

UNA PRIMERA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS ESENCIALES: HOSPITALES Y PARQUES DE BOMBEROS.

Marta González ^(1,2,*), Teresa Susagna ^(1,2), Xavier Goula ⁽¹⁾, Antoni Roca ⁽¹⁾, Salvador Safina ⁽³⁾

⁽¹⁾ Institut Cartogràfic de Catalunya, Parc de Montjuïc, 08038 Barcelona, España. xgoula@icc.es

⁽²⁾ Observatori Fabra, Rambla dels estudis 115, 08002 Barcelona, España.

⁽³⁾ Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas, Urb. El Llanito, Caracas, Venezuela.

* Ahora en Centre de Recerca en Ciències de la Terra, de l' IEA. Encamp. Principat d'Andorra. crecit@andorra.ad

RESUMEN

Se presenta un estudio de la vulnerabilidad sísmica de edificios esenciales, hospitales y parques de bomberos, siguiendo la metodología estadística elaborada anteriormente para edificios de vivienda y extrapolada para su aplicación a edificios individuales. Se definen 18 tipologías distintas, cada una de ellas caracterizada por una combinación en clases de vulnerabilidad de la escala EMS-92. Se propone una clasificación del comportamiento post-terremoto de los edificios esenciales, teniendo en cuenta la posible distribución estadística de los daños, desde grados 0 (no daño) hasta 5 (colapso) de la escala EMS-92. Se realiza un estudio detallado de todos los comportamientos de todas las tipologías para las intensidades intensidad V a X cada medio grado de intensidad.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, Edificios esenciales, Hospitales, Parques de bomberos, Escenarios de daño sísmico.

SUMMARY

It is presented a seismic vulnerability study of essential buildings: hospital and firemen headquakers developed previously for dwelling buildings and then extrapolated for individual buildings. A total of 18 different typologies were defined. Each one is characterized by a combination of vulnerability classes from the EMS-92. A classification of the post-earthquake behaviour of the essential buildings is proposed, based on the possible statistical distribution of damages, between grade 0 (no damage) and grade 5 (collapse) from the EMS92. It was carried out a detailed study of all the typologies behaviour under different intensities from V to X with increments of half an intensity grade.

Key words: Seismic Vulnerability, essential buildings, Hospital, Fireman Headquakers, Seismic damage scenarios.

Introducción

Para la redacción del Plan de emergencias sísmicas de Cataluña (Sismicat) en cumplimiento de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico (BOE, 1995) es necesaria la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificios esenciales, como hospitales y parques de bomberos. Esta evaluación se ha realizado en una primera fase sin entrar en un análisis estructural y funcional detallado de cada uno de los edificios a considerar. El estudio que se presenta se ha basado en un método

desarrollado para edificios de vivienda, para el que se necesita un número muy limitado de datos de los edificios así como de la zona sísmica en la que se sitúa.

Este estudio ha permitido realizar una primera evaluación del comportamiento post-terremoto de un buen número de edificios esenciales, a partir de la distribución de daños calculada para cada situación.

Clasificación de los hospitales y edificios de parques de bomberos en clases de vulnerabilidad.

Los edificios que albergan hospitales y parques de bomberos se han asimilado a edificios de vivienda ya que sus características estructurales no difieren demasiado. Por tanto, el estudio de su vulnerabilidad sísmica puede realizarse utilizando la misma metodología que fue desarrollada y aplicada a edificios de vivienda en Cataluña (Chávez et al., 1998; Roca et al., 1999). La metodología tiene un carácter estadístico y se basa en datos de altura, edad y situación del edificio, que son habitualmente disponibles a partir del censo de las edificaciones.

En la tabla 1 se presenta la clasificación de los edificios de Cataluña, teniendo en cuenta la edad, la altura y la situación del edificio. La vulnerabilidad de cada grupo así definido se ha establecido para Cataluña a través de diferentes informaciones disponibles sobre las construcciones de la región, usando una combinación de las distintas clases de vulnerabilidad de la escala EMS-92 (Chávez et al, 1998).

