

# Laboratorio de Sísmica y Sismología - Informe 1<sup>a)</sup>

Daniel Felipe Forero Sánchez<sup>1, b)</sup>

201415069

(Dated: 4 de marzo de 2016)

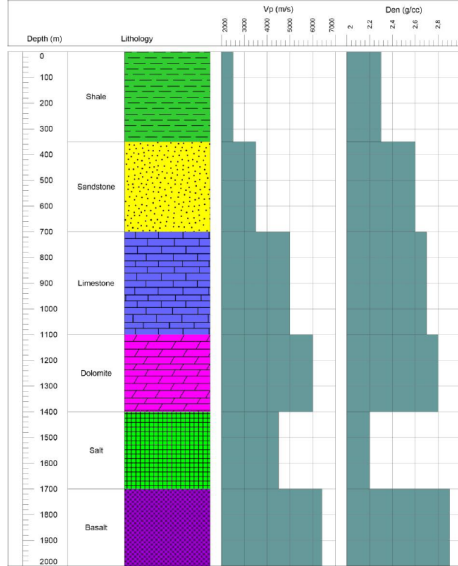
El presente informe muestra en detalle el trabajo realizado para el primer informe del Laboratorio de Sísmica y Sismología<sup>1</sup> de la Universidad de Los Andes en el primer semestre de 2016. Consiste en la creación de trazas sísmicas sintéticas dados dos diferentes casos de reflexión: incidencia normal y oblicua. Se utiliza el Método convolucional de trazas sísmicas en MATLAB y Python para la manipulación de datos, Microsoft Excel para cálculos sencillos y Seissee para la visualización de los archivos SEG Y.

Keywords: Ondícula, Convolución, Traza sísmica, Coeficiente de reflexión

## I. INTRODUCCIÓN

El método de convolución de trazas sísmicas consiste en calcular, a partir de una columna estratigráfica de la cual se conocen la densidad y velocidad de las ondas P ( $v_P$ ) y S ( $v_S$ ) de cada unidad, calcular el tiempo ( $t$ ) en el cual la onda P es registrada tras la reflexión en cada una de las superficies reflectivas dados unos parámetros iniciales como el ángulo de incidencia ( $\theta$ ). Se usó la siguiente columna estratigráfica:

Figura 1. Columna estratigráfica modelada



En el cuadro I se encuentran los datos necesarios obtenidos a partir de la columna estratigráfica.

Cuadro I. Datos

Hole ID	Techo (m)	Base (m)	Litología	$v_P$ (m/s)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
BH-1	0	350	Lutita	2500	2.3
BH-1	350	700	Arenisca	3500	2.6
BH-1	700	1100	Caliza	5000	2.7
BH-1	1100	1400	Dolomita	6000	2.8
BH-1	1400	1700	Sal	4500	2.2
BH-1	1700	2000	Basalto	6400	2.9

## II. PROCEDIMIENTO Y RESULTADOS

En general, es necesario medir los tiempos en los cuales es registrada una onda sísmica enviada en  $t = 0$  después de ser reflejada en cada una de las superficies reflectivas (límites entre formaciones) e incluirlas en un arreglo de tiempos de una duración específica que representa el tiempo de muestreo; dicho arreglo tiene una cierta cantidad de elementos con una cierta separación, dicha separación permite definir la frecuencia del muestreo.

### A. Primer Experimento

Se calcularon en Excel los tiempos ( $t_{int}$ ) y tiempos acumulados ( $t_{acc}$ ) en los cuales la señal reflejada en cada interfaz es recibida así como las impedancias ( $I$ ) y los coeficientes de reflexión ( $R$ ) según las ecuaciones 2 a 4, donde la ecuación 3 describe la suma de los tiempos de viaje de todas las capas desde la superficial (lutita) hasta la capa de interés (capa).

$$t_{int} = 2 \frac{espesor_{capa}}{v_{P, capa}} \quad (1)$$

$$t_{acc, capa} = \sum_{i=lutita}^{capa} t_{int, i} \quad (2)$$

$$I = \rho v_P \quad (3)$$

$$R = \frac{I_2 - I_1}{I_2 + I_1} \quad (4)$$

Los datos obtenidos se muestran en la figura II.

