

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/316147929>

# Local generation of Love waves at the edge of a 2D alluvial valley (Generación de ondas de Love en los bordes de valles aluviales)

Presentation · June 2016

CITATIONS

0

READS

28

1 author:



[Juan Camilo Molina Villegas](#)  
Universidad EAFIT

28 PUBLICATIONS 166 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Site Characterization Using Seismic Noise [View project](#)



Green function stiffness method for structures [View project](#)

# Generación de ondas de Love en los bordes de valles aluviales

Juan Camilo Molina V.

Universidad Nacional Autónoma de México.

22 de junio de 2016



# Índice

- 1 Introducción
- 2 Modelos simplificados antiplanos ( $SH$ -Love)
- 3 Trabajo futuro

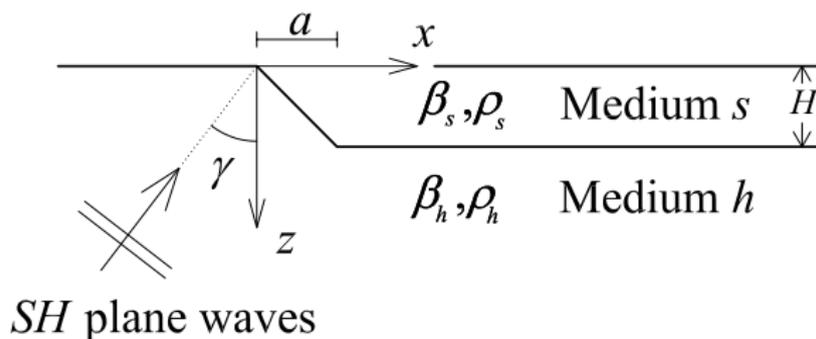
## Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es analizar la generación de ondas de Love en valles aluviales bidimensionales con irregularidad lateral ante la incidencia de ondas planas.

# Objetivo

El objetivo principal de este trabajo es analizar la generación de ondas de Love en valles aluviales bidimensionales con irregularidad lateral ante ante la incidencia de ondas planas.

La tipología de modelo analizado es la siguiente:



# Antecedentes

## Antecedentes

En la literatura existen algunos antecedentes del estudio de la respuesta de valles aluviales con irregularidad lateral, entre los cuales destacan:

## Antecedentes

En la literatura existen algunos antecedentes del estudio de la respuesta de valles aluviales con irregularidad lateral, entre los cuales destacan:

**Moczo y Bard:** Estudio de las funciones de transferencia y movimiento diferencial.

## Antecedentes

En la literatura existen algunos antecedentes del estudio de la respuesta de valles aluviales con irregularidad lateral, entre los cuales destacan:

**Moczo y Bard:** Estudio de las funciones de transferencia y movimiento diferencial.

**Narayan:** Estudios cuantitativos de la variación de parámetros como desplazamiento y deformaciones máximas (dominio del tiempo).

## Antecedentes

En la literatura existen algunos antecedentes del estudio de la respuesta de valles aluviales con irregularidad lateral, entre los cuales destacan:

**Moczo y Bard:** Estudio de las funciones de transferencia y movimiento diferencial.

**Narayan:** Estudios cuantitativos de la variación de parámetros como desplazamiento y deformaciones máximas (dominio del tiempo).

**Gatmiri:** Estudio de espectros de respuesta elásticos.

## Antecedentes

En la literatura existen algunos antecedentes del estudio de la respuesta de valles aluviales con irregularidad lateral, entre los cuales destacan:

**Moczo y Bard:** Estudio de las funciones de transferencia y movimiento diferencial.

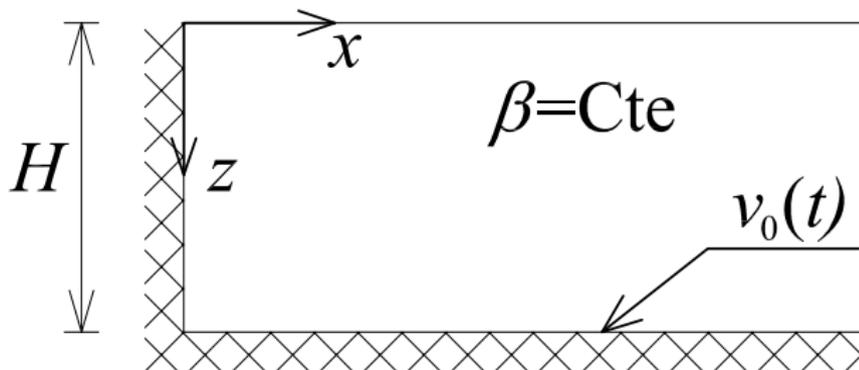
**Narayan:** Estudios cuantitativos de la variación de parámetros como desplazamiento y deformaciones máximas (dominio del tiempo).

**Gatmiri:** Estudio de espectros de respuesta elásticos.

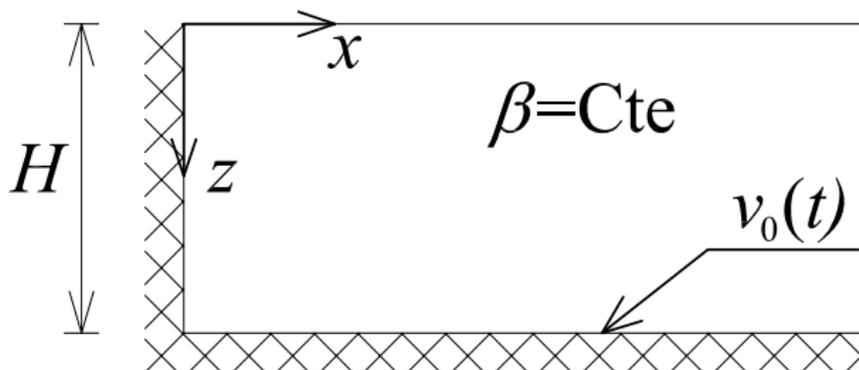
Ninguno de los mencionados autores propone un método simplificado o estudia la emisión de ondas superficiales.

