

# Universidad de Chile

Departamento de Geofísica

## Sismología

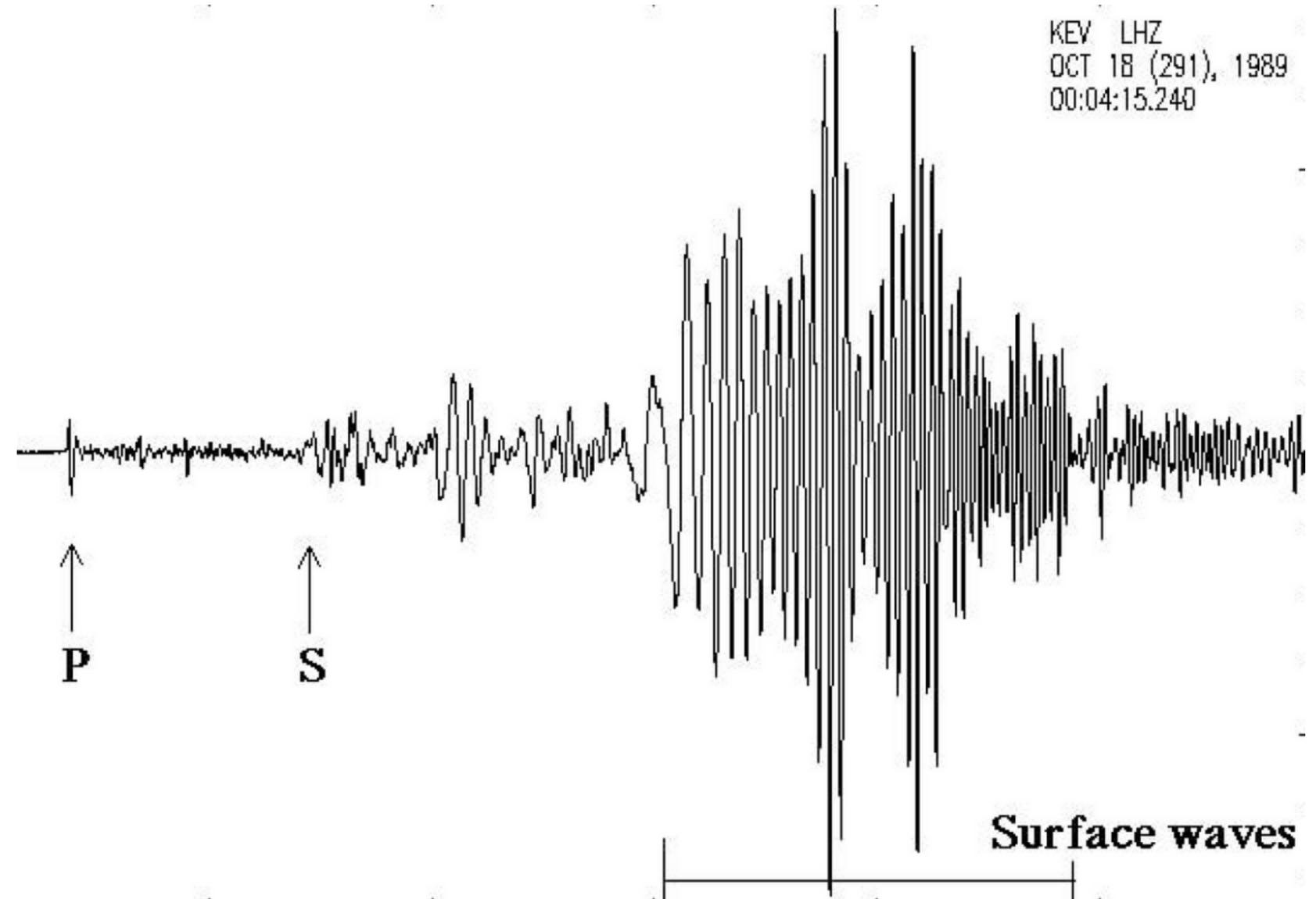
GF 4001-2

Profesor: Sergio Ruíz

Auxiliar 2

Hermann Schwarze

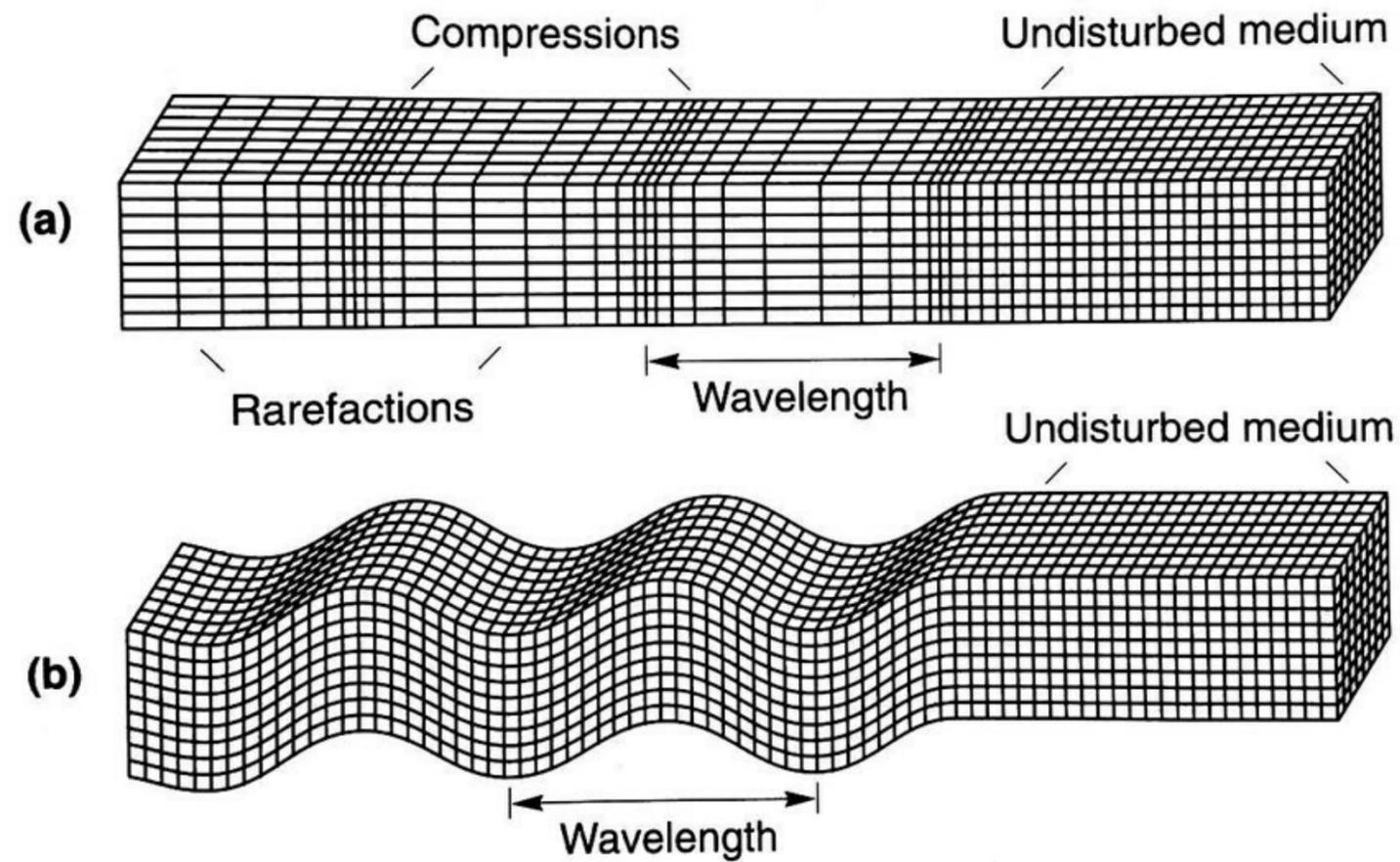
2020



## ONDAS DE CUERPO

### ONDAS P

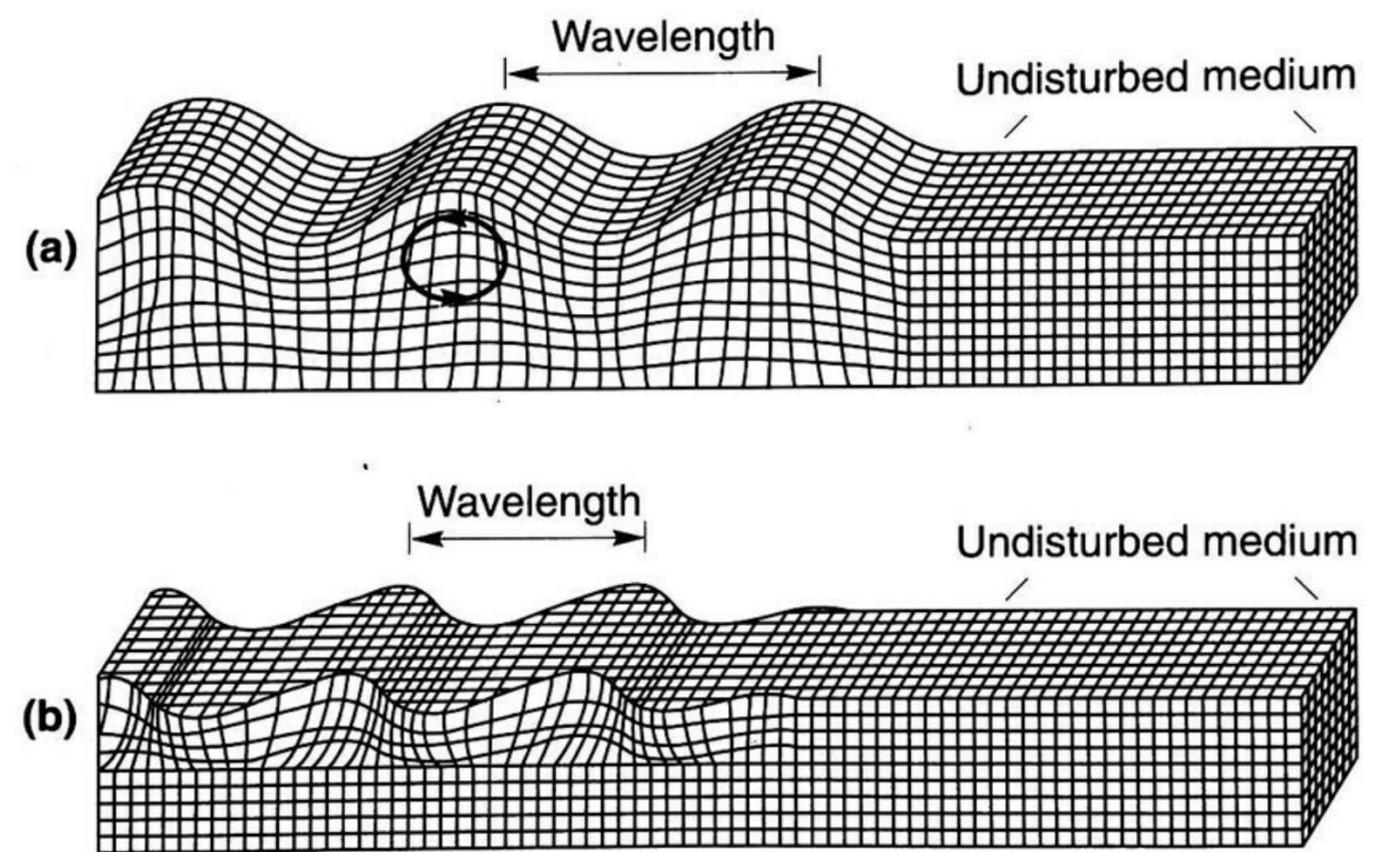
### ONDAS S



## ONDAS SUPERFICIALES

### ONDAS RAYLEIGH

### ONDAS LOVE



# ONDAS P

Son las ondas primarias (viajan más rápido que ondas S).

Generan un movimiento longitudinal, ya que mueve las partículas en la dirección de propagación del frente de ondas, produciendo dilatación y compresión en el medio (cambio de volumen).

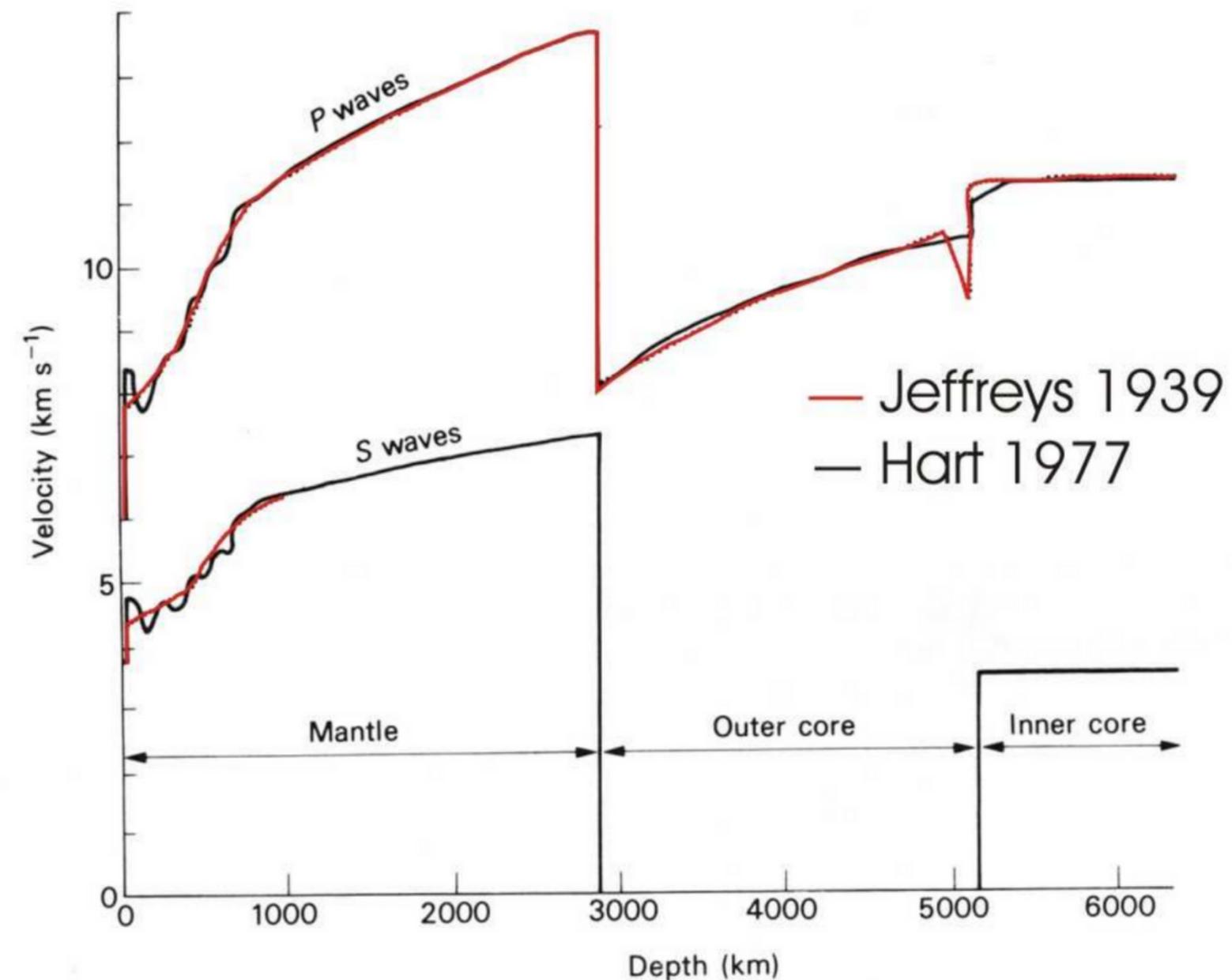
Su movimiento de compresión y dilatación les permite viajar a través de los tres estados de la materia.

