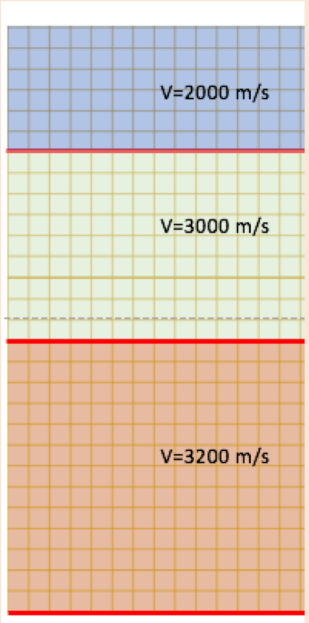
HABLEMOS DE
sísmica

www.hablemosdesismica.com



Velocidades Sísmicas (1)

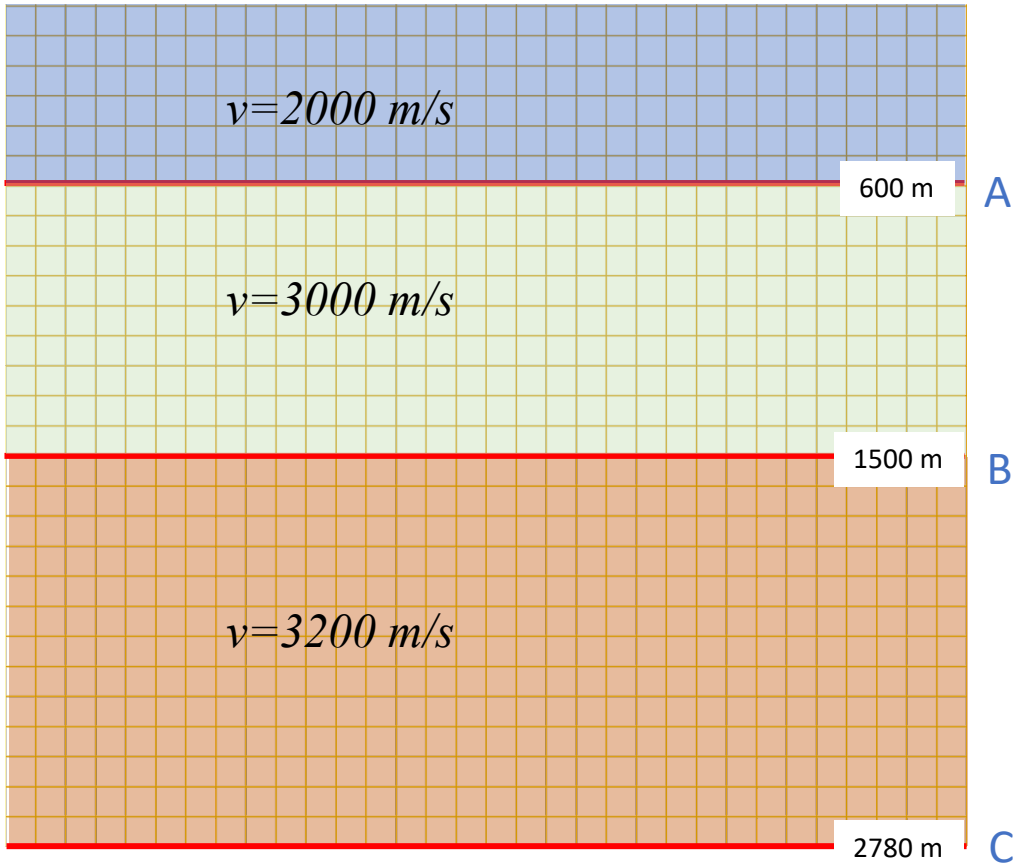
Intervalo, rms y promedio

Nov 2019

HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com

$$V_{rms}{}^2 = \frac{\sum v_i^2 t_i}{\sum t_i} \qquad V_{prom} = \frac{\sum v_i t_i}{\sum t_i}$$



v_i: Velocidad en el intervalo i

t_i: Tiempo dentro del intervalo i

Velocidades de intervalo, rms y promedio.

Horiz	Capa	v_i	Dz	t_i	$v_i{}^2 t_i$	$v_i t_i$	$\sum v_i^2 t_i$	$\sum v_i t_i$	$\sum t_i$	Vrms	Vprom
	1	2000	600	0.3	1200000.0	600					
A							1200000	600	0.3	2000	2000
	2	3000	900	0.3	2700000.0	900					
B							3900000	1500	0.6	2550	2500
	3	3200	1280	0.4	4096000.0	1280					
C							7996000	2780	1.0	2828	2780

Casillas en rojo son datos de entrada

www.hablemosdesismica.com

HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com

Velocidades Sísmicas (1)

PARA RECORDAR

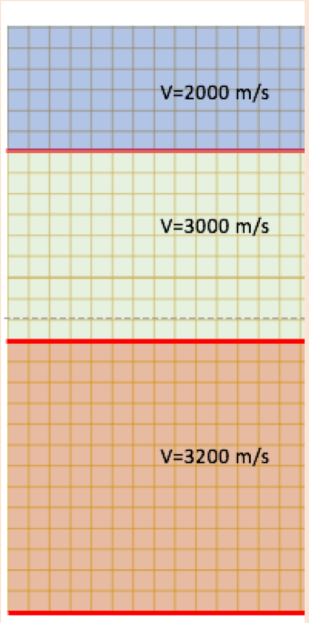
- Las velocidades rms y **promedio** se refieren a horizontes. Las **velocidades de intervalo** a capas.
- Por definición, las **velocidades rms** están relacionadas con las **velocidades de intervalo**.
- La **velocidad rms** es cercana a la **velocidad promedio** (generalmente un poco mayor).
- Lo interesante de la **velocidad rms** es que puede relacionarse, EN CIERTAS CONDICIONES, con la **velocidad de apilamiento** y eso nos abre unas posibilidades interesantes que veremos más adelante.

Hablemos de sísmica!

HABLEMOS DE
sísmica

www.hablemosdesismica.com

Velocidades Sísmicas (2)



Ecuación de DIX

Nov 2019

$$V_{rms}{}^{2} = \frac{\sum v_i^2 t_i}{\sum t_i}$$

Esta ecuación permite calcular la velocidad rms a partir de las velocidades de intevalo

La ecuación inversa, que obtiene velocidades de interval a partir de las rms se llama ecuación de DIX