Modelo antiplano  
*SH*-Love

# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)

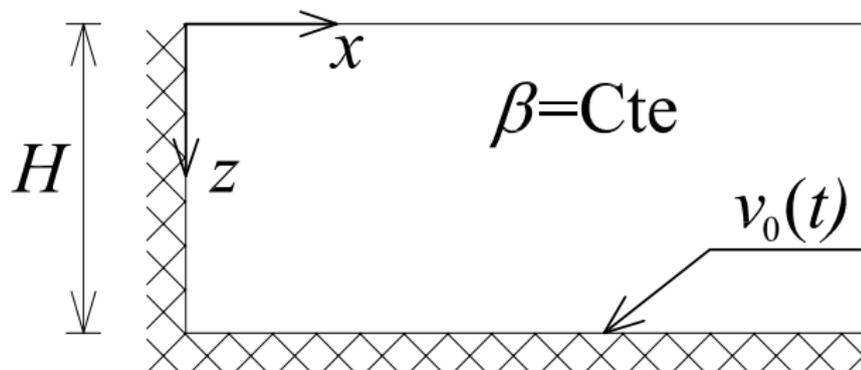


# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



$$\begin{aligned}
 v(x, z, \omega) &= v_{1D}(x, z, \omega) + v_D(x, z, \omega) \\
 &= \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{\Omega_n^2 - \omega^2 \exp(-ik_n x)}{\Omega_n^2 - \omega^2} \cos\left(\frac{\Omega_n z}{\beta}\right) v_0(\omega)
 \end{aligned}$$

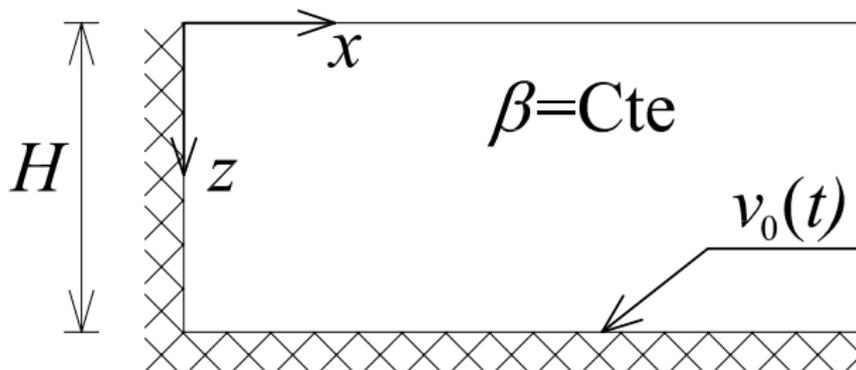
# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



$$\begin{aligned}
 v(x, z, \omega) &= v_{1D}(x, z, \omega) + v_D(x, z, \omega) \\
 &= \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{\Omega_n^2 - \omega^2 \exp(-ik_n x)}{\Omega_n^2 - \omega^2} \cos\left(\frac{\Omega_n z}{\beta}\right) v_0(\omega)
 \end{aligned}$$

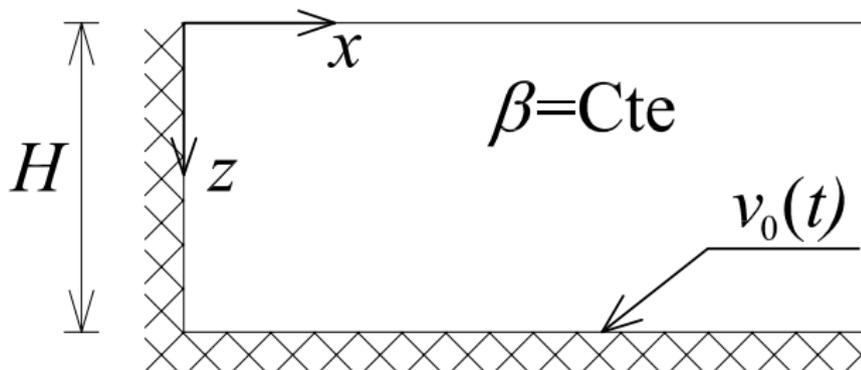
Donde:  $\Omega_n = \frac{(2n+1)\beta}{2H} \pi$       y       $k_n = \sqrt{\frac{\omega^2}{\beta^2} - \Omega_n^2}$

# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



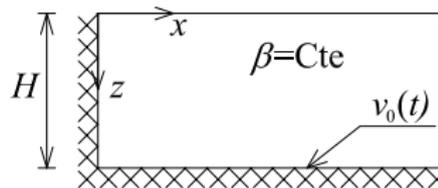
$$\begin{aligned}
 v(x, z, \omega) &= v_{1D}(x, z, \omega) + v_D(x, z, \omega) \\
 &= \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{\Omega_n^2 - \omega^2 \exp(-ik_n x)}{\Omega_n^2 - \omega^2} \cos\left(\frac{\Omega_n z}{\beta}\right) v_0(\omega)
 \end{aligned}$$

# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)

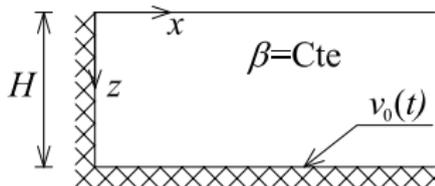


$$\begin{aligned}
 v(x, z, \omega) &= v_{1D}(x, z, \omega) + v_D(x, z, \omega) \\
 &= \frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n}{2n+1} \frac{\Omega_n^2 - \omega^2 \exp(-ik_n x)}{\Omega_n^2 - \omega^2} \cos\left(\frac{\Omega_n z}{\beta}\right) v_0(\omega)
 \end{aligned}$$

# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



Sismogramas sintéticos

para un modelo con:

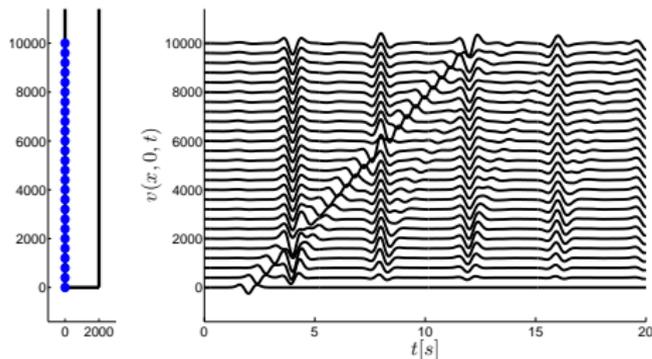
$$\beta = 1000\text{m/s}$$

$$H = 2000\text{m}$$

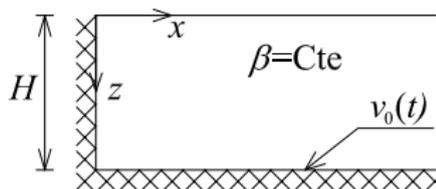
Pulso de Ricker:

$$t_s = 2,0\text{s}$$

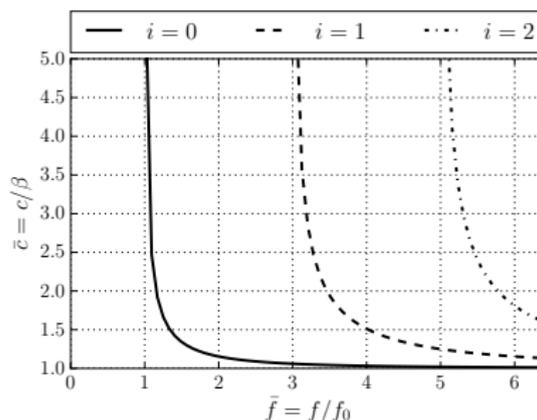
$$t_p = 1,0\text{s}$$



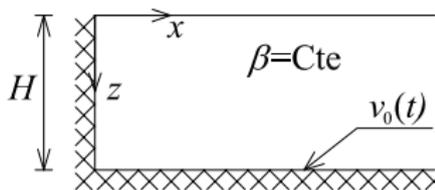
# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