Para aplicar esta clasificación a edificios individuales es necesario atribuir una tipología determinada a cada uno de los grupos definidos en la tabla. De esta manera la vulnerabilidad de cada tipología queda definida como la vulnerabilidad media del conjunto de edificios de cada grupo.

	< 1950		1951-1970		> 1970	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
< 5 plantas	20% A + 80% B Tipología 1	30% A + 70% B Tipología 4	5 % A + 50% B + 45% C Tipología 7	15 % A + 70% B + 15% C Tipología 10	85% C + 15% D Tipología 13	5% A + 20% B + 65% C + 10% D Tipología 16
= 5 plantas	20% A + 80% B Tipología 2	40% A + 60% B Tipología 5	10% A + 60% B + 30% C Tipología 8	20% A + 70% B + 10% C Tipología 11	5% A + 20% B + 65% C + 10% D Tipología 14	10% A + 30% B + 55% C + 5% D Tipología 17
> 5 plantas	40% A + 60% B Tipología 3	60% A + 40% B Tipología 6	15 % A + 70% B + 15% C Tipología 9	30% A + 65% B + 5% C Tipología 12	8% A + 27% B + 60% C + 5% D Tipología 15	15% A + 45% B + 40% C Tipología 18

Tabla 1. Clasificación de los edificios esenciales en tipologías según su vulnerabilidad.

Para la realización del estudio de vulnerabilidad de los edificios de hospitales y parques de bomberos se han clasificado asimilándolos a edificios de vivienda según la clasificación de la tabla 1 utilizando como parámetros la edad del edificio (anterior a 1950, entre 1951 y 1970, posterior a 1970), la altura del edificio (menor de 5 plantas, igual a 5 plantas, superior a 5 plantas) y por último la localización (zona urbana, si el edificio no está aislado o zona rural si el edificio está aislado).

Estimación del daño potencial para cada tipología y distintas intensidades

La estimación del daño que podrían experimentar los edificios esenciales, considerando la ocurrencia de un evento sísmico de una determinada intensidad se ha llevado a cabo mediante el uso de matrices de probabilidad de daño que han sido determinadas para las clases de vulnerabilidad A,B,C,D,E y F, los grados de daño de 0 (no daño) a 5 (colapso) y los grados de intensidad (de V a X) de la escala EMS-92 (Chávez, 1998).

Para cada tipología definida a partir de una cierta combinación de clases de vulnerabilidad (tabla 1) se realizan los cálculos a partir de la expresión:

$$P_T[D_k] = \sum_v \lambda_{v,T} P[D_k / I, V] \quad [1]$$

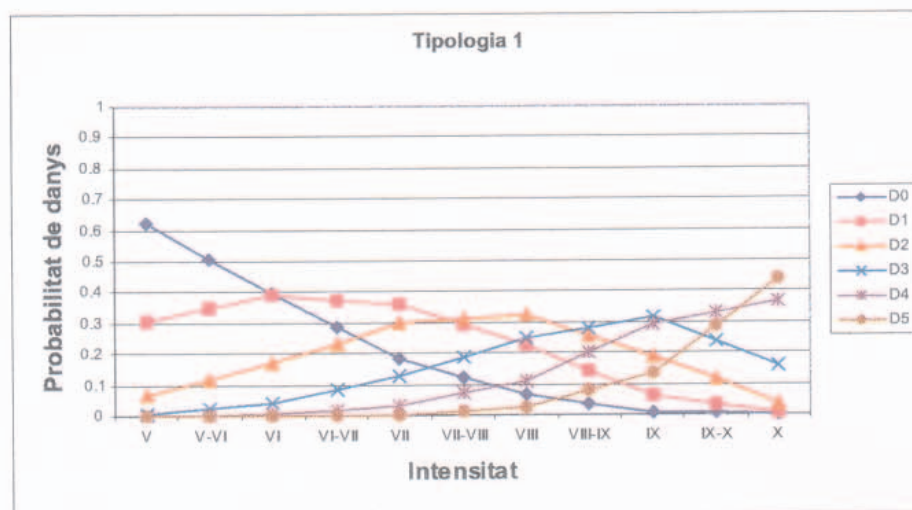
dónde,

$P_T[D_k]$, es la probabilidad de que para una determinada tipología T se observe un nivel de daño D_k ($k=0,5$) para una intensidad I;

