

2. SISMOIKA

Lurrean zehar uhin mota desberdinak nola transmititu ikertzen duen geofisikaren atala da. Gorputz gehienak elastikoak dira, beraz, uhinak gorputzen zehar igaro daitezke, energia gorputzetan zehar hedatuz.

Erabilera. Eskualdeko egiturak antzemateko metodo azkar eta merkea da. Hidrokarburoen bilaketan izan du arrakasta handia → profil sismikoak, uhinen bidez ateratako interpretazioa baitira.

Zertan datza? Lurrazalean mailu baten bitartez leherketa bat egiten da, uhin sismikoak eraginez (deformazio elastikoak izanik energia transmisioa). Esan beharra dago, geruzen artean dentsitate desberdintasun txikia dagoela normalean eta ondorioz energia guztia transmititu egiten da. Bera, ez dago islapenik eta informazio hori sismografoak edo geofonoak (doitasuna txikiagoa) jasotzerik eta profil-sismikoa eraikitzerik.

Uhin horien uhin-abiadura eta denbora jakinda, abiadura lor genezake. Guk bidai denbora erabiliko dugu.

Uhin luzera (Wavelength (**m**)): Faseko bi gandor edo bi konpresioaren arteko distantzia

Amplitudea (Amplitude (**m**)): Inflexio puntuen arteko altuera edo distantzia

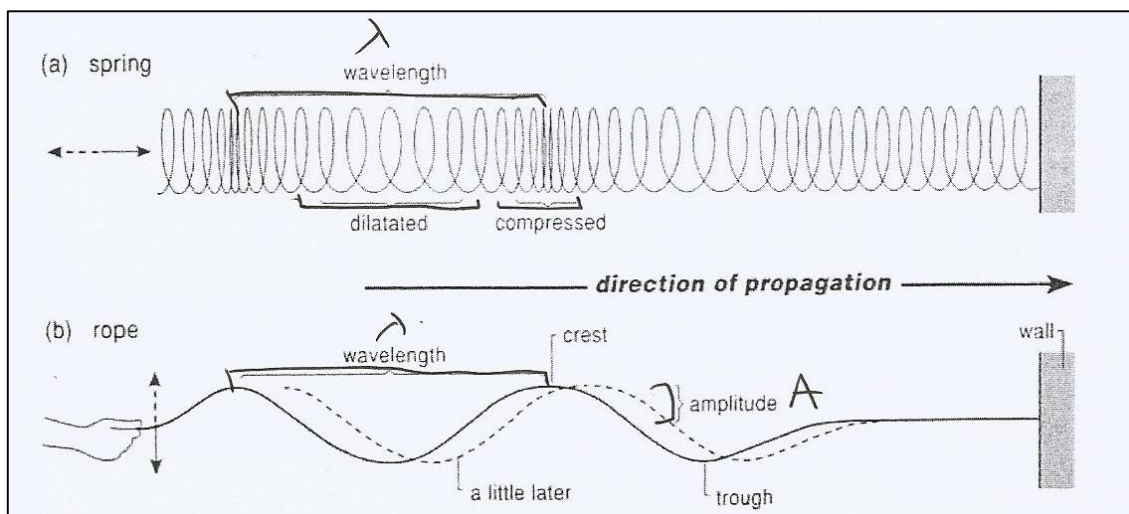
Periodoa (Period (**s**)): Ziklo baten bidaia-denbora.

Uhin frekuentzia (Wave frequency (**1/s**)): Segundu batean puntu finko batetik igarotzen den gontz/konpresio kopurua.

Uhin abiadura: $V = \text{frekuentzia} * \text{uhin-luzera}$. $1/s * m = m/s$

$$\text{Ad.: } v = 2 \text{ km/s} \quad f = 10\text{Hz} \quad v = f * \text{landa} \rightarrow \text{landa} = v/f = 2/10 = 0,2 \text{ km}$$

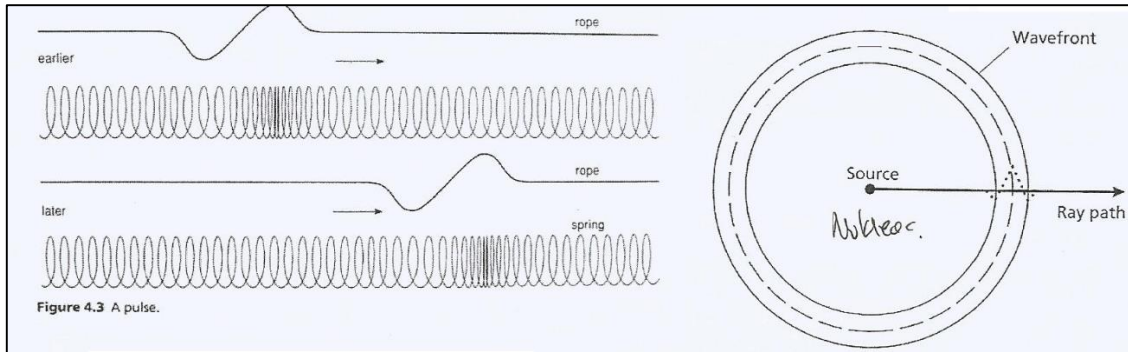
Beraz, abiadura handiko uhinak dira. Gainera uhin-luzera askotan, aztertutako eremuko geruzek duten potentzia baino handiagoa (minimoa = landa/4) da eta ondorioz, profil sismikoetan doitasuna eza ematen da (geruzak detektatzean zailtasuna).



Pultsu sismikoa (Pulse): Uhin sismikoz osatutako uhin multzo laburra → Gorputz homogeneousan hedatuz gero, abiadura berdina da norabide guztietan.

Uhin frontea (Wavefront): Denbora barean pultsu bat iritzi den puntu guztiak lotzen dituen gainazala (3D,2D).