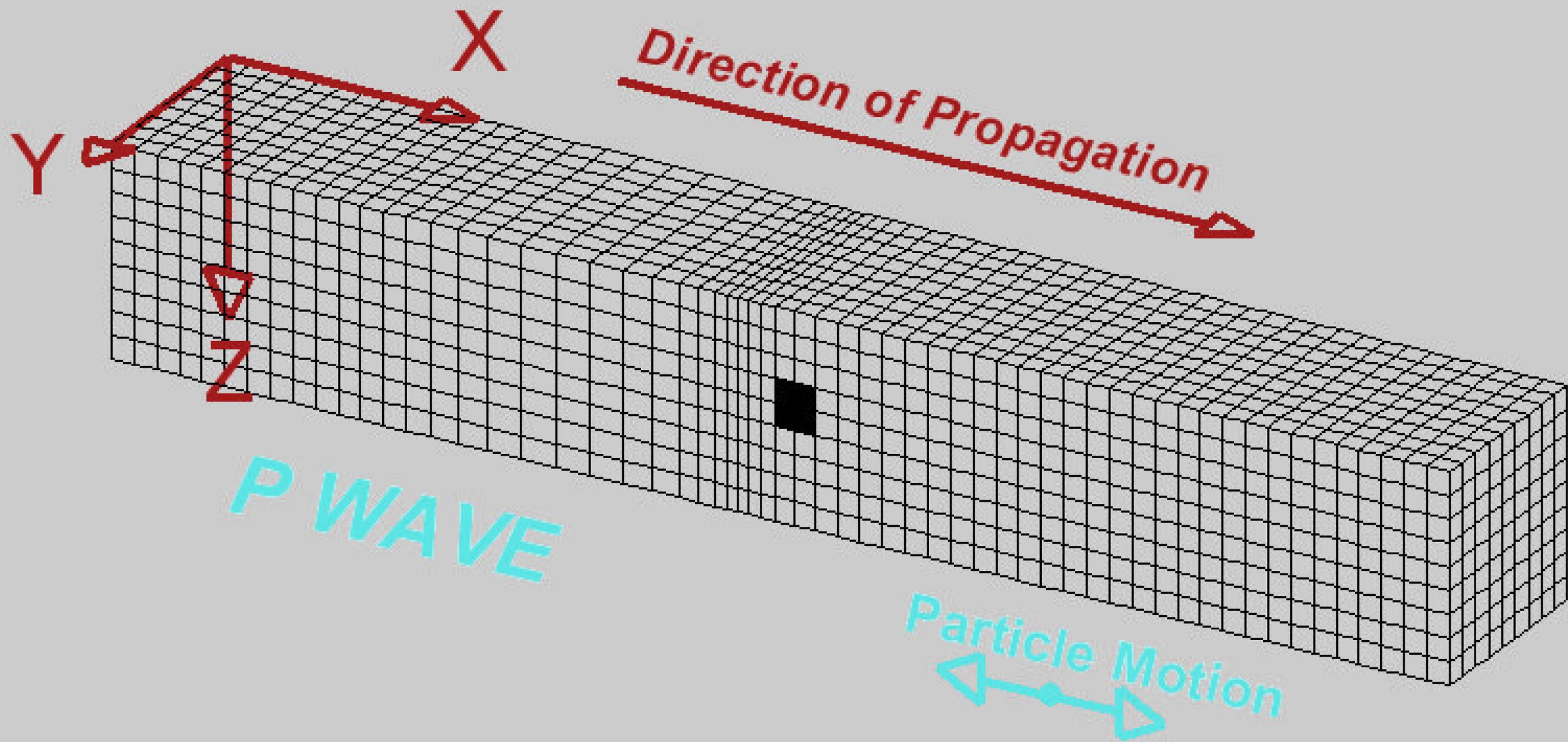
Su velocidad puede escribirse como

$$\alpha = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} = \sqrt{\frac{\kappa + \frac{4}{3}\mu}{\rho}}$$

donde  $\lambda$  y  $\mu$  son los parámetros de Lamè,  $\kappa$  es el modulo de incomprensibilidad y  $\rho$  es la densidad.

Suelen tener amplitudes inferiores a las de las ondas S.





# ONDAS S

Son ondas Secundarias (viajan más lento que ondas P).

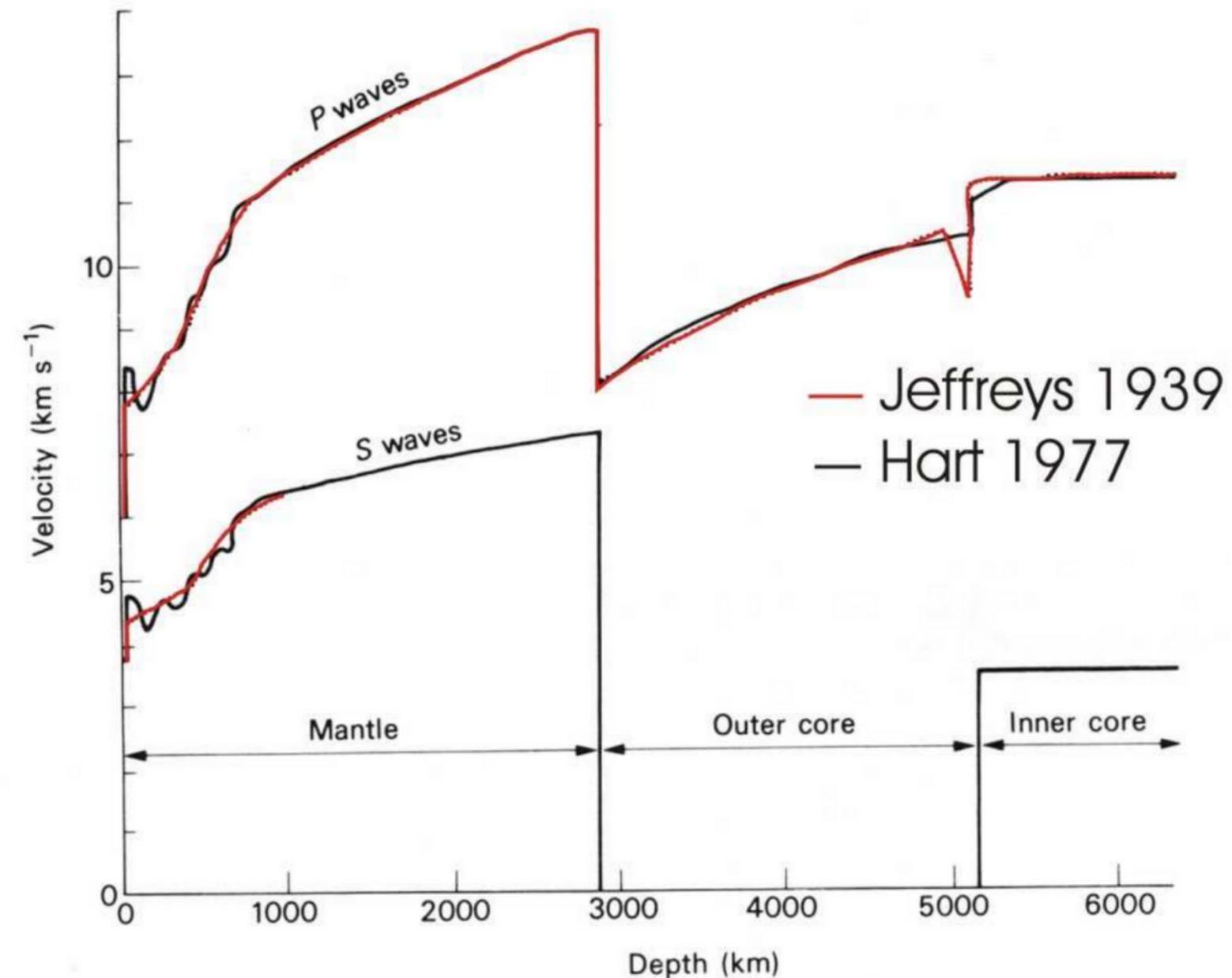
Generan un movimiento transversal, ya que mueven las partículas de forma perpendicular a la dirección de propagación. (movimiento de cizalla).

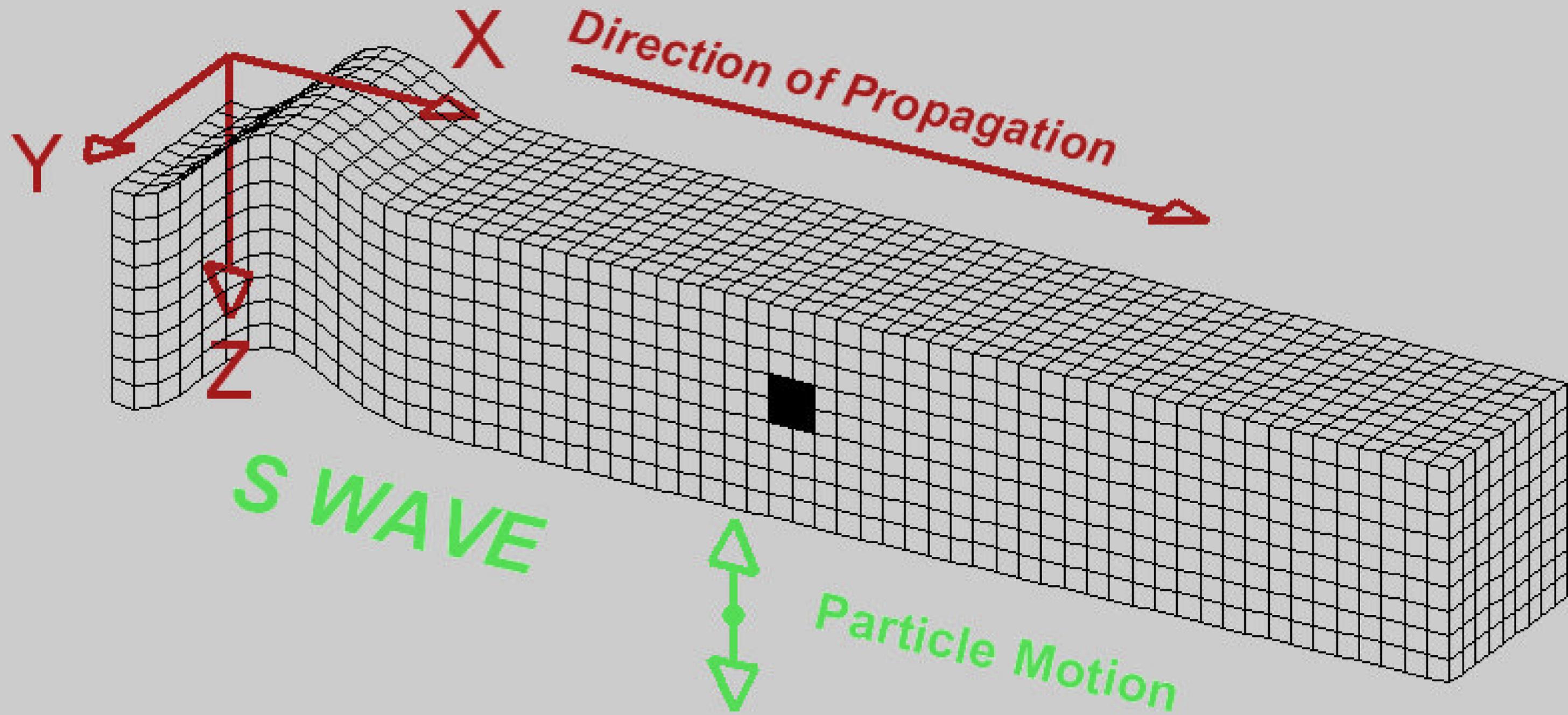
Su fuerza restauradora principal proviene de los esfuerzos de corte, por lo que no pueden propagarse en líquidos ni gases.

Las ondas S se propagan sobre un plano, por lo que podemos descomponerlas en dos ondas con dirección de movimiento ortogonal: Ondas SV y ondas SH.