$\lambda_{v,T}$, es el porcentaje de la clase de vulnerabilidad V (A,B,C,D,E o F), existente en la tipología T (tabla1);

$P[D_k / I, V]$, es la probabilidad condicionada de que se observe el nivel de daño D_k , dada la intensidad I para una vulnerabilidad V. Esta probabilidad se corresponde con las matrices de probabilidad de daño (Chávez, 1998).

En la figura 1 se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos:



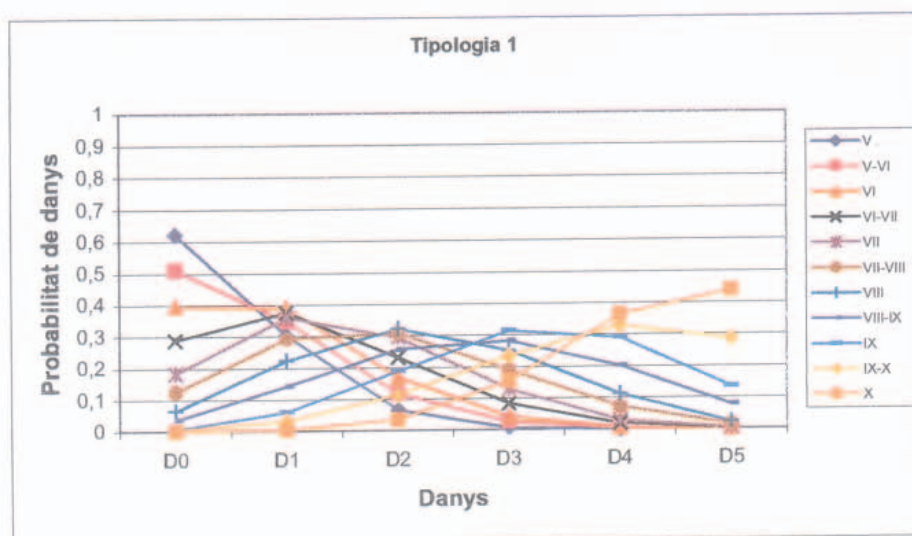


Figura 1. Probabilidades de daño para la Tipología 1 para distintos valores de intensidad.

Clasificación del comportamiento post-terremoto de los edificios esenciales

Una vez determinada la tipología de un edificio especial y calculadas las probabilidades de daño para esa tipología y para la intensidad que corresponda a la población en la que se sitúe el edificio se puede determinar su comportamiento post-terremoto a partir de la curva de distribución de daños que se obtenga.

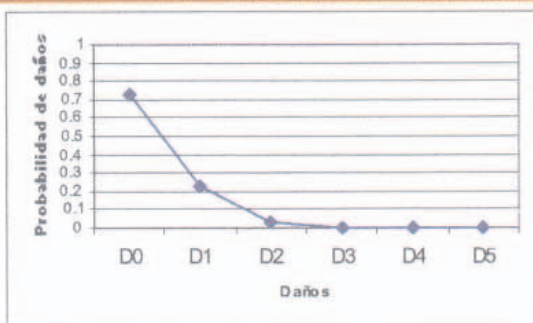
Las curvas de distribución de daños se pueden agrupar por similitud entre ellas en un número limitado de formas características que representarán otros tantos comportamientos. Se proponen 4 clases de comportamiento post-terremoto en función de 4 distribuciones características del daño que se resumen en la Tabla 2.