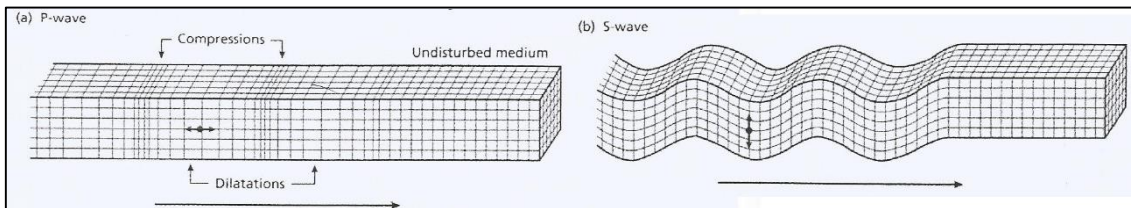
Izpi sismikoa (Ray): Propagazio norabidea. Uhin frontearekiko perpendikular. Uhin zein izpiak energia iturritik kanporantz hedatzen dira eta energia galduz doaz. Ez dute benetako esanahirik, propagazio norabidea hobeto ikusteko erabiltzen baitira.



Uhin Motak

GORPUTZ UHINAK (Body Waves): Elastikoak diren arroka gorputzetan hedatzen diren uhinak.

Bi mota → P,S



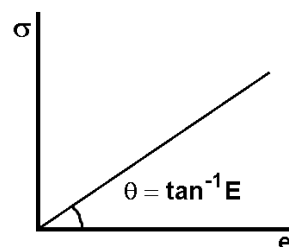
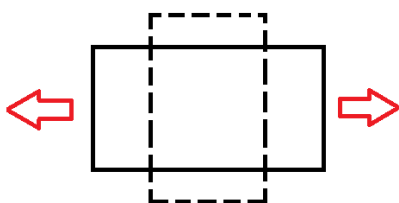
A) P UHINAK: V handia eta ondorioz sismografoa lehenengo irizten diren uhinak dira. Konpresio zein dilatazio elastikoa eragiten dute. Eta hauen norabidea transmisioarekiko paraleloa izaten da. Uhina gorputzean dagoen bitartean konpresioa/dilatazioa mantendu egiten da.

$$V_p = \left(\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{d} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{\psi}{d} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{E}{d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

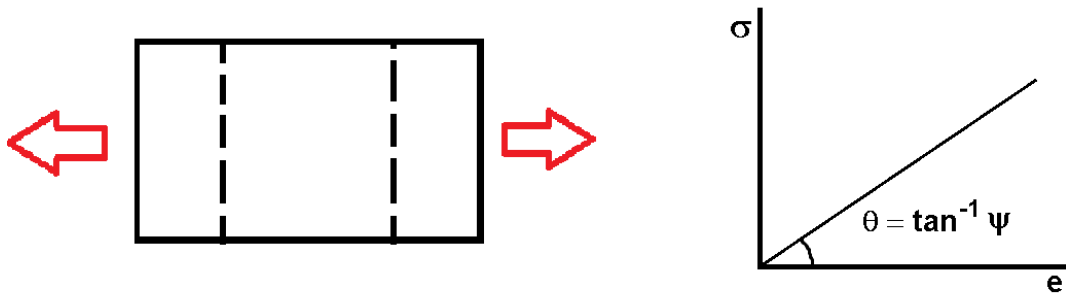
K (kappa)= Bulk modulua **μ (mu)**= Shear modulua **ψ (psi)**= Axial modulua **E (epsilon)**= Young modulua

2016 – 02 – 02

ZIZAILA PURUA (Pure Shear Strain) (E) Alde batean luzatu eta bestean moztu. $\sigma = E * e$ (Epsilon)

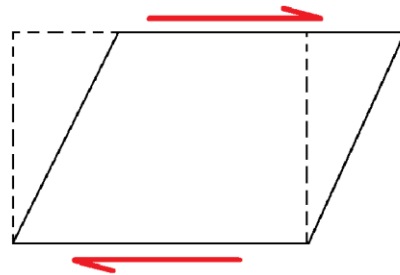
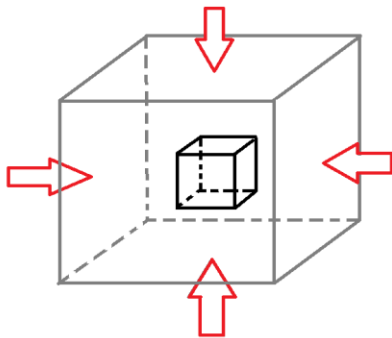


KOMPRESIO UNIAXIALA (Uniaxial Compression) (yq) Alde batean luzatu soilik. $\sigma = \psi * e$ (Axial)



HIDROSTATIKOA (K) $P = K * \Delta V/V$ (Bulk)

ZIZAILA SIMPLEA (u) $\tau = \mu * \gamma$ (Zizailazkoa)



$$V_p = \left(\frac{K + \frac{4}{3}\mu}{d} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{psi}{d} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(\frac{E}{d} \right)^{\frac{1}{2}}$$

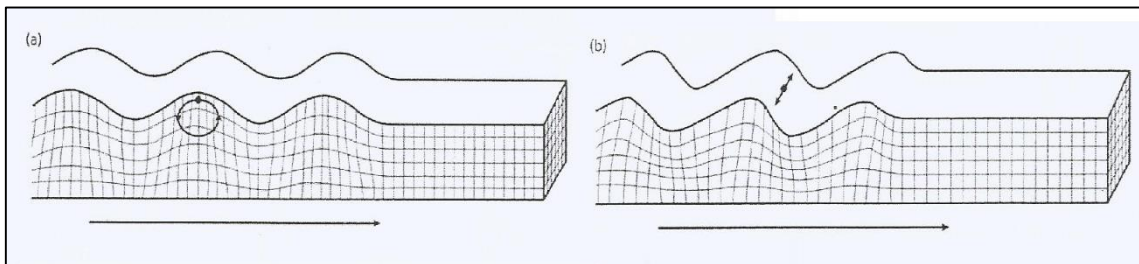
ρ behean egon arren, modulu desberdinak ere dentsitatearen menpe daudenez, ρ gora joan ahala abiadura ere igotzen da.

