

## 1. INTRODUCCIÓN.

### 1.1. PREÁMBULO.

En general, los trenes son uno de los medios de transporte masivos más ambientalmente seguros, ya que sus niveles de contaminación y el espacio que requieren son reducidos, comparados con carreteras de capacidad similar. La aparición de las líneas de alta velocidad ha hecho que el tren se haya convertido en una de las bases tecnológicas del siglo XXI.

Estas líneas de alta velocidad suponen una considerable mejora en la comunicación entre ciudades, pero su desarrollo también presenta dificultades, ya que el tránsito de trenes ocasiona vibraciones que se transmiten y propagan a través del suelo. Dichas vibraciones pueden llegar a ocasionar grandes desplazamientos en el terreno y es la velocidad del tren el parámetro que controla fundamentalmente el nivel de vibraciones inducidas.

En los últimos años se está produciendo un gran desarrollo de las infraestructuras ferroviarias en España. Este hecho se traduce en un incremento en el número de vías y en

la frecuencia de paso de trenes, produciendo un desarrollo de la sociedad del bienestar pero acusando el problema de la contaminación ambiental en forma de ruidos y vibraciones, ya que las ondas que se transmiten desde el punto de aplicación hacia la superficie libre siguen un camino directo después de múltiples reflexiones y refracciones y pueden provocar, por ejemplo, desperfectos en edificios adyacentes al trazado de la vía. Este hecho implica que es de vital importancia predecir el nivel de vibraciones producidas por trenes en terrenos cercanos a la vía, y así poder diseñar medidas que eviten los daños causados por estas.

## **1.2. IDEAS PREVIAS.**

En el estudio de propagación de ondas en un medio se distinguen cuatro tipos de ondas:

Ondas de volumen:

- Ondas de compresión (P). Son ondas que se transmiten cuando las partículas del medio se desplazan en dirección de propagación, produciendo compresiones y dilataciones en el medio. La velocidad de propagación de esas ondas es la más alta de todas por lo que es la primera que se percibe.
- Ondas de corte o cizalla (S). Estas ondas son aquellas en las que las partículas del medio se desplazan perpendicularmente a la dirección de propagación, por lo que están asociadas a deformaciones del terreno de tipo cizalla. La velocidad de propagación de estas ondas es más baja que las anteriores pero su amplitud suele ser mayor.

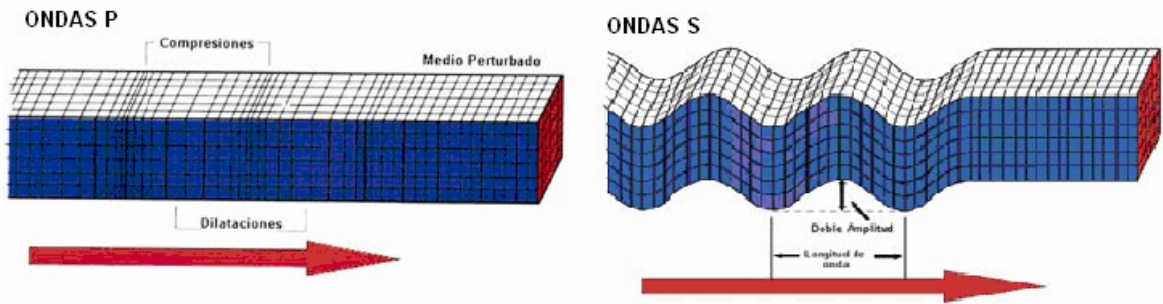


Figura 1. 1: Tipos de ondas volumétricas que se propagan en un medio.

Ondas de superficie:

- Ondas de Rayleigh (R). Estas ondas se deben a la interacción entre las ondas de compresión y la componente vertical de las de cizalla. La velocidad de propagación de estas ondas es la más baja, pero son las de mayor amplitud en la superficie.
- Ondas de Love (L). Se comportan de manera muy parecida a la descrita por las ondas de Rayleigh pero se deben a la interferencia de ondas de cizalla en su componente horizontal, por lo que no pueden existir en un semiespacio sin o que requieren al menos una capa sobre un semiespacio, donde pueda quedar atrapada parte de la energía. Aunque son más lentas que las de volumen, superan la velocidad de propagación de las ondas de Rayleigh.

