

# Análisis de un puente de tablero continuo sujeto a múltiples excitaciones sísmicas

## *Seismic analysis of a continuous bridge subjected to multiple-support excitation*

Alexander Kagermanov

*Ing. Caminos, Canales y Puertos. Eucentre. Investigador Doctor, Pavía, Italia*

Recibido el 3 de enero de 2017; aceptado el 28 de mayo de 2017

### Resumen

En fase de diseño es habitual suponer que los desplazamientos sísmicos del terreno son uniformes entre apoyos de la estructura. Sin embargo, este no es necesariamente el caso para grandes estructuras, como viaductos, cuando existen importantes variaciones topográficas y/o geológicas a lo largo de la traza. En el presente caso se compara la respuesta de un puente continuo de 850 m de longitud situado en una zona sísmica de  $PGA = 0,1 g$ , sometido a una serie análisis dinámicos con acelerogramas sintéticos, con y sin variación espacial del sismo, obtenidos por propagación de ondas hacia la superficie de cada apoyo.

© 2017 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

*Palabras clave:* Análisis sísmico; Dinámica estructural; Puentes curvos; Excitación múltiple

### Abstract

In the design phase, seismic ground displacements are usually assumed to be uniform between the structure supports. However, this is not necessarily the case for extended structures, such as bridges, especially when there are different soil and/or topographic conditions along the structure. In the present study, the response of an 850 m continuous bridge located in a seismic region of  $PGA = 0.1 g$ , is investigated. A set of synthetic accelerograms is generated from 1D site-response analysis at each bridge support. Furthermore, a number of linear time-history analyses are performed, with and without uniform support excitation, in order to quantify its influence on the bridge performance.

© 2017 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

*Keywords:* Seismic analysis; Structural dynamics; Curved bridges; Multi-support excitation

## 1. Introducción

Los recientes terremotos producidos en Ecuador y en Italia en el pasado año son recordatorio del devastador impacto que dicho fenómeno puede causar en nuestro ámbito económico y social, principalmente a causa del daño y colapso estructural de edificaciones e infraestructuras. El diseño de estructuras en zonas sísmicas requiere, por tanto, especial atención al existir cierta probabilidad de colapso a lo largo de la vida útil de la

estructura. Aunque las actuales normas de proyecto incorporan varios avances en materia de diseño sismo-resistente, como por ejemplo diseño por capacidad o verificación mediante análisis no lineal, todavía existen ciertos aspectos de controversia e incluso vacío total que dejan con poco criterio al ingeniero proyectista.

Por ejemplo, la definición de la acción sísmica mediante espectros de diseño constituye una forma simplificada de representar la acción sísmica, al dejar de lado aspectos clave como la duración del sismo, el número de ciclos o impulsos locales de aceleración por condiciones de proximidad a la falla, etc., los cuales afectan la respuesta inelástica y la disipación de energía de la estructura. Además, es habitual suponer en proyecto que

*Correo electrónico:* [alexander.kagermanov@umeschool.it](mailto:alexander.kagermanov@umeschool.it)

<http://dx.doi.org/10.1016/j.hya.2017.05.015>

0439-5689/© 2017 Asociación Científico-Técnica del Hormigón Estructural (ACHE). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

el movimiento del terreno es uniforme en todos los puntos de apoyo de la estructura. Esto último puede no ser el caso para grandes estructuras, como viaductos o redes de tuberías, sobre todo cuando existen diferentes tipos de estrato o variaciones topográficas importantes a lo largo del eje de la estructura.

En esta línea, el Eurocódigo 8: Parte II proporciona un método simplificado de diseño con excitación variable en los apoyos de la estructura, el cual se basa en la imposición de un perfil de desplazamientos en los apoyos que depende del desplazamiento máximo del terreno, la longitud de la estructura y las condiciones locales de suelo [1]. Al mismo tiempo, para estructuras complejas con importantes variaciones de rigidez y resistencia, ya sea por las características del terreno o por la estructura en sí, y cuya respuesta depende de la participación de varios modos de vibración, la mayoría de normativas recomiendan la realización de análisis dinámicos (modal espectral o integración directa).

En el presente trabajo se presenta un estudio detallado de la respuesta de un puente de tablero continuo de 850 m de longitud, situado en una zona sísmica de aceleración 0,1 g, en suelo tipo III [2], donde la acción sísmica se representó en el dominio del tiempo incluyendo su variación espacial a lo largo de la traza del puente. Para ello, primero se simuló la propagación de ondas en la roca base, de donde se obtuvieron las aceleraciones horizontales en roca para cada punto de apoyo del puente. A continuación, cada acelerograma se propagó hacia la superficie a través de las distintas capas del terreno mediante la resolución de un problema unidimensional de propagación de ondas (convolución). Tras definir en detalle el puente mediante un modelo de elementos finitos, cada sismo se definió como input en su correspondiente apoyo para la realización de un análisis dinámico paso a paso en el tiempo. Finalmente, se comparan las envolventes de esfuerzos y desplazamientos de la estructura con y sin variación espacial de la acción sísmica, con el objetivo de cuantificar su importancia en el proyecto de viaductos continuos de grandes longitudes.