B) S UHINAK (Zizaila uhinak, zeharkakoak, bigarren mailakoak): S uhinen mugimendua uhin-sismikoen transmisioaren norabidearekiko perpendikularra da. Likidoetan ez da transmititzen, $\mu = 0$ delako eta ondorioz $V_s = 0$.

$$V_s = (\mu / \rho)^{1/2}$$

SISMIAKAKO ARIKETA GEHIGARRIAK (moduluenak) begiratu

AZAL UHINAK: Gorputzen mugetatik eta gorputzen desberdinen arteko mugetatik hedatzen diren uhinak dira.



A) RAYLEIGH UHINAK (Rayleigh waves): Uhin sismikoek eragiten duen partikulen mugimendua eliptikoa da eta uhin sismikoen transmisioaren kontrako norantza hartzen duena (itzulera-uhinen

edo retrograde-waves eraketa). Mugimendua gainazalarekiko perpendikularra den plano batean ematen da eta uhin transmisioarekiko paralelo ($V_R = 0.9 V_S$).

B) LOVE UHINAK (Love waves): Partikulen mugimendua lineala da eta S bezala baina mugimendu plano horizontalean ematen da bertikalean izan beharrean. Mugimendua uhin transmisioarekiko paralelo ematen da ($V_{S\text{Top}} < V_L < V_{S\text{Bot}}$).

Uhin abiadura (Seismic velocity): Energia sismikoak eragiten duten uhinek gorputz arrokatu batean hartzten duten abiadura.

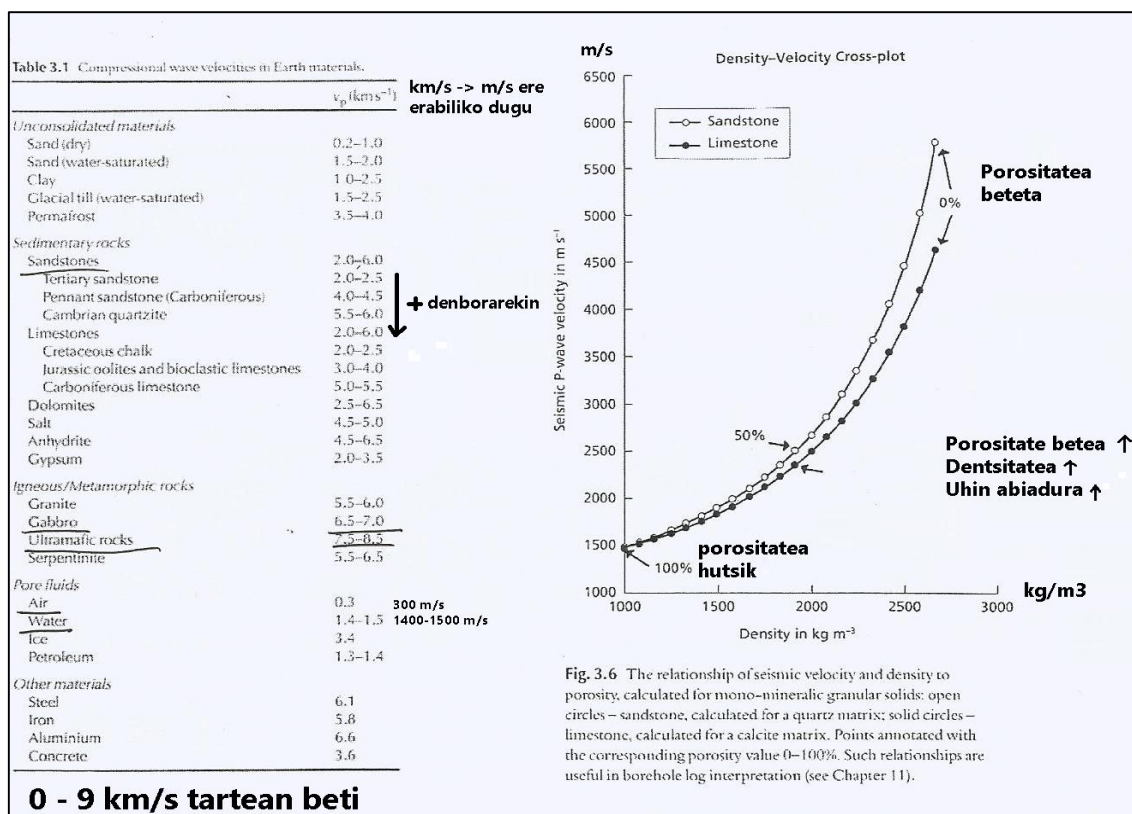
Partikula Abiadura (Particle velocity): Uhin sismikoek eraginda, gorputz jakin bateko partikulek hartzten duten abiadura. Uhin abiadurarekiko desberdina.

Zerena arabera da uhin abiadura? 1-Elastikotasun modulua | 2-Konposizioa | 3-Porositatea | 4-egitura | 5-Fluido Konpresioa | 6-Dentsitatea

Zergatik ikertu? Arroken informazioa ematen duelako, arroka mota desberdinek uhin abiadura desberdinak dituzte. Uhin abiadura denborak sakoneran bihurtu daitezke eta informazio berri bihurtu.

