

El ruido de rodadura es un fenómeno producido debido a la interacción entre la rueda y el carril e inducido por las pequeñas irregularidades existentes en la superficie de ambos. Dichas irregularidades, conocidas como “rugosidad”, provocan que se genere una vibración tanto en la rueda como el carril cuando el tren circula a una cierta velocidad, lo que consecuentemente lleva a la aparición de radiación acústica. Esto conforma una de las fuentes de molestias más relevantes y principal origen de la contaminación acústica producida por los trenes al circular por regiones urbanas densamente pobladas.

Así, el objetivo de esta Tesis es el desarrollo de una metodología integral para la obtención de diseños de rueda viables mediante el uso de Algoritmos Genéticos (AG) con la finalidad de minimizar el ruido de rodadura asociado.

Al desarrollar los mencionados algoritmos de optimización, el Método de Elementos Finitos (MEF) se combina con la parametrización geométrica de las diferentes tipologías de diseño de rueda analizadas, descritas en función de aquellos parámetros más relevantes para la presente investigación. A fin de describir el comportamiento dinámico de cada uno de los componentes implicados en la interacción rueda/carril, se hace uso de modelos linealizados en el dominio de la frecuencia, capaces de resolver la dinámica completa del sistema a partir de las correspondientes mallas de la sección transversal. La subsiguiente obtención de la potencia acústica radiada a partir de la información de la dinámica se lleva a cabo mediante el empleo de una formulación semi-analítica para el cálculo de la eficiencia acústica de la rueda, por un lado, y al uso de un Modelo de Fuentes Equivalentes (MFE) en el carril por el otro. El desarrollo teórico, además, es validado con el software comercial de referencia en el campo de investigación, TWINS, en el cual se basa.

A lo largo de los procedimientos de optimización, se realiza un análisis de fatiga en cada diseño de rueda considerado con el fin de asegurar su viabilidad estructural, lo que actúa como una restricción de “pena de muerte” en el algoritmo. Además, se desarrolla un procedimiento de identificación modal que permite caracterizar los modos de vibración y clasificarlos según su número de diámetros y circunferencias nodales. Seguidamente, se exploran dos formulaciones diferentes de la función objetivo: $L_{A,W}$ -min y NF-max. En la metodología $L_{A,W}$ -min, el ruido radiado se reduce directamente mediante la minimización de la suma en energía del nivel de potencia acústica expresado en dB(A). Para el caso de NF-max, el ruido de rodadura se disminuye maximizando la media de las frecuencias naturales de los modos de vibración, desplazándolos a regiones de frecuencia donde la amplitud de rugosidad sea menor.

Durante el uso de estas herramientas de optimización se consideran diversas aproximaciones para modificar la geometría de la rueda: la inclusión de esquemas de perforación, usando como ruedas base tanto una forma de velo curva como una recta; y la modificación de la forma de su sección transversal, estableciendo el radio como un valor fijo en un caso y usándolo como un parámetro de optimización en otro. Además, también se ha estudiado la influencia en el ruido de la variación de las propiedades geométricas del carril y viscoelásticas de la vía.

Como resultado de esta Tesis se han conseguido diversos modelos más silenciosos de rueda ferroviaria, con reducciones en el ruido de rodadura de hasta 5 dB(A). Cuando se considera el sistema ferroviario completo con todos sus componentes, se siguen consiguiendo mejoras en la potencia acústica radiada con los diseños de rueda resultantes. Además, se analizan las correlaciones entre la maximización de las frecuencias naturales

y la atenuación del nivel de potencia acústica, estableciendo NF-max como una metodología adecuada para los casos en que se priorice la eficiencia computacional. La sensibilidad del problema a los espacios de diseño seleccionados y la adecuación del uso de AG se estudian también con la obtención de Superficies de Respuesta (SR) para los parámetros geométricos utilizados. Adicionalmente, se han establecido relaciones entre la variación de los parámetros geométricos y la disminución en la radiación acústica asociada, así como se ha propuesto la reubicación de los modos de vibración a lo largo del espectro en frecuencia como mecanismo físico responsable de las reducciones de potencia acústica observadas.