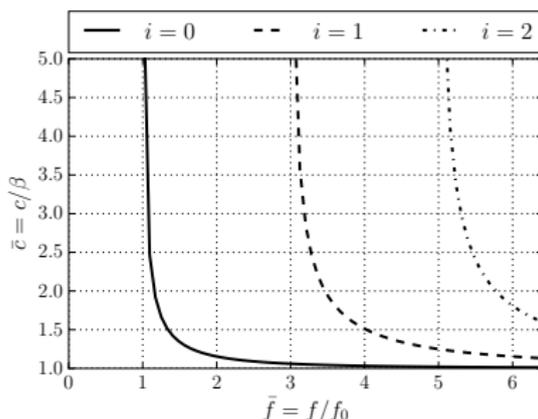
## Curvas de dispersión



# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)

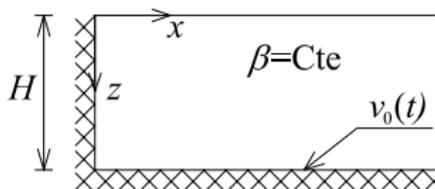


## Curvas de dispersión

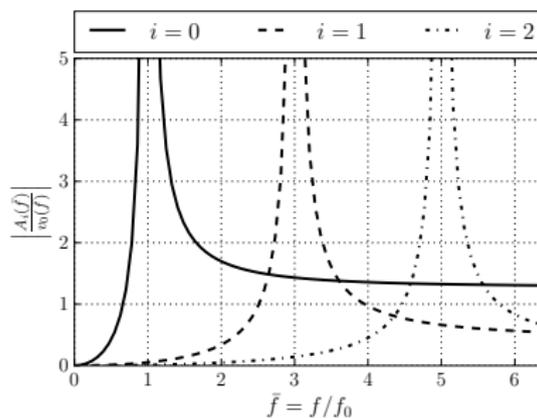


**Las curvas de dispersión y formas modales son iguales a las del modelo 1D**

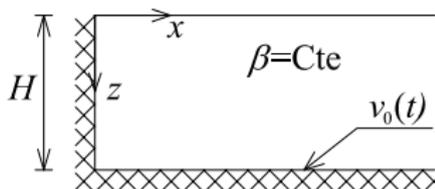
# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



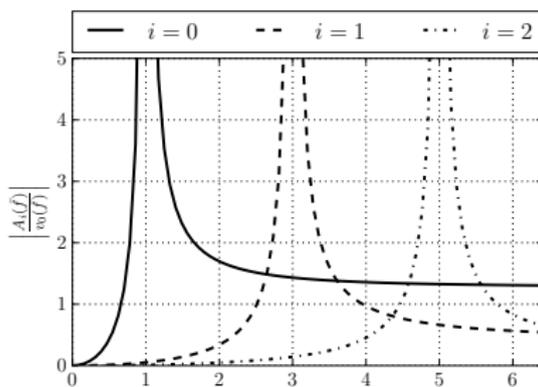
Amplitud coeficientes  
de emisión ondas de  
Love



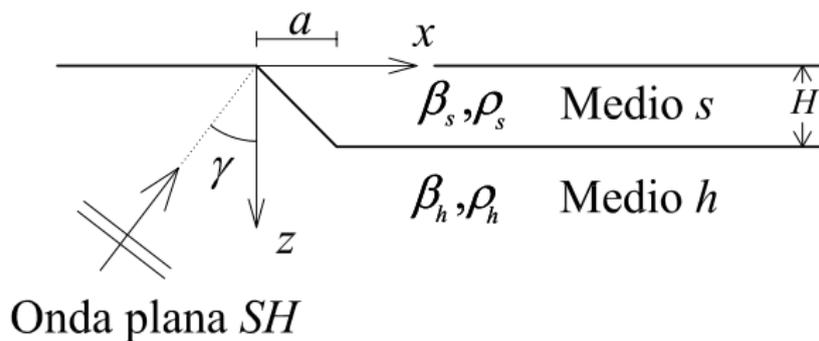
# Modelo analítico (estrato con base y paredes rígidas)



Amplitud coeficientes  
de emisión ondas de  
Love



$$v_D(x, z, \omega) = -\frac{4}{\pi} \sum_{n=0}^{+\infty} \frac{(-1)^n \omega^2 \exp(-ik_n x)}{2n+1 \Omega_n^2 - \omega^2} \cos\left(\frac{\Omega_n z}{\beta}\right) v_0(\omega)$$

Modelo numérico *SH*

## Descripción del modelo a emplear

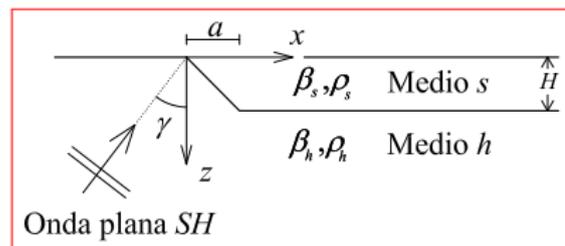
El campo total dentro del valle puede aproximarse como la suma del campo del modelo 1D “asociado” y un campo difractado.

$$v(\mathbf{x}, \omega) = v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) + v_D(\mathbf{x}, \omega)$$

## Descripción del modelo a emplear

El campo total dentro del valle puede aproximarse como la suma del campo del modelo 1D “asociado” y un campo difractado.

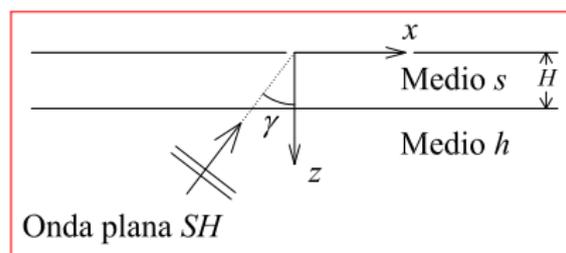
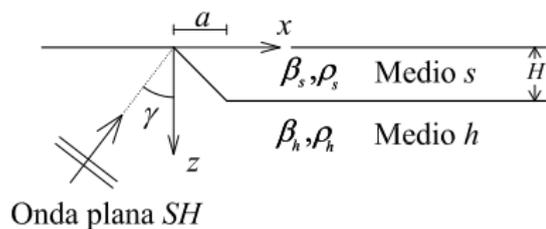
$$v(\mathbf{x}, \omega) = v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) + v_D(\mathbf{x}, \omega)$$



## Descripción del modelo a emplear

El campo total dentro del valle puede aproximarse como la suma del campo del modelo 1D “asociado” y un campo difractado.