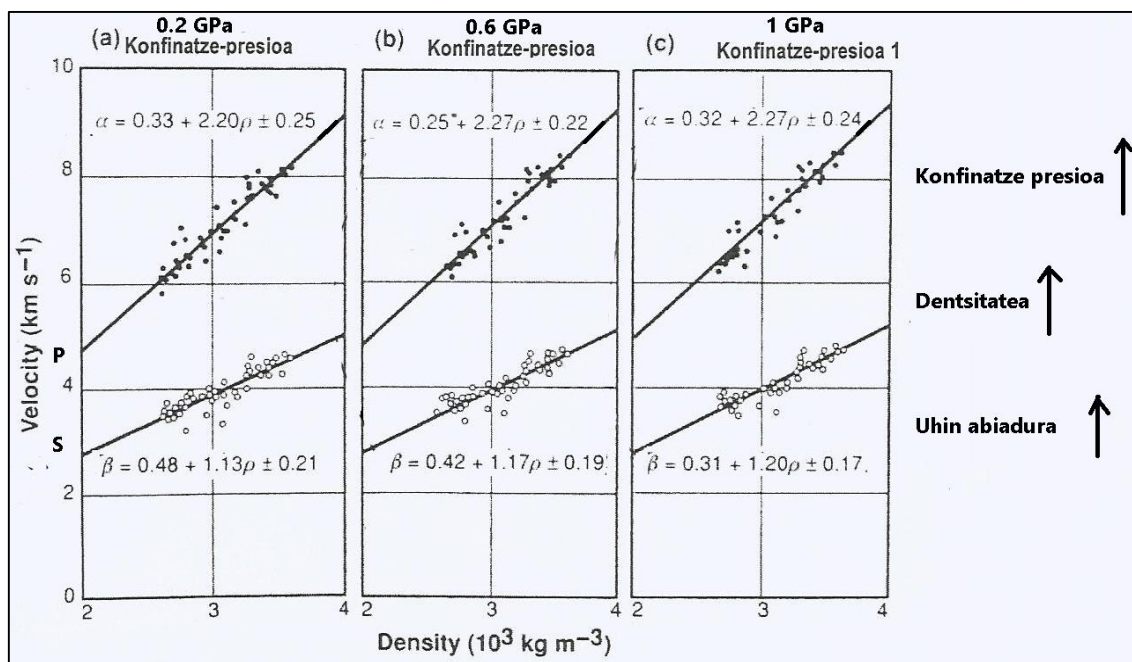
Laboratorioko esperimientuek honelako informazioa ematen dute:

- A) P uhinen abiadura konfinatze-presioarekin handitzen da.
- B) Arroka mota batzuetan (Hha, Kha) P uhinen abiadurak sakonerarekin eta adinarekin handitzen dira (trinkotze/dentsitate/porositate).
- C) Arroka sedimentarioak (Ad.: Hha) jariakinak izanez gero VP eta VS arteko erlazio txikitu egiten da. $VP/VS > 2 \rightarrow$ Trinkotu gabeko Hha | $VP/VS < 2 \rightarrow$ Gasa duen trinkotu gabeko edo trinkotutako Hha.

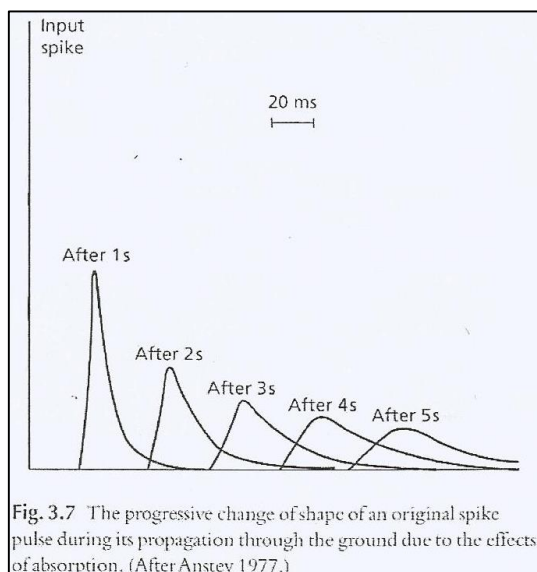


BYRCH-EN LEGEA (Birch Law)

$$y = mx + n \rightarrow v = a\rho + b$$



ENERGIA SISIMIKOAREN INDAR GABETZEA



- Iturrian eragin energia ematen da eta kanpoalderantz hedatzen da.
- Hedatzen den heinean energia galduz doa eta beraz, zenbat eta urrunago orduan eta energia gutxiagoko pultsua izango dugu.
- Uhin fronteko m^2 bakoitzak izango duen energia: $E_{m2} = E_0 / 4\pi R \rightarrow R \text{ gora} \rightarrow D \text{ gora} \rightarrow E \text{ bera}$
- Grafikak adierazten du, uhinaren anplitudea, uhina sortu den momentutik X segundotara. $|S \text{ gora} \rightarrow A \text{ behera}|$ eta anplitudeen arteko lerroa funtzio esponentzialarena da. $E=A^2$.
- M^2 bakoitzeko energien arteko batura 0 s-ko energiaren (E_0) berdina izango da. Hau ez da gertatzen ingurunea elastikoa ez denean eta energia xurgapena ematen denean.
- Azken kasu honetan xurgapen koefizienteaz hitz egin behar da. Koefiziente honek adierazten digu zein distantziara arte heldu daitekeen energia.
- **Xurgatze Koefizientea** (Absorption coefficient α): Uhin baten λ distantzian, hedatutako uhin batek, galtzen duen energia sismikoaren kopurua.

$$0.25 < \alpha < 0.75 \text{ dB (Dezibelioa)}$$

$$\text{Dynamic Range} = 10 \cdot \log_{10} (E_{\max}/E_{\min}) = 20 \cdot \log_{10} (A_{\max}/A_{\min}) \text{ (dB)}$$

Adibidea: $V = 2 \text{ km/s}$ $f = 100 \text{ Hz}$ $\alpha = 0.5 \text{ dB}$ $E_{\text{xurgapena}} 200 \text{ --tan??}$

$$V = f * \lambda \rightarrow \lambda = V / f \rightarrow \lambda = 2 / 100 \rightarrow \lambda = 0.02 \text{ km} = \underline{20\text{m}}$$

