

Evaluación de la respuesta sísmica de un edificio aporticado aplicando técnicas de semejanza

J.I. Vaquer⁽¹⁾, M.J. Palomo⁽¹⁾, S. Ivorra⁽²⁾

(1) Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental. Universidad Politécnica de Valencia. Camino de Vera s/n, 46022-Valencia. 96 387 70 00 ext. 76378. juavape1@posgrado.upv.es

(2) Apartado 99. Departamento de Ing. de la Construcción. Universidad de Alicante. 03080-Alicante. 96 590 34 00 ext. 1119. sivorra@ua.es.

Área Temática: Mecánica Computacional.

Resumen

Es un hecho constatado que la aplicación de técnicas numéricas para simulación del comportamiento estructural es una eficiente herramienta de reducción de costes frente a la experimentación tradicional. Como paso previo a la construcción real, en ocasiones se hace necesaria la utilización de modelos a escala para verificar la seguridad definitiva de la construcción a ejecutar.

Este trabajo presenta un estudio numérico de una estructura sencilla sometida a una acción sísmica. En este estudio se comparan los resultados numéricos obtenidos en la simulación de la estructura real frente a los resultados numéricos obtenidos en la estructura a escala reducida. Para ello, se ha desarrollado la Teoría de la Semejanza aplicada a la casuística propuesta, a partir del análisis dimensional y de su resultado fundamental, el Teorema de Vaschy-Buckingham o Teorema π . Los resultados de este estudio se han aplicado a la estructura objeto de análisis para obtener su modelo reducido semejante.

Palabras Clave: Modelos a escala, acción sísmica, análisis dimensional.

Abstract

It is a fact that the application of numerical techniques for simulating structural behaviour it is an efficient tool to reduce the cost in front of the traditional experimentation. Sometimes, before to construct something, it is necessary to use a reduced model in order to verify the safety of the construction.

In this paper is showed a numerical research of an easy structure in front of a seismic load. Here are been compared numerical results of the real structure simulation with results of the reduced structure simulation. For this, is been developed the Likeness Theory applied to this case, from dimensional analysis and his fundamental result, the Vaschy-Buckingham Theorem or π Theorem. Results of that research have been applied to the structure to obtain his reduced model.

Keywords: reduced-scale structures, earthquake load, dimensional analysis.

1. Introducción

El uso de modelos a escala reducida ha sido, y es, un recurso muy utilizado en la ingeniería para el estudio del comportamiento de grandes proyectos como presas, puentes, rascacielos, etc.

Todos los principios que condicionan el dimensionamiento correcto, el modo de construcción y la interpretación de los resultados obtenidos en los ensayos de los modelos se engloban dentro de la Teoría de la Semejanza. Es decir, esta teoría toma en consideración las condiciones por las que el comportamiento de los dos sistemas es semejante, y las técnicas que permiten prever con precisión los resultados de un sistema a partir de las observaciones sobre el otro sistema.

La Teoría de la Semejanza, base del dimensionamiento y análisis de modelos reducidos, puede ser desarrollada por medio del análisis dimensional, y en concreto por medio de su resultado fundamental, el Teorema de Vaschy-Buckingham (o Teorema π) [1]. Éste permite cambiar el conjunto de parámetros dimensionales de entrada original del problema por otro más reducido de parámetros de entrada adimensionales. Tales parámetros adimensionales se obtienen mediante combinaciones adecuadas de los dimensionales y no son únicos, aunque sí lo es el número mínimo de parámetros de entrada necesario para estudiar cada sistema.

2. Semejanza aplicada a estructuras

Tras aplicar el Teorema π al caso que nos ocupa, y particularizarlo a estructuras sometidas a cargas dinámicas en la zona de respuesta estructural lineal elástica, se llega a las diez relaciones adimensionales siguientes, de las cuales tres de ellas son independientes; es decir, se puede elegir arbitrariamente el valor de la relación entre la variable del modelo a escala y la variable del modelo real.

$$\frac{u}{L} \quad \frac{\sigma \cdot L^2}{F} \quad \frac{x}{L} \quad \frac{a \cdot t^2}{L} \quad \frac{E \cdot L^2}{F} \quad \frac{\rho \cdot a \cdot L^3}{F} \quad \frac{g}{\gamma} \quad \frac{p \cdot L^2}{F} \quad \frac{u_0}{L} \quad \frac{\sigma_0 \cdot L^2}{F}$$

