



Aplicación de un mallado móvil de elementos finitos a la interacción dinámica catenaria-pantógrafo



J.R. Jimenez-Octavio^{a,*}, M. Such^b, A. Carnicero^a y C. Sanchez-Rebollo^c

^a Escuela Superior de Ingeniería-ICAI, Universidad Pontificia Comillas, Alberto Aguilera, 23, 28015 Madrid, España

^b ESA-ESTEC, Keplerlaan 1, 2200 AG Noordwijk, Holanda

^c Área de Análisis y Diseño, Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas, Alberto Aguilera, 23, 28015 Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 12 de marzo de 2014

Aceptado el 23 de octubre de 2014

On-line el 28 de febrero de 2015

Palabras clave:

Dinámica

Carga móvil

Catenaria

Pantógrafo

Análisis no lineal

Malla móvil

R E S U M E N

En este artículo se presenta la aplicación tecnológica a la interacción dinámica catenaria-pantógrafo de una metodología propuesta para estructuras flexibles sometidas a cargas móviles. En primer lugar se describe el modelado de una malla móvil de elementos finitos que se desplaza sobre el hilo de contacto de forma solidaria al pantógrafo que recorre la catenaria y, posteriormente, se presenta la comparación de esta metodología frente a un modelo de elementos finitos convencional de malla fija. El caso simulado corresponde al propuesto por la norma EN-50318, obteniendo resultados acordes a los intervalos de validación propuestos por dicha norma. La principal ventaja del método de malla móvil reside en que para precisiones análogas el tiempo de cálculo es del orden de 4 veces menor que el modelo clásico.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

Implementation of a moving finite element mesh within the catenary-pantograph dynamic interaction

A B S T R A C T

This paper presents a technological application of a general methodology to analyze cable structures under moving loads, particularly on the catenary-pantograph dynamic interaction. This work firstly describes the modeling of a finite element moving mesh which integrally moves over the contact wire following the pantograph along the whole catenary, prior focusing on its comparison against the classical finite element mesh. The case study corresponds to the standard EN-50318 one, whose results fulfill the ranges proposed by this validation rule. The main advantage of the moving mesh method is presented in the falling of computational costs about 4 times lower than the classic model with similar precision.

© 2014 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords:

Dynamic

Moving load

Catenary

Pantograph

Non-linear analysis

Moving mesh

1. Introducción

La simulación de la interacción dinámica catenaria-pantógrafo es en la actualidad uno de los aspectos más relevantes de la investigación en el ámbito de la alta velocidad y la interoperabilidad ferroviaria europea. En los últimos años se han desarrollado dife-

rentes modelos de simulación. No obstante, los requerimientos en precisión y tiempos de cálculo hacen que la investigación en este campo continúe presentando gran actividad. Este trabajo propone la aplicación del mallado móvil presentado en Such et al. [1] como una vía novedosa para favorecer la simulación precisa de la interacción no lineal entre la catenaria y el pantógrafo con una reducción sustancial de los tiempos de cálculo.

Durante los últimos años se ha invertido un gran esfuerzo en analizar el comportamiento dinámico de este sistema, algo que hace decenios comenzó a ser objeto de estudio desde distintas perspectivas. Ockendon y Tayler [2] proporcionan una aproximación analítica de la fuerza de contacto, [3] analiza mediante el método

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: jesus.jimenez@iit.upcomillas.es (J.R. Jimenez-Octavio), miguel.such.taboada@esa.int (M. Such), carnicero@upcomillas.es (A. Carnicero), csrebollo@upcomillas.es (C. Sanchez-Rebollo).

de los elementos finitos su variación, [4] determinan las frecuencias y modos propios, etc. Dentro de este contexto uno de los trabajos más notables y que cuenta además con una vasta revisión del estado del arte es el publicado dos Poetsch et al. [5].

Entre los modelos que se denominan simplificados, destaca como uno de los más usados el presentado por Wu y Brennan [6], en el que, partiendo de las propiedades dinámicas de la catenaria vistas por el pantógrafo y de una aproximación senooidal de la rigidez, se propone un modelo simplificado unidimensional del sistema catenaria-pantógrafo. Estos mismos autores analizan el efecto que la propagación de ondas tiene sobre la rigidez de la catenaria [7]. Lopez-García et al. [8] incorporan al modelo presentado por Wu y Brennan [6] un modelo de fuerza de contacto basado en multiplicadores de Lagrange, además de incluir como aportación más relevante la distribución real de la rigidez de la catenaria. Finalmente, entre las simplificaciones más comunes también destaca la linealización de la catenaria mediante métodos de superposición modal como las desarrolladas en Zhang et al. [9–11].

Por otra parte, entre los modelos que se pueden denominar complejos existen 2 enfoques principales: los métodos de elementos finitos y los sistemas de ecuaciones diferenciales algebraicas. El modelo propuesto por Collina y Bruni [12] presenta elementos de tipo viga para el hilo de contacto y sustentador, elementos no lineales con ley de comportamiento no lineal para reproducir el comportamiento del aflojamiento para las péndolas, un modelo de pantógrafo que incluye grados de libertad como sólido-rígido y de flexión, así como un modelo de contacto basado en la técnica de penalización de la interpenetración. Park et al. [13], empleando un método de elementos finitos convencional basado en elementos viga, obtienen las ecuaciones de la dinámica del pantógrafo para realizar un análisis de sensibilidad. La aplicación de dicho análisis paramétrico de sensibilidad a la fuerza de contacto permite modificar las variables de diseño del pantógrafo para reducir las pérdidas de contacto. Otros trabajos de gran relevancia en este contexto son los de Arnold [14], Arnold y Simeon [15], y Teichelmann et al. [16], con un enfoque eminentemente matemático en el que se formula el problema mediante sistemas de ecuaciones diferenciales algebraicas.