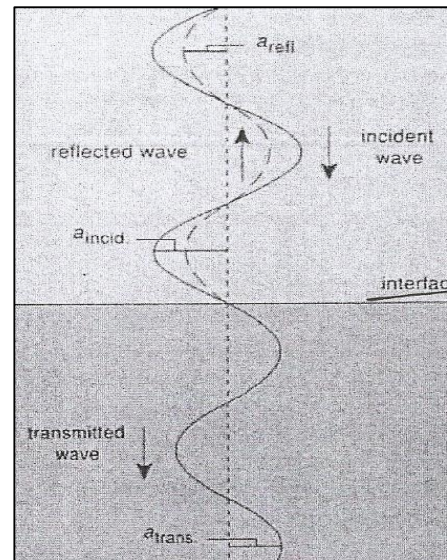
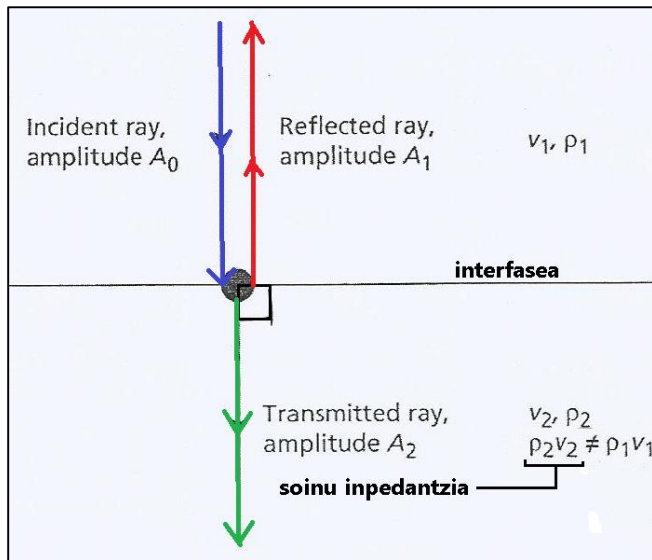
$$20 \text{ m} \text{ ----- } 0.5 \text{ dB} \quad \quad \quad \underline{X = 5 \text{ dB}}$$

$$200 \text{ m} \text{ ----- } X \text{ dB}$$

$$\text{Dynamic Range} = 20 * \log_{10} (A_{\text{max}}/A_{\text{min}}) \rightarrow \underline{A_{\text{max}}/A_{\text{min}}} = \text{Arclog} (5/20) = \underline{1.778}$$

*Beraz, iturriko anplitudea 1.778 aldiz handiago da momentukoa baino.

GAINAZALAREKIKO PERPENDIKULARRA DEN IZPI ERASOTZAILEAREN ISLAPENA ETA TRANSMISIOA



Anplitudea \rightarrow iturriko anplitudearen araberakoa \rightarrow islatutako $A \leq$ iturriko A

2016 – 02 – 03

Soinu Inpedantzia (acoustic impedance): Z

$$Z = V\rho \text{ (kg s}^{-1} \text{ m}^{-2}\text{)}$$

Islatze koefizientea (Reflected coefficient): $R = A_1/A_0$ | $R' = I_1/I_0$

$$R = \frac{v_2\rho_2 - v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \rightarrow R' = \left(\frac{v_2\rho_2 - v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1}\right)^2 = \left(\frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}\right)^2$$

Transmisio koefizientea (Transmission coefficient): $T = A_2/A_0$ | $T' = I_2/I_0$

$$T = \frac{2 v_1\rho_1}{v_2\rho_2 + v_1\rho_1} = \frac{2 Z_1}{Z_2 + Z_1} \rightarrow T' = \frac{4(v_2\rho_2 * v_1\rho_1)}{(v_2\rho_2 + v_1\rho_1)^2} = \frac{4 Z_1 Z_2}{(Z_2 + Z_1)^2}$$

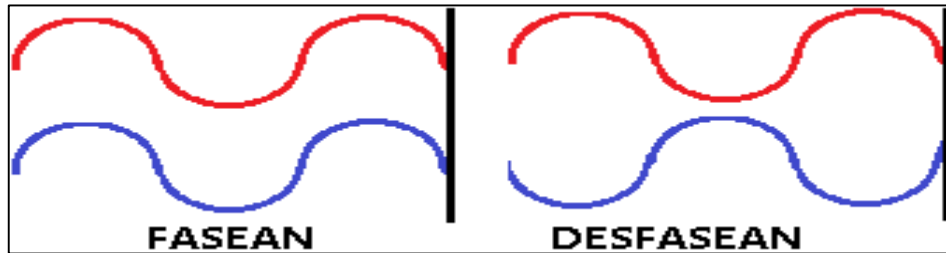
$$\underline{R' + T' = 1} \text{ (isotropoa, energia galerarik ez, xurgapen koefizientea 0)}$$

ISLATZE/TRANSMISIO ARIKETA ADIBIDEAK [begiratu](#)

BESTE METODOAK R KALKULATZEKO

$R = 0.625 \ln (V_1/V_2) \rightarrow$ Laburbilduz $+1/-1$ tartean geratzen dira balioak.

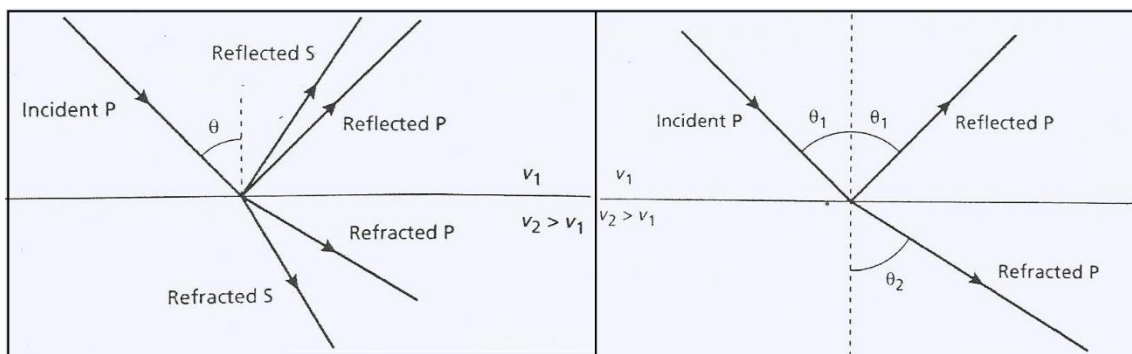
- R eta $R' = 0 \rightarrow$ Energia guztia hedatzen da | Geruzek ez dute soinu-inpedantzia kontrasterik.
- R eta $R' = +1 / -1 \rightarrow$ Energia guztia islatzen da | $Z_1 = 0$ ($\rho = 0$, $v = 0$) Adb.: Oihartzuna.
- Islatutako izpiak fasean (+1) edo desfasean (-1) iritz daiteke.



