



## Simulación de cargas móviles sobre estructuras mediante un mallado móvil de elementos finitos



M. Such<sup>a</sup>, J.R. Jimenez-Octavio<sup>b,\*</sup>, A. Carnicero<sup>b</sup> y C. Sanchez-Rebollo<sup>c</sup>

<sup>a</sup> ESA-ESTEC, Keplerlaan 1, 2200 AG Noordwijk, The Netherlands

<sup>b</sup> Escuela Superior de Ingeniería ICAI, Universidad Pontificia Comillas, Alberto Aguilera 23, 28015 Madrid, Spain

<sup>c</sup> Instituto de Investigación Tecnológica, Universidad Pontificia Comillas, Santa Cruz de Marcenado 26, 28015 Madrid, Spain

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 12 de marzo de 2014

Aceptado el 19 de junio de 2014

On-line el 29 de noviembre de 2014

#### Palabras clave:

Dinámica de estructuras

Carga móvil

Análisis no lineal

Malla móvil

### R E S U M E N

En este artículo se presenta una metodología para analizar la respuesta dinámica de estructuras sometidas a cargas móviles. Para ello se ha desarrollado un algoritmo de mallado adaptativo de elementos finitos que se mueve de forma solidaria a la carga móvil que actúa sobre la estructura. El algoritmo de mallado móvil se ha validado con la solución analítica de una carga móvil que recorre una viga simplemente apoyada.

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

### Simulation of moving loads on structures using a moving finite element mesh

#### A B S T R A C T

This paper presents a methodology to analyze the dynamic behavior of structures under moving loads. A finite element moving mesh algorithm has been developed in order to integrally move a part of the mesh following a moving load. This algorithm has been validated with the analytical solution of a moving load applied on a simply supported beam.

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

### 1. Introducción

La simulación de cargas dinámicas móviles suscita gran interés en diversas aplicaciones ingenieriles como por ejemplo el estudio de la interacción dinámica catenaria-pantógrafa, el comportamiento de viaductos al paso de vehículos, las máquinas de mecanizado por alta velocidad, etc. Focalizando la atención en la analogía del fenómeno teórico de cargas móviles en la interacción vehículo-plataforma destaca Olsson [1], trabajo en el que el autor sugiere la reducción del modelo de un tren sobre un viaducto a un modelo masa-muelle desplazándose a velocidad constante

sobre una viga, desarrollando la formulación teórica de su modelo y analizando la sensibilidad de los diferentes parámetros del modelo masa-muelle del tren en comparación con un modelo de fuerzas móviles. En la misma línea, en Visweswara [2] se presenta un estudio de la respuesta dinámica de un modelo de fuerzas móviles sobre vigas simplemente apoyadas. Entre otros trabajos destacan: Katz et al. [3] sobre la inestabilidad producida por una secuencia de cargas móviles, Akin and Mofid [4] presentando un método numérico para estudiar la respuesta de una carga móvil sobre una viga bajo diferentes condiciones de contorno y, más recientemente, Bruno et al. [5] estudia el efecto de cargas móviles sobre largos vanos de puentes suspendidos.

Son escasos los estudios esencialmente analíticos de la respuesta de un sistema elástico no lineal a una carga móvil; no obstante, destacan el estudio clásico de Yen y Sing [6] y más

\* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: [jesus.jimenez@upcomillas.es](mailto:jesus.jimenez@upcomillas.es) (J.R. Jimenez-Octavio).

actualmente el de Metrikine [7]. Sin embargo, aunque los métodos analíticos proporcionan soluciones exactas, su alcance se ve limitado a geometrías simples alejadas de los problemas asociados a las aplicaciones prácticas, lo cual les hace perder competitividad frente a métodos numéricos. Esto, unido a los avances en las posibilidades de computación, hace que los métodos numéricos se hayan convertido en una de las herramientas más empleadas en el análisis de los problemas de cargas móviles. En [1,8] se presentan los fundamentos de un método basado en descomposición modal para el estudio de cargas móviles en la interacción dinámica entre vehículo y raíl. Empleando la descomposición de Helmholtz y la transformada rápida de Fourier, en [9] se investiga la transmisión de las vibraciones debidas a una carga armónica y en [10] se emplean tanto elementos finitos como de contorno para problemas bidimensionales con cargas dinámicas.

Entre los trabajos más relevantes en este campo durante la última década, cabe citar el método numérico de elementos móviles propuesto en Koh et al. [11] que aborda el problema de la interacción vehículo-raíl modelando el raíl como una viga discretizada en elementos que fluyen con el vehículo. Posteriormente en [12] se extiende el concepto de elementos móviles a elementos bidimensionales. También son reseñables las publicaciones sobre el cálculo de estructuras con coordenadas móviles: en Nguyen y Duhamel [13] se aplica el procedimiento a una carga axial móvil sobre una barra infinita y en [14] a cargas armónicas sobre una viga infinita. Este tipo de sistemas excitados por una carga móvil pueden entrar en resonancia a determinadas velocidades, lo cual es bien conocido; ver por ejemplo Fryba [15] o algunos trabajos recientes relacionados con el control de la respuesta de la estructura, como es el de Qian y Tang [16].