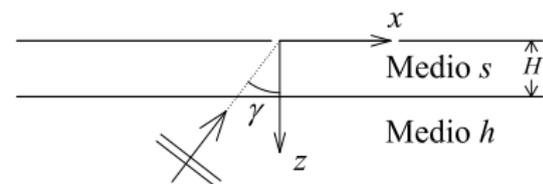
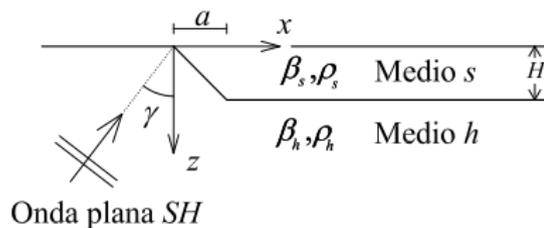
$$v(\mathbf{x}, \omega) = v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) + v_D(\mathbf{x}, \omega)$$



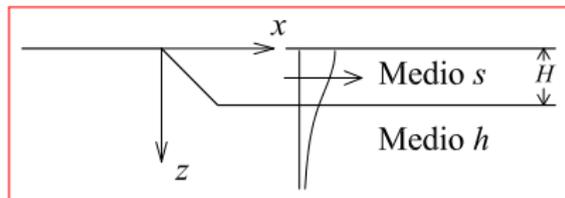
## Descripción del modelo a emplear

El campo total dentro del valle puede aproximarse como la suma del campo del modelo 1D “asociado” y un campo difractado.

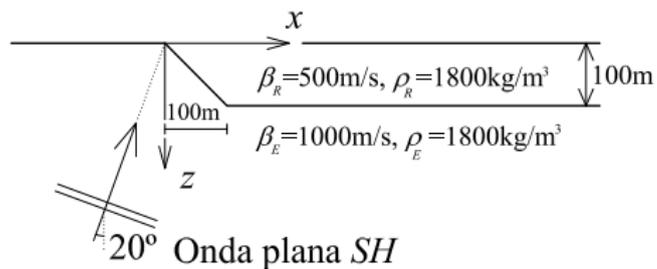
$$v(\mathbf{x}, \omega) = v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) + v_D(\mathbf{x}, \omega)$$



Onda plana SH



# Justificación



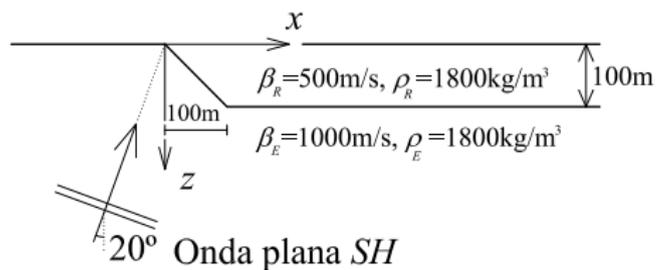
Onda incidente

Pulso de Ricker

$$t_s = 3.0\text{s}$$

$$t_p = 0.8\text{s}$$

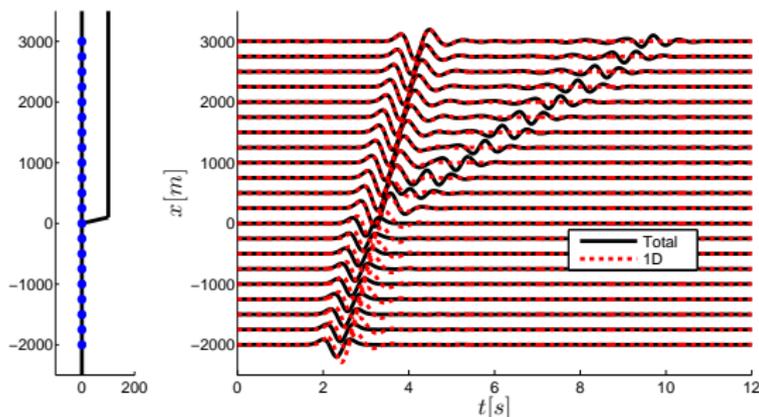
# Justificación



Onda incidente  
Pulso de Ricker

$$t_s = 3.0 \text{ s}$$

$$t_p = 0.8 \text{ s}$$



# Cálculo del campo difractado aproximado

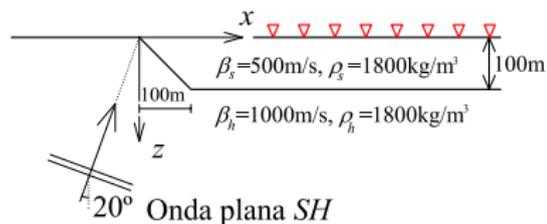
## Hipótesis:

No muy cerca de la irregularidad lateral, las únicas ondas superficiales que pueden existir son las del modelo 1D.

# Cálculo del campo difractado aproximado

## Hipótesis:

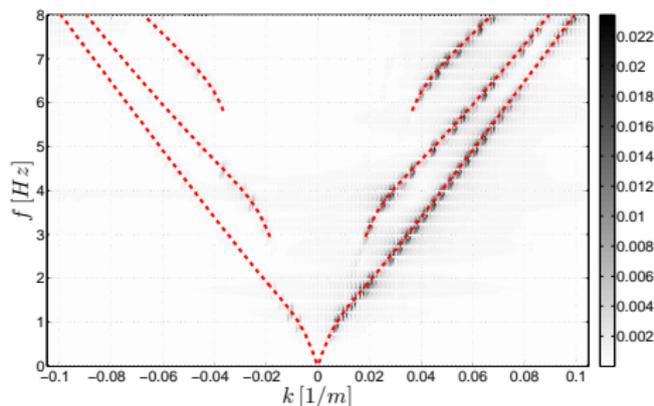
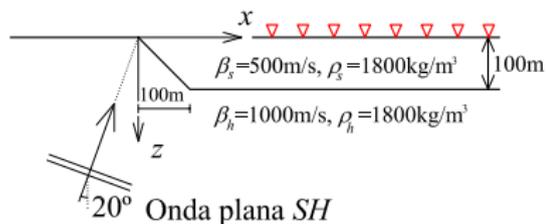
No muy cerca de la irregularidad lateral, las únicas ondas superficiales que pueden existir son las del modelo 1D.



# Cálculo del campo difractado aproximado

## Hipótesis:

No muy cerca de la irregularidad lateral, las únicas ondas superficiales que pueden existir son las del modelo 1D.



