



## Evaluación probabilista del riesgo sísmico de estructuras con base en la degradación de rigidez



A.H. Barbat<sup>a</sup>, Y.F. Vargas<sup>a,\*</sup>, L.G. Pujades<sup>a</sup> y J.E. Hurtado<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Universidad Politécnica de Cataluña, Campus Norte, Jordi Girona 1-3, Edificio D2 08034 Barcelona, España

<sup>b</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Apartado 127, Manizales, Colombia

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

#### Historia del artículo:

Recibido el 17 de julio de 2013

Aceptado el 17 de noviembre de 2014

On-line el 12 de marzo de 2015

#### Palabras clave:

Análisis dinámico incremental

Análisis pushover

Método de Monte Carlo

#### Keywords:

Incremental dynamic analysis

Pushover analysis

Monte Carlo method

### R E S U M E N

El análisis dinámico incremental es una poderosa herramienta para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificios. Permite calcular el daño global de estructuras para diferentes aceleraciones máximas del terreno y representar este resultado por medio de curvas de daño. Dichas curvas se utilizan para evaluar el riesgo sísmico a nivel urbano. Aunque el uso de este método en un entorno probabilista requiere un considerable esfuerzo computacional, este debe ser el método de referencia para el cálculo de las mencionadas curvas. Sin embargo, resulta de interés práctico disponer de un método más sencillo que utilice, por ejemplo, el análisis estático no lineal incremental (*pushover analysis*) para evaluar la vulnerabilidad sísmica y el riesgo de los edificios, que permita obtener resultados similares a los obtenidos usando el análisis dinámico incremental. Haciendo referencia a los métodos basados en la capacidad y la demanda, habitualmente se han utilizado opiniones de expertos para definir los umbrales de los estados de daño a partir del punto de plastificación y del desplazamiento máximo espectral identificado en el espectro de capacidad bilineal. Por lo tanto, en el artículo se propone un nuevo procedimiento para la definición de los umbrales de los estados de daño, con base en la degradación de la rigidez de la estructura. El problema se aborda mediante un método totalmente probabilista utilizando la simulación por Monte Carlo con el fin de comparar de una manera rigurosa los resultados obtenidos con los proporcionados por el análisis dinámico incremental.

© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

### Probabilistic assessment of the seismic risk based on stiffness degradation

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

The incremental dynamic analysis is a powerful tool for evaluating the seismic vulnerability and risk of buildings. It allows calculating the global damage of structures for different peak ground accelerations, PGA, and representing this result by means of damage curves. Such curves are currently used to obtain seismic risk scenarios at urban level. Even if the application of this method in a probabilistic environment requires a relevant computational effort, this has to be the reference method for determining those curves. Nevertheless, it would be of high practical interest to have a simpler method based, for instance, on pushover analysis, for assessing the seismic vulnerability and risk of buildings, which allows obtaining results similar to those based on the incremental dynamic analysis. Referring to the capacity-spectrum-based-methods, expert opinions have been used in previous researches for defining damage states thresholds starting from the yielding and the ultimate spectral displacement identified in the bilinear capacity spectrum. Therefore, we propose in this article a new procedure for defining the damage states thresholds, based on the stiffness degradation of reinforced concrete building, and a fully probabilistic approach is tackled by means of Monte Carlo simulations. It is demonstrated in the paper that the obtained results are in good agreement with those calculated using the incremental dynamic analysis.

© 2013 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/>).

\* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: alex.barbat@upc.edu (A.H. Barbat), yeudy.felipe.vargas@upc.edu (Y.F. Vargas), lluis.pujades@upc.edu (L.G. Pujades), jehurtadog@unal.edu.co (J.E. Hurtado).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2014.11.001>

0213-1315/© 2013 CIMNE (Universitat Politècnica de Catalunya). Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## 1. Introducción

Para evaluar el riesgo sísmico de las estructuras existentes debe establecerse cuál es el grado de daño producido por un terremoto. Existen diversas metodologías para el cálculo de dicho grado de daño como, por ejemplo, el método del índice de vulnerabilidad en el que se define la acción sísmica por medio de la escala macro-sísmica europea EMS-98 [1], y el comportamiento estructural se describe por medio de un índice de vulnerabilidad [2–6]. Otra metodología ampliamente usada se basa en el método del espectro de capacidad propuesto en las referencias [7,8] y ha sido ampliamente investigada, mejorada y aplicada [9–15]. En este método, la acción sísmica se define por medio del espectro de respuesta elástico, mientras que la capacidad del edificio se define por medio del espectro de capacidad, suponiendo que la respuesta estructural está contenida principalmente en el primer modo de vibración. El espectro de capacidad se calcula mediante un análisis estático no lineal incremental, conocido comúnmente como *pushover analysis* (PA por sus siglas en inglés). El método del espectro de capacidad ha sido posteriormente modificado para incluir los efectos de los modos más altos de vibración [16–18]. Dicho método se aplicó en varios estudios anteriores con el fin de calcular el riesgo sísmico de zonas urbanas [19–21], donde se siguen los desarrollos realizados en el proyecto RISK-UE [22], en el que los umbrales de los estados de daño se definen a partir de la opinión de expertos [4,23] con base en los desplazamientos de plastificación y último del espectro de capacidad. Aunque este enfoque es útil para evaluaciones a gran escala, puede proporcionar resultados que no están de acuerdo con los obtenidos por medio del análisis dinámico incremental, que es la herramienta de referencia para evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico de edificios. Este procedimiento permite calcular el daño global de estructuras para diferentes intensidades y, además, representarlo por medio de curvas de daño. Dichas curvas son utilizadas en muchos métodos para la obtención de escenarios probabilistas de riesgo sísmico a nivel urbano.

