optimización de la explotación

Sísmica de Refracción Profunda

HIDROCARBUROS:

- 1^{er} etapa: estudios regionales
 - Cuencas sedimentarias-grandes estructuras
 - Bordes de cuenca
 - Profundidad al basamento cristalino
 - Estudios tendientes a determinar la sucesión estratigráfica (profundidades, secuencia, acuíferos)
- 2^{da} etapa: algunas estructuras locales como domos salinos (casos históricos: Golfo de México)

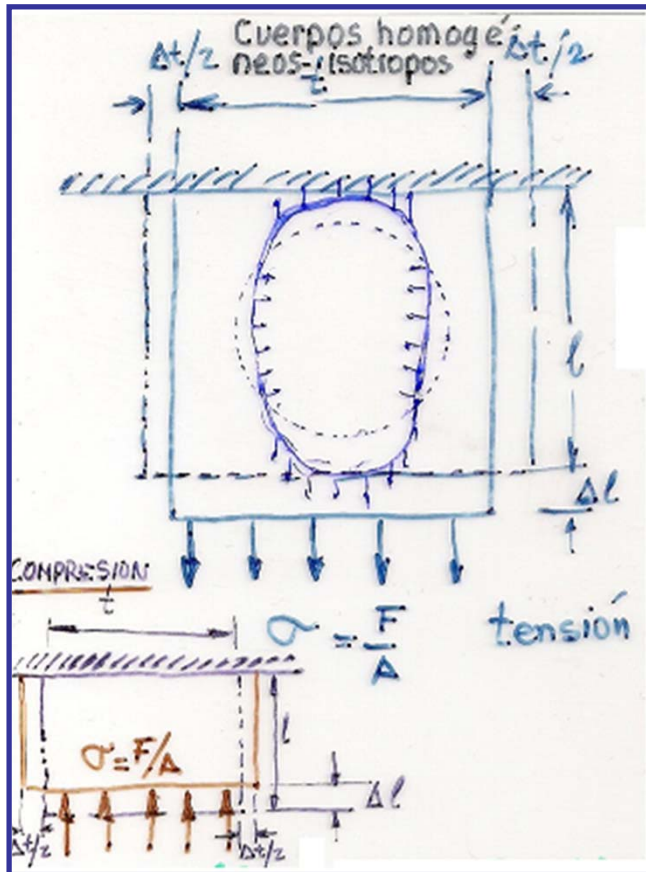
INVESTIGACIÓN geológica-geofísica a escala regional:

- profundidades de discontinuidades sísmicas: Moho, Capa de Baja velocidad, otras.
- identificación de formaciones geológicas profundas

Sísmica de Refracción Somera

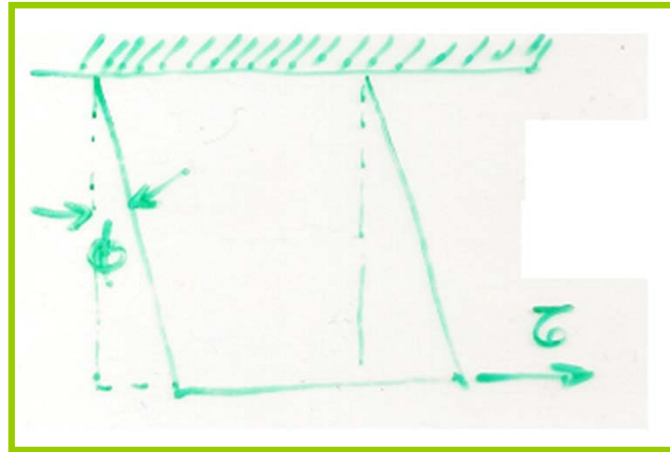
- **Hidrocarburos:** determinación de la topografía del techo de la roca consolidada y espesores de la capa meteorizada para contar con la información necesaria para las correcciones estáticas de los registros sísmicos de Reflexión.
- **Obras ingenieriles:** idem anterior, y además Ondas S para determinar las constantes elásticas del suelo portante.
Determinación de paleocanales y fallas que condicionen la estabilidad de las presas hídricas
- **Hidrogeología:** ídem Ingenieriles, sin Ondas S.
Prospección de Oro aluvional.

Deformación por esfuerzo de tracción



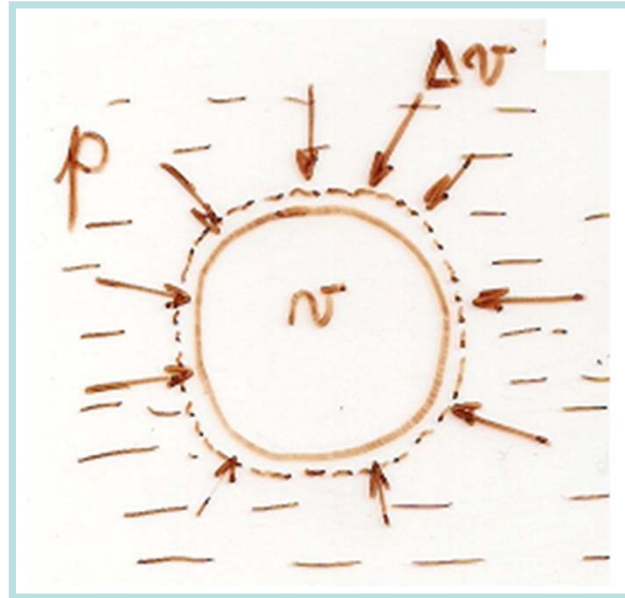
- Los desarrollos parten de que se está sometiendo al cuerpo a esfuerzos dentro de los límites elásticos
- Deformación por unidad de longitud
$$\epsilon_l = \Delta l / l \quad \text{en la dirección del esfuerzo}$$
$$\epsilon_t = \Delta t / t \quad \text{perpendicular a la dirección del esfuerzo}$$
- $\sigma = \epsilon_l E$ **E: Módulo de Young**
 - $E_{Fe} \approx 2.10^4 \text{ kg/mm}^2$ $E_{granito} \approx 2,5-5.10^3 \text{ kg/mm}^2$
- $\eta = \epsilon_t / \epsilon_l$ **η : Módulo de Poisson**
 - El valor para sólidos elásticos es $\approx 0.25-0.43$