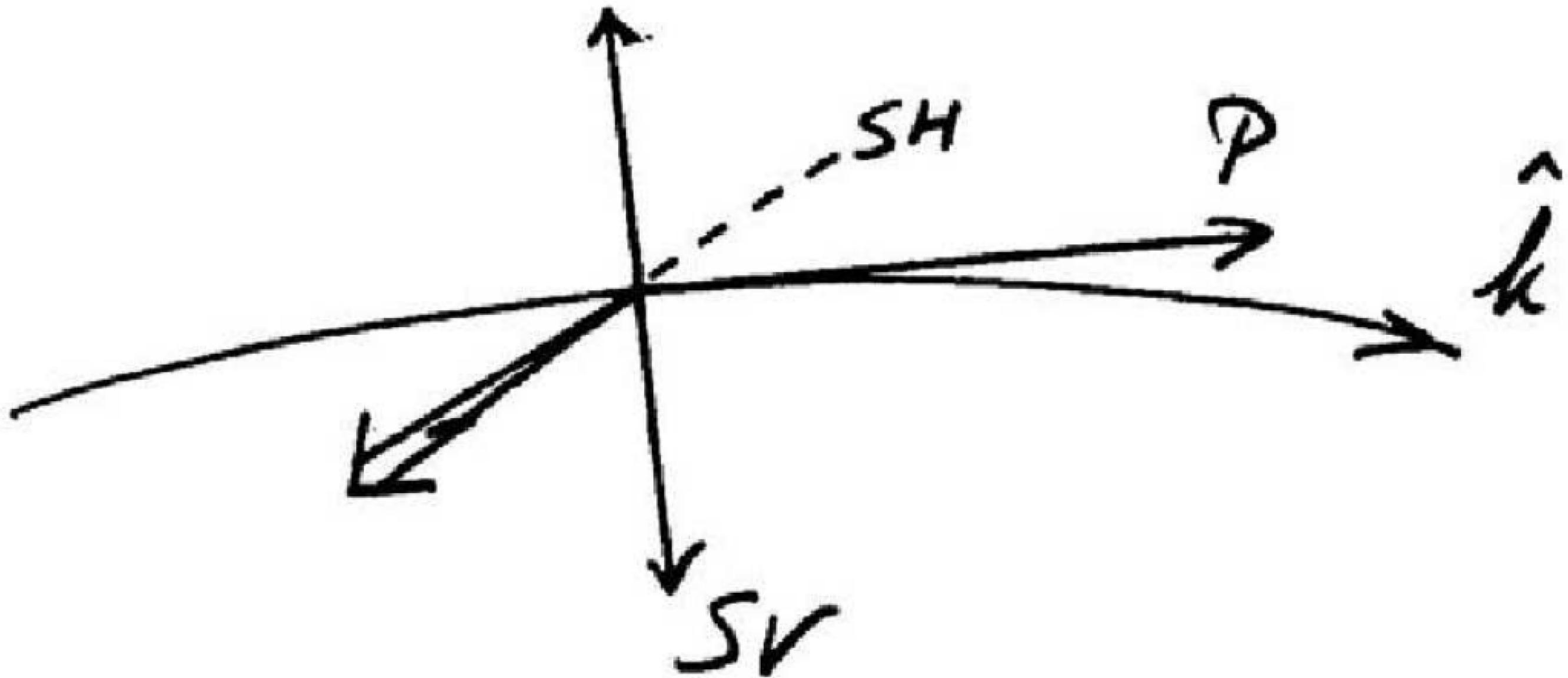
Su velocidad puede escribirse como  $\beta = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$

al juntar las dos velocidades  $\alpha = \sqrt{3}\beta \Rightarrow \alpha > \beta$



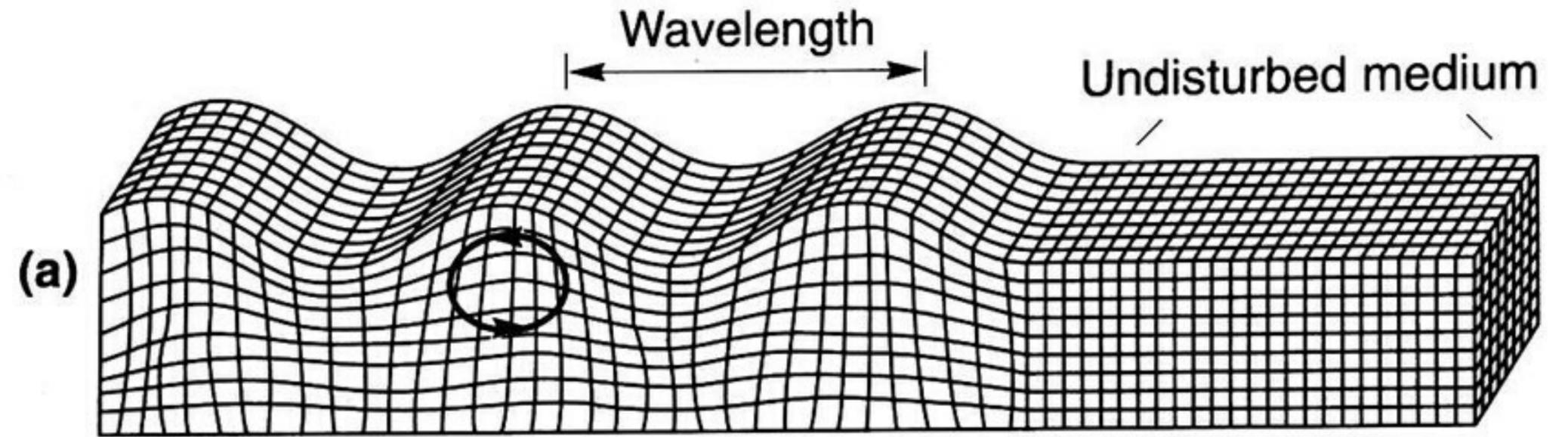


# DIRECCIÓN DE MOVIMIENTO DE PARTICULAS

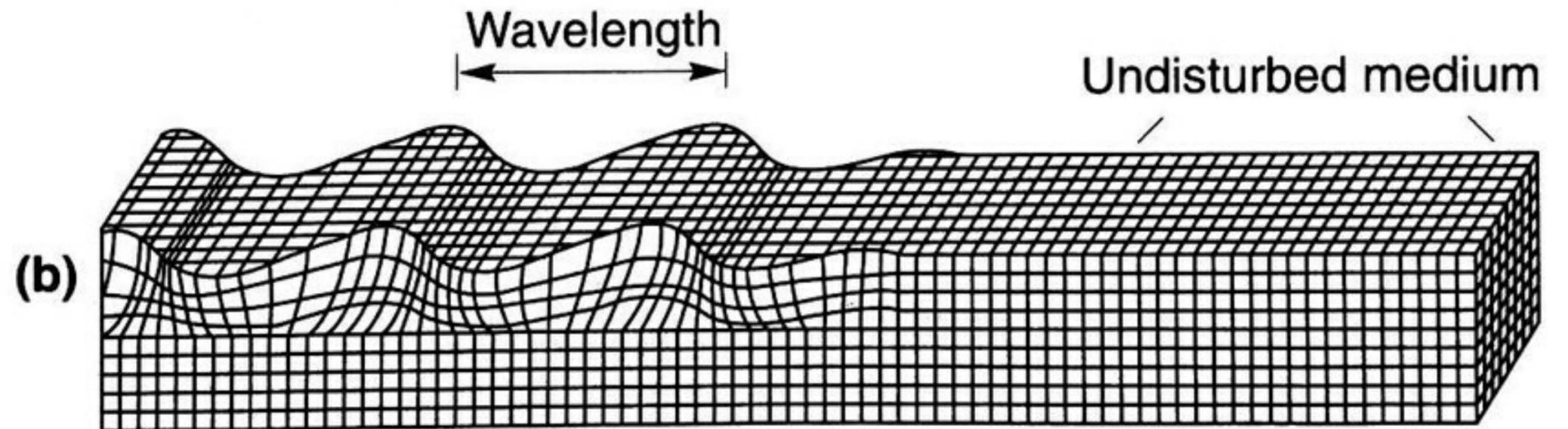


# ONDAS SUPERFICIALES

## ONDAS RAYLEIGH



## ONDAS LOVE



# ONDAS SUPERFICIALES

Son causadas por la interacción de las ondas de cuerpo (P,S) con la superficie libre, esto genera una interferencia constructiva, la cual causa ondas que se propagan por la superficie.

Estas ondas se propagan de forma paralela a la interfaz y su amplitud decae con la profundidad.

Hay dos clases de ondas de superficie:

- (a) Ondas Rayleigh, las cuales se generan por interferencia entre las ondas P y SV en la interfaz
- (b) Ondas Love, las cuales se generan por interferencia de ondas SH entre la interfaz y estructuras de capas internas.

Las ondas Rayleigh sólo necesitan de un semi espacio uniforme para existir, mientras que las ondas Love requieren de una estructura estratificada en donde la velocidad del material aumente con la profundidad.

# ONDAS SUPERFICIALES

La energía de las ondas decae como  $1/r$  donde  $r$  es la distancia entre la fuente y el frente de ondas. La amplitud de las ondas está relacionada con la raíz cuadrada de la energía, por lo que esta decae como  $1/\sqrt{r}$ .

Si lo comparamos con las ondas de cuerpo, vemos que su energía decae como  $1/r^2$ , por lo que su amplitud decae como  $1/r$ .

Esto implica que las amplitudes de las ondas de superficie son típicamente mayores a las de las ondas de cuerpo y esta diferencia se nota mejor a grandes distancias.

Las ondas de superficie tienen frecuencias típicas más bajas a las de las ondas de cuerpo, en muchos casos dichas frecuencias se aproximan mucho a las frecuencias de resonancia de las construcciones, cosa que sumado a su mayor amplitud, provoca la mayor parte de la destrucción en los terremotos.