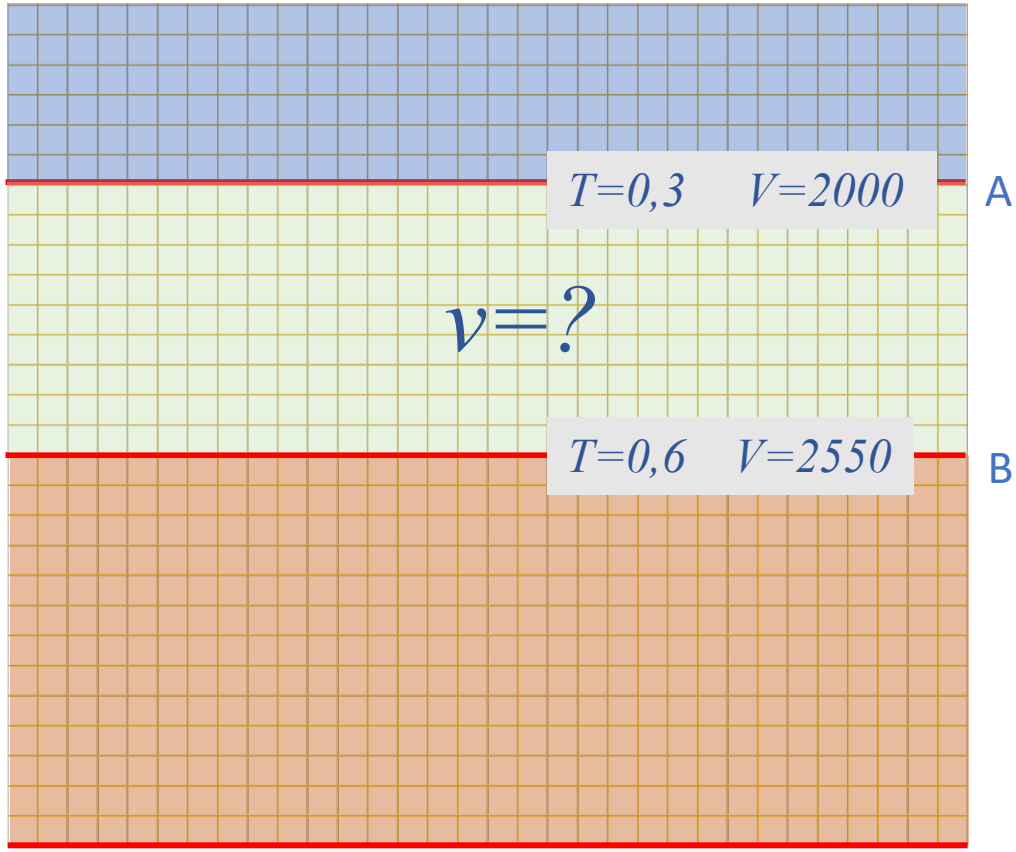
$$v_{1-2}^{2} = \frac{V_2^2 T_2 - V_1^2 T_1}{T_2 - T_1}$$

v: Velocidad de intervalo entre horizontes i e i-1
Ti: Tiempo de viaje hasta el horizonte i
Vi: Velocidad rms del horizonte i

HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com

Ejemplo:cálculo de velocidad de intervalo usando ecuacion de DIX

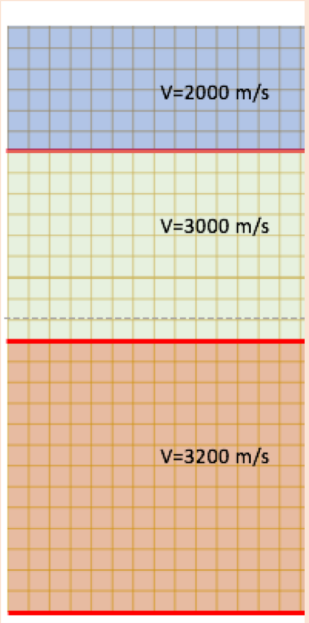


$$v^2 = \frac{2550^2 * 0{,}6 - 2000^2 * 0{,}3}{0{,}6 - 0{,}3}$$

$$v = 3000.8 \ m/s$$

HABLEMOS DE
sísmica

www.hablemosdesismica.com



Velocidades Sísmicas (3)

Velocidad de NMO

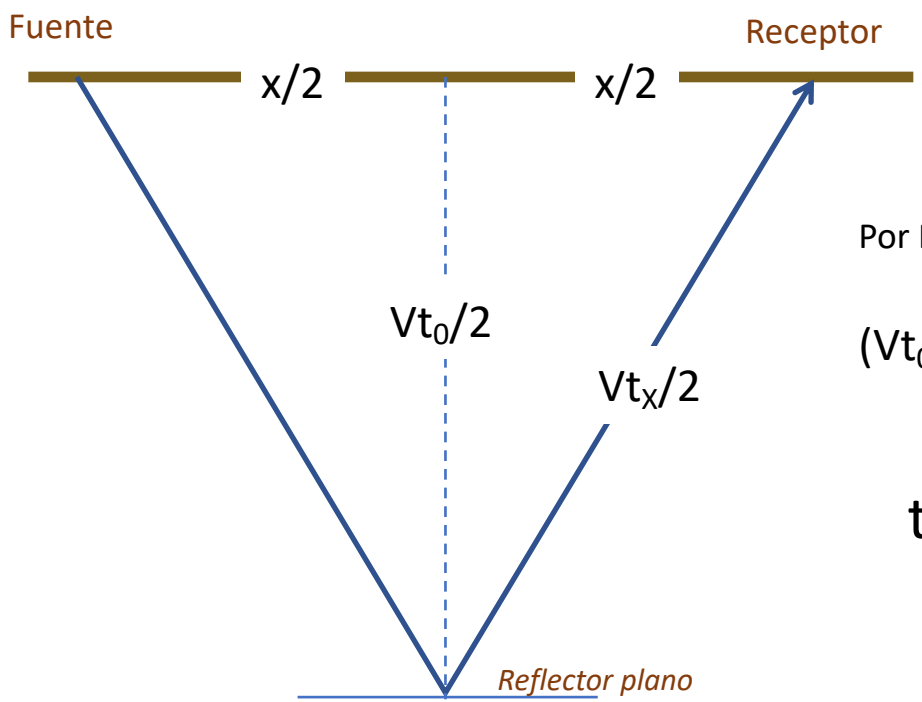
Dic 2019

HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com

Un rayo que representa una reflexión sirve para ilustrar la geometría para la deducción de la Velocidad de nmo.

Más adelante analizaremos casos con buzamiento.



Por Pitágoras…

$$(Vt_0/2)^2 + (x/2)^2=(Vt_x/2)^2$$

$$t_x^2=t_o^2+(x/v)^2$$

V: velocidad del medio
X: distancia Fuente-receptor
t_x=Tiempo de viaje desde fuente hasta receptor.
t_0=Tiempo de viaje cuando offset es cero

Ver también:

https://seabed.software.slb.com/velocity/WebHelp/velocity_model/domain_introduction/nmo_velocity.htm

Para un reflector cualquiera*, los tiempos de viaje siguen una trayectoria curva descrita por esta ecuación:

(*reflector plano, velocidad constante)