Con ayuda del software MATLAB se crea un vector de tiempo (tiempo de muestreo) de mil elementos (muestra de un segundo de duración e intervalo de muestreo de un segundo) en el cual se migran los datos y se ponen en los elementos  $t_{acc}$  los valores  $R$  de manera que se obtiene un vector

<sup>a)</sup>Primer informe del Laboratorio de Sísmica y Sismología

<sup>b)</sup>Departamento de Geociencias/Departamento de Física, Universidad de Los Andes; Electronic mail: df.forero10@uniandes.edu.co

Cuadro II. Datos calculados para el experimento 1

$t_{int}(ms)$	$t_{acc}(ms)$	$I(gm/cm^3s)$	$R$
280	280	5750	0.23
200	480.0	9100	0.19
160	640.0	13500	0.11
100	740.0	16800	-0.26
133.3	873.3	9900	0.30
93.75	967.1	18560	0.00

de coeficientes de reflexión migrados en tiempo como se muestra en la figura.

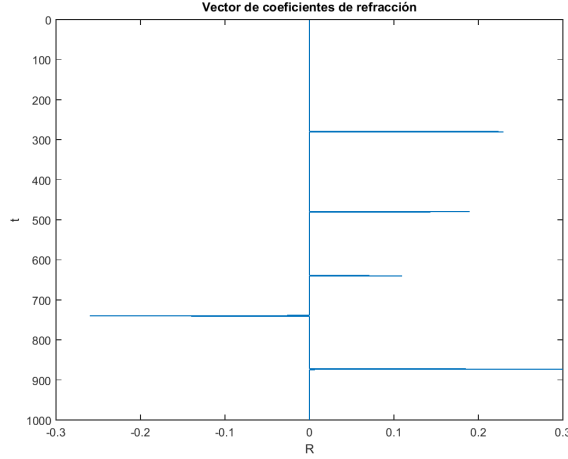


Figura 2.

Se crea la ondícula (de -2.5 a 2.5 con 20 elementos equivalentes a 20 milisegundos de duración) que se usará para la convolución, se usa la ondícula de Ricker mostrada

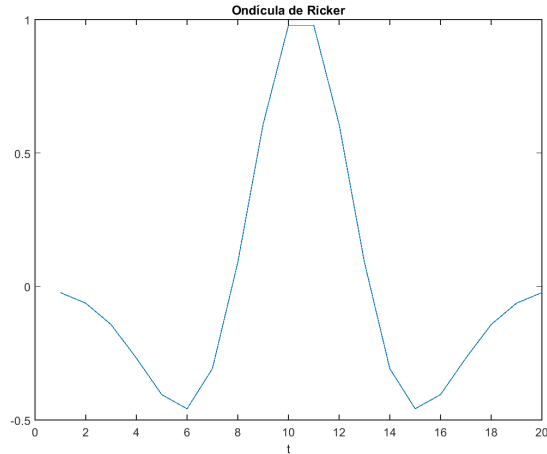


Figura 3.

Posteriormente se hace la convolución entre el vector de coeficientes de reflexión y la ondícula, obteniendo una traza sísmica con la siguiente forma.

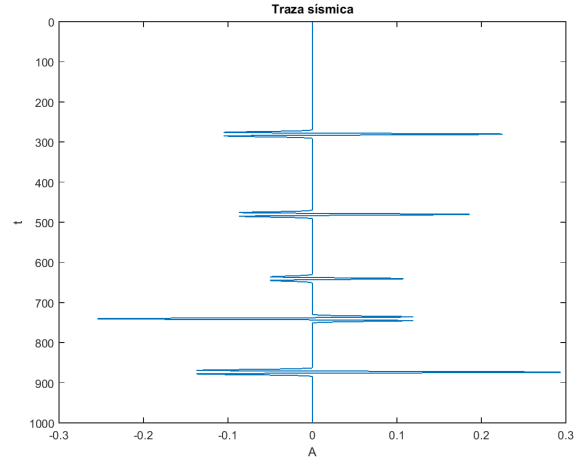


Figura 4.

Finalmente a partir de esta traza se genera una matriz cuyos vectores columna son trazas sísmicas idénticas. Esta matriz se exporta a formato SEG Y para ser visualizado en SeiSee (figura 5).