## Cálculo del campo difractado aproximado

Basado en la hipótesis anterior, el campo difractado dentro del valle puede aproximarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}v_D(\mathbf{x}, \omega) &= v(\mathbf{x}, \omega) - v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) \\ &\approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)\end{aligned}$$

## Cálculo del campo difractado aproximado

Basado en la hipótesis anterior, el campo difractado dentro del valle puede aproximarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}v_D(\mathbf{x}, \omega) &= v(\mathbf{x}, \omega) - v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) \\ &\approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)\end{aligned}$$

Donde:

$A_n(\omega)$ : Amplitud del  $n$ -ésimo modo (por calcular).

## Cálculo del campo difractado aproximado

Basado en la hipótesis anterior, el campo difractado dentro del valle puede aproximarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}v_D(\mathbf{x}, \omega) &= v(\mathbf{x}, \omega) - v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) \\ &\approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)\end{aligned}$$

Donde:

$A_n(\omega)$ : Amplitud del  $n$ -ésimo modo (por calcular).

$\Phi_n(z, \omega)$ : Forma modal del  $n$ -ésimo modo (modelo 1D).

## Cálculo del campo difractado aproximado

Basado en la hipótesis anterior, el campo difractado dentro del valle puede aproximarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}v_D(\mathbf{x}, \omega) &= v(\mathbf{x}, \omega) - v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) \\ &\approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-i k_n x)\end{aligned}$$

Donde:

$A_n(\omega)$ : Amplitud del  $n$ -ésimo modo (por calcular).

$\Phi_n(z, \omega)$ : Forma modal del  $n$ -ésimo modo (modelo 1D).

$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)}$ : Número de onda horizontal (modelo 1D).

## Cálculo del campo difractado aproximado

Basado en la hipótesis anterior, el campo difractado dentro del valle puede aproximarse de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}v_D(\mathbf{x}, \omega) &= v(\mathbf{x}, \omega) - v_{1D}(\mathbf{x}, \omega) \\ &\approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)\end{aligned}$$

Donde:

$A_n(\omega)$ : Amplitud del  $n$ -ésimo modo (por calcular).

$\Phi_n(z, \omega)$ : Forma modal del  $n$ -ésimo modo (modelo 1D).

$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)}$ : Número de onda horizontal (modelo 1D).

$N$ : Número de modos que existen para la frecuencia  $\omega$ .

## Cálculo del campo difractado aproximado

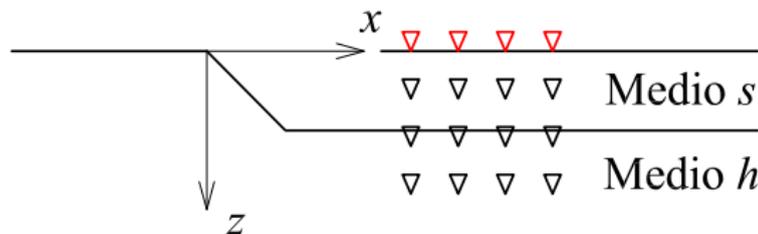
$$v_D(\mathbf{x}, \omega) \approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)$$

La amplitud del campo difractado se obtiene por medio de la evaluación de la anterior ecuación para un conjunto de observadores de tal forma que se obtenga un sistema sobredeterminado de ecuaciones.

# Cálculo del campo difractado aproximado

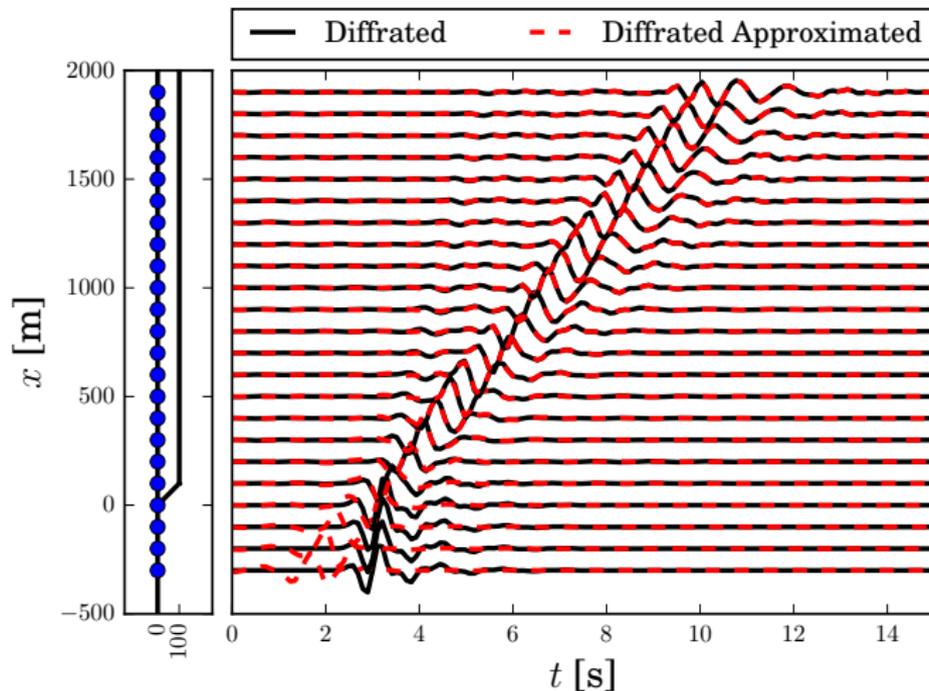
$$v_D(\mathbf{x}, \omega) \approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n(z, \omega) \exp(-ik_n x)$$

La amplitud del campo difractado se obtiene por medio de la evaluación de la anterior ecuación para un conjunto de observadores de tal forma que se obtenga un sistema sobredeterminado de ecuaciones.



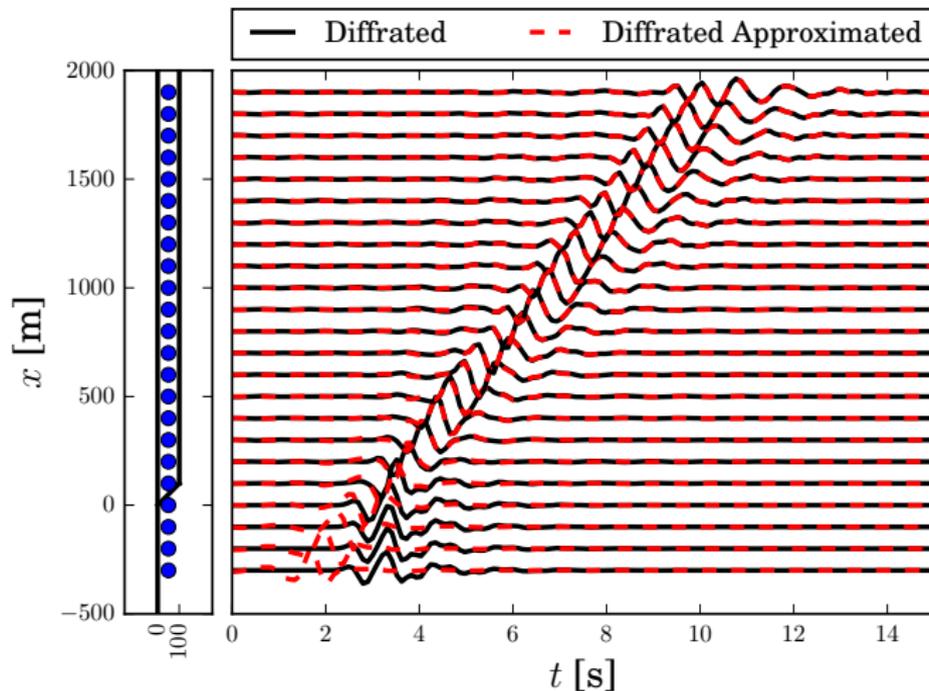
## Comparación de los campos difractados

Comparación del campo de desplazamiento difractado total y difractado aproximado para observadores en superficie.