Para el estudio realizado se han tomado como variables independientes: el módulo de Young (E^*), la longitud (L^*) y la gravedad (g^*). La notación utilizada representa la relación entre la variable del modelo real y la del modelo a escala. Despejando de las relaciones anteriores en función de las variables independientes se obtiene:

$$t^* = \sqrt{L^*} \quad \rho^* = \frac{F^*}{L^{*3} \cdot a^*} = \frac{E^* \cdot L^{*2}}{L^{*3}} = \frac{E^*}{L^*} \quad \dots \text{ y así sucesivamente}$$

En la tabla 1 se presentan los valores para las variables seleccionadas como independientes así como las variables tiempo y densidad que se consideran importantes para el trabajo realizado

Tabla 1. Valores de las variables

Escala	L*	E*	g*	t*	ρ^*
Valor	10	74,733	1	3,16	7,4733

La estructura real analizada es un pórtico plano de nudos rígidos de base empotrada, de 6 metros de ancho de vano y 3 metros de altura por piso. Puesto que $L^*=10$, la estructura a escala es 10 veces menor. En la tabla 2 se presentan las características de los perfiles cuadrados utilizados:

Tabla 2. Características físicas de las estructuras

	<i>Dimensión</i>	<i>Espesor</i>	<i>Densidad</i>	<i>Módulo de Young</i>
Real	15 x 15 cm	1 cm	7849 kg/m ³	2,1·10 ¹⁰ kg/cm ²
Escalada	1,5 x 1,5 cm	1 mm	1050,28 kg/m ³	281·10 ⁶ kg/cm ²

Al implementar ambas estructuras en SAP 2000 y calcular los dos primeros modos de vibración se obtiene lo siguiente:

Tabla 3. Frecuencias propias de las dos estructuras analizadas, y la relación de periodos.

Estructura real:	$f_1 = 5,353 \text{ Hz}$	$f_2 = 17,53 \text{ Hz}$
Estructura escalada:	$f_1 = 16,935 \text{ Hz}$	$f_2 = 55,46 \text{ Hz}$
$T_1/T_2 = f_2/f_1$	3,16	3,16

Como se puede ver, tal y como predice la ley de la semejanza, las relaciones entre periodos de ambos modos de vibración es $t^* = 3,16$.

3. Acelerogramas artificiales a partir de la norma NCSE-02

Para la definición de la acción sísmica se utiliza la Norma NCSE-02 [2]. En la mayoría de las normas de cálculo sísmico del mundo se formula una única función genérica para la curva de amplificación de las aceleraciones, válida para la región sísmica entera en la que la norma define la acción. Esta función de amplificación genérica, una vez

multiplicada por la máxima aceleración sísmica del terreno, proporciona el espectro de respuesta en aceleraciones.

Los espectros de respuesta genéricos, que se obtienen de esta forma, se ajustan luego a las diferentes subzonas de la región mediante su multiplicación por diferentes coeficientes, generalmente empíricos, que caracterizan dicha subzona. Utilizando otros coeficientes se ajustan los espectros a la estructura que se diseña, considerando como criterios: el tipo de estructura, su rigidez y ductilidad, la importancia de la estructura en los instantes posteriores a los terremotos, etc. Una vez definido de esta manera el espectro de diseño, las normas estipulan el cálculo de las fuerzas sísmicas equivalentes a utilizar para determinar la respuesta estructural.

Para obtener el espectro se considera una construcción de importancia normal. De las tablas que se adjuntan al final de la Norma, se obtiene el valor de la aceleración básica, así como el coeficiente de contribución K . Para una construcción situada en la ciudad de Valencia, estos valores son: $a_b = 0.06 \cdot g$ y $K=1.0$, siendo g el valor de la aceleración de la gravedad. Para obtener el coeficiente del terreno C , según la clasificación del tipo de terreno que realiza la norma, se considera un terreno de tipo 2, por lo que $C=1.3$.

Según la Norma cuando se utilizan acelerogramas artificiales se ha de ensayar la estructura con 5 de ellos, y el espectro de los mismos ha de ser compatible con el calculado anteriormente.

Para la generación de acelerogramas se han utilizado los programas de cálculo que proporciona Konstantine Meskouris [3]. Uno de los programas proporciona un acelerograma cuyo espectro de frecuencia es compatible con el espectro de diseño que se le introduce como dato.

No obstante, este tipo de programas utiliza una serie de filtros que tienen como misión eliminar las ondas de periodos muy altos. Esto conlleva la obtención de unos valores de velocidad o desplazamiento que no son reales al final del movimiento del suelo, puesto que lo lógico es que estos valores sean cero. Por lo tanto hay que aplicar procedimientos numéricos para solucionar este problema, y en este caso en concreto la llamada “corrección de la línea de base”.