Oro har: R arroketa $< +/- 0.5^\circ \rightarrow$ Gehien bat: R arroketa $< +/- 0.2$

GAINAZALAREKIKO ZEHIARRA DEN IZPI ERASOTZAILEAREN ISLAPENA ETA TRANSMISIOA

Soinu inpedantzia desberdina duten geruzen arteko gainazalean ematen da. Kasu honetan P uhina gainazalarengan zeiharka irizten da eta bertatik islatutako bi uhin (P , S) eta errefraktatutako bi uhin (P , S) eratzen dira.



Izpi erasotzaileak gainazalarekiko perpendikularra den planoarekin hartzen duen angelua θ da eta islatutako izpiak angelu berdina erakutsiko du gainazalaren perpendikularra den planoarengan. Errefraktatuaren kasurako abiaduraren arabera eta eremu bakoitzean dagoen soinu inpedantziaren arabera da, hori Snell-en legearen bitartez lortzen da.

SNELL-EN LEGEA

$$\sin \theta_1 / v_1 = \sin \theta_2 / v_2 \rightarrow$$

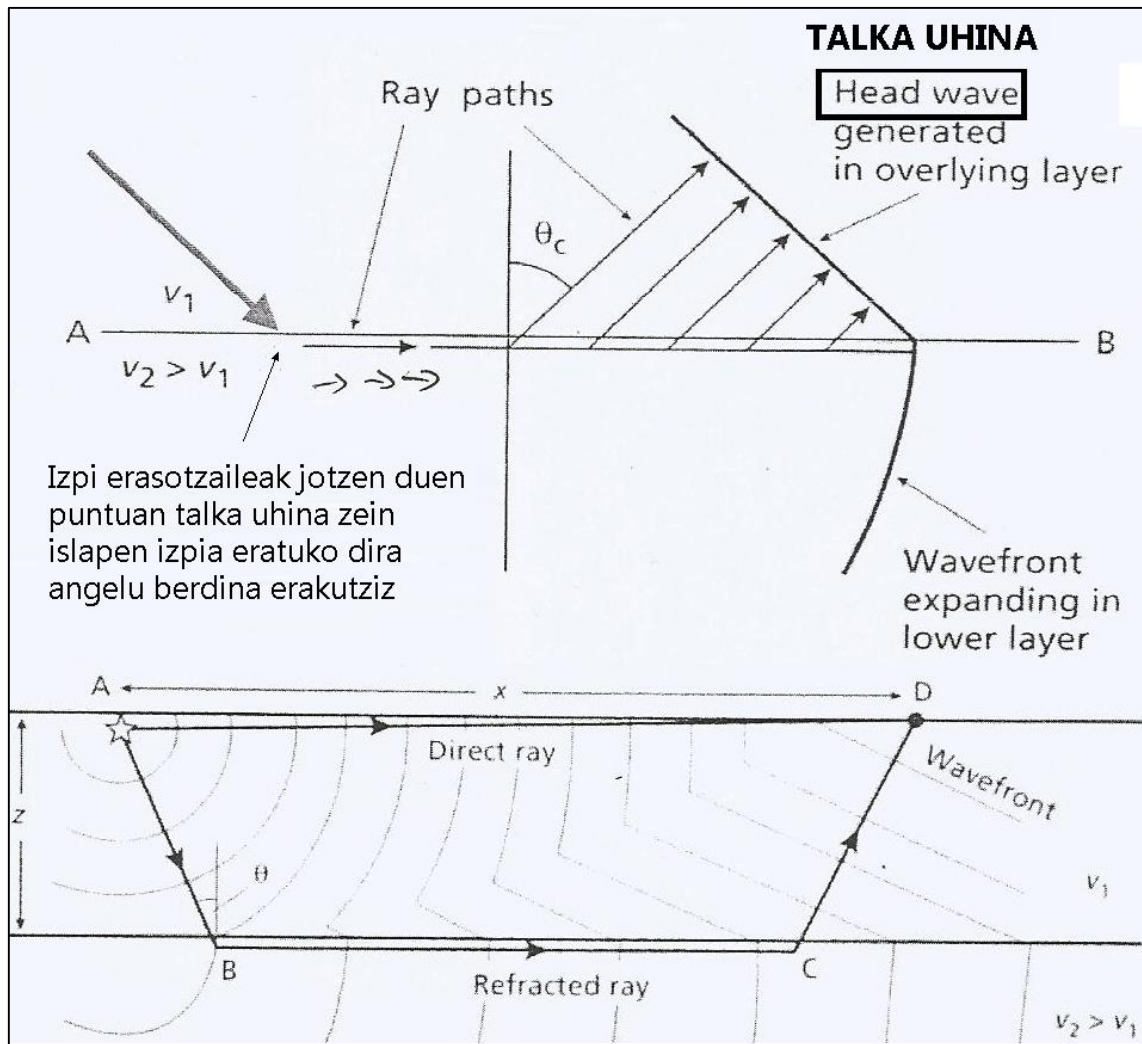
$$\sin \theta_{\text{era}} / v_{\text{era}} = \sin \theta_{\text{erre}} / v_{\text{erre}}$$