Deformación por Cizalla



- Φ : Deformación por esfuerzo de cizalla o corte
- $\zeta = \mu \Phi$ μ : Módulo de Rigidez
- Por lo general, en la naturaleza, $\mu \approx 2.5E$

Deformación por esfuerzo hidrostático



$$p = k \Delta v/v$$

k: Módulo de compresión
hidrostática

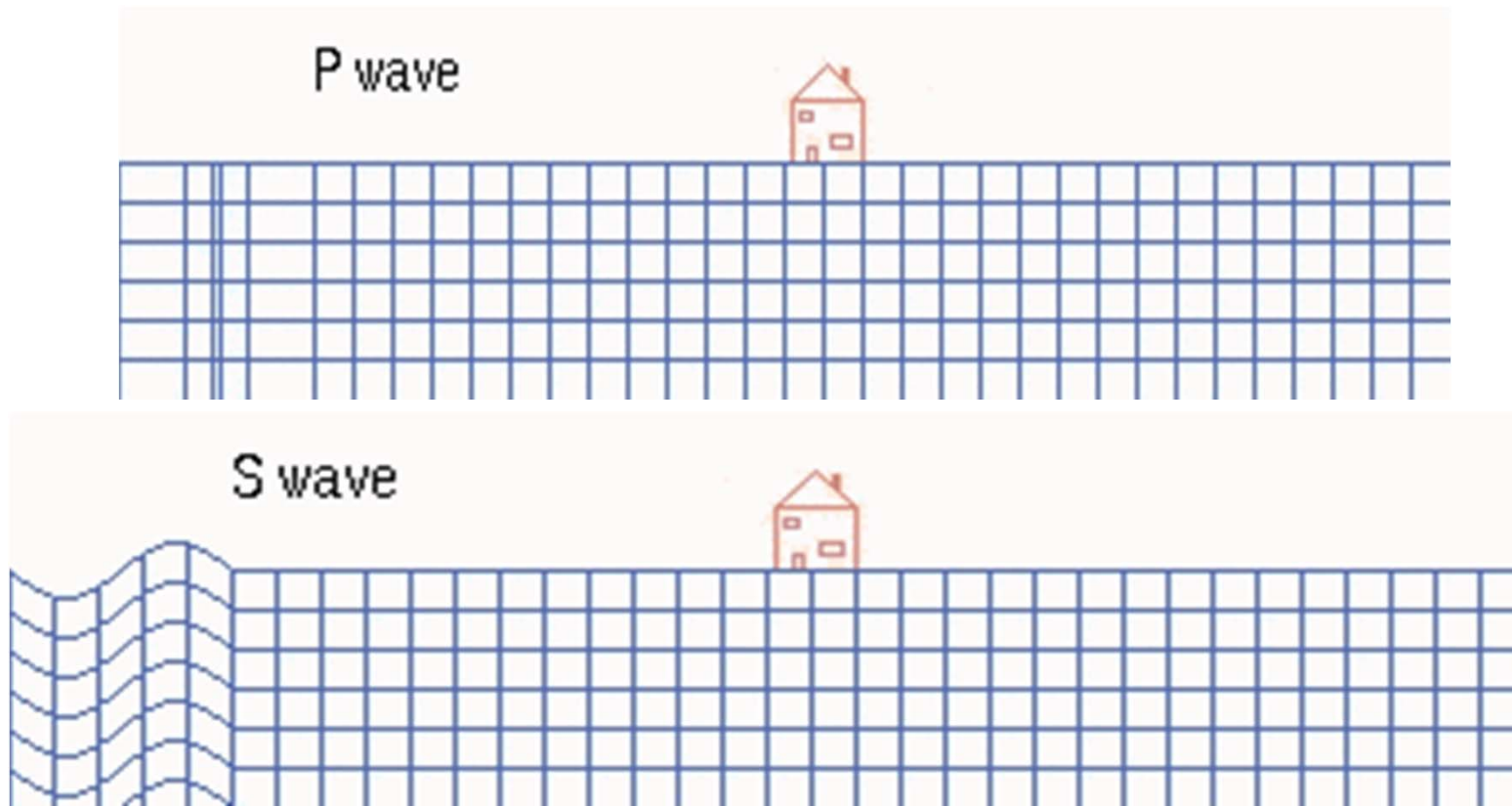
Relación entre los módulos elásticos

- $\mu = E / 2(1 + \eta)$
 - $k = E / 3 (1 - 2\eta)$
 - $\lambda_0 = \eta E / (1 - 2\eta)(1 + \eta)$
-
- μ y λ_0 se las conoce como constantes de LAMÉ
 - Se puede demostrar algebraicamente que siempre $0 < \eta < 0.5$

Ondas de Cuerpo

En un movimiento oscilatorio la energía se entretiene entre energía cinética y energía potencial.

El movimiento oscilatorio armónico simple transmite energía sin transporte de masa.



