
Resumen

El modelado y la simulación de la interacción dinámica entre el pantógrafo y la catenaria se ha convertido en una herramienta imprescindible para agilizar el proceso de diseño de catenarias ferroviarias ya que, entre otras ventajas, es posible reducir el número necesario de los tan costosos ensayos experimentales en vía.

Para la realización de dichas simulaciones numéricas, en esta Tesis la catenaria se modela mediante el método de los Elementos Finitos, con una formulación en coordenadas absolutas, mientras que para modelar el pantógrafo se utiliza un modelo simple de parámetros concentrados. La interacción entre ambos sistemas se trata con un método de penalti. Tras resolver el problema no lineal de configuración inicial, la ecuación del movimiento se linealiza con respecto de la posición de equilibrio estático, y se resuelve en el dominio temporal con el uso de la técnica HHT. Sin embargo, el aflojamiento de las péndolas y los despegues del pantógrafo son dos fuertes no linealidades que deben ser consideradas en la resolución del problema dinámico, aunque aumentan notablemente el coste computacional de cada simulación.

Los objetivos principales de esta Tesis son encontrar catenarias óptimas en términos de calidad de captación de corriente y analizar los efectos de los errores de montaje de la catenaria en su comportamiento dinámico. Para alcanzar ambos objetivos, es necesario realizar un número elevado de simulaciones de la interacción dinámica entre pantógrafo y catenaria, cuyo coste computacional puede llegar a ser prohibitivo.

Para reducir este coste computacional, la primera propuesta realizada en esta Tesis se basa en el precálculo de una solución paramétrica de la interacción dinámica entre pantógrafo y catenaria, para cualquier valor de las variables de diseño, por medio de la técnica Proper Generalised Decomposition (PGD). De este modo, la respuesta dinámica del sistema puede ser evaluada instantáneamente cuando lo requiera tanto el algoritmo de optimización como el de propagación de incertidumbres. Si las longitudes de las péndolas son consideradas como variables de diseño, la aplicación de este método resulta exitosa en el caso del problema de equilibrio estático. Sin embargo, para el

caso de la dinámica, donde se considera que las péndolas no transmiten fuerzas a compresión, la solución del problema resulta muy sensible ante pequeños cambios de estas variables y por tanto, se requiere de un elevado número de modos PGD para tener una solución paramétrica de suficiente precisión.

La imposibilidad de disponer de una solución paramétrica conduce a proponer una estrategia rápida para resolver el problema de interacción dinámica con la que se reduzca considerablemente el tiempo de cálculo. El algoritmo propuesto se divide en dos fases y se basa en pasar los términos no lineales a la parte derecha de la ecuación de la dinámica del sistema. En la primera fase, se calcula y almacena la respuesta del sistema sometido a fuerzas unitarias. Posteriormente, en la segunda etapa del método, el tratamiento de las no linealidades se condensa en un sistema de ecuaciones pequeño cuyas incógnitas pasan a ser las fuerzas relacionadas con las no linealidades, en vez de los desplazamientos nodales del todo el sistema.

Con este algoritmo eficiente, es posible llevar a cabo la optimización de la geometría de catenarias ferroviarias. En concreto, la altura del cable de contacto y la separación entre péndolas son los parámetros de diseño a optimizar para obtener así una fuerza de interacción entre el pantógrafo y la catenaria lo más uniforme posible y, por lo tanto, conseguir una captación de corriente óptima. El problema de optimización se resuelve mediante un Algoritmo Genético clásico, y se aplica tanto a una catenaria simple como a una catenaria con falso sustentador. Con los resultados obtenidos se demuestra que un diseño óptimo de la geometría puede mejorar notablemente la captación de corriente de las catenarias actuales.

Finalmente, se estudia la influencia que tienen los errores de montaje de la catenaria en el comportamiento dinámico del sistema. Con un planteamiento estocástico del problema, se considera la variabilidad en la longitud de las péndolas, en la separación entre ellas y en la altura de los soportes. Mediante la aplicación un método clásico de Monte Carlo, se propaga la incertidumbre a las magnitudes de interés de la solución dinámica y se obtiene su función de densidad de probabilidad. Los resultados obtenidos muestran que los errores cometidos en la colocación de las péndolas apenas tienen influencia en la respuesta del sistema, mientras que los errores en la longitud de las péndolas y en la altura de los soportes sí que influyen considerablemente en la dinámica del mismo. Por tanto, parece necesario tener en cuenta la variabilidad presente en las catenarias para poder realizar simulaciones más realistas.