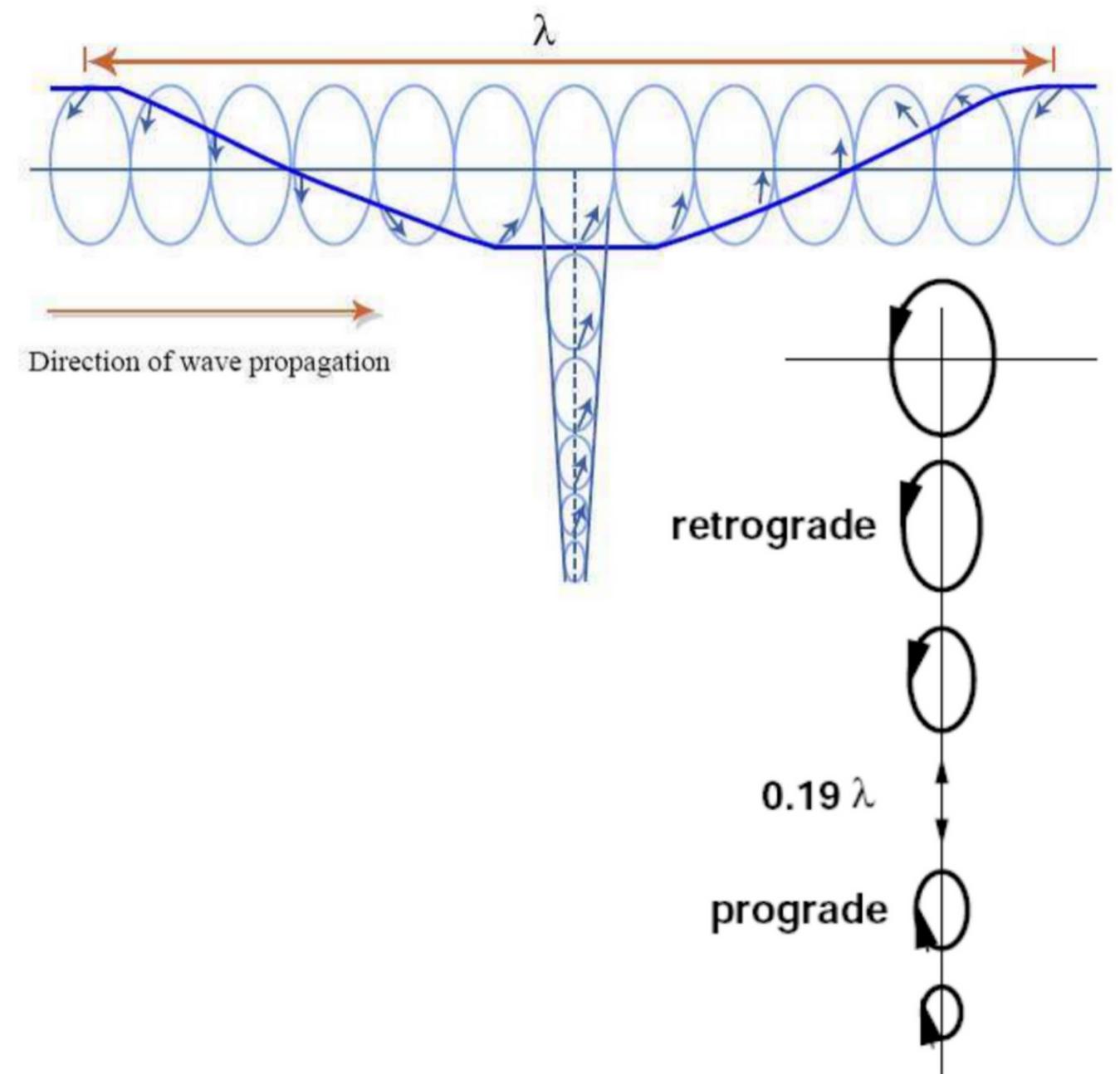
# ONDAS RAYLEIGH

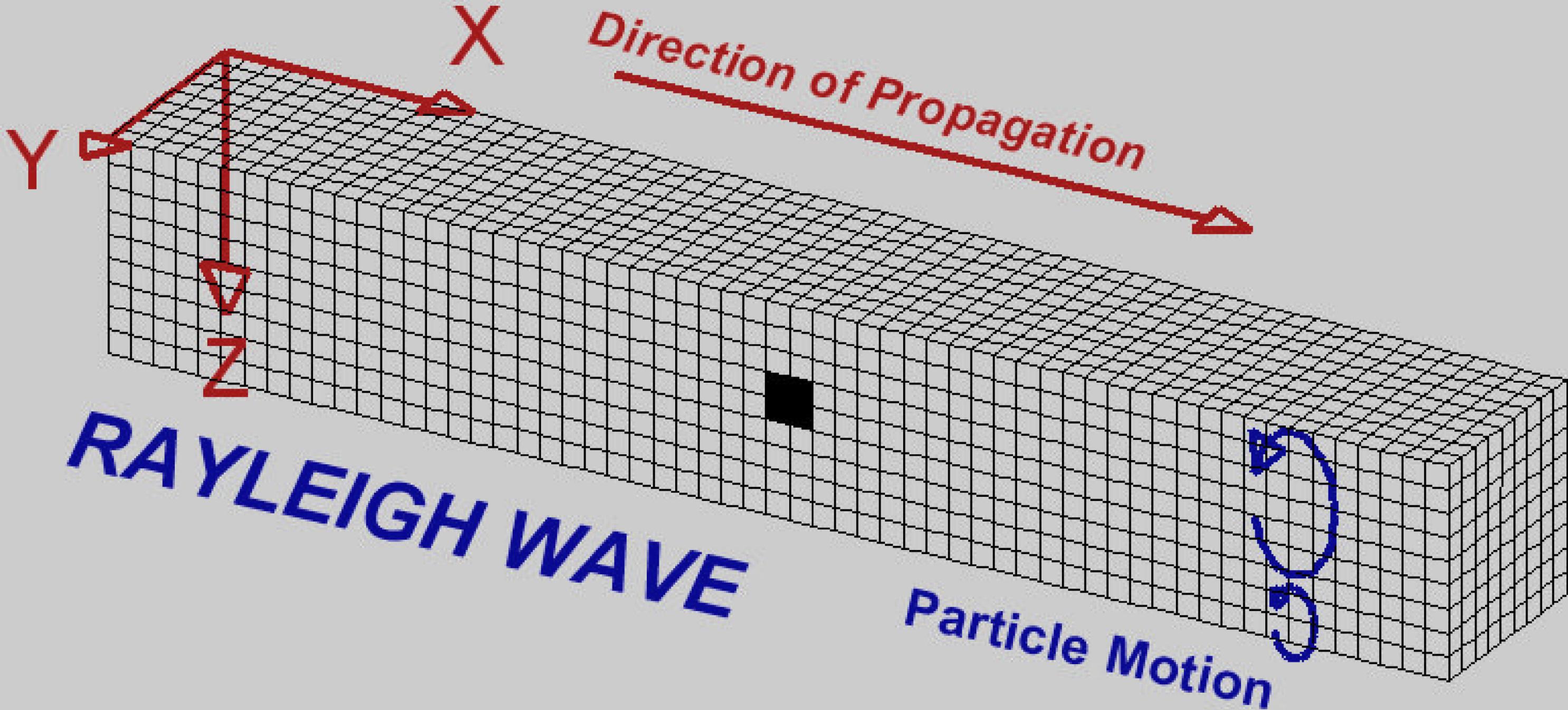
Son causadas por interferencia entre ondas P y SV en la superficie libre.

Debido a esto, son observables en las componentes vertical y radial de los sismogramas. (Dirección entre la fuente y la estación).

El movimiento de las partículas en superficie es retrógrado elíptico y su amplitud decae con la profundidad, por lo que son ondas análogas a las generadas por el viento en alta mar.

Bajo una profundidad igual a  $0.19 \lambda$  el movimiento de las partículas se convierte en progrado elíptico.





# ONDAS LOVE

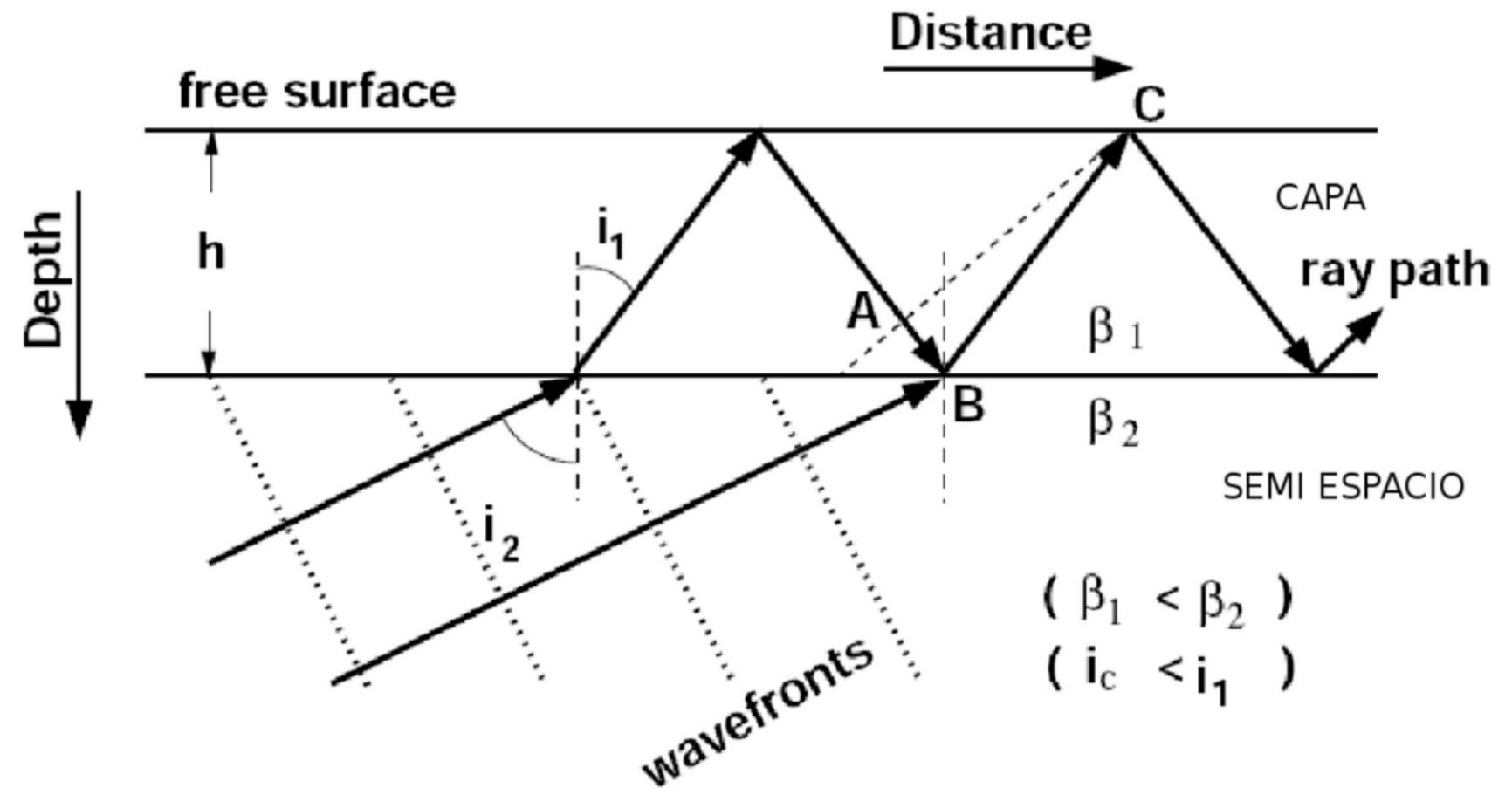
Son generadas por la interacción entre las ondas SH y la superficie libre.

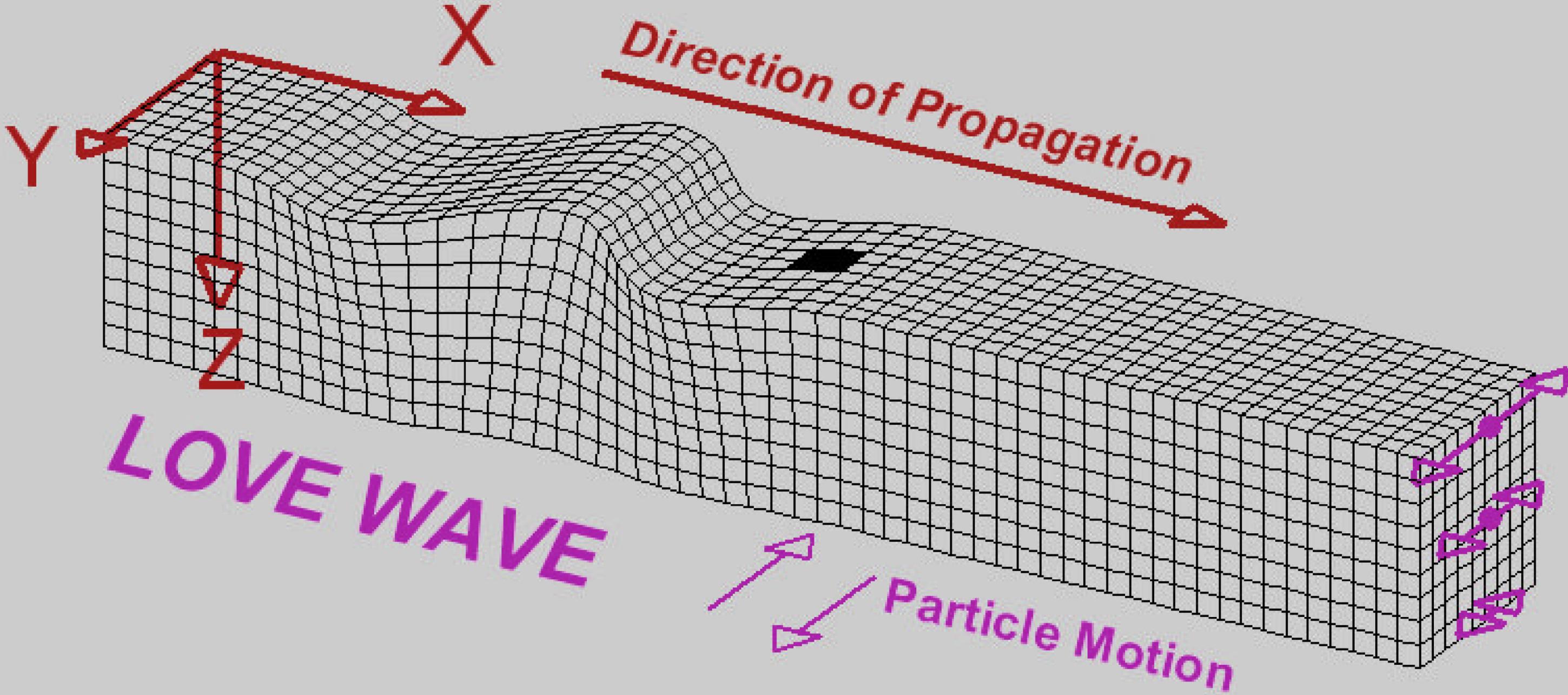
Es necesario que se genere una reflexión total de las ondas dentro de una capa entre el semi espacio y la superficie libre, atrapando la energía de la onda SH dentro de esa capa.

Es necesario que esta capa tenga una velocidad inferior a la del semiespacio.

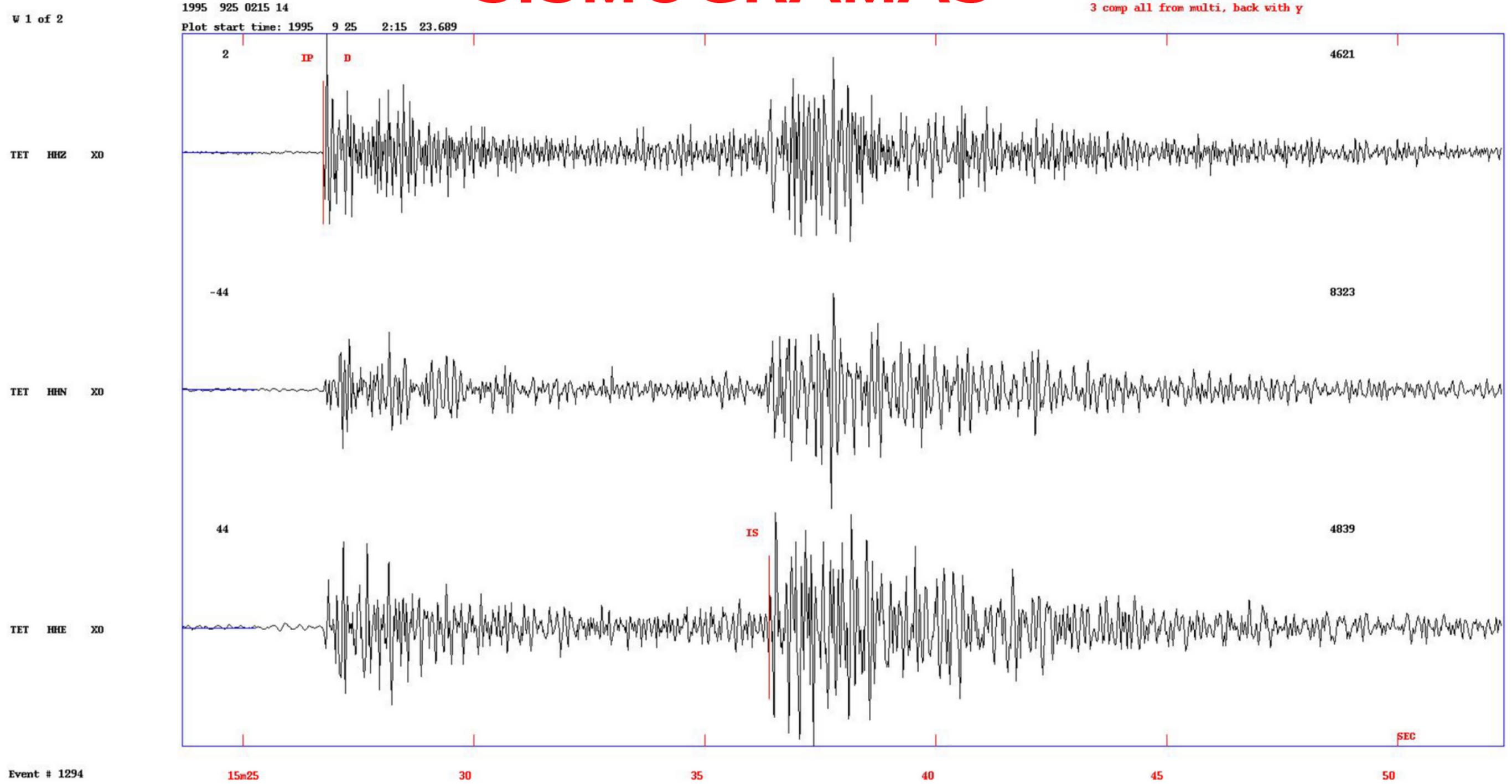
Dado que son generadas por ondas SH, pueden ser observadas en la componente tangencial de un sismograma.