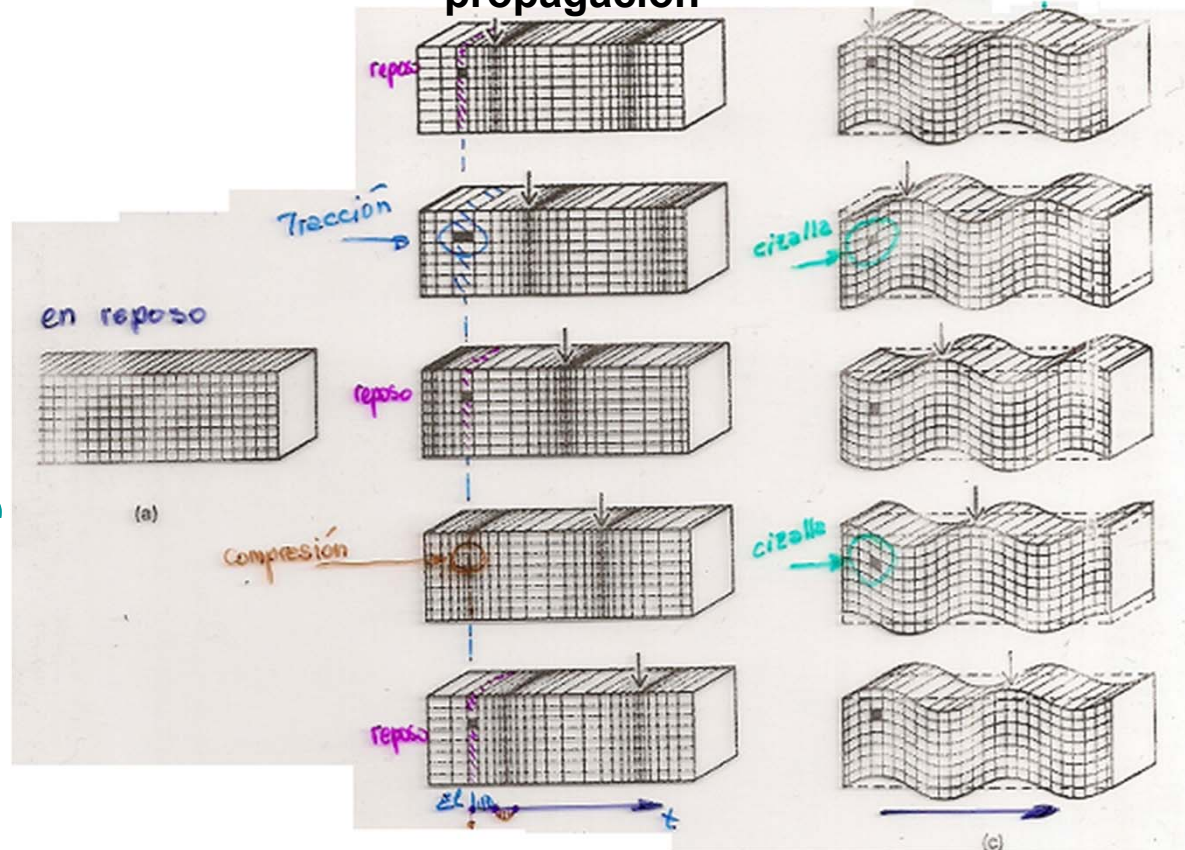
Ondas de Cuerpo

En un movimiento oscilatorio la energía se entretiene entre energía cinética y energía potencial.

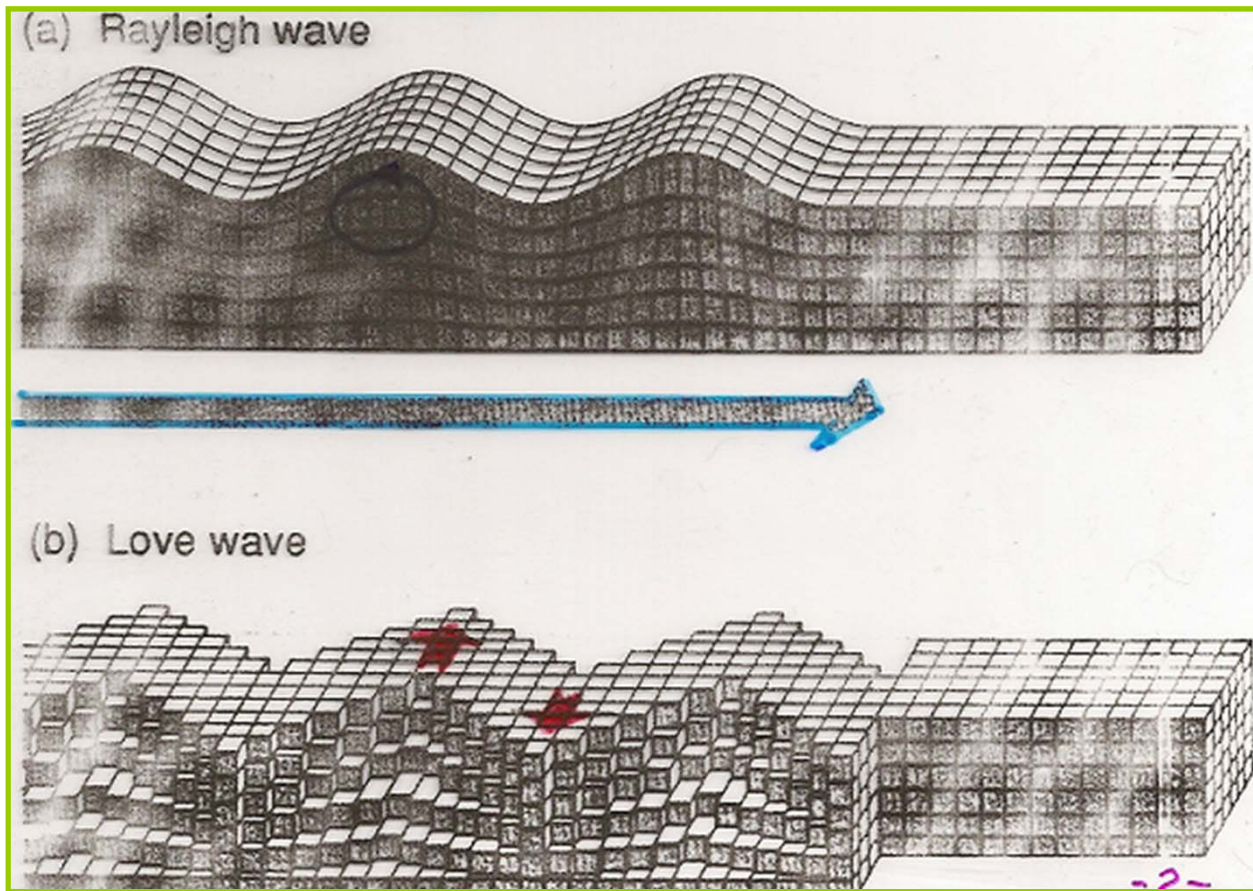
El movimiento oscilatorio armónico simple transmite energía sin transporte de masa.

