



## Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería

[www.elsevier.es/rimni](http://www.elsevier.es/rimni)



# Comparación entre la estimación de parámetros modales de estructuras a partir de análisis modal clásico y operacional con modificaciones de masa

L.M. Villa García

Doctor Ingeniero Industrial, Dpto. de Construcción e Ingeniería de Fabricación, Escuela Politécnica de Ingeniería de Gijón, 33203 Gijón, Asturias, Spain

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

*Historia del artículo:*

Recibido el 16 de octubre de 2015

Aceptado el 22 de abril de 2016

On-line el xxx

*Palabras clave:*

Análisis modal

Factores de escala

Método del cambio de masa

Sensibilidad

*Keywords:*

Modal analysis

Scaling factor

Mass-change method

Sensitivity

### R E S U M E N

La falta de normalización en los resultados de los modos de vibración, ha sido la principal desventaja del análisis modal operacional, resuelto posteriormente mediante el método de modificación de masa, el cual supone un gran inconveniente para las obras civiles, ya que interrumpe el tráfico sobre las mismas, incrementando el tiempo del ensayo y notablemente su coste.

El objeto de este trabajo radica en efectuar un balance entre: el análisis modal tradicional (acompañado de simulaciones numéricas de la modificación de masa), frente al análisis modal operacional (conjuntamente con el método de modificación de masa); obteniendo unos resultados más óptimos y con un rango de error menor, incluso con la presencia de un alto nivel de ruido en la señal

De esta forma es posible, conocer de la forma más fiable, los parámetros modales de la estructura, y su alteración con la modificación de masa. Para ello se aplica la metodología expuesta a un puente metálico de gran luz, singular por su esbeltez, con una relación luz/canto de 56.6, la menor registrada en un puente, y que lo ha hecho figurar desde el año 2007 en el Libro Guinness de los records.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

## Comparison of the estimated modal parameters of structures from classical and operational modal analysis with mass changes

### A B S T R A C T

The lack of standardization in vibration mode results has constituted the main shortcoming of operational modal analysis, subsequently resolved by means of the mass modification method. This is a major drawback for civil works, as it interrupts traffic on site, significantly increasing testing time and costs.

The purpose of this study is to achieve a balance between traditional modal analysis (accompanied by numerical simulations of mass modification) and operational modal analysis (in conjunction with the mass modification method), thereby obtaining more optimal results with a narrower range of error, even when the signal has a high level of noise.

It will thus be possible to reliably determine the modal parameters of the structure and their alteration due to mass modification. For this purpose, the proposed methodology is applied to a large span metal bridge, unique for its slenderness, with a span/depth ratio of 56.6, the lowest recorded on a bridge, as figured in the Guinness Book of Records since 2007.

© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### 1. Introducción

La identificación de parámetros dinámicos se realiza, en general, a partir de registros de aceleración en determinados grados de libertad de la estructura, los cuales deben ser independientes y

Correo electrónico: [villa@uniovi.es](mailto:villa@uniovi.es)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.003>

0213-1315/© 2016 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la CC BY-NC-ND licencia (<http://creativecommons.org/licencias/by-nc-nd/4.0/>).

Cómo citar este artículo: L.M. Villa García, Comparación entre la estimación de parámetros modales de estructuras a partir de análisis modal clásico y operacional con modificaciones de masa, Rev. int. métodos numér. cálc. diseño ing. 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2016.04.003>

en número suficiente como para especificar los movimientos de la misma [1]. Las situaciones de excitación que se pueden contemplar se reducen a: excitación forzada o natural (ambiente).

Los registros obtenidos experimentalmente se tratan a continuación con diferentes técnicas, que básicamente se clasifican en dos grandes grupos:

- Análisis modal clásico: en donde hay un conocimiento, tanto de la respuesta de la estructura, como de la excitación aplicada, generada esta última por equipos electrohidráulicos normalmente [2]. Por lo que se puede determinar la relación entre ambos y obtener modos normalizados, así como estimar las masas modales a partir de ellos.
- Análisis modal operacional: no requiere una excitación artificial, ya que utiliza la del ambiente (tráfico, viento, peatones, etc.) solo emplea la respuesta de la estructura.

Este último se utiliza para obtener una descripción modal de la estructura bajo sus condiciones de operación. En lugar de cargar la estructura artificialmente y tratar la excitación ambiental como una fuente de ruido no deseado, la excitación natural se emplea como fuente de excitación [3,4].

Para ensayos con excitación ambiental se supone que las fuerzas desconocidas se aplican simultáneamente. Además, se supone que la fuerza de entrada es un ruido blanco, es decir, no depende de la frecuencia y tiene un espectro con un valor medio constante para cada frecuencia [5,6].

Como consecuencia de la alteración de la situación de carga en la estructura (puente vacío, en servicio, diferentes situaciones de carga como consecuencia de la utilización del método de modificación de masa), es conveniente identificar las frecuencias naturales en todos los casos para conocer el rango de frecuencias en el que pueden cambiar los modos de vibración, ante situaciones de carga diferentes.