La velocidad de las ondas Love es 0.9 de la velocidad de las ondas S y es ligeramente mayor a la velocidad de las ondas Rayleigh.

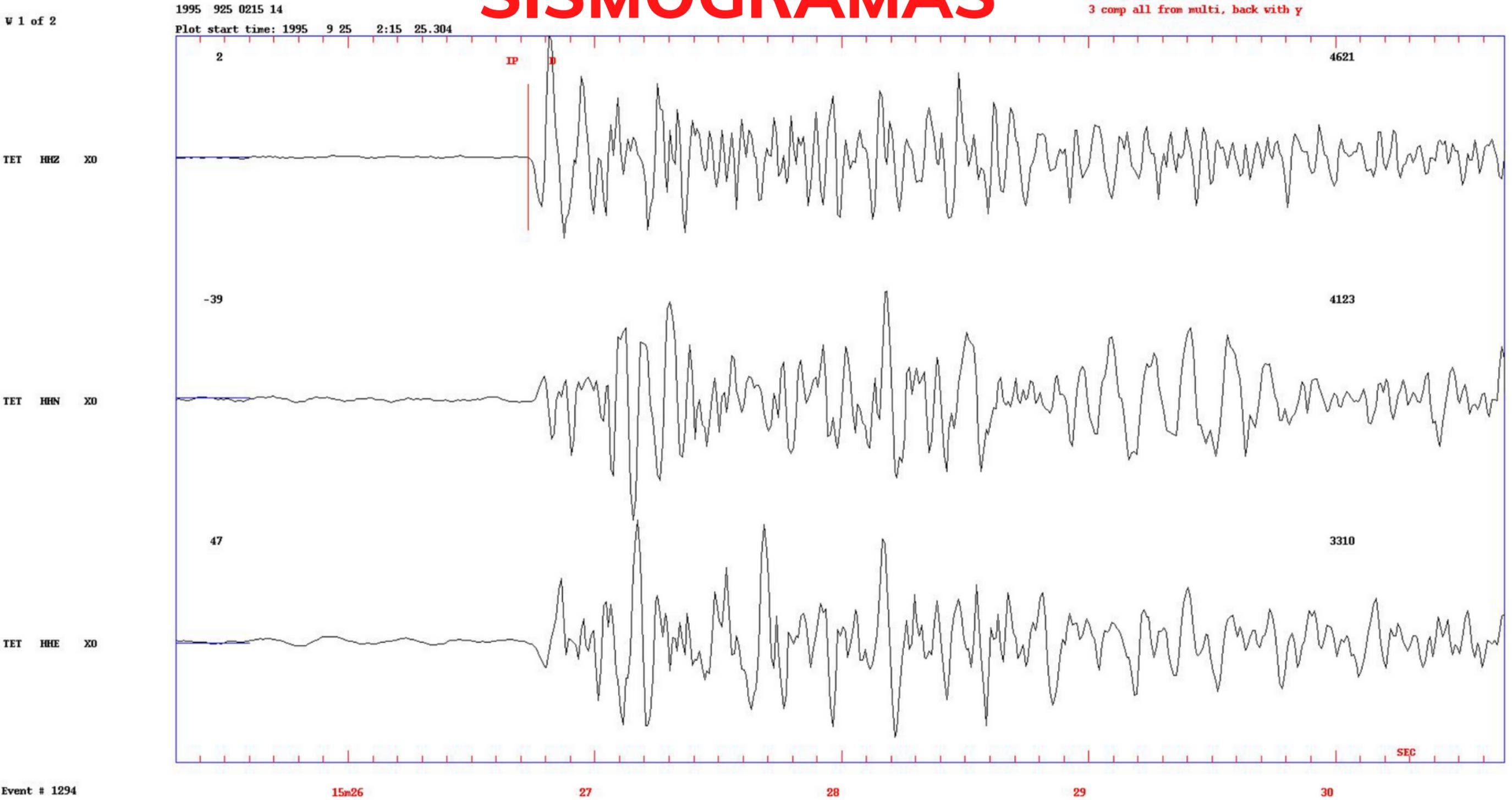




# IDENTIFICAR ONDAS DE CUERPO EN SISMOGRAMAS



# IDENTIFICAR ONDAS DE CUERPO EN SISMOGRAMAS

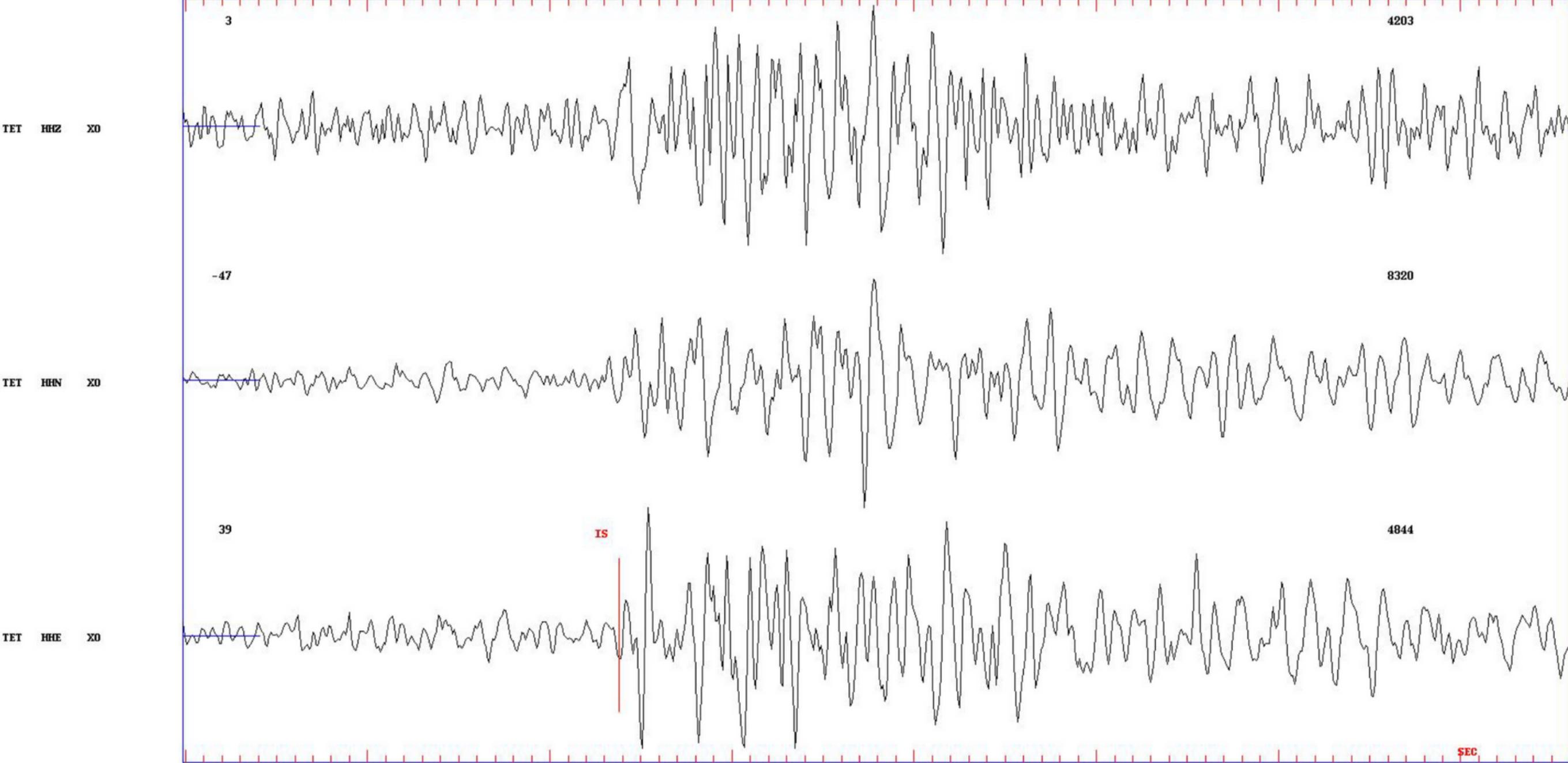


# IDENTIFICAR ONDAS DE CUERPO EN SISMOGRAMAS

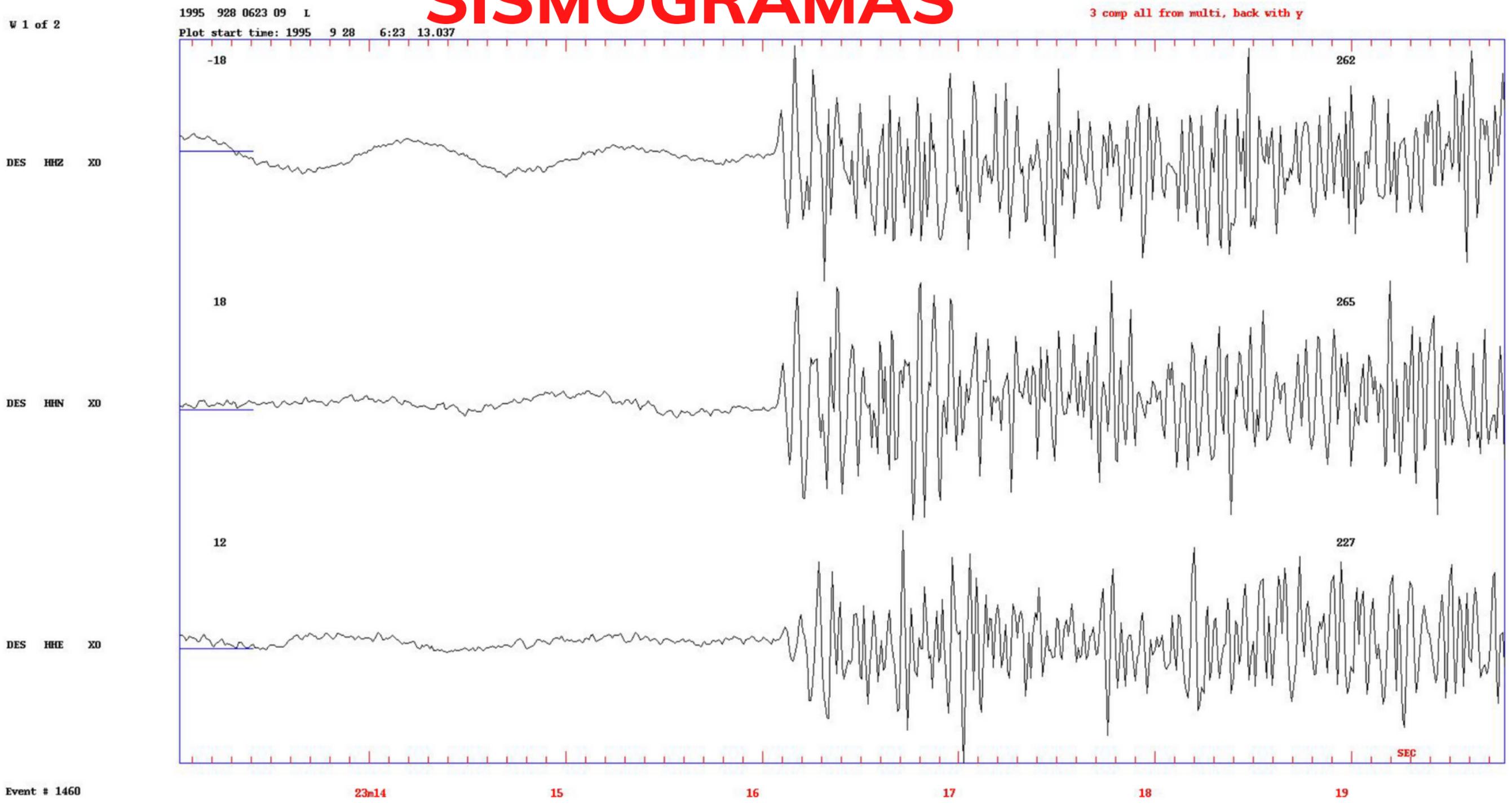
W 1 of 2

1995 925 0215 14  
Plot start time: 1995 9 25 2:15 33.988

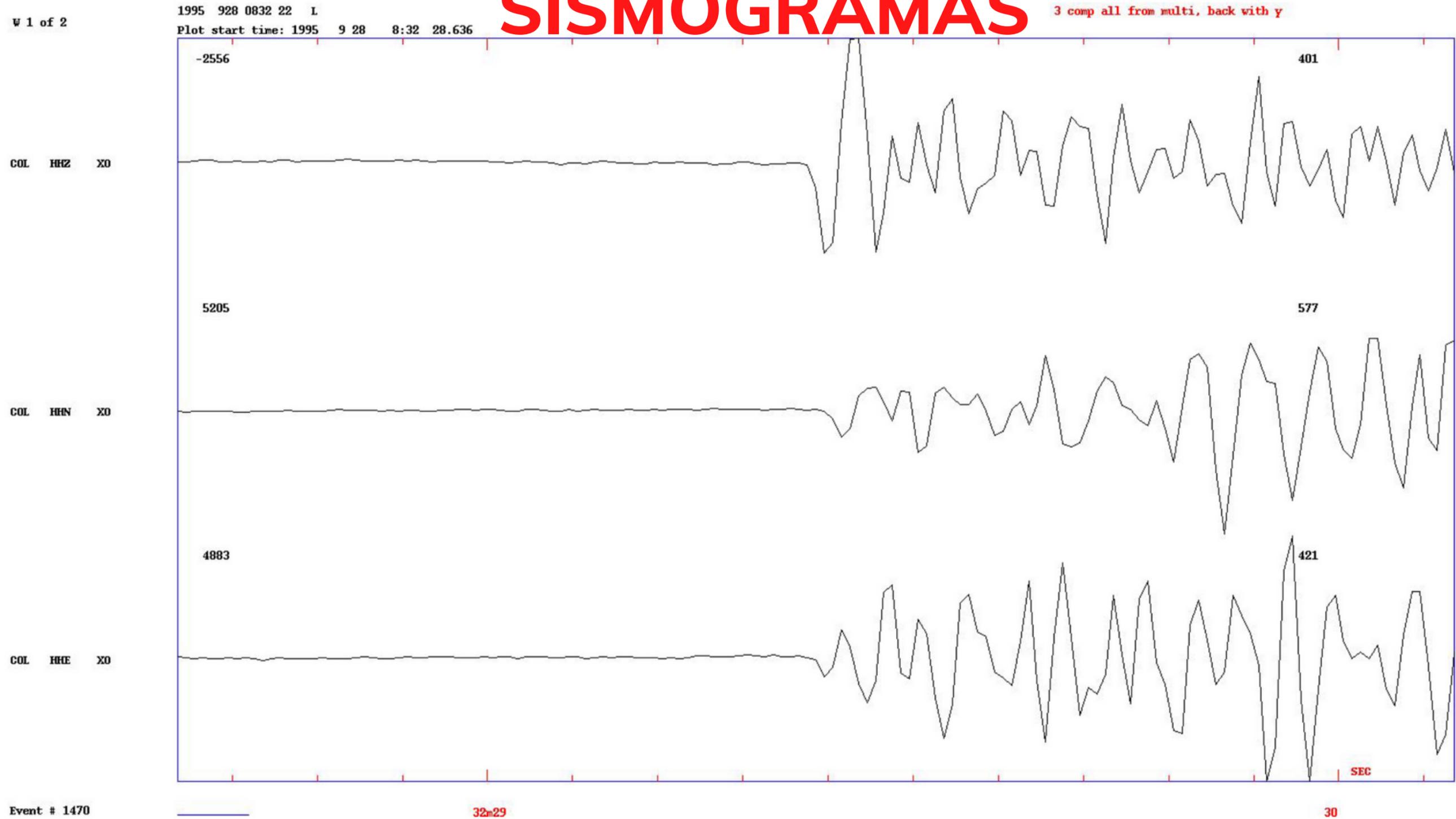
3 comp all from multi, back with y