Ondas P: las partículas se mueven en la dirección de propagación

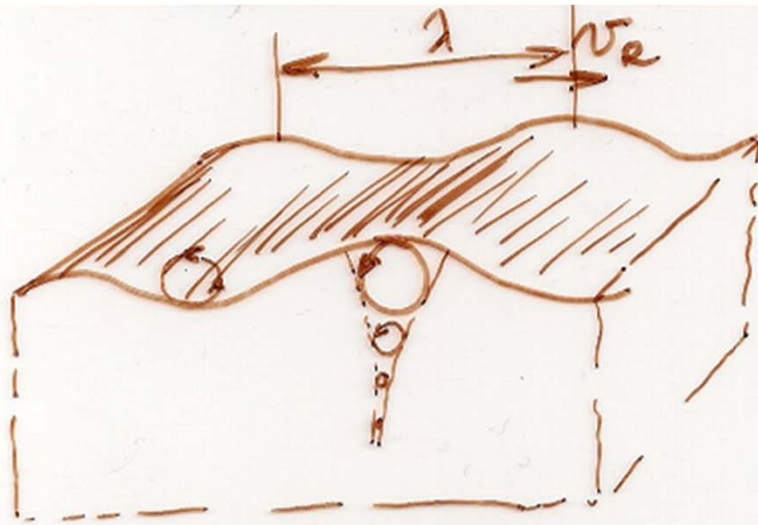
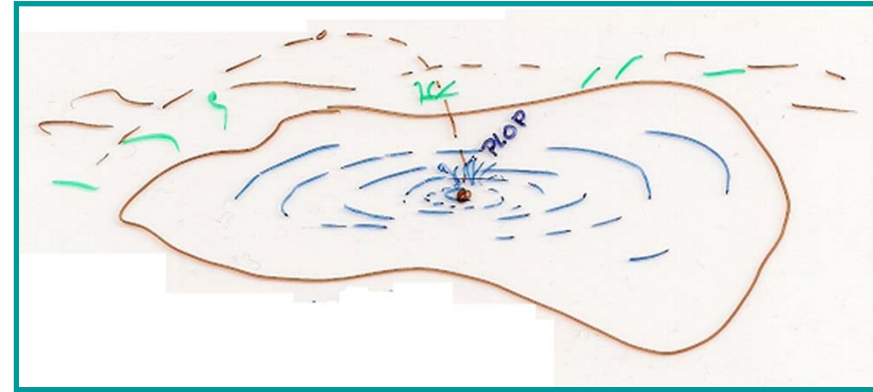
Ondas S: las partículas se mueven perpendicularmente a la dirección de propagación



Ondas de Superfície



Ondas de superficie



Ondas de Rayleigh (1885)

$$v_R \approx \frac{9}{10} v_s$$



Ondas de Love

$$v_{Lo} \approx v_s$$

Ondas de superficie sólidas: se propagan a través de discontinuidades, por ej. tierra-aire.

Dispersión de las ondas superficiales



Por lo general;

$$v_{R1} < v_{R2}$$

$$v_{Lo1} < v_{Lo2}$$

$$\text{Si } \lambda \ll Z \rightarrow v_{R1}$$

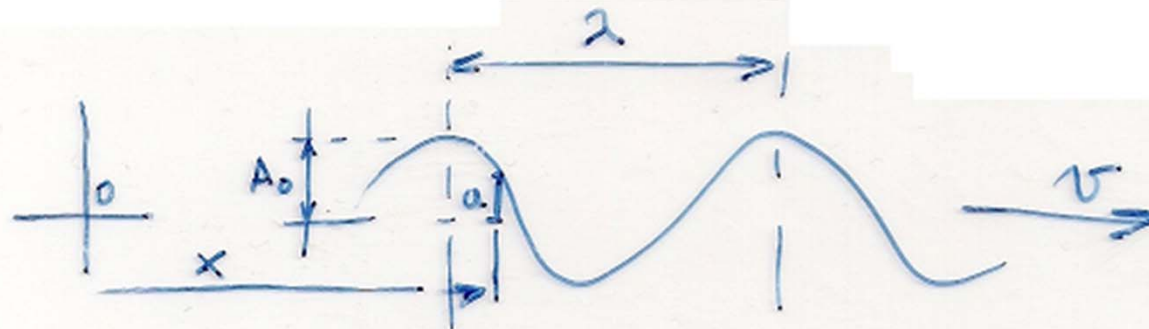
$$\text{Si } \lambda \gg Z \rightarrow v_{R2} \text{ (Idem para } v_{Lo})$$