Se generan cuatro archivos más idénticos al mostrado en la figura 5 de manera que se pueda editar el *header* de cada archivo de forma que cada archivo represente las mediciones de una línea de sensores colocada 250m al este de la línea inicial. Para que cada traza del archivo muestre un arreglo de sensores se le dice al *header* del archivo, en el atributo 77 que la coordenada  $y$  de cada traza es  $10N$  donde  $N$  es el número de la traza; para decirle que cada archivo representa una sola coordenada  $x$  se escribe en el atributo 73 que todas las trazas tienen un valor de 0, 250, 500, 750, o 1000, dependiendo del archivo. Posteriormente se cargan los archivos a OpendTect y se trazan las líneas que representan los reflectores en cada coordenada  $x$ , usando el software para interpolar y mostrar el reflector como una superficie 3D como se muestra en la figura 6.

## B. Segundo Experimento

Cuando la incidencia de la onda sobre el reflector no es normal, el cálculo de los tiempos y coeficientes de reflexión no es tan trivial como en el experimento anterior, por lo que se definen las siguientes relaciones necesarias

$$t_{int} = \frac{2h}{v_P \cos(\theta_1)} \quad (5a)$$

$$\frac{\sin(\theta_1)}{v_{P1}} = \frac{\sin(\theta_2)}{v_{P2}} \quad (5b)$$

$$R_{PP}(\theta_1, \theta_2) \approx \frac{1}{2} \ln \left( \frac{v_{P2}\rho_2 \cos(\theta_1)}{v_{P1}\rho_1 \cos(\theta_2)} \right) + \left( \frac{\sin(\theta_1)}{v_{P1}} \right)^2 (v_{S1}^2 - v_{S2}^2) \left[ 2 + \frac{\ln(\rho_2/\rho_1)}{\ln(v_{S2}/v_{S1})} \right] \quad (5c)$$

Donde  $h$  es el espesor de la capa,  $v_{Pi}$  es la velocidad de onda P en el medio  $i$ ,  $v_{Si}$  es la velocidad de onda S en el medio  $i$ .  $R_{PP}(\theta_1, \theta_2)$  es la aproximación de Bortfeld para el coeficiente de reflexión de una onda P a onda P en la interfase entre dos medios 1 y 2.

Para el experimento necesitamos expresar  $R_{PP}$  únicamente en función de  $\theta_1$  por lo que se debe hacer uso de la relación 5b o Ley de Snell junto con la identidad  $\cos^2(\theta) + \sin^2(\theta) = 1$  para obtener la siguiente relación.

$$\cos(\theta_2) = \sqrt{1 - \left( \frac{v_{P2}}{v_{P1}} \right)^2 \sin^2(\theta_1)} \quad (6)$$

Y reemplazando 6 en 5c.

$$R_{PP}(\theta_1) \approx \frac{1}{2} \ln \left( \frac{v_{P2}\rho_2 \cos(\theta_1)}{v_{P1}\rho_1 \sqrt{1 - \left( \frac{v_{P2}}{v_{P1}} \right)^2 \sin^2(\theta_1)}} \right) + \left( \frac{\sin(\theta_1)}{v_{P1}} \right)^2 (v_{S1}^2 - v_{S2}^2) \left[ 2 + \frac{\ln(\rho_2/\rho_1)}{\ln(v_{S2}/v_{S1})} \right] \quad (7)$$

Se experimentará variando el ángulo de incidencia  $\theta_1$  (de  $0^\circ$  a  $45^\circ$  en intervalos de  $5^\circ$ ) sobre la primera superficie reflectiva, por lo que se calculan los tiempos de viaje de la onda ( $t_{int}$ ) para cada uno de los  $\theta_1$ . Se calcula 6 y posteriormente 7. Se genera un arreglo de

coeficientes de reflexión de 400 elementos (400 ms de duración) y se desplaza cada coeficiente en el tiempo, obteniendo lo mostrado en la figura 7.

Posteriormente se convuelven estos vectores con la ondícula del primer experimento para obtener lo mostrado en la figura 8.

Se construye una matriz cuyos vectores columna sean las trazas recién obtenidas, y se exportan a un archivo SEG Y que se abre en SeiSee (fig 9).

### III. CONCLUSIONES

1. En el primer experimento se exploró la incidencia normal a una secuencia estratigráfica, que permitió modelar exitosamente una sección sísmica en 3D.
2. Se implementó exitosamente el uso de software especializado como SeiSee y OpendTect.
3. Se logró conocer más a fondo la estructura de los archivos SEG Y de forma que se sepa manipular el encabezado para crear modelos de sísmica 3D.
4. Se experimentó con un *common shot gather*, comprendiendo las características de este *gather* como lo es, por ejemplo la curva típica resultante (hipérbola).