# IDENTIFICAR ONDAS DE CUERPO EN SISMOGRAMAS



# IDENTIFICAR ONDAS DE CUERPO EN SISMOGRAMAS



# EVENTO REGIONAL

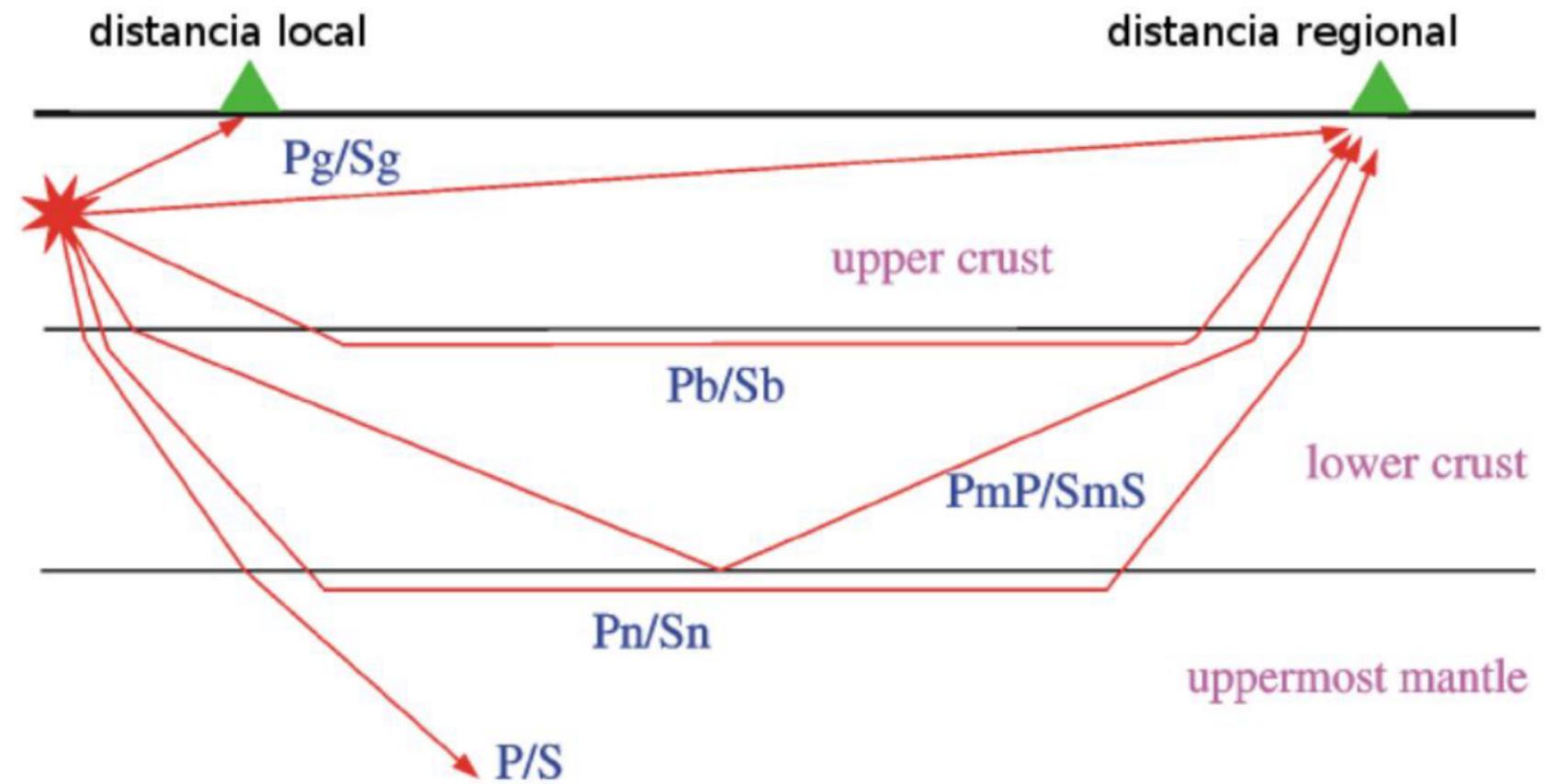
## Fases de ondas de cuerpo

Fases de la corteza: Pg, Sg

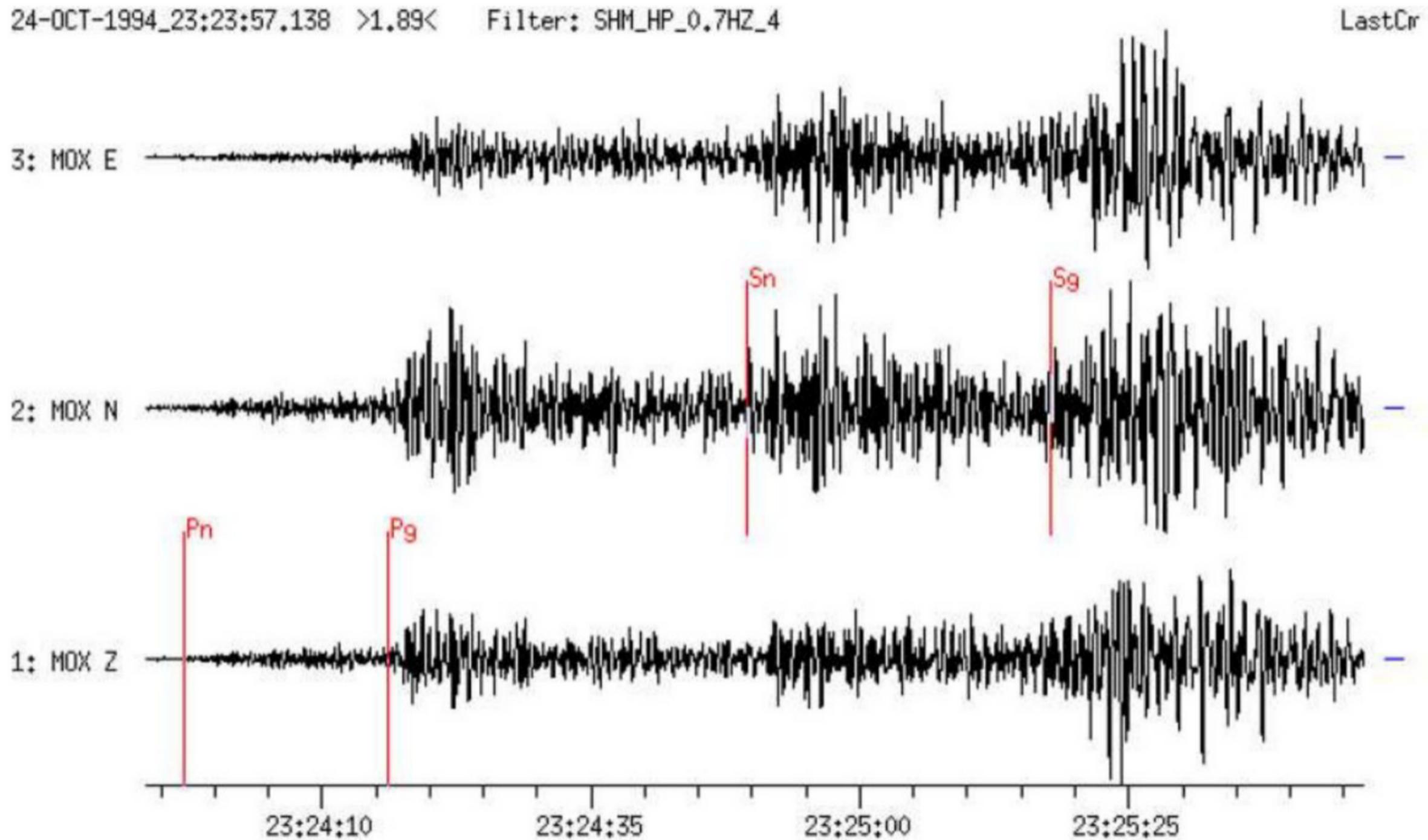
Fases refractadas bajo el Moho: Pn, Sn

Discontinuidades de la corteza: Pb, Sb

Reflexión del Moho: PmP, SmS



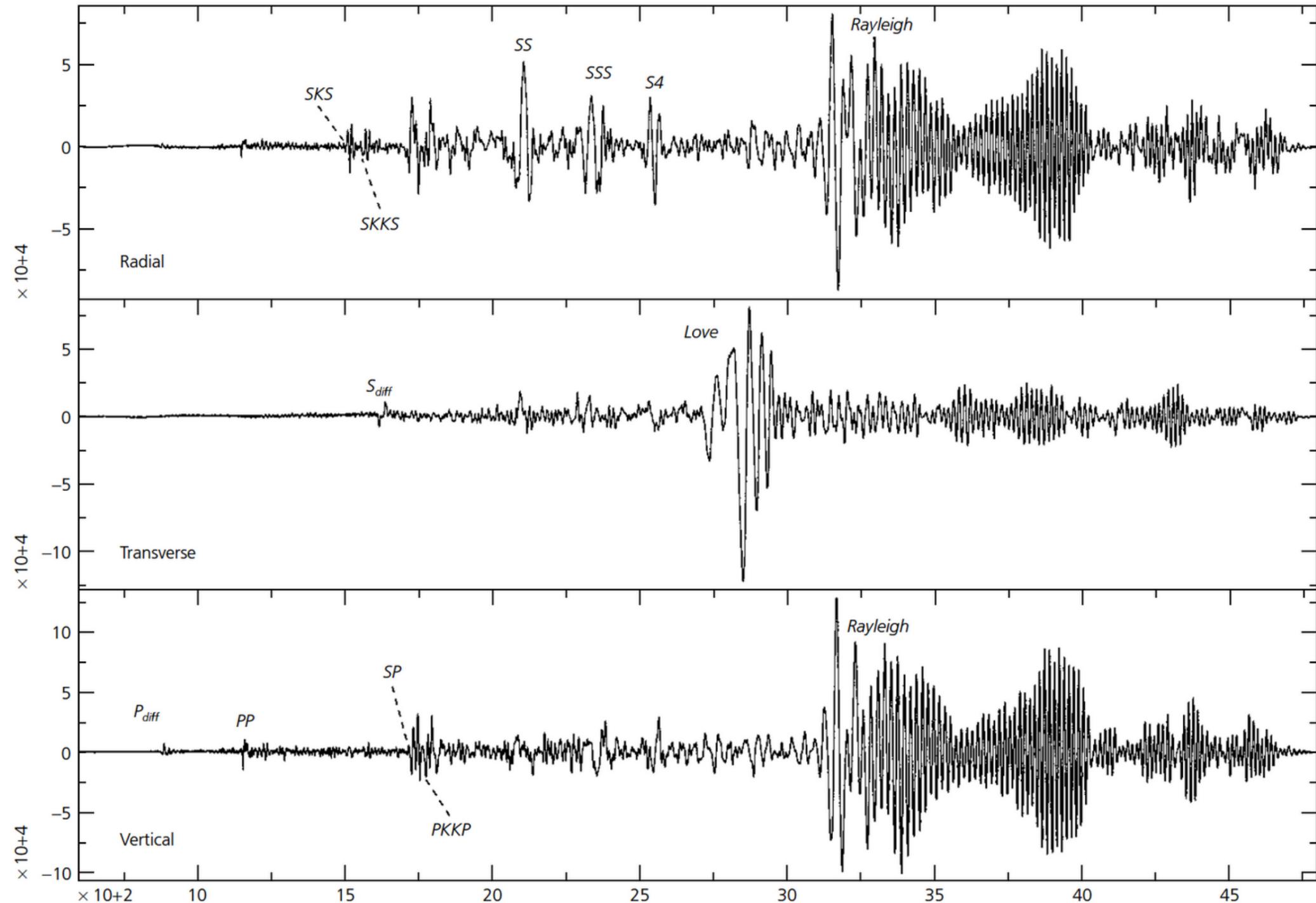
# EVENTO REGIONAL



# EVENTO TELESÍSMICO

Sobre los 15° es posible observar los eventos telesísmicos.