Las ondas más largas son más veloces que las cortas

Del análisis espectral se pueden obtener las velocidades de propagación de las capas superficiales



Movimiento Armónico Simple



a : amplitud instantánea
 A_0 : amplitud máxima

movimiento armónico simple: $a = A_0 \sin \frac{2\pi}{\lambda} (x - vt)$

λ : longitud de onda

v : velocidad de propagación

T : período

$f = \frac{1}{T}$ frecuencia

si estamos parados en un punto en el espacio ($x = \text{cte}$)

$$a = A_0 \sin \left(2\pi \frac{x}{\lambda} - 2\pi \frac{v}{\lambda} t \right)$$

$$a = A_0 \sin (\alpha - \omega t)$$

α : fase

ω : pulsación = $2\pi f$

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

$$v = f \cdot \lambda$$

Dependencia de la velocidad de propagación de las ondas de cuerpo con las constantes elásticas

Ondas Longitudinales

$$v_p = \sqrt{\frac{E}{\delta} \cdot \frac{1-\eta}{(1+\eta)(1-2\eta)}} = \sqrt{\frac{k}{\delta} + \frac{4}{3} \frac{\mu}{\delta}}$$

Ondas transversales

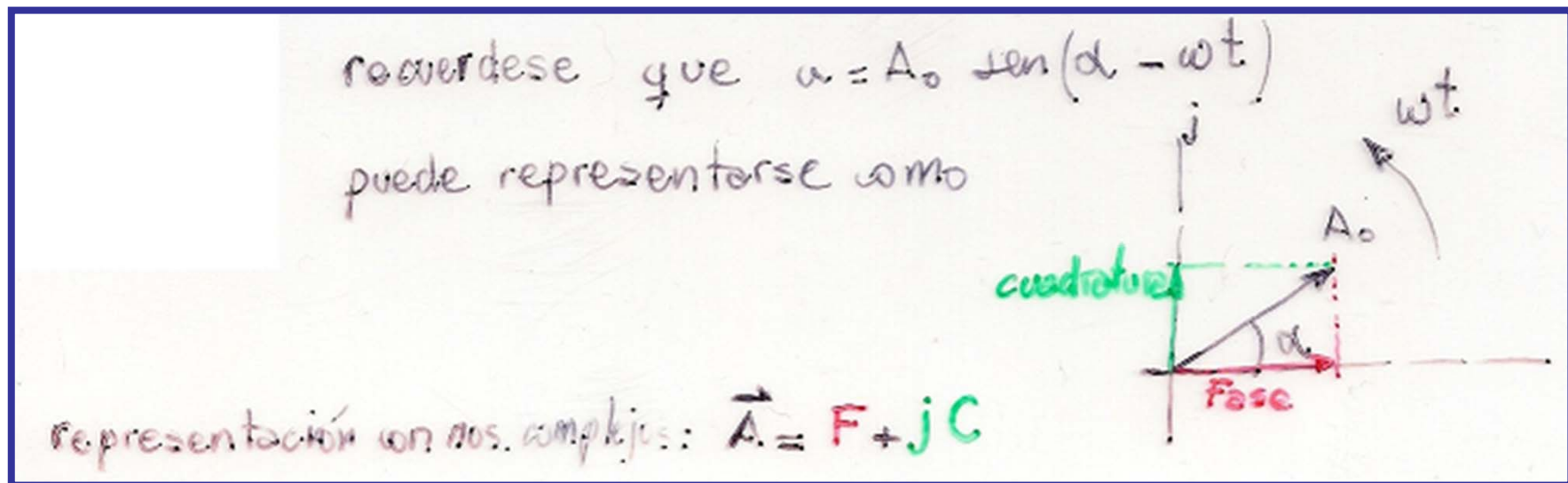
$$v_s = \sqrt{\frac{\mu}{\delta}} = \sqrt{\frac{E}{2\delta(1+\eta)}}$$

$$\frac{v_p}{v_s} = \sqrt{\frac{1-\eta}{\frac{1}{2}-\eta}} \therefore v_p > \sqrt{\frac{4}{3}} v_s$$
$$v_p > 1.55 v_s$$

en los elementos naturales $v_p \approx 2.63 v_s$
 $\eta: \begin{matrix} 0.33 \\ 0.43 \end{matrix}$

Representación en números Complejos

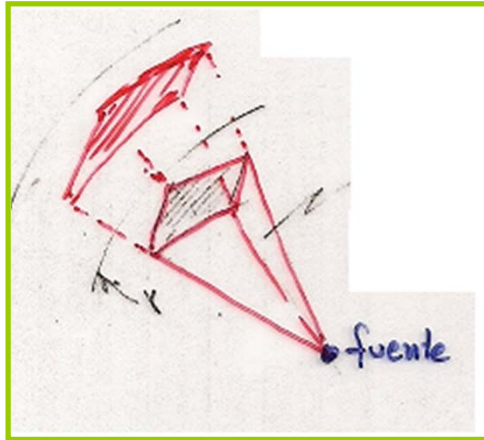
Si estamos observando el paso de la onda en un punto en el espacio (geófono):