$$t_x^2 = t_o^2 + (x / V)^2$$

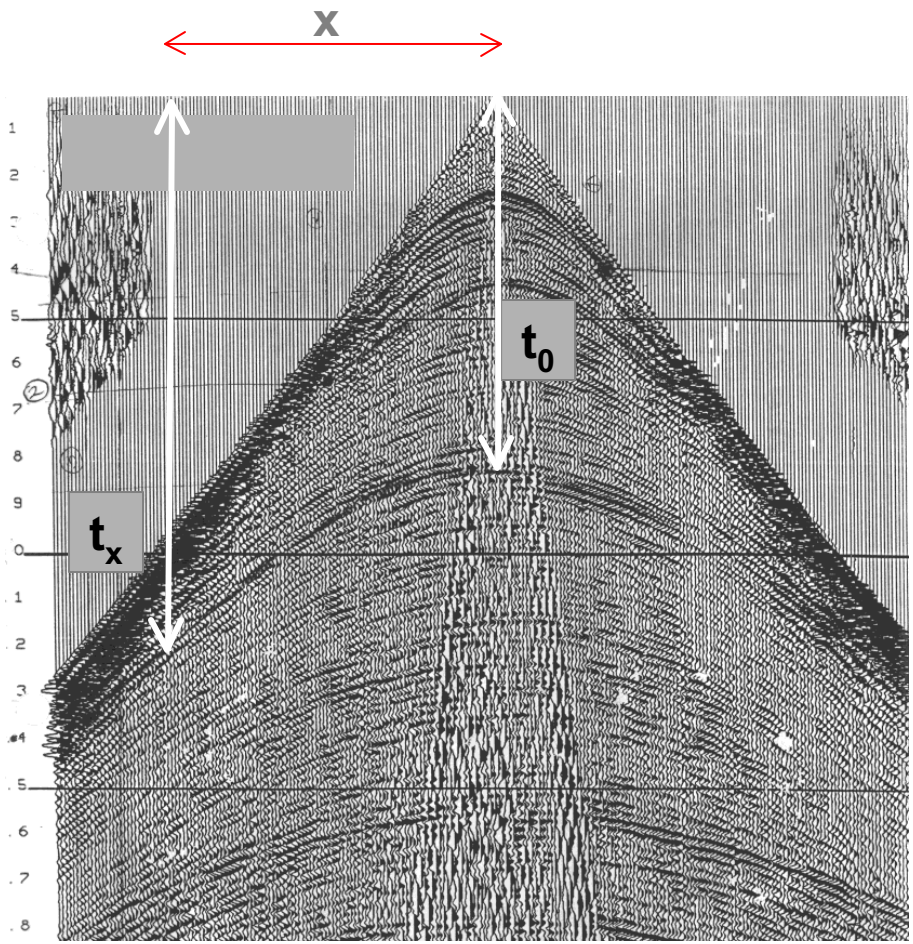
De donde

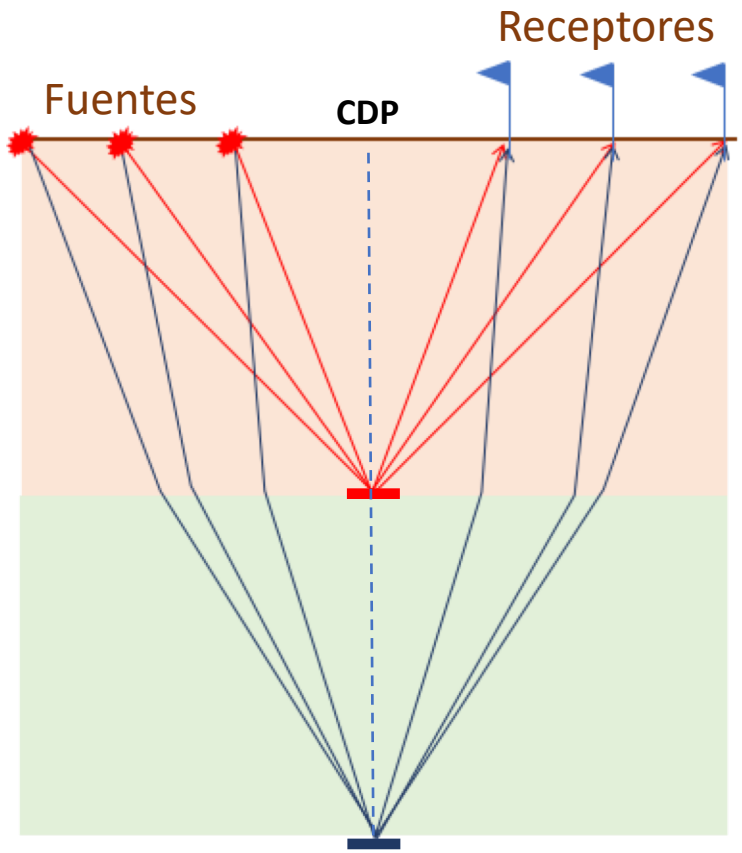
$$V = x / (t_x^2 - t_o^2)^{1/2}$$

Esta velocidad se conoce como

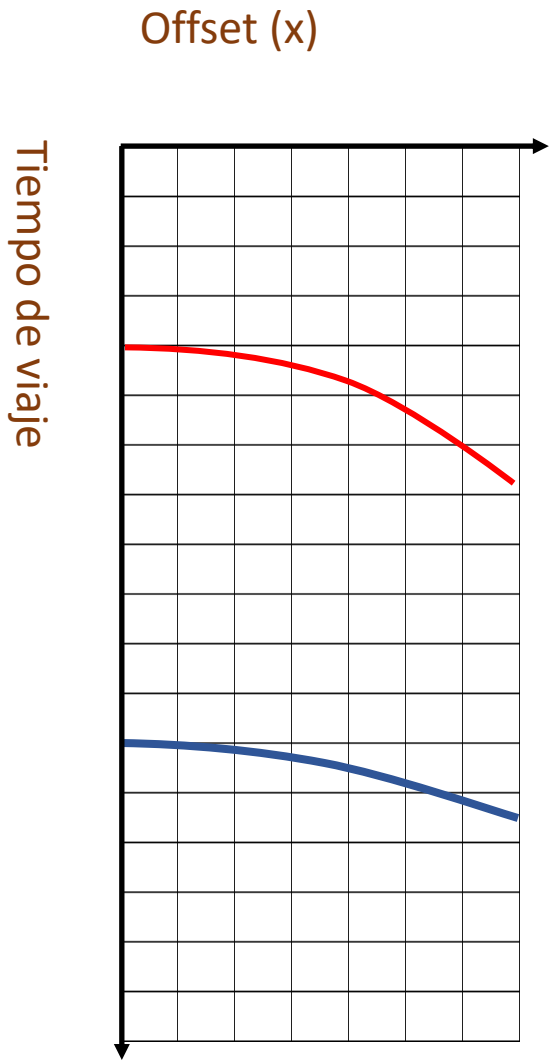
Velocidad de Normal Move Out

V_{NMO}





Offset=distancia Fuente receptor

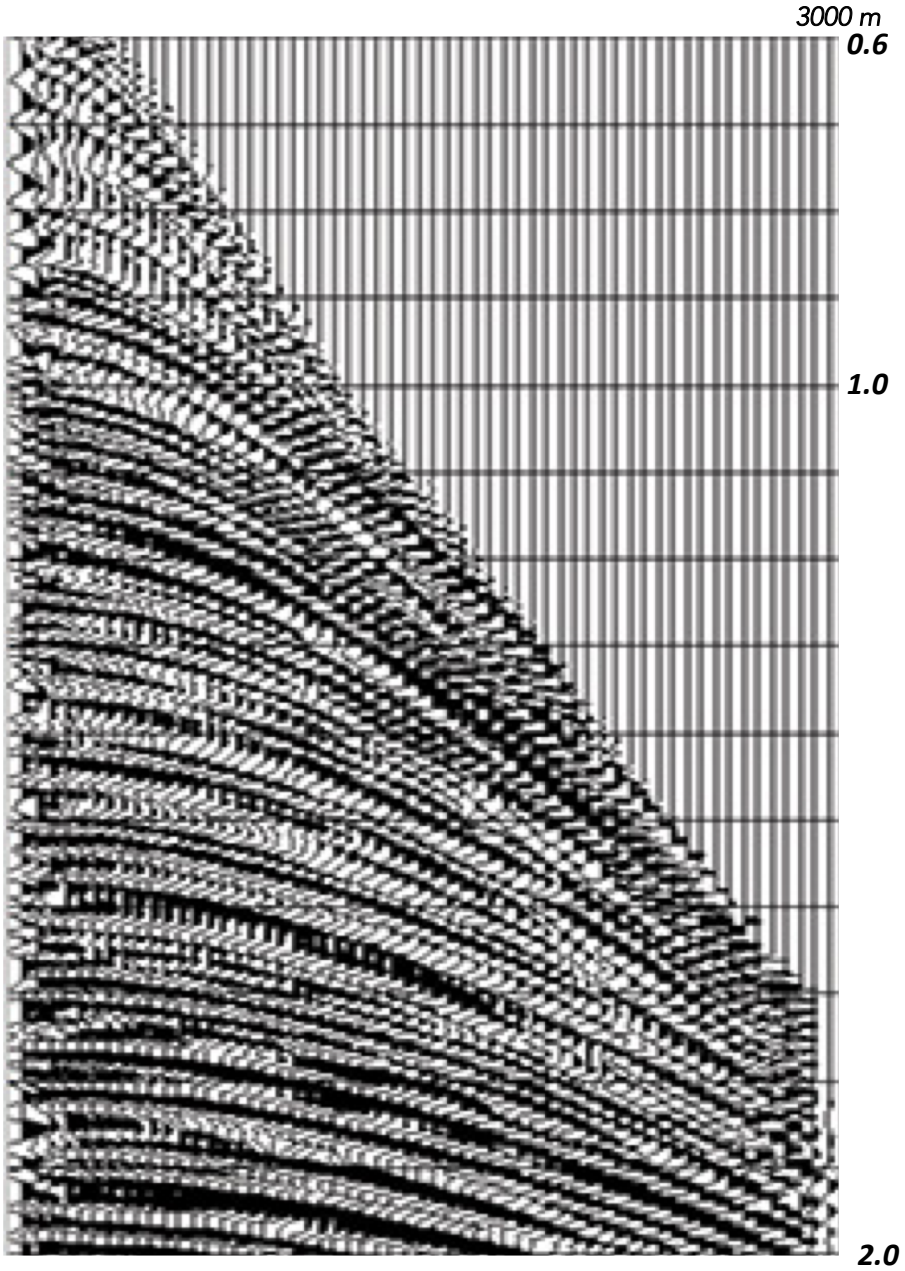


Esta curvatura está asociada a la velocidad de **todo** el medio que atraviesa la onda. En ese sentido esta velocidad sería "pariente" de la velocidad rms y de la promedio.

Entre más velocidad, menor curvatura.

HABLEMOS DE
sísmica

www.hablemosdesismica.com



http://terra-test.com/Seismic-Processing.php

EJEMPLO:

Esta imagen muestra diferentes reflexiones de eventos en el subsuelo.