# Comparación del campo difractado aproximado

Comparación del campo de desplazamiento difractado y difractado aproximado para observadores en el interior.



## Análisis paramétrico

Se ha realizado un análisis paramétrico en el cual se han empleado las siguientes variables adimensionales:

$\bar{a} = \frac{a}{H}$ : Longitud adimensional de la irregularidad lateral.

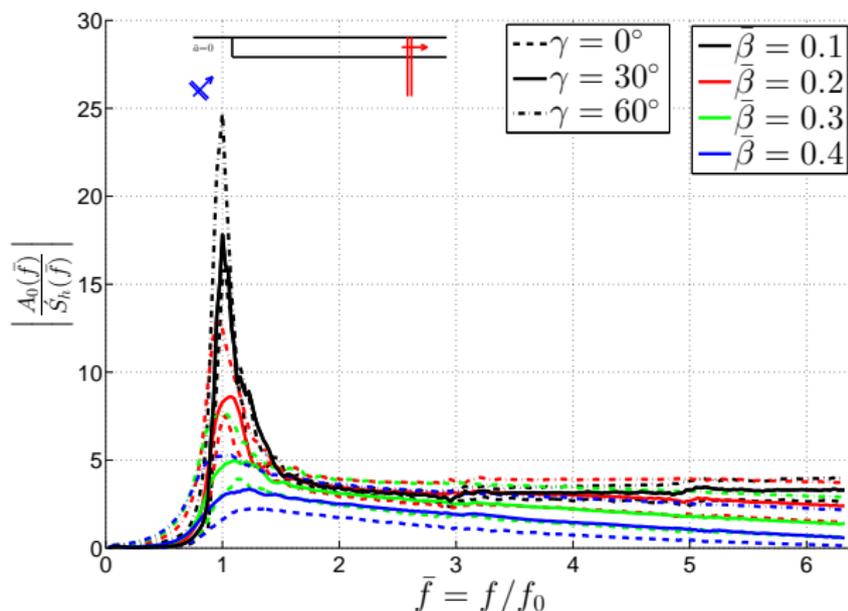
$\bar{\beta} = \frac{\beta_s}{\beta_h}$ : Cociente entre la velocidad de propagación de las ondas de corte entre el estrato y el semiespacio.

$\bar{\rho} = \frac{\rho_s}{\rho_h}$ : Cociente entre las densidades del estrato y del semiespacio.

$\frac{f}{f_0}$ : Cociente entre la frecuencia y la frecuencia fundamental del modelo 1D.

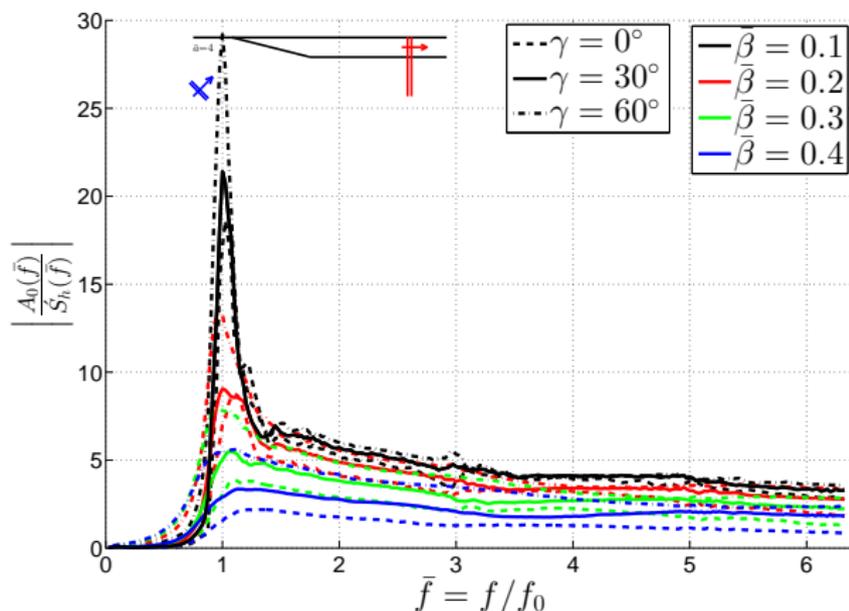
$\bar{a}$	$\bar{\beta}$	$\bar{\rho}$	$\gamma$
31 valores (0.1 y 8)	31 valores (0.1 y 0.5)	1	0°, 10°, ... , 80°

# Coefficientes de emisión de las ondas de Love



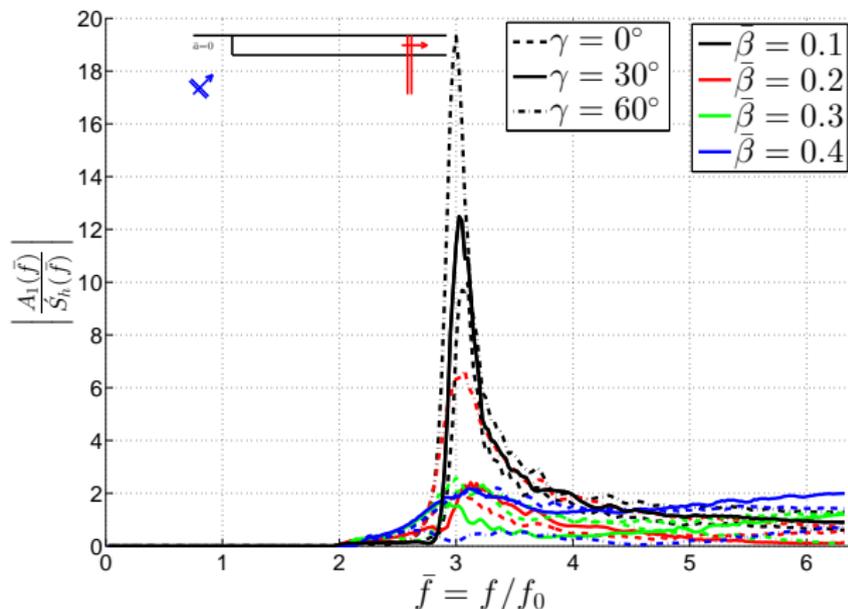
Amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para el modo fundamental y  $\bar{a}=0.0$ .