### REFERENCIAS

- <sup>1</sup>Universidad de Los Andes. Laboratorio de sísmica y sismología: Modelo convolucional de trazas sísmicas-taller 1.

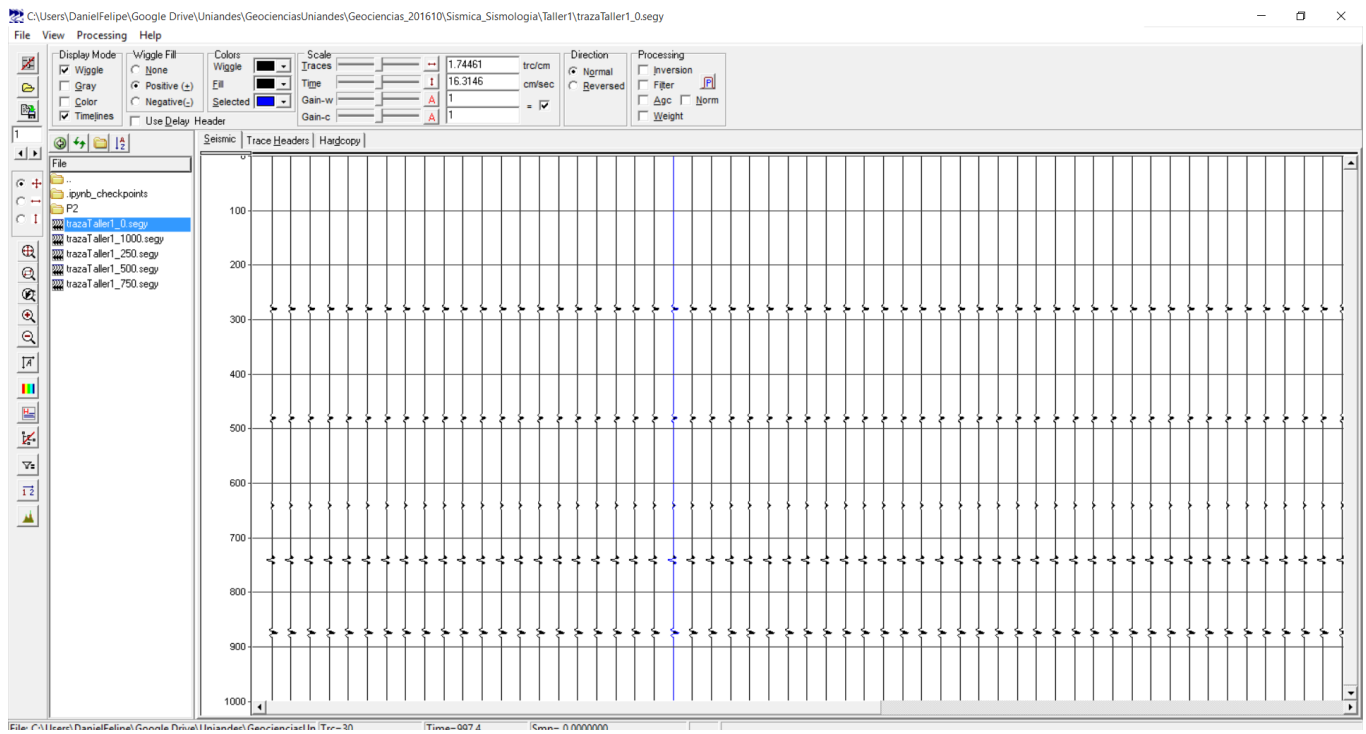


Figura 5. Visualización del archivo