Velocidad de ondas elásticas longitudinales en rocas

| | | | |
|--------------------------|-----------------|----------|-----------|
| Rocas | Vp (m/s) | Caliza | 2140-6100 |
| Mat. Sup. Meteorizado | 305-610 | Dolomita | 4940-6150 |
| Grava-Arena seca | 468-915 | Sal | 4270-5200 |
| Arena (húmeda) | 610-1830 | Granito | 4580-5800 |
| Arcilla | 915-2750 | Rocas MM | 3000-7000 |
| Agua de mar | 1460-1530 | Basalto | 3800-7000 |
| Arenisca | 1830-3970 | Gabro | 6500 |
| Lutita | 2750-4270 | Diabasa | 6500 |

Atenuación de la Energía Elástica



Ondas Esféricas: la energía en el ángulo sólido se conserva si no hay pérdidas. Por lo tanto, la energía que atraviesa la unidad de área llamémosla ϵ .

$$\epsilon \approx A_0^2 \quad A_0 : \text{Amplitud}$$

$$A_0 = k \sqrt{\epsilon}$$

$$\epsilon = \alpha / r^2 \rightarrow$$

$$\epsilon = k' \cdot 1/r$$

La amplitud es inversamente proporcional a la distancia a la fuente

Atenuación de la Energía Elástica

Pérdida de energía por absorción elástica $\approx e^{-qr}$.

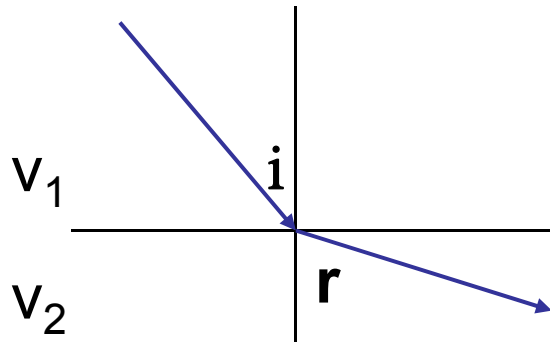
$$A = A_0 e^{-qr} / r$$

q : Constante de Absorción del medio

Depende de f .

$q_h > q_l$: las altas frecuencias se absorben más que las bajas.

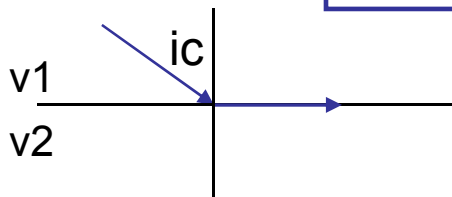
Refracción-Ley de Snell



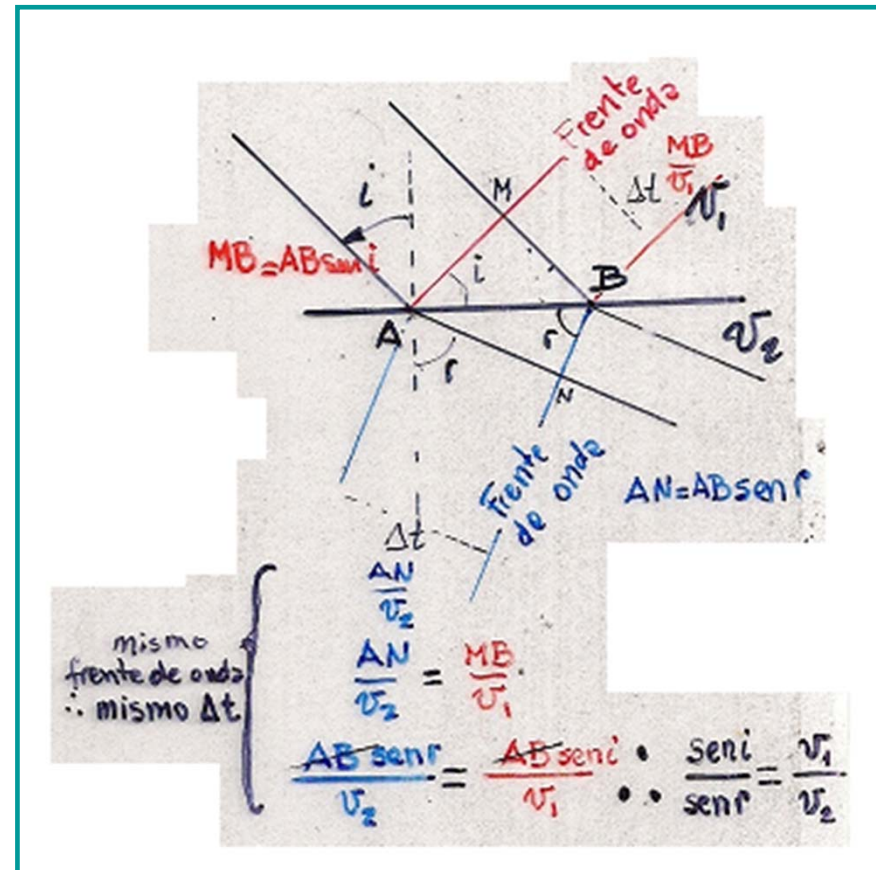
$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_1}{v_2}$$