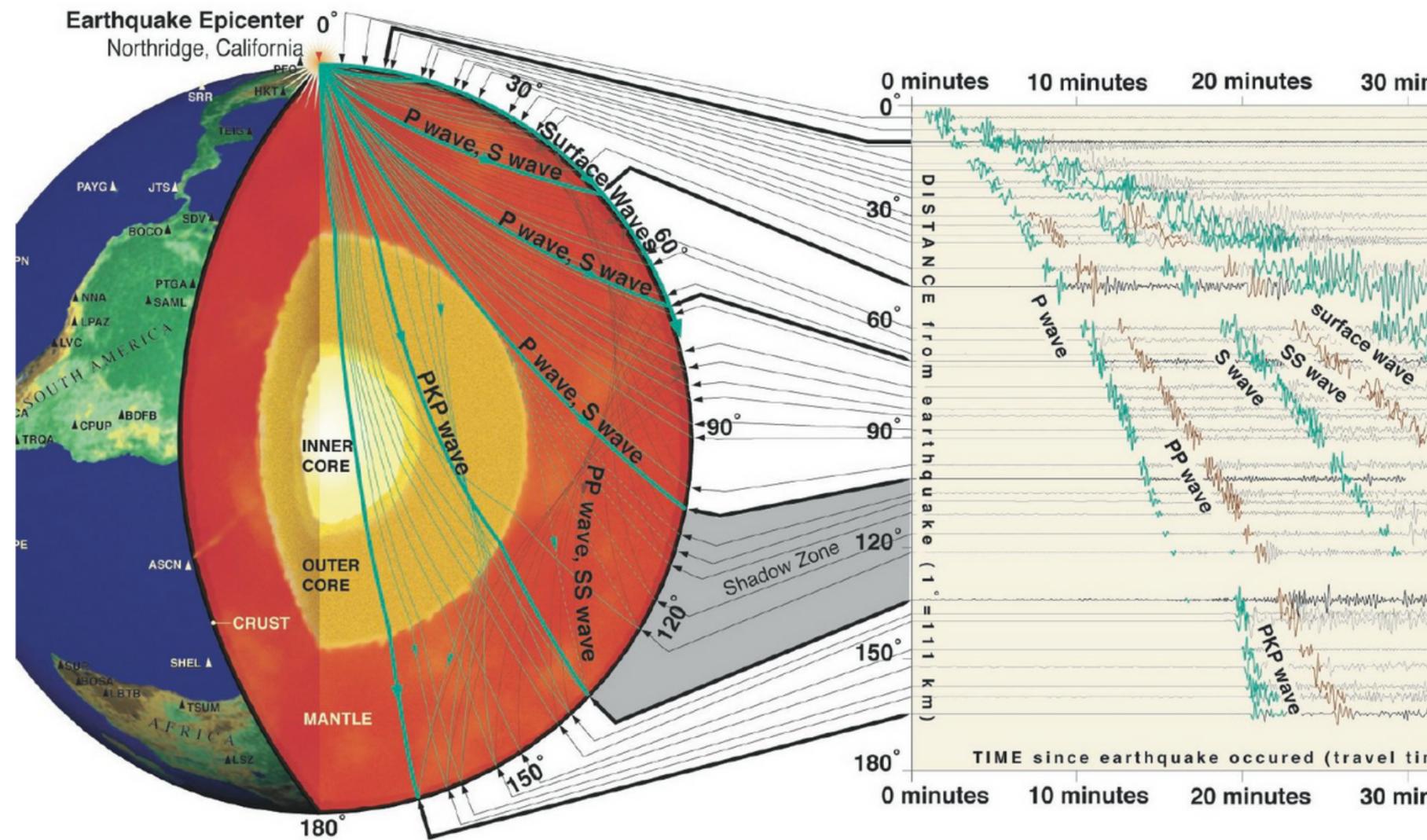
Se pueden observar muchas más fases sísmicas debido a reflexiones y refracciones dentro de la tierra y la interacción de las ondas con la superficie libre.



# EVENTO TELESÍSMICO

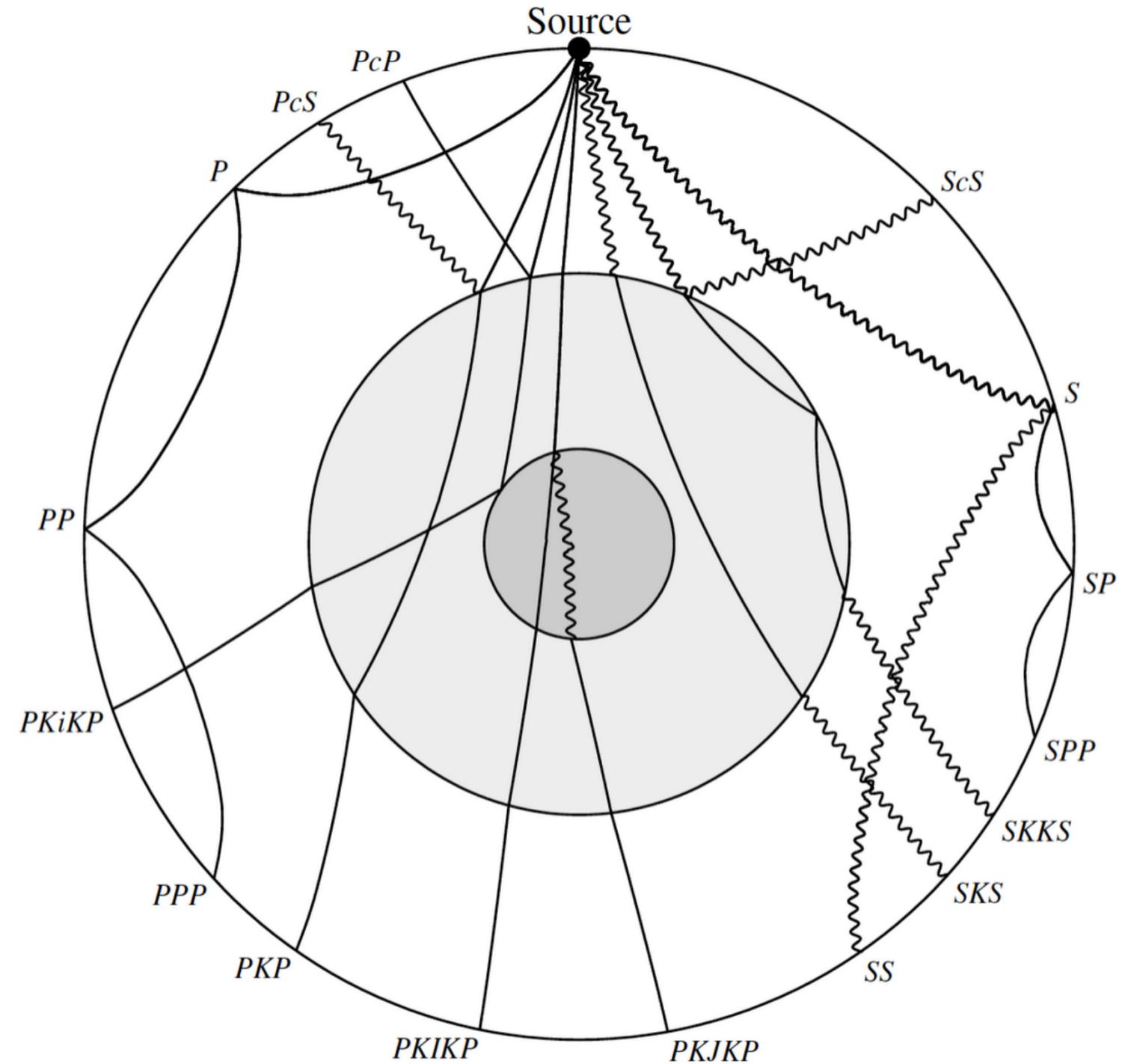
Hay una zona de sombra para las ondas P entre los 103° y 143°.

A pesar de ello se puede observar llegadas de ondas P en estaciones ubicadas en la zona de sombra, ¿por qué?



# EVENTO TELESÍSMICO

- K: Onda P en el núcleo externo
- I: Onda P en el núcleo interno
- J: Onda S en el núcleo interno
- c: Una reflexión en el borde núcleo externo-manto
- i: Una reflexión en el borde núcleo interno-núcleo externo

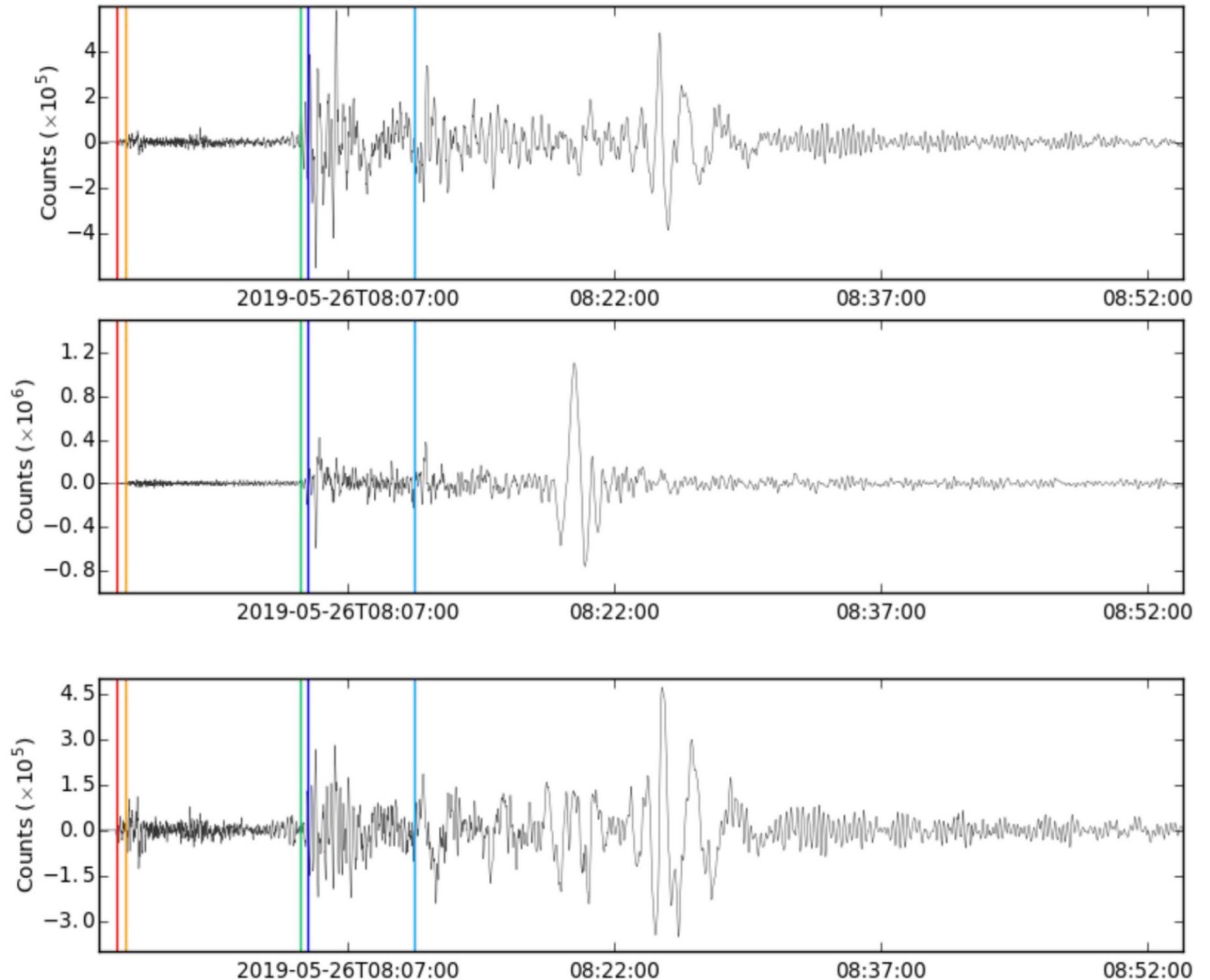


# EVENTO TELESÍSMICO

Registro del terremoto Mw 8.0 al norte de Perú, el pasado 26 de Mayo de 2019, en una estación ubicada en Alemania (90° de distancia).

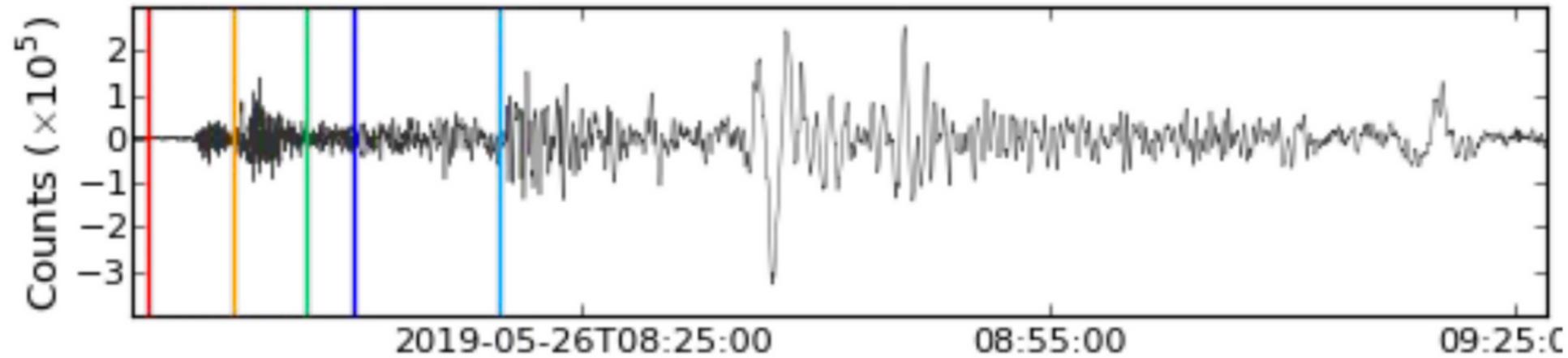
De acuerdo a lo que observa, Podría señalar cuál es la componente vertical?