# Coefficientes de emisión de las ondas de Love



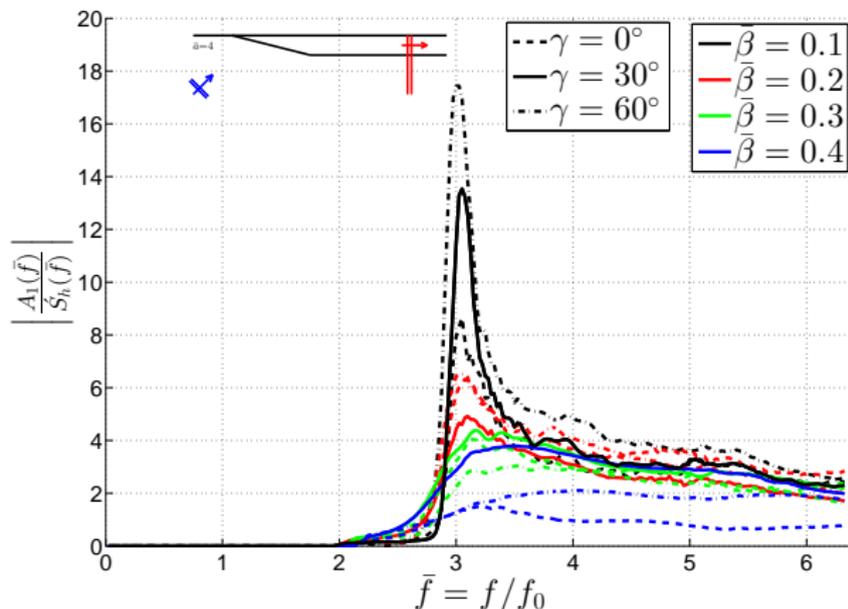
Amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para el modo fundamental y  $\bar{a}=4.0$ .

# Coefficientes de emisión de las ondas de Love



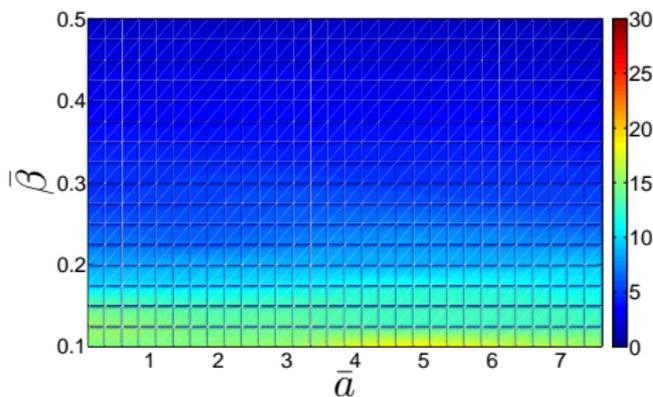
Amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para el primer armónico y  $\bar{a}=0.0$ .

# Coefficientes de emisión de las ondas de Love

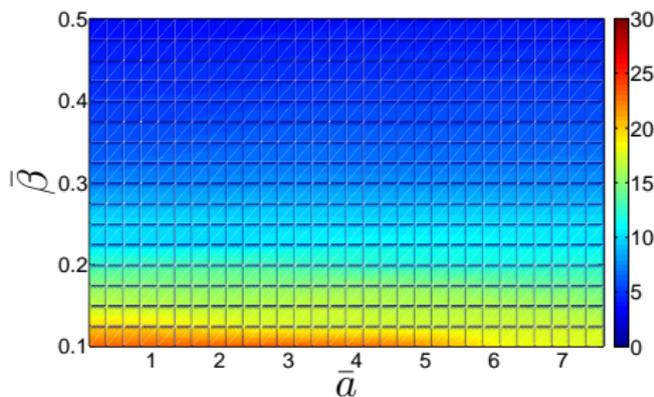


Amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para el primer armónico y  $\bar{a}=4.0$ .

# Máxima amplitud de los coeficientes de emisión para el modo fundamental



Máxima amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para un ángulo de incidencia de  $\gamma=30^\circ$



Máxima amplitud de los coeficientes de emisión de las ondas de Love para un ángulo de incidencia de  $\gamma=60^\circ$

# Conclusiones

## Conclusiones

- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.

## Conclusiones

- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.
- 2 El campo difractado está estrechamente relacionado con el modelo unidimensional, en particular el primero puede ser aproximado como la suma de las ondas de Love que pueden existir en el modelo unidimensional.

## Conclusiones

- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.
- 2 El campo difractado está estrechamente relacionado con el modelo unidimensional, en particular el primero puede ser aproximado como la suma de las ondas de Love que pueden existir en el modelo unidimensional.
- 3 Los coeficientes de emisión de las ondas de Love tienen frecuencias de corte que coinciden con las frecuencias fundamentales del modelo unidimensional  $(2n + 1)f_0$ .

## Conclusiones

- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.
- 2 El campo difractado está estrechamente relacionado con el modelo unidimensional, en particular el primero puede ser aproximado como la suma de las ondas de Love que pueden existir en el modelo unidimensional.
- 3 Los coeficientes de emisión de las ondas de Love tienen frecuencias de corte que coinciden con las frecuencias fundamentales del modelo unidimensional  $(2n + 1)f_0$ .
- 4 La amplitud de los coeficientes de emisión se incrementa al disminuir  $\bar{\beta}$  (al ser el estrato mas blando).