Ángulo Crítico

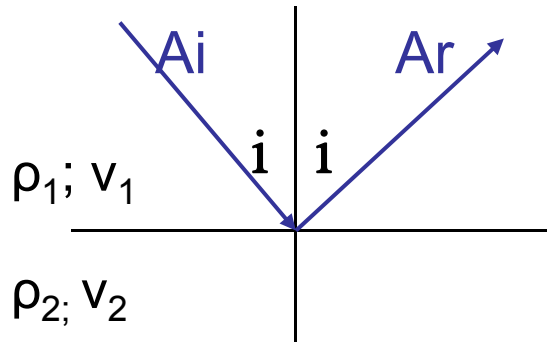
$$\sin i_c = v_1/v_2$$



Deducción



Reflexión



ρ_i : densidad del medio

A_r : amplitud onda reflejada

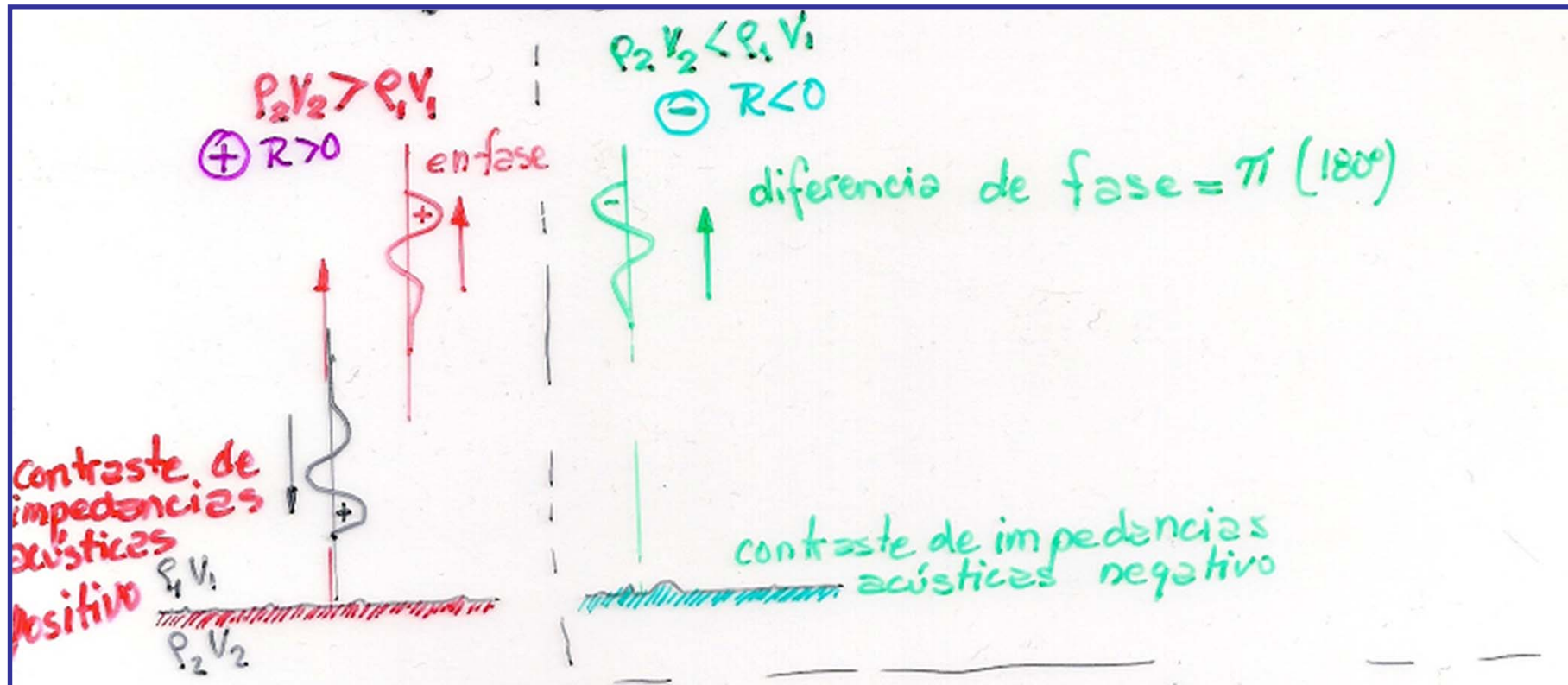
A_i : amplitud onda incidente

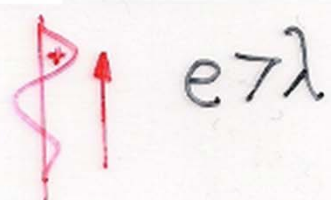
$\rho.v = \text{impedancia acústica}$

Relación entre la onda incidente y reflejada: relación de amplitudes para incidencia perpendicular ($i=0$)

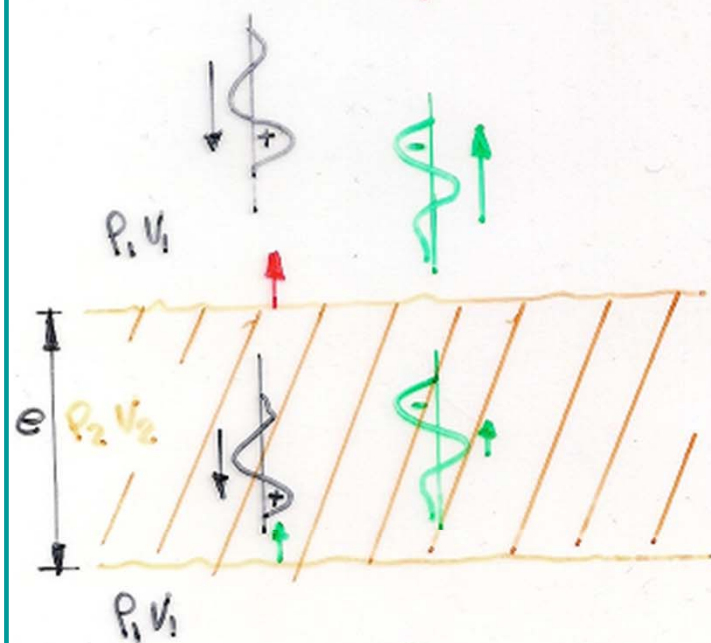
$$(A_r/A_i)_{i=0} = (\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1) / (\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1) = R \quad \text{Coeficiente de Reflexión}$$