Identifique las ondas superficiales. ¿ Se puede ver la onda de Rayleigh y la de Love?

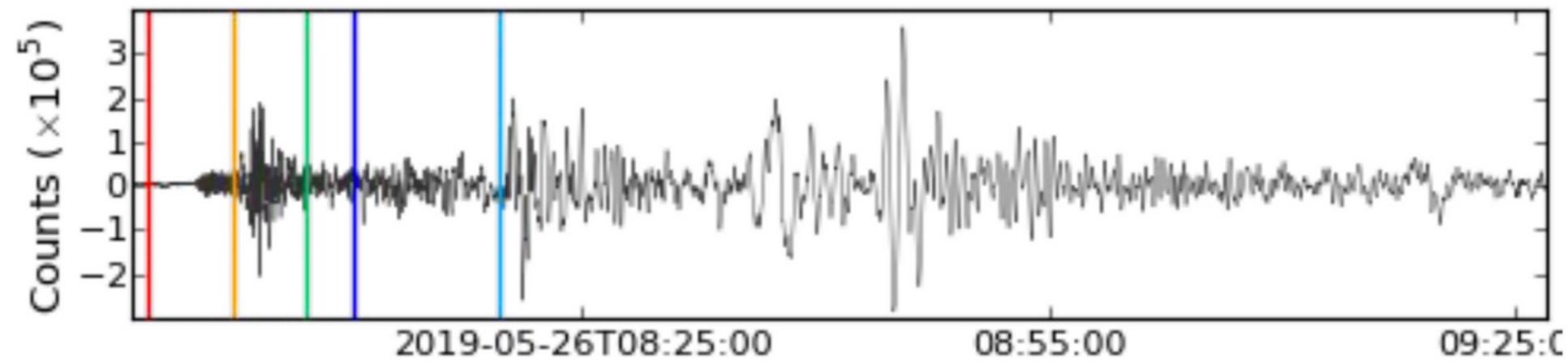


# EVENTO TELESÍSMICO

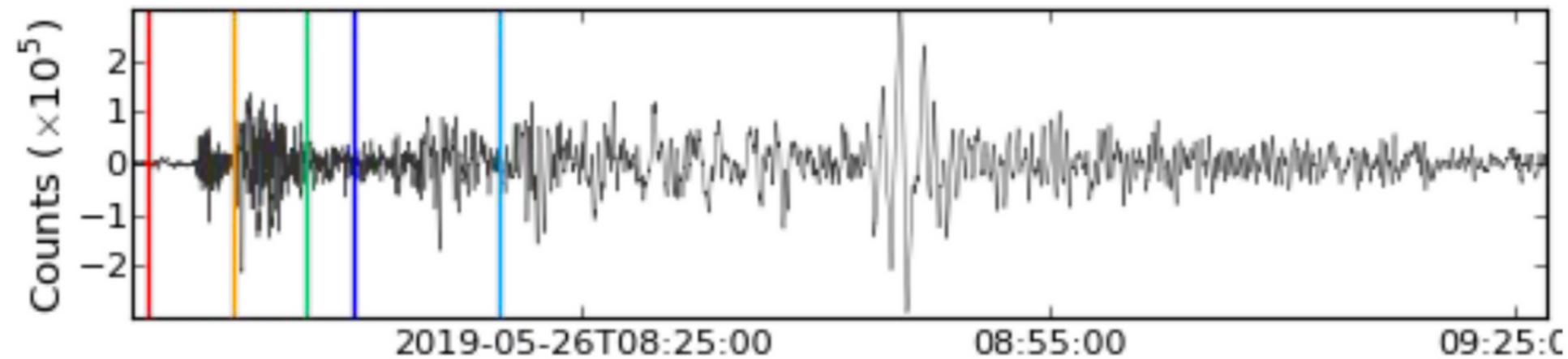
BH1



BH2



BHZ



## Phase Arrivals

**P**

+15m 45s

2019-05-26 07:57:00

**PP**

+21m 10s

2019-05-26 08:02:25

**S**

+29m 6s

2019-05-26 08:10:21

**SS**

+38m 28s

2019-05-26 08:19:43

**SKS**

+25m 52s

2019-05-26 08:07:07

Estación en  
Japón, a  
130°.

# LOCALIZACIÓN USANDO TIEMPOS DE LLEGADA

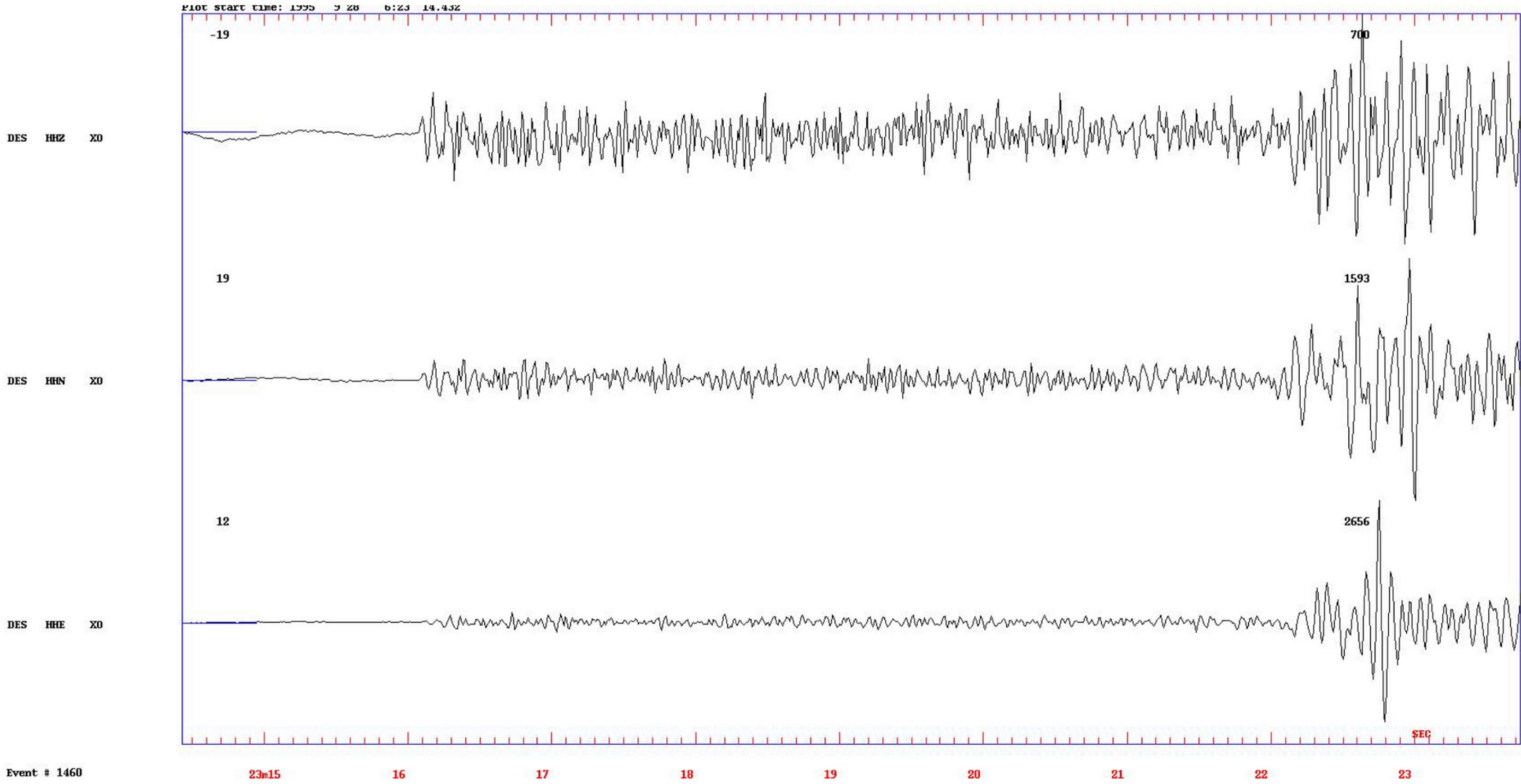
Los sismos locales, a una distancia de aprox. 200 km de la fuente pueden ser localizados utilizando la diferencia en los tiempos de llegada entre las ondas P y S.

Del ejemplo anterior, la diferencia entre la llegada de la onda P y S (S-P) es de aproximadamente 10 s.

Considerando velocidades constantes para la onda P y S de 6 km/s y 3.5 km/s, respectivamente. Se puede calcular la distancia entre el sismo y la estación de la siguiente forma:

$$\begin{aligned}\text{Tiempo (S-P)} &= \left( \frac{x}{v_s} - t_0 \right) - \left( \frac{x}{v_p} - t_0 \right) \\ \Rightarrow x &= (\text{S-P}) \frac{v_p v_s}{v_p - v_s}\end{aligned}$$

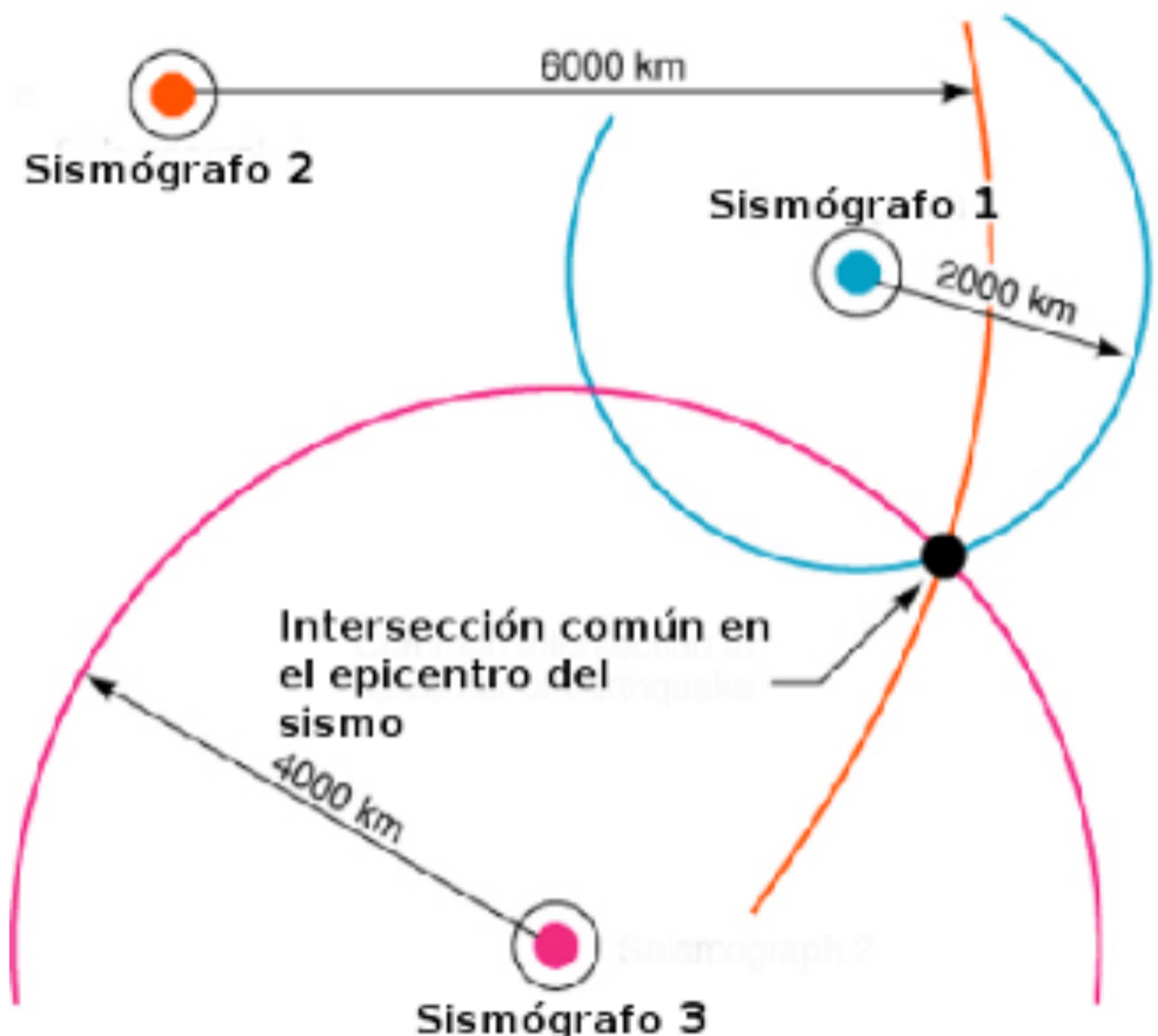
# LOCALIZACIÓN USANDO TIEMPOS DE LLEGADA

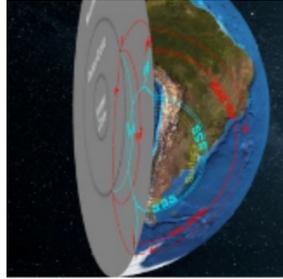


---

# LOCALIZACIÓN USANDO TIEMPOS DE LLEGADA

**¿CÓMO PUEDO ENCONTRAR EL EPICENTRO DEL  
TERREMOTO?**





**Swaves: an Earthquake Simulator page.**

An interactive 3D simulation of earthquake waves traveling the surface and interior of Earth. Control rotation, wave speed, choose various famous quake presets.

 [iris.edu](https://iris.edu)