## 2. Generación de acelerogramas sintéticos en la roca base

Los acelerogramas sintéticos se generaron mediante el método estocástico de generación de ondas propuesto por Shinozuka et al. [3] y que proporciona los desplazamientos verticales del terreno en un punto de coordenadas  $(x_1, x_2)$  como suma de varios armónicos de distinta amplitud y ángulos de fase (ecuación 1):

$$y(t, x_1, x_2) = \sqrt{2} \sum_{l_1}^{N_1} \sum_{l_2}^{N_2} \sqrt{2F} (\cos(\omega t + k_{1l_1}x_1 + k_{2l_2}x_2 + \varphi_{1l_1l_2}^1) + (\cos(\omega t + k_{1l_1}x_1 - k_{2l_2}x_2 + \varphi_{1l_1l_2}^2)) \quad (1)$$

donde  $N_1, N_2$  son el número total de armónicos en cada dirección,  $F$  es el espectro de potencia evolutivo,  $k_{jl_1}$  es el número de onda, dado por  $k_{jl_1} = l_1 \cdot \Delta k_j$ , donde  $\Delta k_j = k_{ju}/N_j$  ( $j = 1, 2$ ) y  $k_{ju}$  son constantes del modelo,  $\varphi_{1l_1l_2}^j$  son ángulos de fase independientes y uniformemente distribuidos entre 0 y  $2\pi$ , y  $\omega$  es la

frecuencia angular, dada como  $\omega = c(k_{1l_1} + k_{2l_2})^{0,5}$ , donde  $c$  es la velocidad de propagación de onda igual a 2.800 m/s. El espectro  $F$  es función del tiempo y de las coordenadas  $x_1$  y  $x_2$ , por lo que las características espectrales de  $y(t, x_1, x_2)$  varían en función del tiempo y del espacio (proceso no estacionario no homogéneo). Detalles adicionales sobre el método pueden encontrarse en [3,4]

Para la generación de las ondas se adoptó una malla de referencia de  $8,5 \times 8,5 \text{ km}^2$  discretizada en intervalos de  $0,5 \times 0,5 \text{ km}^2$ , de donde se calcularon los desplazamientos verticales en las coordenadas correspondientes a los puntos de apoyo de la estructura, despreciando la curvatura en planta del puente tras comprobar que apenas influía en la variación espacial de la señal.

Las velocidades y aceleraciones finales en cada apoyo se obtuvieron por derivación de los desplazamientos, aplicación de la corrección de base con el objetivo de imponer una velocidad igual a cero al final del registro, y escalado de acuerdo con la aceleración pico en roca, tomada como 0,04 g. También se aplicó una envolvente de tipo trapecial con una duración de 20 s, para mejorar el ajuste a registros sísmicos reales. Dicho proceso se repitió 14 veces para obtener 7 parejas de registros en cada apoyo, esto es, dos componentes horizontales por apoyo, para posteriormente realizar 7 análisis dinámicos de la estructura, generando así un total de 112 registros.

En la figura 1 se muestran los 8 registros obtenidos del primer análisis, desde el estribo E1 hasta el E2, pasando por las pilas P1, P2, etc., de donde se observa que las aceleraciones son muy similares al estar los puntos de apoyo relativamente próximos entre sí. También se muestran las aceleraciones obtenidas en superficie tras propagar las ondas a través de las distintas capas de suelo, tal como se explicará a continuación, de donde se observa que las diferencias entre apoyos ya no son despreciables.

## 3. Propagación de ondas hacia la superficie y espectros de respuesta

Los acelerogramas de cálculo en superficie se obtuvieron tras propagar aquellos generados en roca a través de las distintas capas del terreno mediante la resolución de la ecuación de ondas dada como (ecuación 2):

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} \quad (2)$$

donde  $\rho$  es la peso específico,  $G$  el módulo de cortante,  $u$  el desplazamiento horizontal del terreno y  $\eta$  viene dado como  $\eta = 2G\xi/\omega$ , donde  $\xi$  es el porcentaje de amortiguamiento crítico [4]. En el dominio de la frecuencia, dicha ecuación adquiere la forma de una ecuación diferencial ordinaria homogénea de segundo orden, la cual se puede discretizar en función del número de capas y obtener así un sistema lineal de ecuaciones. De esta forma, conocido el desplazamiento en la roca base y las propiedades del terreno a lo largo de la vertical sobre el eje de la pila, se pueden calcular los desplazamientos en la superficie del terreno, lo cual se conoce como convolución de la señal

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/6747349>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/6747349>

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