La curvatura de cada reflector nos provee información acerca de la velocidad del medio.

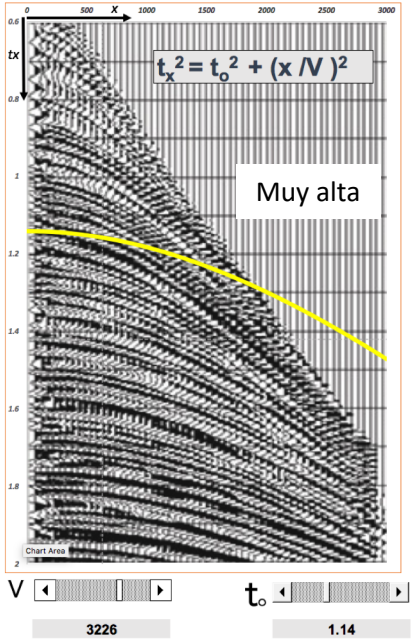
HABLEMOS DE sísmica

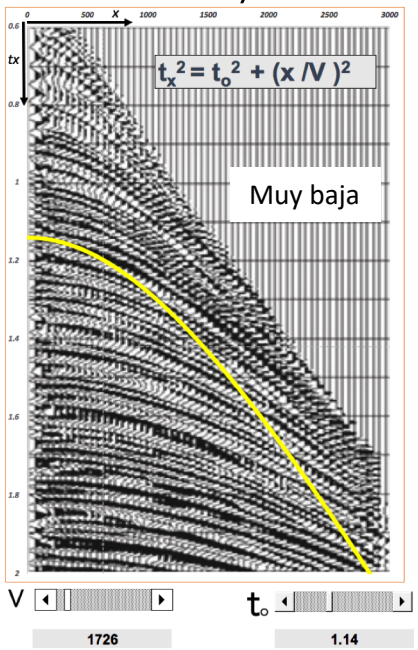
www.hablemosdesismica.com

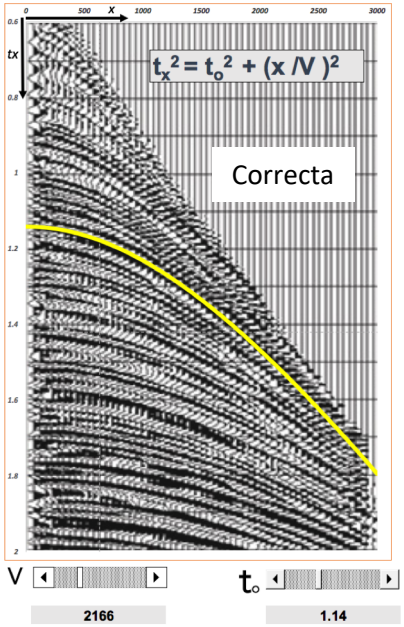
Velocidad asociada a cada reflexión.

t	*Vnmo*
0.8	*1866*
1.14	***2166***
1.59	***2806***
1.80	*3136*

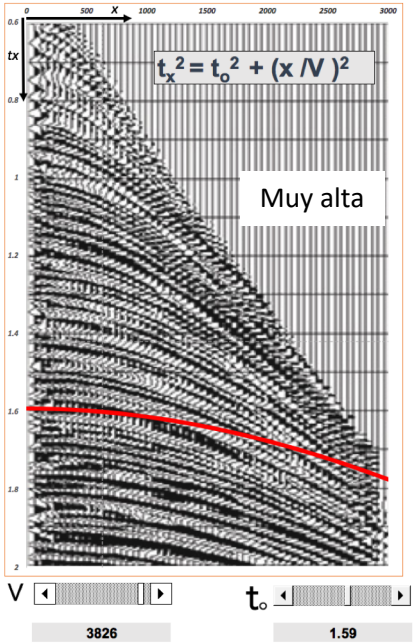
Reflector a 1.14 s, Vnmo=2166

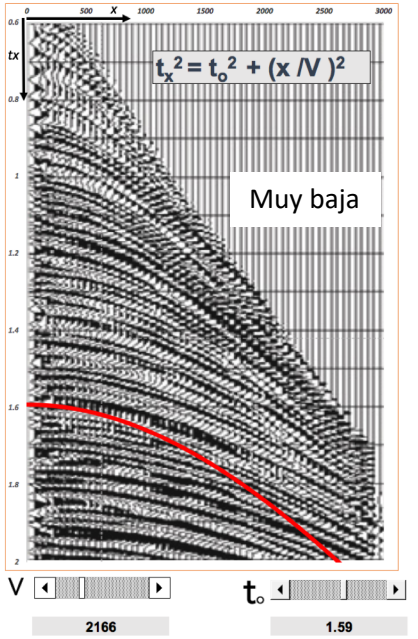


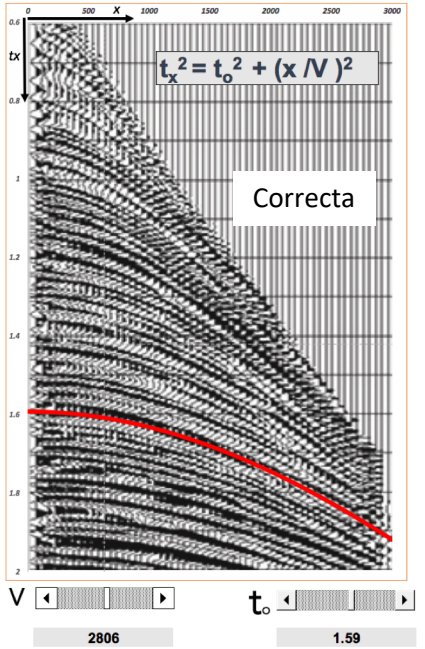




Reflector a 1.59 s, Vnmo=2806

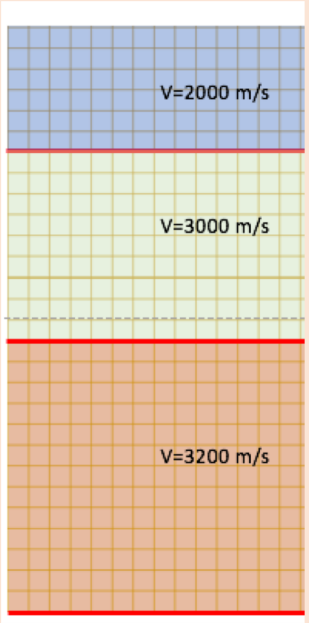






HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com



Velocidades Sísmicas (4)