En este artículo se muestra cómo, con una nueva definición de los umbrales de los estados de daño con base en la degradación de la rigidez del edificio, calculada a partir de las derivadas primera y segunda del espectro de capacidad, el método puede ser mejorado. Esta nueva definición de los umbrales de daño se ilustra usando un edificio de 3 plantas de hormigón armado teniendo en cuenta las incertidumbres relacionadas con el riesgo sísmico y las propiedades mecánicas de los materiales. Se demuestra, considerando un riguroso enfoque probabilista, que hay un mejor acuerdo entre los resultados obtenidos mediante un cálculo dinámico y un cálculo estático.

## 2. Descripción del edificio estudiado

El edificio estudiado es de hormigón armado, tiene 4 niveles y 3 vanos y se muestra en la figura 1 junto con sus dimensiones.

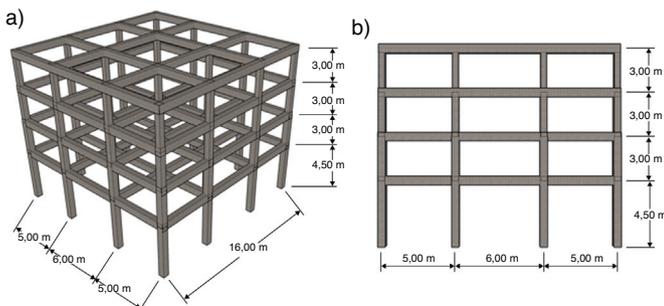


Figura 1. Edificio estudiado (a) y el modelo 2D del edificio (b).

Debido a su simetría puede ser representado mediante un modelo bidimensional utilizando un solo pórtico (figura 1b) cuyas características se muestran en la tabla 1.

El material de las vigas y de las columnas del modelo estructural sigue la regla de histéresis de Takeda modificada [24]. Las superficies de fluencia se definen por medio del diagrama de interacción de flexo-compresión para las columnas y de momento-curvatura para las vigas. Las cargas aplicadas y el diseño de los elementos estructurales siguen las recomendaciones dadas por el Eurocódigo 2 (EC2) [25] para estructuras de hormigón armado y del Eurocódigo 8 (EC8) para considerar las cargas sísmicas. Los valores característicos de las propiedades mecánicas del hormigón y del acero son valores utilizados comúnmente en el diseño de tales edificios. Las normas de diseño requieren valores característicos de resistencia de los materiales obtenidos durante el proceso de control de calidad, a partir de ensayos de compresión y tracción en las muestras de hormigón y acero, respectivamente. Por medio de estos ensayos, la resistencia a compresión del hormigón,  $f_c$ , y el módulo de elasticidad del acero,  $E_s$ , se pueden modelizar como variables aleatorias, lo que es muy útil debido al enfoque probabilista de este artículo. La tabla 2 muestra la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación,  $cdv$ , de estas variables aleatorias. Se supone que estas siguen una distribución normal. Otras posibles incertidumbres, como las relacionadas con la formación de grietas y el aplastamiento del hormigón, el endurecimiento por deformación y la resistencia final de acero o debidas a efectos como la participación de la losa, solo para nombrar unas pocas, pueden ser también incluidas en el análisis probabilista estructural. Sin embargo, en este artículo solo consideramos las incertidumbres de las variables dadas en la tabla 2.

A continuación se utiliza la estructura descrita con el fin de ilustrar el procedimiento de evaluación del comportamiento sísmico que se propone en el artículo.

## 3. Análisis dinámico incremental

El análisis dinámico no lineal (NLDA, por sus siglas en inglés) usando un acelerograma proporciona la historia de la respuesta temporal de un edificio. De esta historia se pueden obtener las características máximas de la respuesta de la estructura, como el desplazamiento en el techo o el índice de daño global de acuerdo a un cierto criterio. Si se escala el acelerograma para diferentes incrementos de la aceleración máxima del terreno (PGA, por sus siglas en inglés) y para cada incremento se realiza un NLDA, se puede obtener una curva que relaciona el PGA (medida de intensidad)

Tabla 1

Características de los elementos del edificio estudiado (figura 1).  $b$ ,  $h$  y  $\rho$  son la base, la altura y la cuantía armadura de las secciones transversales de los elementos estructurales, respectivamente

Nivel	Columnas			Vigas		
	$b$ (m)	$h$ (m)	$\rho$	$b$ (m)	$h$ (m)	$\rho$
1	0,5	0,5	0,03	0,45	0,6	0,0066
2	0,5	0,5	0,02	0,45	0,6	0,0066
3	0,45	0,45	0,015	0,45	0,6	0,0066
4	0,4	0,4	0,015	0,45	0,6	0,0066

Tabla 2

Características de las variables de entrada aleatorias.  $\mu$ ,  $\sigma$  y  $cdv$  representan la media, la desviación estándar y el coeficiente de variación de las variables aleatorias de entrada, respectivamente

	$\mu$	$\sigma$	$cdv$
$f_c$ (kPa)	2.1 E04	2.1 E03	0,1
$E_s$ (kPa)	2 E08	2 E07	0,1

Download English Version:

<https://daneshyari.com/en/article/1702473>

Download Persian Version:

<https://daneshyari.com/article/1702473>

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