SEG Y de cien trazas en SeiSee

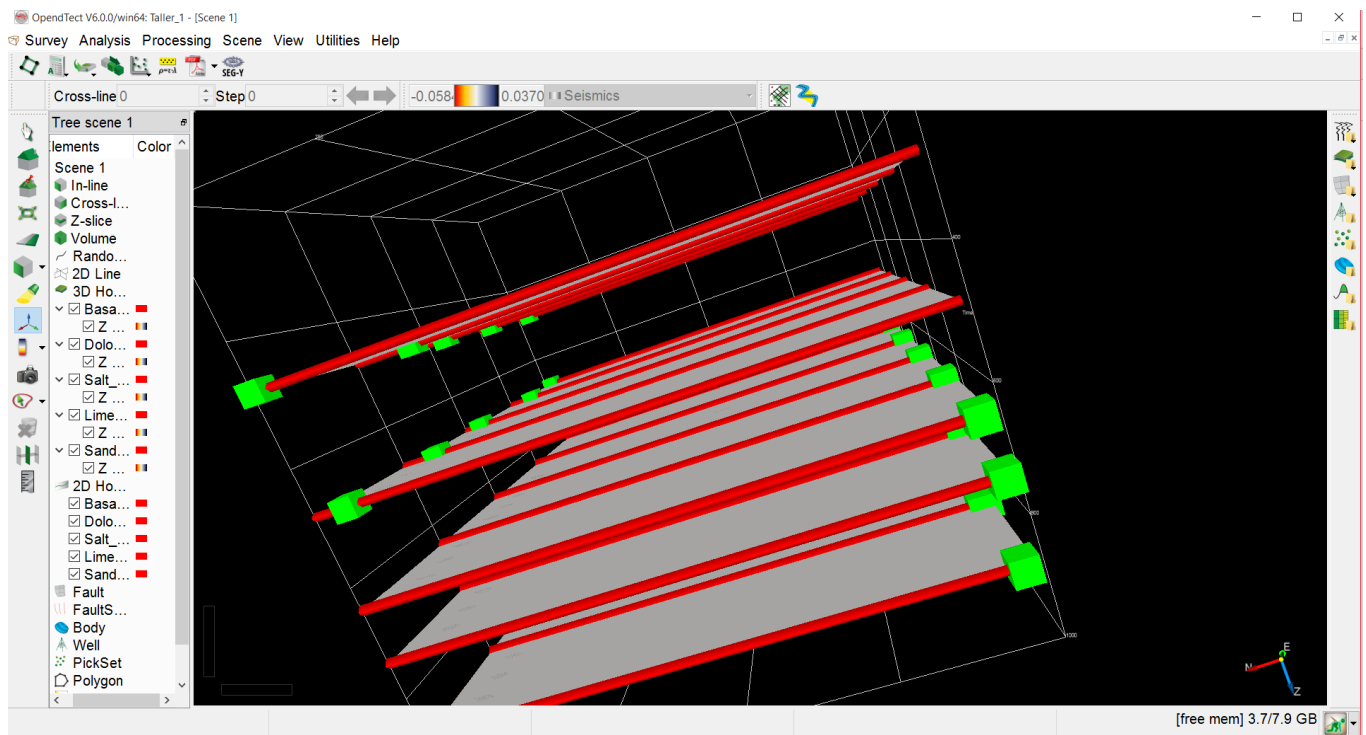


Figura 6. Visualización de los archivos de trazas como las superficies reflectivas propias de la estratificación supuesta para el experimento.