Cálculos de profundidad

Dic 2019

HABLEMOS DE sísmica

www.hablemosdesismica.com

La velocidad de intervalo se puede obtener de las **velocidades rms** usando la ecuacion de DIX. Esto nos permite calcular espesores parciales y finalmente la profundidad total.

Y de qué sirve todo esto si no conocemos las velocidades rms?

Pues resulta que las velocidades de nmo en ciertas condiciones son muy parecidas a las velocidades rms. Esto es cierto pricipalmente cuando los reflectores son planos. Esto nos permite usar las velocidades de nmo como si fueran las rms y de allí podemos llegar a las intervalo y finalmente a la profundidad.

HABLEMOS DE sísmica

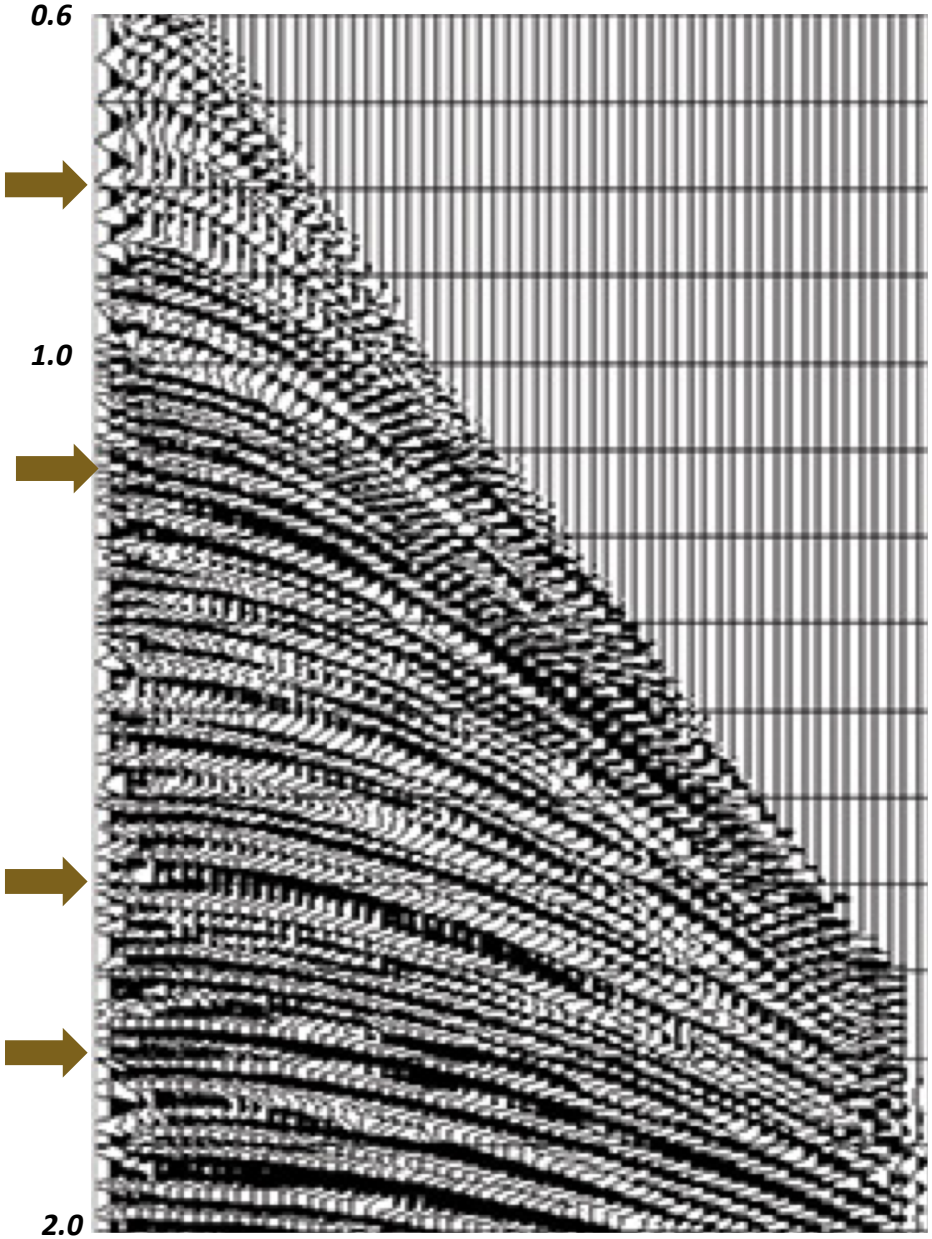
www.hablemosdesismica.com

EJEMPLO

Velocidad asociada a cada reflexión.

t	Vnmo
0.8	1866
1.14	**2166**
1.59	**2806**
1.80	3136

A que profundidades se están originando estos 4 reflectores?



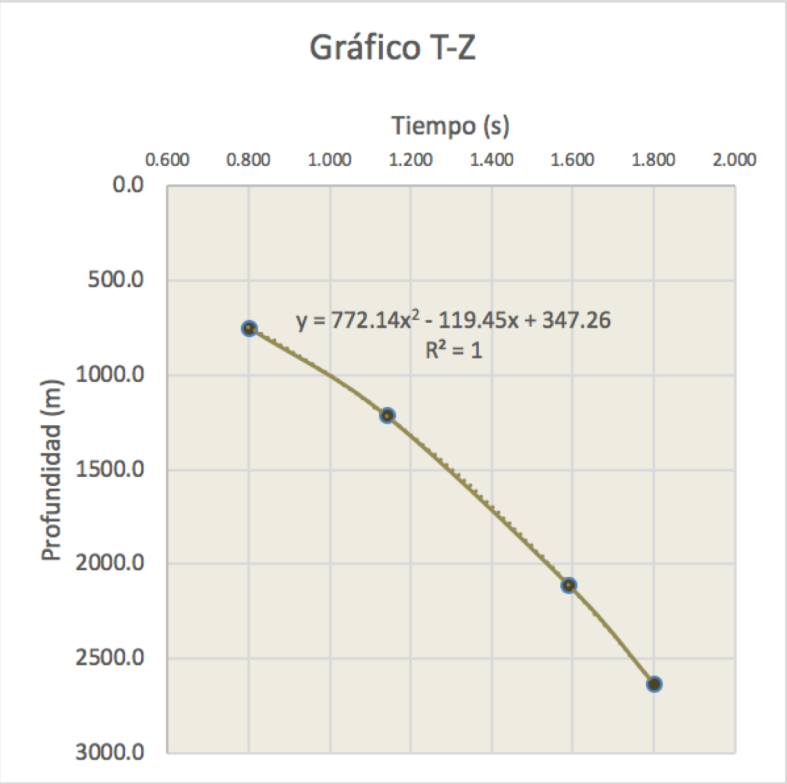
Tdoble	Vnmo =? Vrms	Vint	dz	Z	Vprom
0.800	1866	1866	746	746	1866
1.140	2166	2745	467	1213	2128
1.590	2806	3992	898	2111	2656
1.800	3136	4968	522	2633	2925

$$v_{1-2}^2 = \frac{V_2^2 T_2 - V_1^2 T_1}{T_2 - T_1}$$

$$\sqrt{\frac{2166^2 \times 1.14 - 1866^2 \times 0.8}{1.14 - 0.8}} = 2745$$

Aquí calculamos las velocidades de intervalo a partir de las rms

Así logramos tener una tabla de **tiempo** vs **profundidad** usando solo información sísmica.