La principal ventaja de los modelos de elementos finitos reside en su mayor concordancia entre el modelado y la realidad física del problema. Cuando la fidelidad con el fenómeno físico modelado y la precisión en los cálculos son factores clave, la calidad del mallado es importante en la medida en que determina el error de simulación, ver por ejemplo Babuška y Aziz [17]. Hay que considerar 2 aspectos, por una parte que el número de elementos es relevante por el elevado coste computacional asociado a elevadas densidades de malla, y por otra parte, que el tamaño de los elementos influye en la definición del paso de tiempo a emplear para garantizar la estabilidad dinámica.

Tal y como se ha comentado anteriormente, en este artículo se propone un modelo de elementos finitos con una malla gruesa para todo el continuo sobre la que se superpone una malla móvil fina. El propósito de esta malla móvil es refinar dinámicamente el hilo de contacto en torno al punto de interacción entre la catenaria y el pantógrafo. Donde existe un «contacto móvil» equivalente a las cargas móviles referidas anteriormente. La principal aportación de este artículo es precisamente la aplicación de una metodología para analizar el contacto entre un continuo unidimensional sobre el que actúa un contacto móvil.

Entre los trabajos específicos en dinámica de catenarias bajo el efecto de cargas móviles hay que reseñar los trabajos de Metrikine [18] y Metrikine y Bosch [19], donde se estudia el régimen permanente de este fenómeno para catenarias de uno y 2 cables longitudinales respectivamente. No obstante, el presente trabajo aporta, con la metodología propuesta por Such et al. [1], la aplicación de un contacto nodo-nodo con un elemento viga con no linealidad geométrica empleando una malla móvil. En general, el

problema se suele resolver haciendo mover el continuo estructural en vez de mover la carga, mientras que lo que se plantea en este artículo es que el mallado se localiza en torno a dicha carga, moviéndose solidariamente con la carga. Las ventajas que aporta esta metodología son que contempla de forma natural las principales no linealidades presentes en el problema del contacto, que proporciona un nivel de precisión muy notable y, sobre todo, que permite obtener soluciones en tiempos de simulación notablemente inferiores cuando es comparada con otros métodos convencionales.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma: en primer lugar se presenta en la sección 2 una propuesta de discretización dinámica de la catenaria para su interacción con el pantógrafo, para ello se define el entorno del dominio local de la malla móvil sobre el hilo de contacto y el acoplamiento entre esta y la malla global estática de la estructura. Después, como principal aportación de este artículo, se aplica la metodología propuesta por Such et al. [1] al estudio en la sección 3 de la interacción catenaria-pantógrafo como problema arquetipo de estructura de cables sometida a una carga móvil así como su comparación con un método de elementos finitos clásico y su verificación de acuerdo a la norma EN-50318 [20]. Finalmente se presentan las principales conclusiones que se pueden extraer del método propuesto y su aplicación.

2. Discretización dinámica del sistema catenaria-pantógrafo

En los sistemas ferroviarios se denomina comúnmente catenaria al sistema de alimentación eléctrica por vía aérea. En la figura 1 se muestra un esquema de una catenaria, la cual es una estructura de cables tensionada y compuesta por el hilo de contacto, elemento a través del cual y por medio de frotación se produce la transmisión de energía al pantógrafo del tren, el hilo sustentador, encargado de soportar el peso del conjunto de cables y las péndolas, elementos que junto con el hilo sustentador sitúan el hilo de contacto a la altura deseada. El conocimiento de la dinámica del sistema catenaria-pantógrafo es crucial para el correcto diseño de líneas de alta velocidad ya que la calidad de la captación de energía depende de la capacidad de conseguir mantener un buen contacto entre catenaria y pantógrafo. Para ello es necesario que, por un lado, no se produzcan despegues entre el pantógrafo y el hilo de contacto que interrumpen la captación de energía y que, por otro, la fuerza de contacto no alcance valores excesivamente elevados que conduzcan a una vida útil más corta tanto para el hilo de contacto como para las pletinas del pantógrafo.

El análisis de la respuesta dinámica de la catenaria conlleva un elevado coste computacional debido no solo a las propias no linealidades asociadas a la interacción catenaria-pantógrafo sino también a la no linealidad inherente a las estructuras de cables y a la aparición de ondas y sus efectos sobre la estructura. Para mejorar el modelado del fenómeno tanto desde el punto de vista de la precisión como de las actuaciones del método numérico, se ha desarrollado una técnica de remallado móvil que representa una novedad en el modelado de este tipo de sistemas. Esta técnica de remallado móvil conserva el número de grados de libertad del problema al igual que el remallado de refinado- r , sin embargo, el

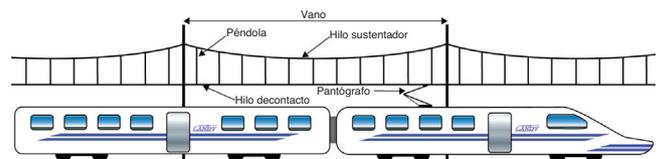


Figura 1. Esquema del sistema de captación de energía por vía aérea de un sistema ferroviario.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702531>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702531>

[Daneshyari.com](https://daneshyari.com)