El Comportamiento 1 está caracterizado por daños muy poco probables (menos del 10% de probabilidad de sufrir un daño igual o superior a daño 2). En todos estos casos se considera que el edificio resultaría *indemne*.

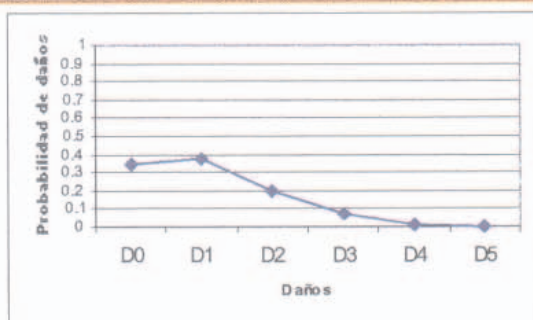
El comportamiento 2 está caracterizado por daños poco probables (entre un 0 y un 15% de probabilidad de sufrir daños de grado superior o igual a daño 3 y entre un 10 y 40% de probabilidad de sufrir daño superior o igual a daño 2). En estos casos, la instalación se considera *operativa* pero se recomienda una revisión del edificio.

El comportamiento 3 está caracterizado por daños serios probables (entre un 15 y un 40% de probabilidad de sufrir daños superiores o iguales a daño 3 y más de un 40% de sufrir daños superiores o iguales a daño 2). En estos casos se considera que la instalación quedaría *no operativa*, pero el edificio continuaría en estado de habitabilidad.

El comportamiento 4 está caracterizado por daños graves (más de un 40% de probabilidad de sufrir daños superiores o iguales a daño 4 y más de un 50% de probabilidad de sufrir daños superiores o iguales a daño 3). En este caso se considera que la instalación quedaría *no operativa* y la edificación *no habitable*.

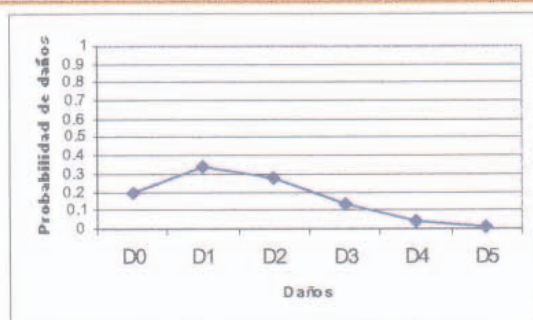
COMPORTAMIENTO DE LOS EDIFICIOS**CARACTERÍSTICAS:****Comportamiento 1:**

Menos del 10% de daño = D2

Indemne**Comportamiento 2:**

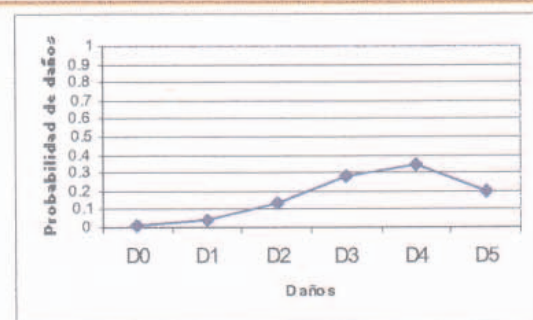
Entre un 10-40% de daño = D2

Entre un 0-15% de daño = D3

Operativo**Comportamiento 3:**

Un 40% o más de daño = D2

Entre un 15-40% de daño = D3

*No Operativo
Habitable***Comportamiento 4:**

Más del 50% de daño = D3

Más del 20% de daño = D4

*No Operativo
No Habitable***Tabla 2.** Clasificación del comportamientos post-terremoto de los edificios esenciales

Esta clasificación se ha realizado a partir del estudio detallado de todos los comportamientos de todas las tipologías para todas las intensidades desde intensidad V a X cada medio grado de intensidad.