También es posible definir una función t-z mediante un ajuste de mínimos cuadrados.

HABLEMOS DE sísmica

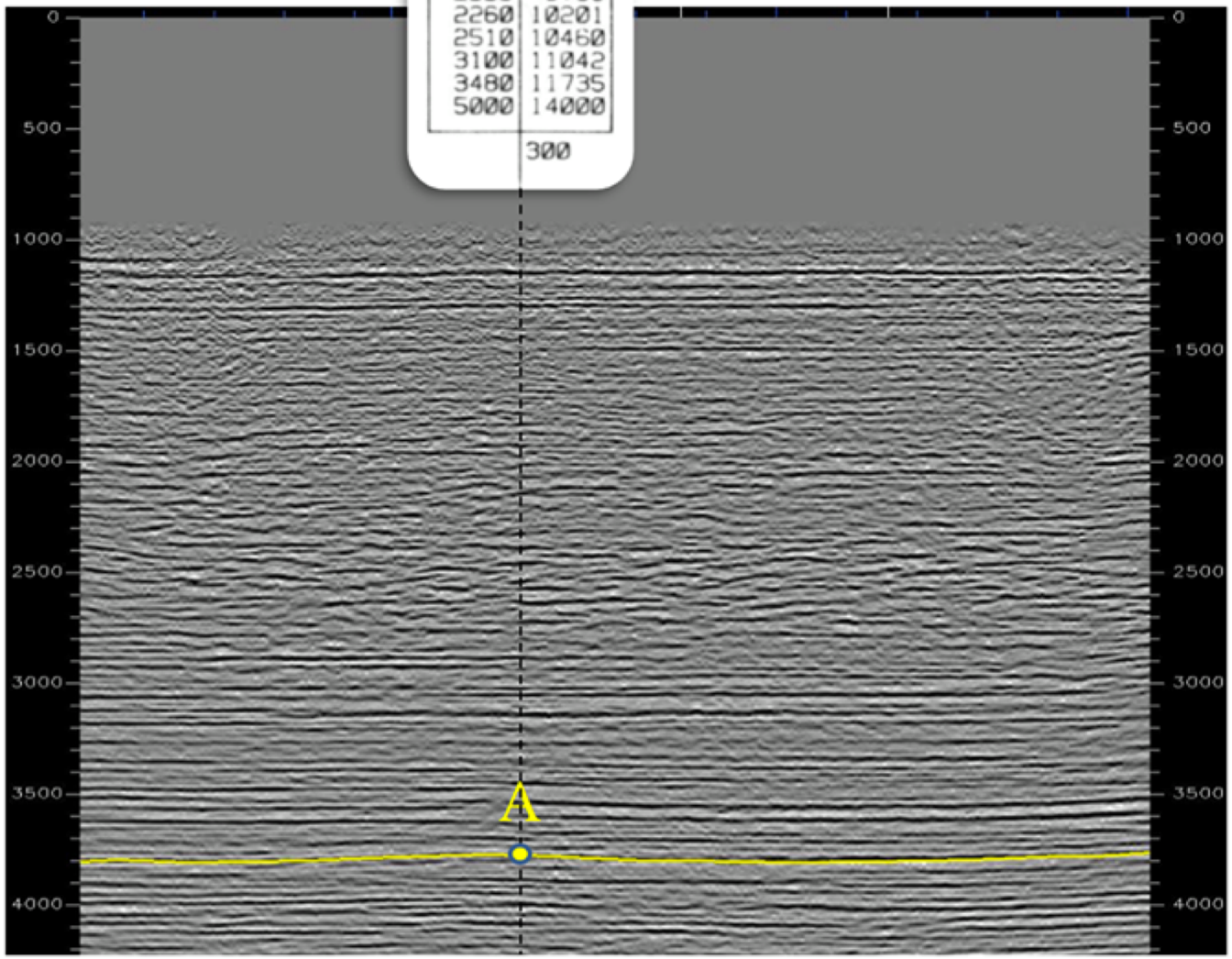
www.hablemosdesismica.com

➡ Tabla de Tiempo* vs Velocidad de apilamiento en ft/s

*TWT desde superficie en milisegundos

TIME	V
0	7000
390	7254
600	7441
1120	8361
1430	8649
1600	8805
2000	9736
2260	10201
2510	10460
3100	11042
3480	11735
5000	14000

300



Sección sísmica

FUNDAMENTOS

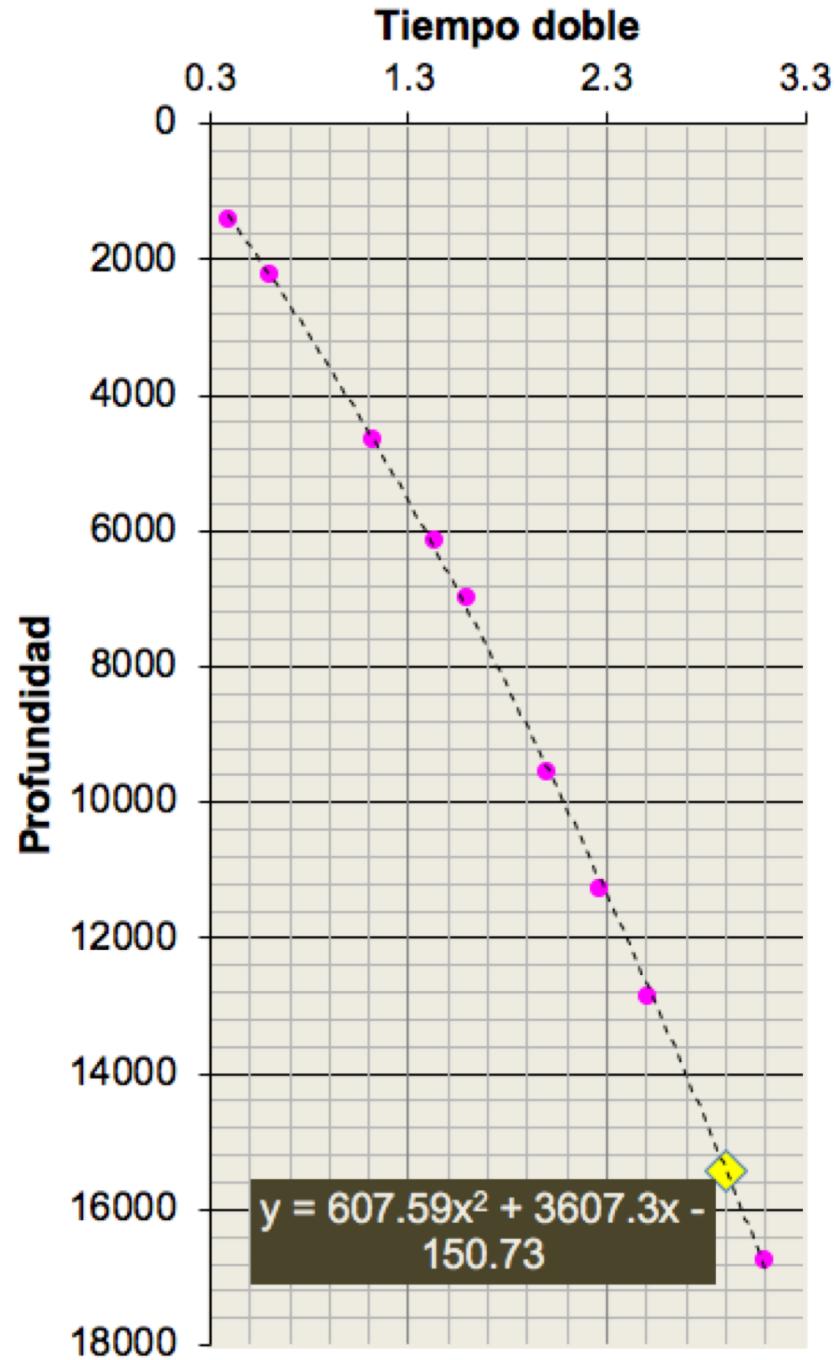
¿CUÁL ES LA PROFUNDIDAD APROXIMADA DEL REFLECTOR AMARILLO EN EL PUNTO A ?