## Conclusiones

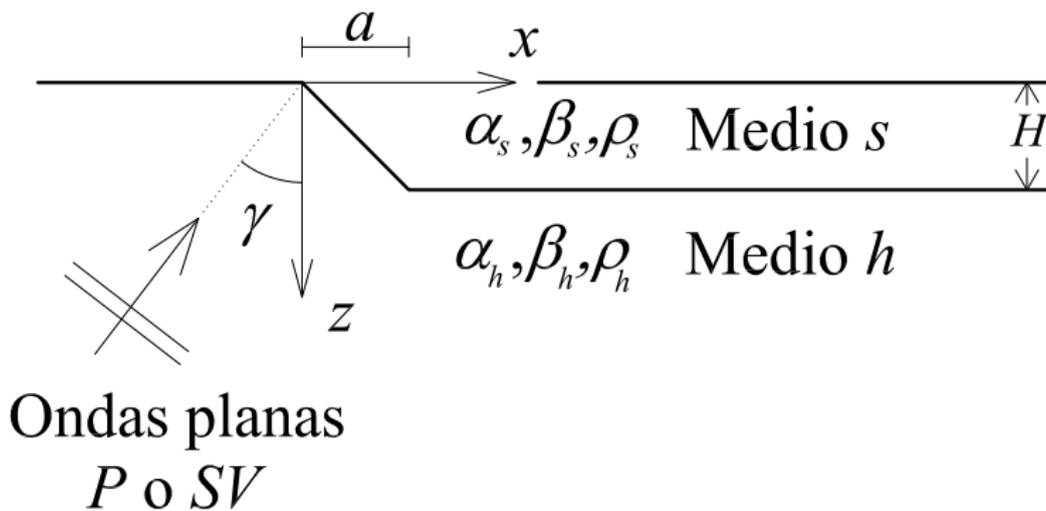
- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.
- 2 El campo difractado está estrechamente relacionado con el modelo unidimensional, en particular el primero puede ser aproximado como la suma de las ondas de Love que pueden existir en el modelo unidimensional.
- 3 Los coeficientes de emisión de las ondas de Love tienen frecuencias de corte que coinciden con las frecuencias fundamentales del modelo unidimensional  $(2n + 1)f_0$ .
- 4 La amplitud de los coeficientes de emisión se incrementa al disminuir  $\bar{\beta}$  (al ser el estrato mas blando).
- 5 Al incrementar el ángulo de incidencia se incrementan las amplitudes de los coeficientes de emisión de las ondas de Love.

## Conclusiones

- 1 Es posible descomponer el campo total en la tipología de modelos estudiados como la suma de la respuesta de un modelo unidimensional y un campo difractado.
- 2 El campo difractado está estrechamente relacionado con el modelo unidimensional, en particular el primero puede ser aproximado como la suma de las ondas de Love que pueden existir en el modelo unidimensional.
- 3 Los coeficientes de emisión de las ondas de Love tienen frecuencias de corte que coinciden con las frecuencias fundamentales del modelo unidimensional  $(2n + 1)f_0$ .
- 4 La amplitud de los coeficientes de emisión se incrementa al disminuir  $\bar{\beta}$  (al ser el estrato mas blando).
- 5 Al incrementar el ángulo de incidencia se incrementan las amplitudes de los coeficientes de emisión de las ondas de Love.
- 6 Para valores bajos de  $\bar{a}$  ( $\leq 2$ ), la forma de la irregularidad no tiene efecto en la amplitud máxima de los coeficientes de emisión.

# TRABAJO FUTURO

## Modelos P-SV-Rayleigh



# Metodología

$$u_D(\mathbf{x}, \omega) \approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n^x(z, \omega) \exp(-ik_n x) \quad (1a)$$

$$w_D(\mathbf{x}, \omega) \approx \sum_{n=0}^{N(\omega)-1} A_n(\omega) \Phi_n^z(z, \omega) \exp(-ik_n x) \quad (1b)$$

Donde:

$A_n(\omega)$ : Amplitud del  $n$ -ésimo modo (por calcular).

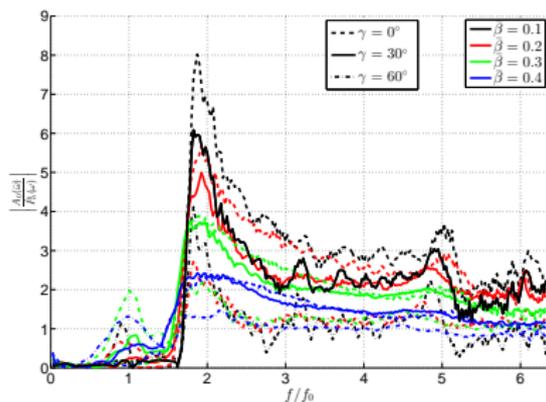
$\Phi_n^x(z, \omega)$ : Forma modal horizontal del  $n$ -ésimo modo (modelo 1D).

$\Phi_n^z(z, \omega)$ : Forma modal vertical del  $n$ -ésimo modo (modelo 1D).

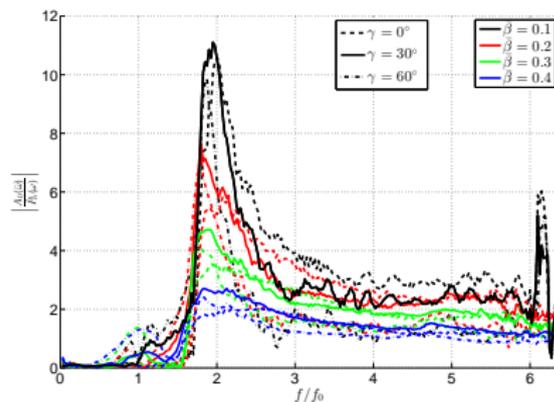
$k(\omega) = \frac{\omega}{c(\omega)}$ : Número de onda horizontal (modelo 1D).

$N$ : Número de modos que existen para la frecuencia  $\omega$ .

# Amplitud de los coeficientes de emisión para el modo fundamental ante la incidencia de ondas $P$

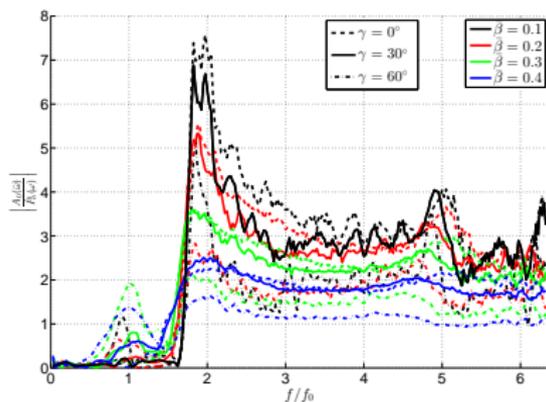


Modelo con  $\bar{a} = 0$  y  $\nu_s = 0.25$ .

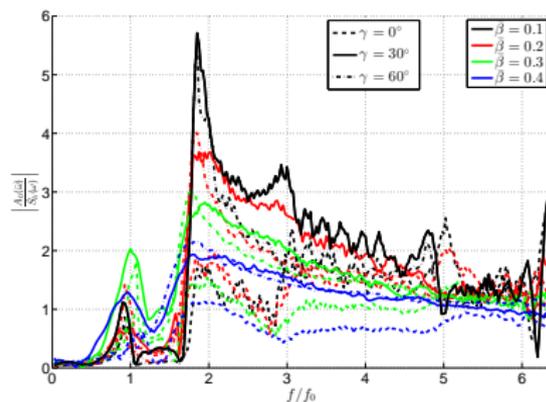


Modelo con  $\bar{a} = 0$  y  $\nu_s = 0.33$ .

# Amplitud de los coeficientes de emisión para el modo fundamental para un modelo con $\nu_s=0.25$ y $\bar{a}=1$



Incidencia de onda  $P$ .



Incidencia de onda  $SV$ .