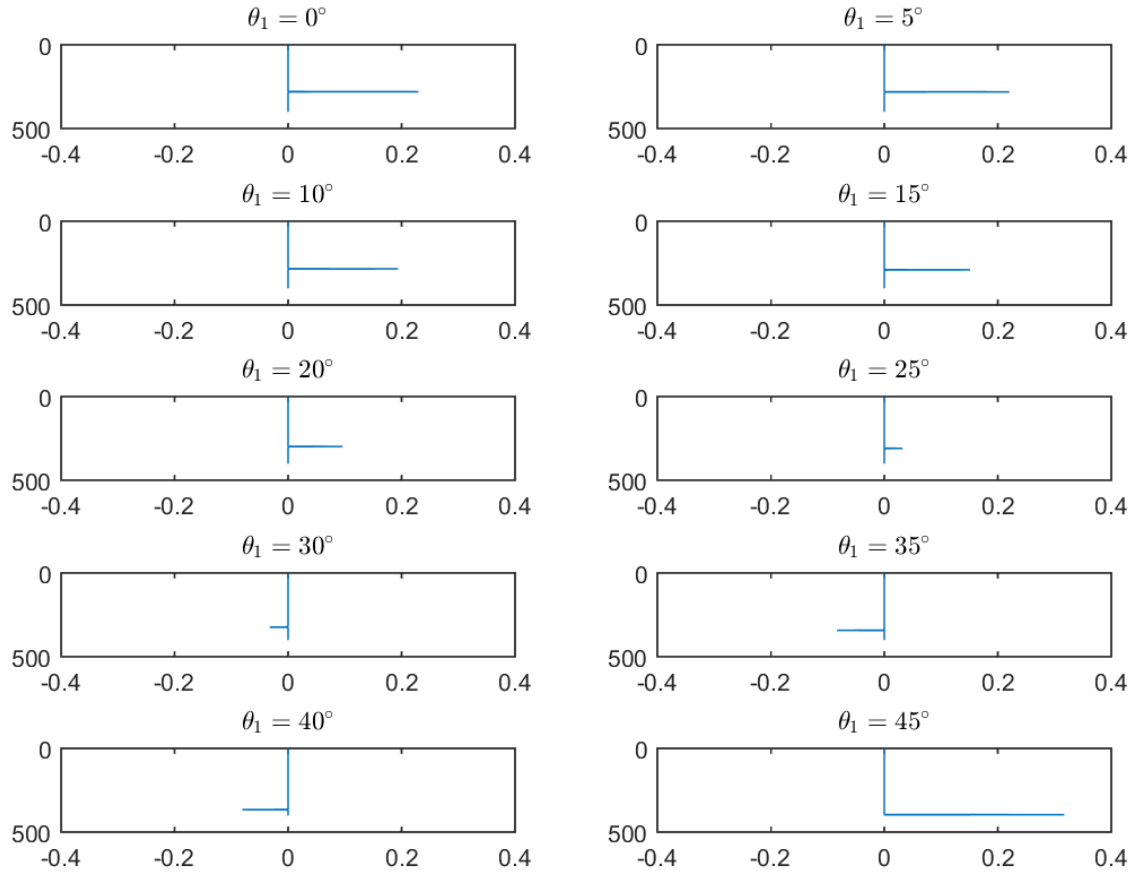


Figura 7. Arreglos de coeficientes de reflexión para cada  $\theta_1$ . Verticalmente:  $\theta_1$ . Horizontalmente:  $R_{PP}$