Angelu Kritikoa (Critical angle): Erasotze angelu jakin bat non bertatik sortutako errefrakzio izpia gainazalarekiko perpendikularra den planoarekiko 90° ko angelua osatzen duen. Beraz kasu honetan $\sin \theta_{\text{erre}} = \sin 90^\circ = 1$.

$$\sin \theta_{\text{era}} / v_{\text{era}} = 1 / v_{\text{erre}} \rightarrow$$

$$\theta_{\text{era}} = \arcsin (v_{\text{era}}/v_{\text{erre}})$$

Baina nola jaso errefraktatutako P uhinen informazioa? Informazioa hori uhin berezi batzuetatik lortzen da. Uhin hauek talka uhinak edo headwave-ak dira, hauek angeluko kritikoari dagokion uhin errefraktatua interfasetik doan bitartean eratzen diren uhinak dira. Uhin hauek ingurunekeo abiadura baino azkarrago doaz eta horrek eragiten du hauen sorrera. Headwave-ek gainazalarekiko perpendikularra den planoarekin angelu kritikoa izanik irtetzeen dira eta izpia interfasean dagoen bitartean dihoaz sortuz sortu izpiak energia guztia galdu arte. Esan beharra dago izpia erasotzaileak angelu kritikoaz erasotzen den puntuan talka uhina eratzeaz gain, angelu berarekin bueltatzen den islapen uhina eratzen dela, beraz, kontua eduki beharra dago kasu horretan.

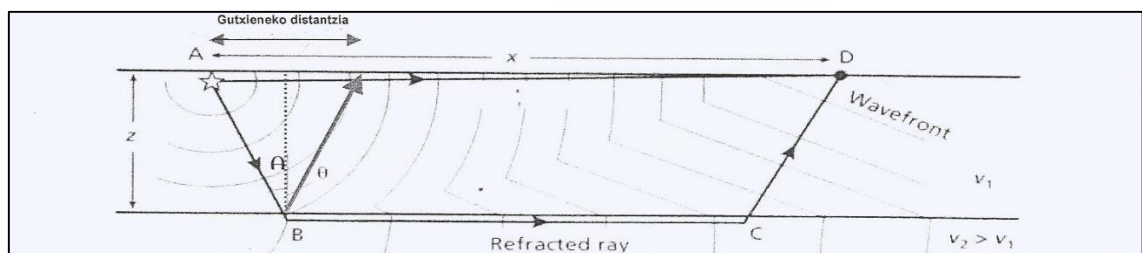


Beraz, talka uhin hauek ezin dira edozein tokitan agertu. Talka uhinak eratzeko **gutxieneko distantzia** ondorengoa da.

$$\text{Tg } \theta_{\text{Er. A. K.}} = (G.D. / 2) / z$$

→

$$G.D. = D.C. = 2 z \text{ tg } \theta$$

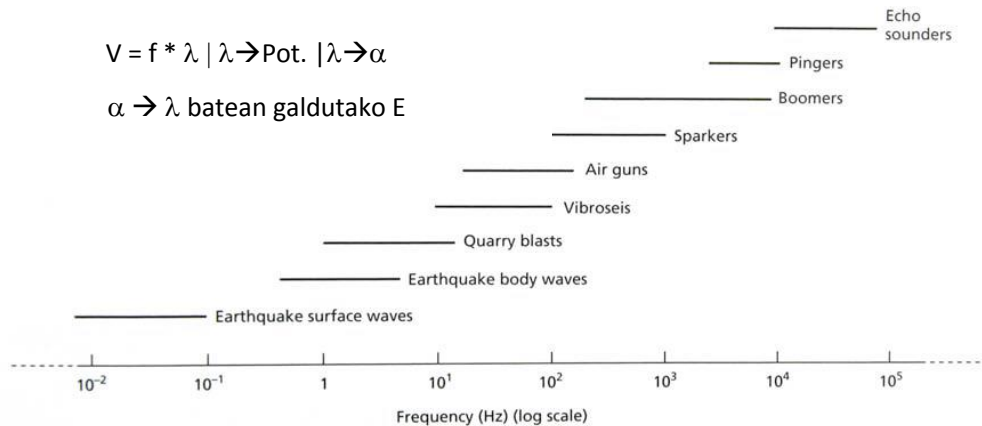


2016 – 02 – 04

Nola jaso seinaleak? → Uhin sismikoek objektuen mugimendua eragiten du eta hau inpultsu elektriko bihurtzen da.

LERRO SISMOKOA:

Iturria: Uhin sismikoak berdina izan behar dute, hots, indar berdina. Mailua (E txikia | Kablea erabiltzen mailua ordenagailuarekin konektatzeko | 6-8 kg). Zutabe- mailua, hidraulikoa (20kg). Leherkariak (Baimena behar da). Vibroseis, mailu hidraulikodun kamioa → Dimentsio eta E altua. Distantzia horizontalean eta sakonena hedapen handiago izateko.



Hartzailea: Geofonoa. Zoruan sartzen da, bertan kobrezko nukleo eta zilindro oso sentisiblerik daude eta energia elektriko sortzen da, uhinek eragitutako bibrazioetatik.

Ordenagailua: Datuak sinkronizatzeko, energia iturria eta hartzailearen uhin-bidai denbora edo erretardoa. Pantailan adieraziz.

Hartzaileak lerro batean ezartzen da eta ordenadorea erdia jartzen da. Kolpea nahi den tokian eman ahal da (Oro har: lehenengo geofonoaren alboan). Iturriaren kokapena aldatuz gero bidai-denbora aldatu egiten da informazio desberdina emanez.

UHINEN IRUDIKAPEN GRAFIKOA

Denbora vs Distantzia. Hiru uhin ematen dira: Uhin-zuzena, -islatua, -erretraktatua.