T_A=3.8 - 0.9 = 2.9 s

Tdoble*	Vrms	Vint	δz	Z
0.390	7254	7254	1415	1415
0.600	7441	7776	817	2231
1.120	8361	9310	2421	4652
1.430	8649	9618	1491	6142
1.600	8805	10022	852	6994
2.000	9736	12800	2560	9554
2.260	10201	13243	1722	11276
2.510	10460	12561	1570	12846
3.100	11042	13235	3904	16750

T	2.9
Z	15420

* Desde superficie



Respuesta:

El Punto A, que se encuentra a 3.8 segundos desde el datum y a 2.9 segundos desde la superfice aproximadamente, tiene una profundidad de 15420 pies aprox.

ATENCION: Este cálculo tiene sentido cuando las capas son planas y los datos son de muy buena calidad. Cuando estas condiciones no se cumplen, los errores pueden ser muy grandes.

Muchos paquetes de software de interpretación tienen incluída esta metodología para convertir a profundidad. El intéprete debe verificar que sus datos sean adecuados para este tipo de cálculo e idealmente debe contar con puntos de control de pozo para validar los resultados.

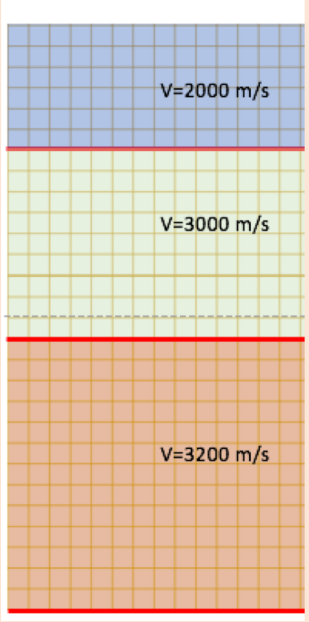
En la próxima entrega veremos que tan cerca estuvo este cálculo de la realidad