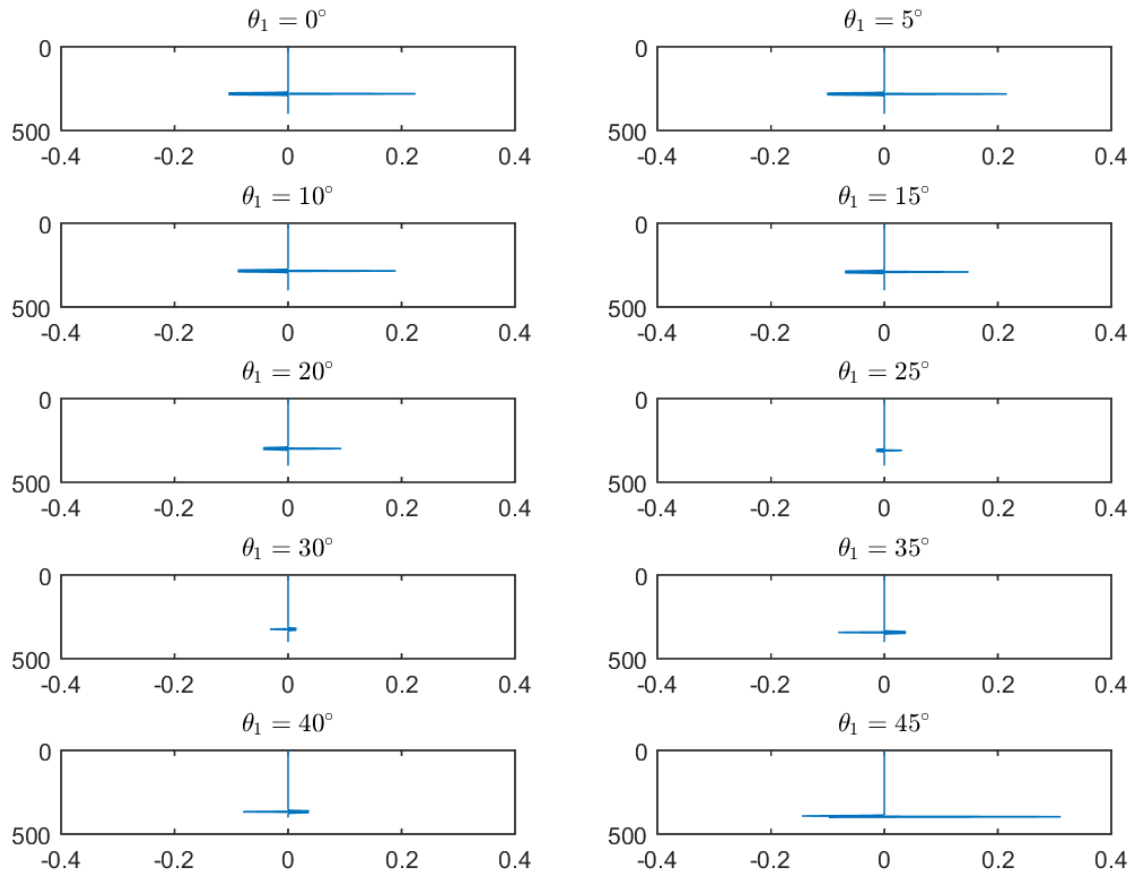


Figura 8. Trazas sísmicas obtenidas para cada  $\theta_1$ . Verticalmente:  $t$ .

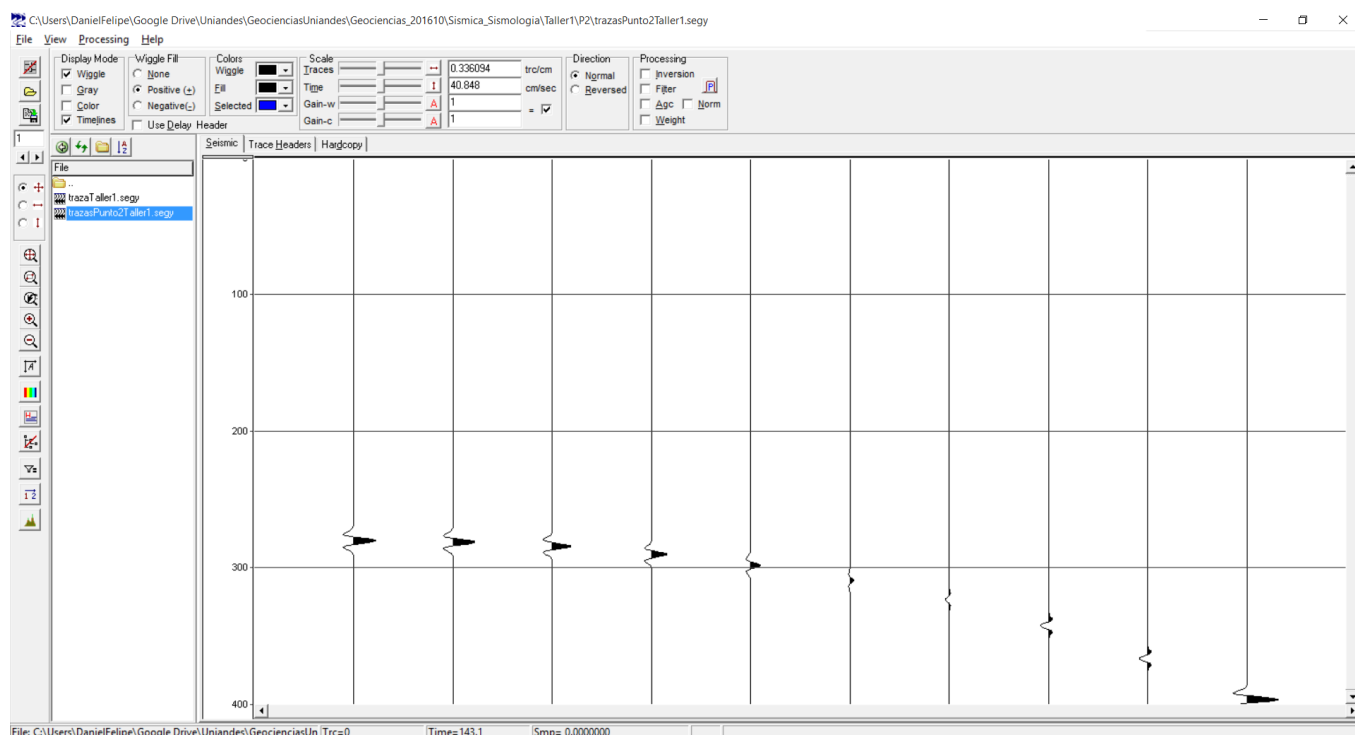


Figura 9. Visualización en SeiSee del segundo experimento, se ve la hipérbola esperada.