4. Semejanza aplicada a acelerogramas

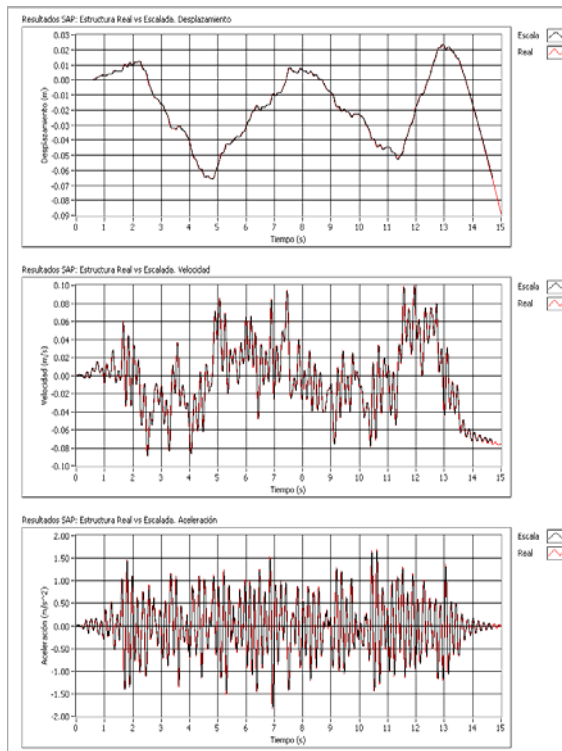
Una vez obtenidos los acelerogramas, ya se pueden aplicar sobre la estructura real utilizando el SAP 2000, pero para poder aplicarlos a la estructura a escala es necesario previamente escalarlos.

Una vez obtenidos los acelerogramas escalados, ya se pueden aplicar a la estructura a escala en el SAP. De esta forma ya se han obtenido las respuestas de ambas estructuras, la real y la escalada.

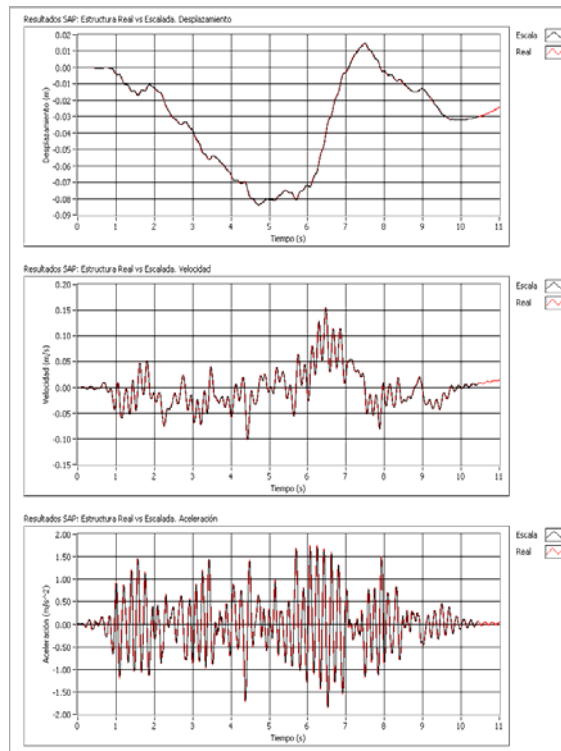
5. Resultados

Por último solo falta comparar los resultados de la respuesta sísmica de ambas estructuras, pero para ello previamente es necesario poner ambas respuestas en la misma escala. En este caso se ha optado por pasar la respuesta de la estructura a escala a tamaño real, multiplicando por las escalas calculadas anteriormente por la teoría de la semejanza. Con todo, el resultado es:

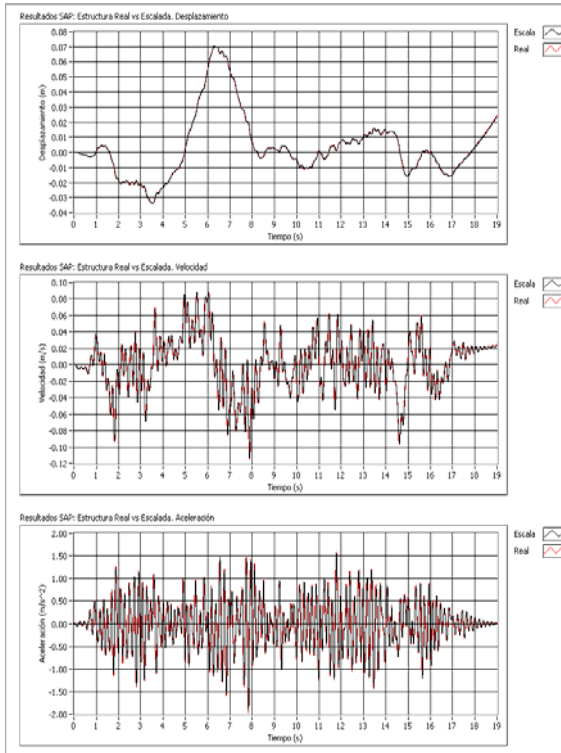
Sismo 1



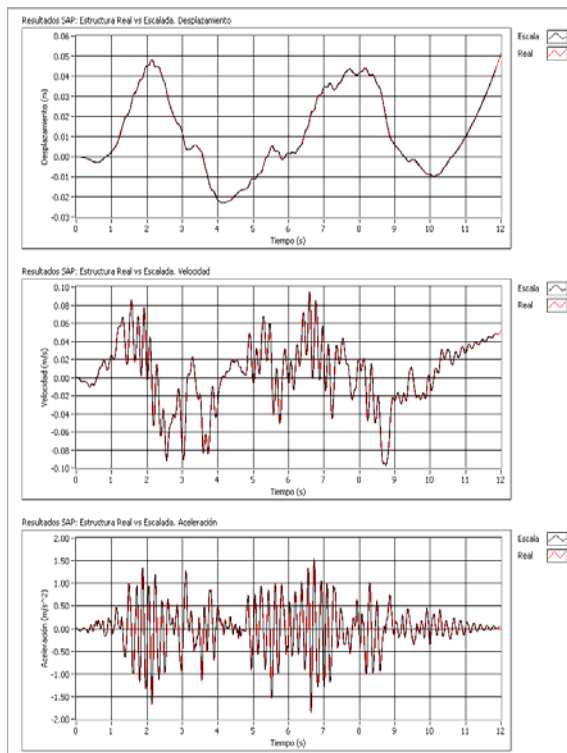
Sismo 2



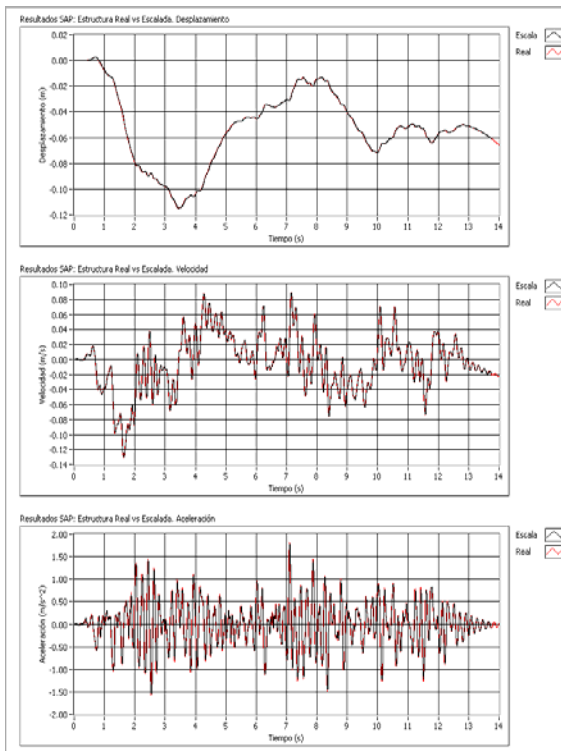
Sismo 3



Sismo 4



Sismo 5



Como se puede ver en las gráficas, la respuesta sísmica de la estructura que se obtiene es la misma, tanto si se analiza a partir de la estructura real como si se parte de una estructura hecha a escala, con el consiguiente ahorro económico y de tiempo.

Por lo tanto, de este estudio se concluye que el uso de técnicas de semejanza para el análisis de estructuras proporciona excelentes resultados, tanto en el comportamiento dinámico como en la respuesta sísmica lineal, y que por tanto es

una técnica muy recomendable para usar en laboratorios de investigación con el objetivo de simplificar tareas y abaratar costes de equipos y ensayos.

3. Referencias

1. H. G. Harris, G. M. Sabnis, Structural Modeling and Experimental Techniques, CRC, (1999).
2. Norma NCSE-02, Construcciones sismorresistentes.
3. K. Meskouris, Structural Dynamics, Ernst & Sohn.