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 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.

El problema de encontrar una malla óptima de elementos finitos para cálculo estructural ha sido estudiado por numerosos autores durante las últimas décadas considerando distintos enfoques, incluyendo métodos basados en la minimización de energía como el propuesto por Fellipa en [18], u otros basados en meras consideraciones geométricas como sugiere Cheng en [19]. Asimismo, la literatura científica también presenta diferentes técnicas de remallado basadas tanto en las estrategias de refinado- $h$  [19], donde nuevos nodos son añadidos localmente, como de refinado- $r$  descrito en Zhu y Zienkiewicz [20], donde un número fijo de nodos es redistribuido en el dominio. También otros tipos de estrategias adaptativas han sido desarrolladas en este campo, e.g. las de refinado- $p$  que permiten la modificación del orden de los elementos finitos obteniendo mayor precisión en los resultados, como la que presenta Babuška en [21].

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 la estructura de contacto en torno al punto de aplicación de la carga móvil. La principal aportación de este artículo es precisamente el desarrollo de una metodología para simular el contacto entre un continuo unidimensional sobre el que actúa un contacto móvil. De hecho, a lo largo del artículo se emplean indistintamente los conceptos carga móvil o contacto móvil. Dentro de esta metodología, la consecución de un contacto nodo-nodo de forma permanente con el movimiento de una malla móvil solidaria a la carga es beneficioso en la simulación de estructuras que

presentan no linealidad geométrica, como pueden ser las estructuras de cables. Las ventajas que aporta esta metodología general son: (i) que contempla de forma natural las principales no linealidades presentes en el problema del contacto, (ii) proporciona un nivel de precisión muy notable y, sobre todo, (iii) permite obtener soluciones en tiempos de simulación muy razonables.

El presente artículo está estructurado de la siguiente forma. En primer lugar se presenta en la sección 2 la propuesta de discretización dinámica enfocada al tratamiento de problemas de carga móvil sobre estructuras. Para ello se define el entorno del dominio local de la malla móvil, se muestra el acoplamiento de la malla móvil con la malla global del continuo completo y se acaba realizando la validación de la metodología propuesta en la sección 3 mediante la comparación de los resultados obtenidos con los correspondientes a la solución analítica del problema de una carga móvil desplazándose sobre una viga simplemente apoyada. Finalmente, en la sección 4 se presentan las principales conclusiones que se pueden extraer del método propuesto.

## 2. Discretización dinámica para problemas de carga móvil

El análisis de la respuesta dinámica de una estructura sobre la que actúa una carga móvil puede requerir una gran capacidad de cálculo en caso de que esta presente, además de las no linealidades asociadas a la interacción entre la propia carga y el punto de contacto, no linealidades materiales y geométricas, ver Moller and Rubinstein [22], así como 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 concepto es esencialmente diferente a la mayoría de otros remallados, ya que en cada instante de la simulación dinámica el método aquí propuesto aumenta la densidad de elementos del mallado en la zona del contacto. El continuo sobre el que actúa la carga móvil y más concretamente la zona de contacto entre la carga y la estructura es el entorno donde se concentra la malla móvil, lo cual permite concentrar la mayor parte del esfuerzo computacional en el subdominio del modelo con mayor predominancia de no linealidad permitiendo obtener la precisión deseada y limitando el coste computacional. Hay que destacar 2 aspectos complementarios e igualmente relevantes en la implementación de la malla móvil: en primer lugar la configuración y distribución de nodos en el subdominio de malla móvil y, en segundo lugar, su ensamblado y seguimiento del contacto sobre el mallado grueso original.

### 2.1. Definición del subdominio de malla móvil

Partiendo de la hipótesis según la cual el número de elementos permanece invariable, es preciso especificar en qué partes del dominio se concentran más nodos y en qué otras se toman esos nodos durante el proceso de cálculo tal como se apunta en Huerta et al. [23]. Para ello, se define el subdominio de refinamiento- $r$ ,  $\Omega$ , en el cual el número de los elementos será constante, como el intervalo  $\Omega = [x_t - x_{r_i}, x_t + x_{r_s}]$ , donde  $x_t$  representa el punto de contacto entre la estructura y la carga móvil, así como  $x_{r_i}$  y  $x_{r_s}$  los límites inferior y superior del intervalo de refinamiento, fuera del cual la longitud,  $l$ , de los elementos es constante. La distribución nodal de dicho subdominio, considerando así la malla fina de forma independiente, se ha basado en el indicador de redistribución definido en Pijaudier-Cabot et al. [24], según

$$\mathcal{R}_i l_i = \text{Constante}, \quad \int_{l_i} \mathcal{R}(x) dx = \text{Constante} \quad \forall i : \sum_{i=1}^n l_i = \Omega \quad (1)$$

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702525>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702525>

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