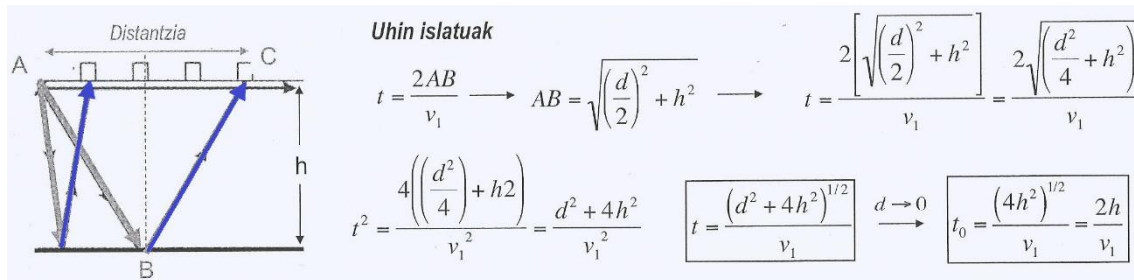
Uhin zuzenak: Lurraletik hedatzen diren uhinak dira eta iturrik hartzaileara zuzen-zuzenean doa islatu edo erretraktatu gabe. Lehenengo irizten direna uhinak dira. **Lerro** forma t / d grafikoan.

$$V = d / t \rightarrow d = V * t \rightarrow t = 1/V * d$$

$$\text{Lerro zuzenaren ekuazioa: } y = mx + n \mid n = 0 \quad m = 1 / V \quad y = t \quad x = d$$

Beraz, $V = 1 / m$, abiadura maldaren alderantzizkoa da.

Uhin islatua: Uhina iturritik irten gainazalean islatu eta geofono eta sismografora irizteko behar duen denbora. Hots, TWTT (two way travel time), joan-etorri bidai denbora. Kasu honetan **hiperbolaren** forma hartzen du t/d grafikoan. Eta hiperbolaren asintota lerroa uhin zuzenaren lerroa da. Zenbat eta urrunago iturritik lerroen arteko paralelotasuna handitzen da.



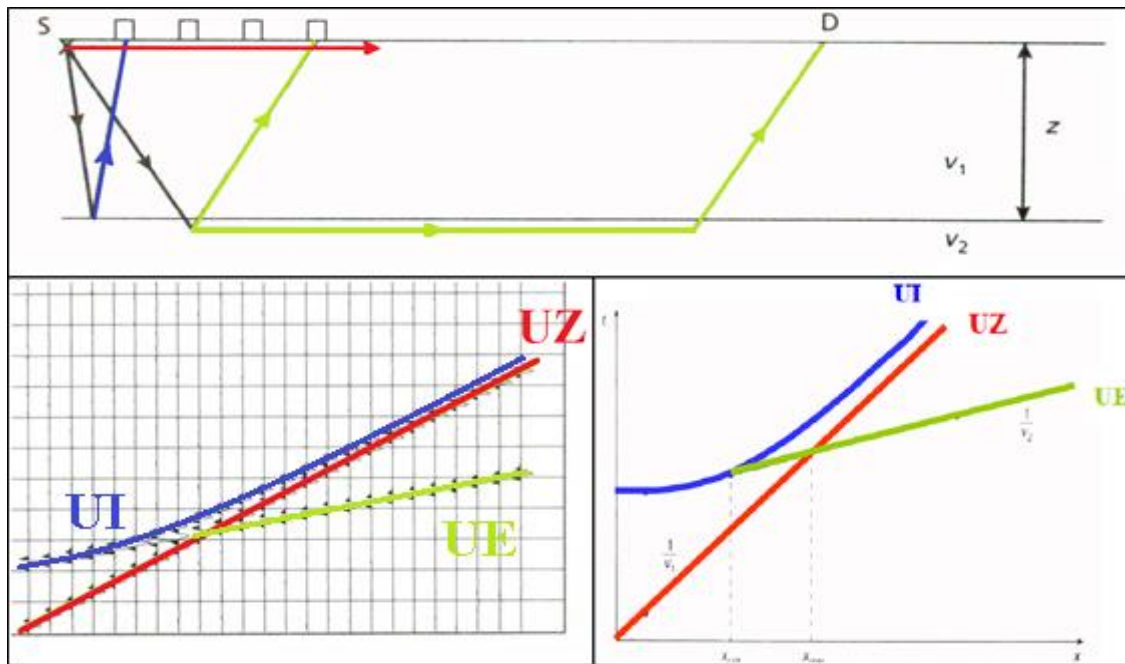
2016 – 02 – 09

Uhin errefraktatua: Uhinak iturritik azal islatzailera joan eta bertatik geofonora dagoen distantzia egiteko bidai denbora. Denbora vs Distantzia grafikan lerro zuzen baten forma hartzen du \rightarrow Domokronika.

Bidai-denbora: $t = AB/v_1 + BC/v_2 + AB/v_3 \rightarrow t = 2AB/v_1 + BC/v_2 \rightarrow t = 2(\cos\theta \cdot h)/v_1 + X/v_2$

$y = n + mx \rightarrow m = 1/v_2 \rightarrow v_2 = 1/m \mid t_{0e} = 2(\cos\theta \cdot h)/v_1 = t_{0i}$

$AB = CD \rightarrow$ gainazal eta zorua paraleloak eta horizontalak direnean



$X_{crit} \rightarrow$ Gutxieneko distantzia $\mid X_{cros} \rightarrow$ UZ eta UE elkartzen diren puntuaren distantzia. Beraz, $UZ = UE$.

	$< X_{crit}$	X_{crit}	$X_{crit} - X_{cros}$	X_{cros}	$> X_{cros}$
UZ	1	1	1	1	2
UI	2	2	3	2	3
UE	--	2	2	1	1

Interfase kopurua gora, seinale kopurua gora, beraz, geofonoan lehenengo seinaleak kontuan hartu. UI ez dira inoiz lehenengo irizten. Beraz kasu honetan UZ eta UE izango ditugu.