

El ruido de rodadura de vehículos ferroviarios presenta importantes desafíos en entornos urbanos y suburbanos, siendo precisa una comprensión integral de sus mecanismos subyacentes para una mitigación efectiva. Esta Tesis ofrece una investigación exhaustiva sobre la generación de ruido de rodadura, tanto en vías rectas como curvas, a través del desarrollo de modelos avanzados de alta frecuencia y herramientas de cálculo para una rigurosa predicción de niveles de ruido.

El ruido de rodadura surge de la interacción entre las ruedas y los carriles en presencia de imperfecciones en sus superficies de contacto. Los principales componentes ferroviarios que contribuyen a la emisión acústica son las traviesas, los carriles y las ruedas. Las traviesas y los carriles están conectados por medio de las placas de asiento, mientras que las ruedas y los carriles están dinámicamente acoplados a través de su contacto. En consecuencia, cambios en cualquier componente pueden afectar al comportamiento dinámico y acústico del resto, subrayando la necesidad de un modelo integral para abordar eficazmente la radiación por ruido de rodadura.

En esta Tesis se exploran y desarrollan diferentes modelos dinámicos de la vía y del eje montado. La vía, que se asume infinita, se describe utilizando la teoría de estructuras periódicas y se caracteriza por sus números y formas de onda. El eje montado se modeliza mediante el Método de Elementos Finitos y se caracteriza por sus frecuencias naturales y modos de vibración. La interacción rueda/carril se describe como una relación linealizada entre el movimiento relativo de ambos componentes y las fuerzas de contacto. Cabe indicar que los modelos explorados en este trabajo están formulados en el dominio de la frecuencia.

Asimismo, se realiza un estudio de influencia del diseño de la vía en la radiación por ruido de rodadura, cuantificando los parámetros más contribuyentes a la emisión acústica mediante técnicas estadísticas. Los resultados apuntan a que la geometría del carril tiene un impacto limitado en la radiación sonora, mientras que las propiedades viscoelásticas de la vía, en particular la rigidez de la placa de asiento, desempeñan un papel fundamental en la generación de ruido. Es remarcable que, entre los distintos diseños de vía estudiados, se han encontrado variaciones de hasta 7,4 dB(A) en la radiación acústica.

Durante el desarrollo de esta investigación, se ha prestado especial atención al modelizado del eje montado ferroviario. Su rotación se incluye en la formulación usando coordenadas Eulerianas, lo que resulta un enfoque conveniente ya que el punto de contacto de la rueda con el carril permanece en una posición espacial constante. Dada la simetría axial de su geometría, la respuesta dinámica del eje montado se expande a lo largo de la dirección circunferencial mediante series de Fourier, lo que permite formular el comportamiento dinámico y acústico de este cuerpo tridimensional (3D) en un marco bidimensional (2D), resolviendo analíticamente la coordenada circunferencial. Esta metodología, denominada enfoque axisimétrico, ofrece sin pérdida de generalidad una reducción significativa del tiempo de cálculo computacional asociado, lo que hace que el modelo sea idóneo para su integración en algoritmos de optimización.

Por último, se realiza una investigación pionera sobre el ruido de rodadura cuando el vehículo negocia una curva. Si bien la curva está generalmente asociada con el ruido por chirridos, esta Tesis explora y confirma la importancia que también tiene el ruido de rodadura en estas condiciones. Para ello, se modelizan los efectos inerciales y giroscópicos que sufre un eje montado al describir una trayectoria curva. Además, diferentes fenómenos complejos que ocurren en el contacto rueda/carril, como por ejemplo el movimiento relativo entre estos elementos, se incorporan en el modelo de interacción. Los resultados indican que la posición del contacto rueda/carril sirve como un buen indicador del impacto que la negociación de una curva tiene en el ruido de rodadura.