AAPG – Memoir 26 (1977)

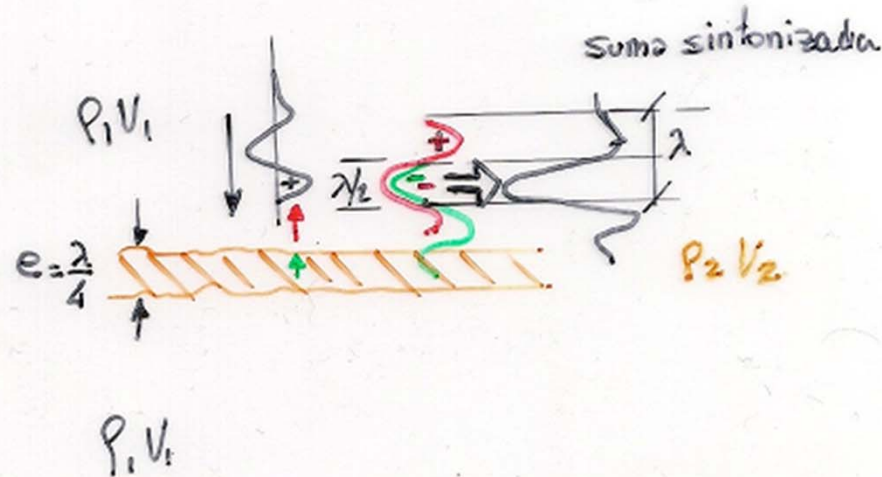




$$e = \frac{\lambda}{4}$$



$$P_2 V_2 > P_1 V_1$$



Velocidad de Grupo

—

Velocidad de Fase

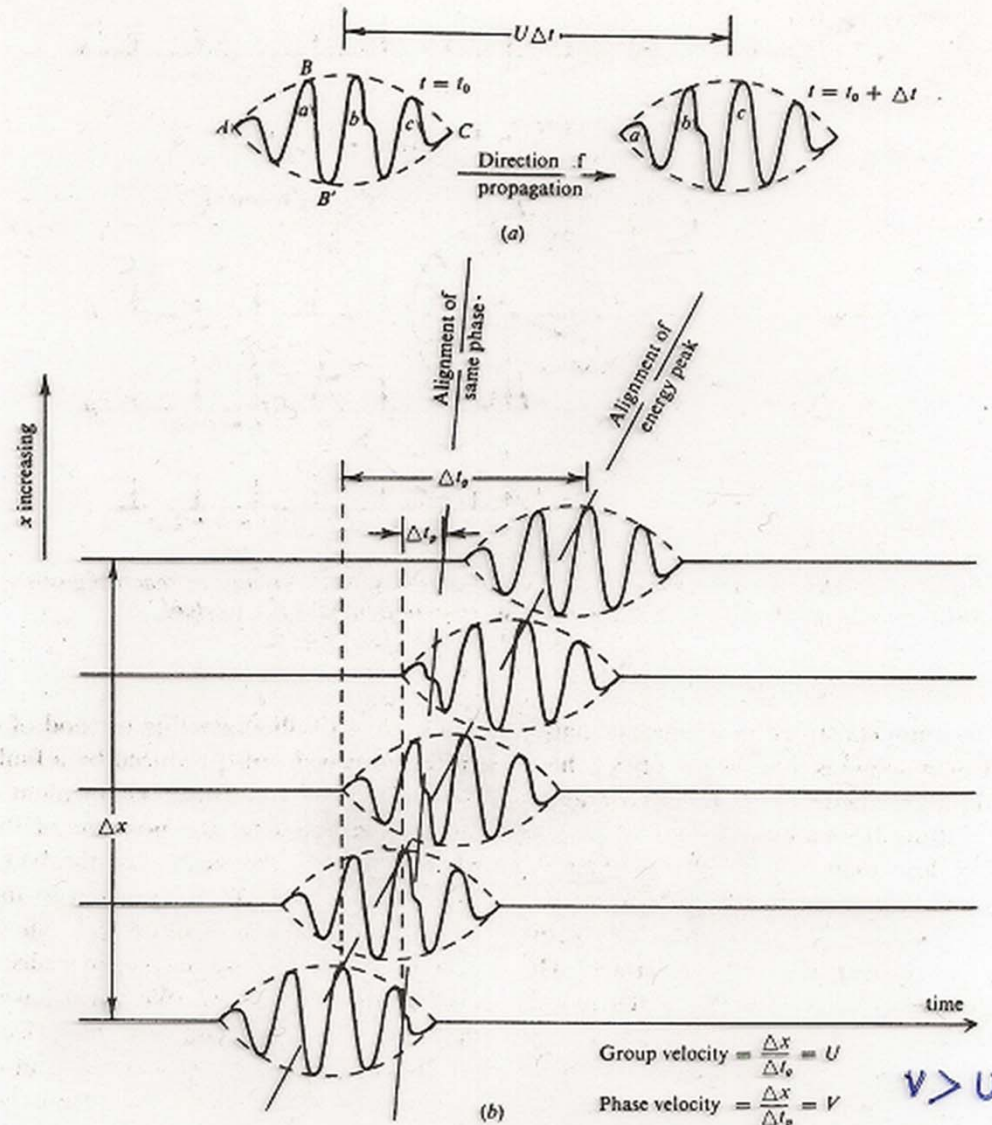


Figure 4.14. Comparison of group and phase velocities. (a) Definition of group velocity U . (b) Arrival of a dispersive wave at successive geophones.