La exactitud obtenida en la estimación de los factores de escala depende de la exactitud alcanzada en la identificación de los parámetros modales [7-9] y la estrategia de modificación de masa utilizada para alterar el comportamiento dinámico de la estructura [10-12]. La metodología para la modificación de masa está basada en la magnitud, la ubicación y el número de masas añadidas a la estructura.

Puede demostrarse que, para reducir la incertidumbre en la estimación de los factores de escala, se deben minimizar los errores en la estimación de los parámetros modales [13,14] durante la etapa experimental del análisis modal, así como la diferencia entre los modos de vibración modificados y no modificados [15-17].

No obstante, se requiere un cambio mínimo en la magnitud de la masa [16,17] al objeto de garantizar una desviación mínima de la frecuencia para evitar incertidumbres en la identificación del análisis modal [18,19]. Por otra parte, el cambio de masa no debería ser excesivamente alto con el fin de minimizar la diferencia entre los modos de vibración modificados y no modificados [20,21].

Un cambio de masa del orden de un 5% de la masa total, supone -en general- una modificación razonable en su magnitud [15,17].

Asimismo, en [22] se sugieren, basándose en sus propias experiencias experimentales, en particular en aplicaciones a puentes [23-25], que con seleccionar cambios de masa que alcancen desviaciones de la frecuencia del orden de un 1% ó 2%, ya se obtienen buenos resultados.

En general, el análisis modal operacional se basa en un programa experimental más amplio, consistente en dos etapas:

- Aplicación de un análisis modal operacional para obtener los parámetros modales.

- Realización de ensayos adicionales para calcular los factores de escala.

En [15,16] proponen que el factor de escala  $\alpha$  que relaciona los modos de vibración normalizados y no normalizados,  $\{\varphi\} = \alpha \cdot \{\psi\}$ , sea determinado introduciendo un cambio de masa, definido mediante la matriz de cambio de masa  $[\Delta m]$  y aplicando la expresión

$$\alpha = \sqrt{\frac{2\Delta\omega}{\omega \cdot \{\psi\}^T \cdot [\Delta m] \cdot \{\psi\}}} \quad (1)$$

$$\text{en la que } \Delta\omega = \omega_0 - \omega_1, \quad \omega = \frac{\omega_0 + \omega_1}{2} \quad (2)$$

y  $\omega_0, \omega_1$  son las frecuencias naturales del modo considerado, antes y después de la aplicación del cambio de masa.

En pequeñas estructuras que se pueden ensayar en el laboratorio, o para grandes estructuras que pueden ser excitadas artificialmente sin problemas significativos, resulta preferible el análisis modal tradicional. La ventaja de emplear una excitación artificial es que hay más procedimientos para identificar los parámetros y características de los sistemas, con mayor precisión en la identificación de ciertas magnitudes, como en el caso de los coeficientes de amortiguamiento.

Sin embargo, las ventajas mencionadas previamente para el análisis modal operacional, se transforman en inconvenientes en su aplicación a través del método de cambio de masa, a ciertos tipos de estructuras civiles, como por ejemplo los puentes. Ya que para su realización es necesario interrumpir el tráfico rodado para las sucesivas operaciones de modificación de masa (generalmente mas de una) y posterior medición.

Además los valores del amortiguamiento que se obtienen con el análisis modal operacional, presentan una incertidumbre alta, ya que dependen de los parámetros de la identificación especialmente del nivel de excitación de la estructura. Por lo que los métodos del análisis modal clásico ofrecen unos resultados más fiables.

La principal aportación del presente estudio, es abrir una vía de trabajo que permita verificar como los parámetros modales obtenidos por:

- 1) Un análisis modal tradicional, acompañados de simulaciones numéricas de la modificación de masa.  
frente a:
- 2) Los conseguidos del análisis modal operacional, conjuntamente con el método de modificación de masa.  
permiten obtener unos resultados más óptimos y con un rango de error menor, incluso con la presencia de un alto nivel de ruido en la señal.

En este trabajo, se analiza esta cuestión desde un punto de vista práctico. Para ello se ha modelizado un puente -singular por su esbeltez- y sometido el mismo a una serie de simulaciones numéricas. El desarrollo de un diseño con un nuevo esquema estructural, complicadas geometrías y el empleo de nuevos materiales, como son los aceros de alto límite elástico, ha dado lugar a una estructura esbelta, ligera y poco amortiguada. En algunas ocasiones, durante el periodo de vida útil de este tipo de puentes experimentan elevados niveles de vibración, que suelen afectar al estado de servicio, y raramente comprometen la seguridad. El objeto de este análisis, es conocer de la forma más fiable posible, los parámetros modales de la estructura, y su alteración con la modificación de masa.

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/8050681>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/8050681>

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