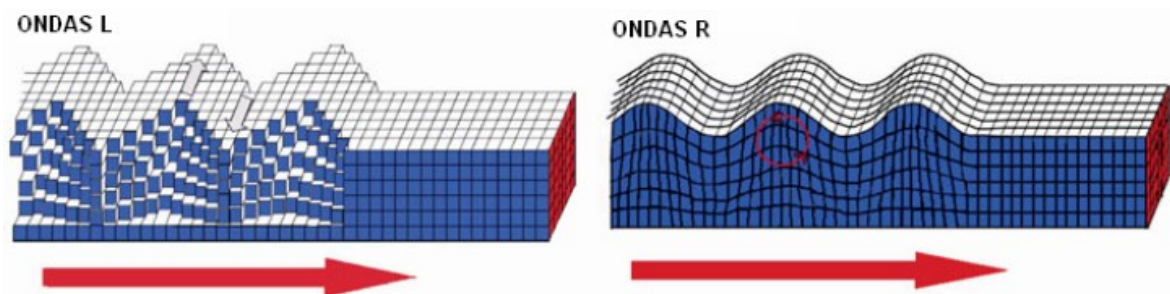


Figura 1. 2: Tipos de ondas superficiales que se propagan en un medio.

El proceso de propagación de vibraciones a través del terreno desde la fuente hasta un receptor alejado, provoca una disminución de la vibración debido a dos fenómenos:

- La atenuación geométrica. Este parámetro es debido a la expansión del frente de onda y depende del tipo de onda generada por la fuente de vibración. Considerando una fuente de vibración en un semi-espacio elástico, se generan tres tipos de onda: una onda superficial, onda de Rayleigh, y dos ondas llamadas de volumen. De estas ondas de volumen, una de ellas se propaga a la velocidad de la onda longitudinal de un sólido elástico (onda P) y el otro se propaga a la velocidad de la onda transversal (onda S), que es intermedia entre la velocidad de las ondas longitudinales y la de las ondas de Rayleigh.
- La atenuación del material. Es debida al decremento de la densidad de energía con la distancia a la fuente y se puede determinar a partir del tipo de onda de propagación, el tipo de fuente y la localización de ésta. Esta atenuación es debida a la fricción y cohesión entre las partículas del terreno provocadas porque el suelo no es perfectamente elástico.

### **1.3. OBJETIVOS, ORGANIZACIÓN DEL TEXTO Y CONTRIBUCIONES ORIGINALES.**

Este proyecto fin de carrera, realizado en la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla y dirigido por el Doctor Miguel Ángel Millán Muñoz, tiene como objetivo el estudio analítico y numérico de medidas para la reducción de vibraciones inducidas por la propagación de ondas originadas por el paso de trenes.

El proyecto se divide en dos partes bien diferenciadas.

- Una primera parte (analítica) donde se estudia la propagación de las vibraciones producidas por el paso de un ferrocarril sobre un medio semi-infinito, en el caso en el que entre la vía y el terreno existan elementos amortiguadores (pad). Además de la propagación de las vibraciones, se analiza la variación del efecto de la disposición de capas de almohadillas bajo la vía.

- Una segunda parte (numérica) donde se estudian las vibraciones ocasionadas por el paso de trenes en la superficie del suelo. Inicialmente se estudia la propagación de ondas en un medio elástico en modelos sencillos para la validación del modelo, continuando con la extensión de los resultados obtenidos a modelos más reales, para terminar proponiendo nuevas configuraciones de pantallas, buscando una reducción de vibraciones más acusada que los existentes.

Como complemento a la información se incluyen dos apéndices, uno con una breve descripción de los elementos empleados en el análisis numérico de la segunda parte, y otro donde se detalla un estudio numérico sobre el parámetro del amortiguamiento del terreno en el modelo empleado en el capítulo 5 del proyecto.

El software empleado para los cálculos numéricos es MATLAB V.7.1 y para elementos finitos, ANSYS V.11

El procesamiento de los datos del proyecto se realizan en el dominio de la frecuencia debido a que las ecuaciones que gobiernan el problema y el tratamiento del amortiguamiento son más sencillos que en el dominio del tiempo.