HABLEMOS DE
sísmica

www.hablemosdesismica.com

Check shot

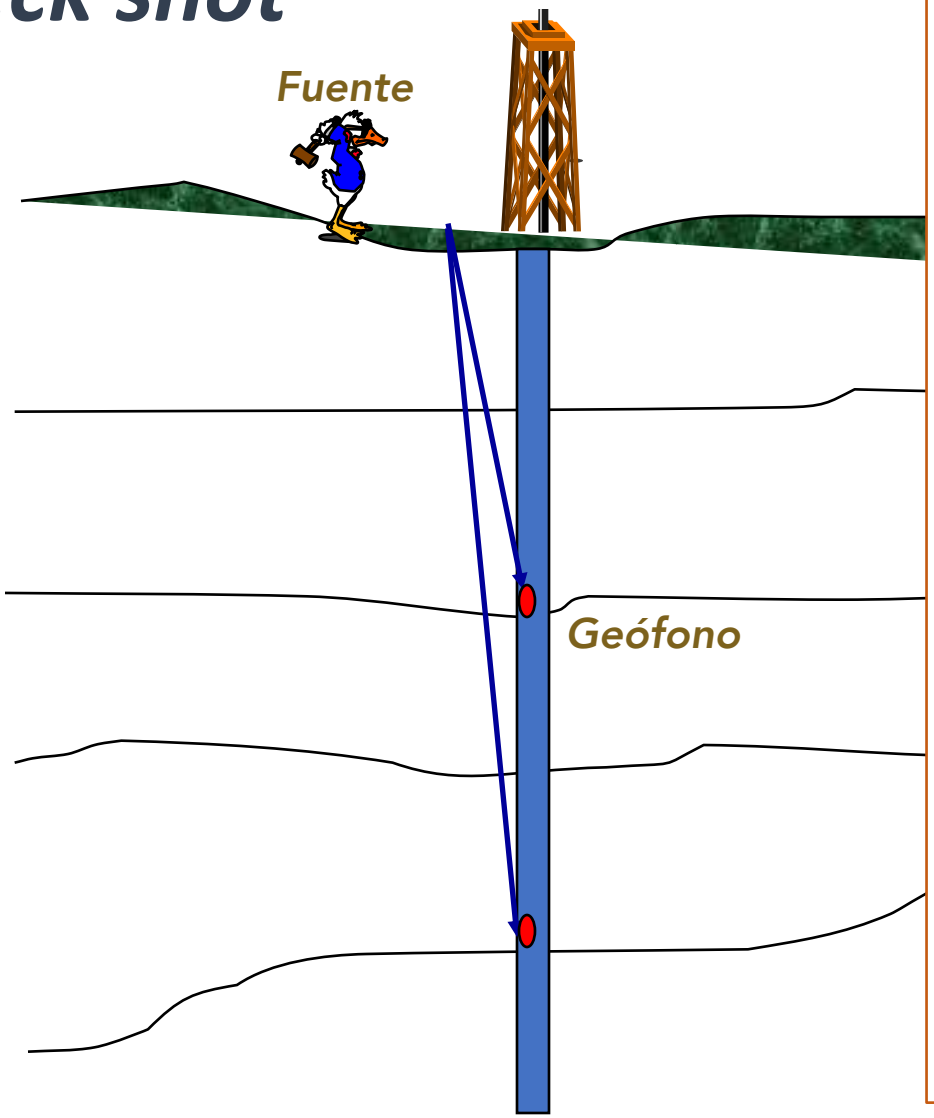
Zero offset en pozo vertical



Cálculos de profundidad

Dic 2019

Check shot



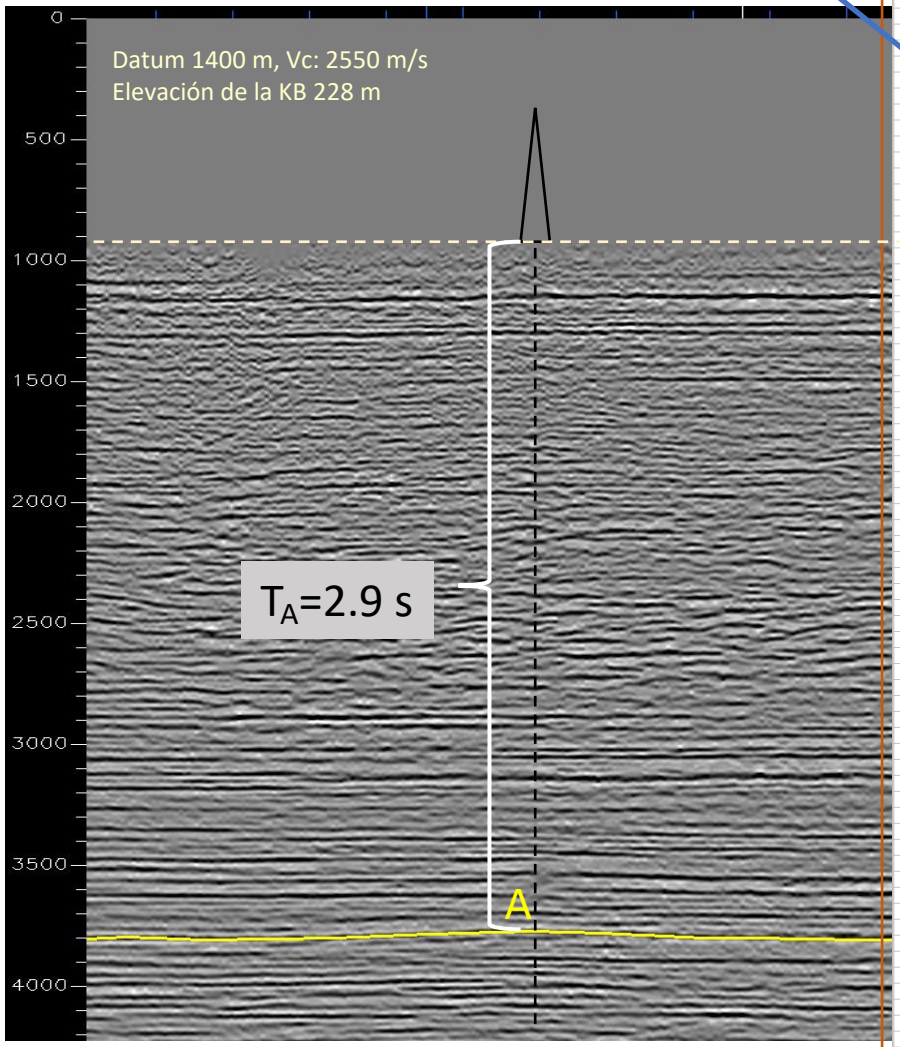
El Check shot es una forma DIRECTA de medir el tiempo de viaje de una onda desde la superficie hasta una profundidad determinada.

Produce una tabla de valores de tiempo vs profundidad que son claves al momento de convertir la información sísmica a profundidad.

Es la herramienta ideal para conocer las velocidades promedio (y por extensión, las velocidades de intervalo y rms) de la sección geológica atravesada por el pozo.

En este lugar se adquirió este Checkshot

Tiempo doble del punto A es 2.9 s, es decir que el tiempo sencillo es 1.45 s



POZO CURSO-1
CHECK SHOT

KB ELEV 750

Prof desde KB	One way ti
3550	450.4
3625	456.3
3700	461.2
3775	464.0
3850	482.0
3925	487.2
4000	497.4
4075	505.0
4150	509.8
4225	521.1
4300	527.8
4375	533.4
4450	540.6
4525	542.2
4600	560.0
4675	567.0
4750	574.3
4825	582.4
4900	589.2
4975	598.6
5050	606.1
5125	611.4
5200	618.6
5275	625.9
5350	627.2
5425	634.0
5500	639.4
5575	646.6
5650	653.7
5725	660.2
5800	667.4
5875	674.1
5950	681.2
6025	687.9
6100	694.4
6175	701.0
6250	707.4
6325	713.8
6400	720.2
6475	727.3
6550	733.9
6625	740.4
6700	747.8
6775	754.3
6850	760.0
6925	766.9
7000	775.3
7075	781.7
7150	788.5
7225	792.7
7300	799.2
7375	805.3
7450	811.5
7525	817.9
7600	824.4
7675	838.0
7750	838.3
7825	848.2
7900	848.5
7975	854.9
8050	863.2
8125	870.1
8200	876.3
8275	882.5
8350	888.7
8425	895.0
8500	901.1
8575	907.0
8650	913.2
8725	917.9
8800	923.8
8875	930.1
8950	936.5
9025	942.6
9100	948.8
9175	955.5
9250	961.2
9325	967.3
9400	973.9
9475	979.4
9550	986.4
9625	992.1

9775	1004.5
9850	1010.4
9925	1017.3
10000	1023.3
10075	1029.6
10150	1036.4
10225	1042.1
10300	1048.7
10375	1054.7
10450	1059.9
10525	1067.3
10600	1071.5
10675	1078.9
10750	1083.9
10825	1088.1
10900	1097.2
10975	1100.6
11050	1107.8
11125	1112.5
11200	1110.1
11275	1120.9
11350	1124.8
11425	1130.9
11500	1139.8
11575	1142.8
11650	1151.4
11725	1162.2
11800	1170.6
11894	1178.2
11950	1183.0
12025	1183.1
12100	1189.6
12175	1198.2
12250	1206.8
12325	1214.9
12400	1220.0
12475	1226.4
12550	1233.0
12625	1240.8
12700	1243.3
12775	1251.2
12850	1257.7
12925	1262.0
13000	1268.1
13075	1270.9
13150	1279.3
13225	1284.8
13300	1292.2
13375	1298.8
13450	1306.5
13525	1313.8
13600	1327.5
13675	1324.5
13750	1329.7
13825	1336.8
13900	1344.5
13975	1351.5
14050	1354.2
14125	1360.9
14200	1366.6
14275	1372.0
14350	1377.8
14425	1383.0
14500	1389.0
14575	1393.6
14650	1399.3
14725	1404.3
14800	1411.1
14875	1416.0
14950	1422.7
15025	1428.7
15100	1433.8
15175	1440.3
15250	1443.0
15325	1448.1
15400	1452.0
15475	1457.3
15550	1463.7
15625	1469.7
15700	1477.5
15775	1483.7
15850	1489.6
15925	1495.7
16000	1500.1
16075	1503.2
16150	1510.0
16225	1514.7
16300	1522.1
16375	1526.6
16450	1533.8
16525	1535.6
16600	1544.2
16675	1549.3
16750	1554.6
16825	1558.2
16900	1565.7
16975	1568.0
17050	1575.3
17125	1581.5
17200	1584.3
17275	1594.1
17350	1599.7

Profundidad	Tiempo sencillo
15250	1443.0
15325	1448.1
15400	1452.0
15475	1457.3

Profundidad	Tiempo sencillo
15360.	**1450.0**

La profundidad del punto A es de 15360* pies

*Estrictamente hablando es necesario realizar unas pequeñas correcciones para tener en cuenta la diferencia entre la elevación de la superficie y la elevación de la mesa rotaria, pero ignoraremos este detalle por el momento.

PROFUNDIDAD SEGUN SISMICA	PROFUNDIDAD SEGUN CHECKSHOT
15420	15360

Estos valores son sorprendentemente cercanos si consideramos la diferencia tan grande entre los dos métodos de medición.

En zonas de mayor complejidad estructural la sísmica puede arrojar errores muy importantes.

Hay detalles relacionados con datum, velocidad de reemplazamiento, geometría del Checkshot que estamos ignorando por el momento en aras de la ilustrar los conceptos de manera sencilla.

Temas para profundizar:

Presencia de buzamientos altos. Migración preapilado en tiempo y en profundidad

Checkshots en pozos desviados

Conversión a profundidad vs Migración en profundidad