Estimación del comportamiento post-terremoto de los hospitales

Se han estudiado 65 hospitales de Cataluña que forman parte de la *Xarxa d'Hospitalització Pública (XHUP)*.

Según la clasificación utilizada (tabla 1), los edificios de hospitales de Cataluña están representados por todas las tipologías de la clasificación menos por la 7 y 10, que representan edificios de menos de 5 plantas construidos entre 1951 y 1970 en zona urbana y rural respectivamente. Las tipologías con más representación son la 12 (edificio de más de 5 plantas, construido entre 1951 y 1970 aislado) y la 18 (edificio de más de 5 plantas, construido después de 1970 y aislado) con 10 y 11 edificios respectivamente. En la figura 2 se ha representado la distribución de los hospitales por tipologías.

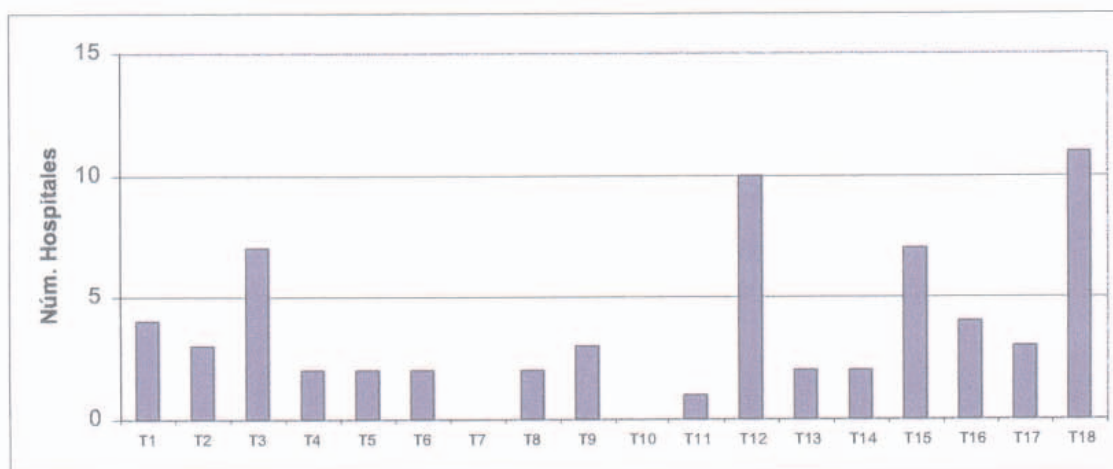


Figura 2. Representación del número de edificios de hospitales por tipologías.

En cuanto a la distribución de los edificios según su situación en las distintas zonas sísmicas definidas para Cataluña teniendo en cuenta el efecto de suelo (Secanell, 1998) se obtiene que 30 hospitales (un 46%) se hallan en zona de intensidad VI o VI-VII; 33 (un 51%) en zona VII o VII-VIII y 2 (un 3%) en zona de intensidad VIII.

Se han calculado las distribuciones del daño potencial para cada hospital teniendo en cuenta su tipología y la intensidad de la zona sísmica a la cual pertenece. En función de la distribución del daño potencial obtenida, a cada hospital se le ha atribuido un comportamiento post-terremoto según la definición dada en la tabla 2

El comportamiento del conjunto de 65 hospitales estudiados se agrupa de la manera siguiente:

- el 12% tendría un comportamiento 1, es decir 8 hospitales resultarían indemnes,
- el 60% tendría un comportamiento 2, es decir 39 hospitales continuarían siendo operativos, siendo necesaria una revisión de los edificios,
- el 28% tendría un comportamiento 3, es decir 18 hospitales podrían quedar fuera de servicio, pero seguirían siendo habitables,
- ninguno de los hospitales estudiados tendría un comportamiento 4, es decir inoperativo e inhabitable.

Estimación del comportamiento post-terremoto de los parques de bomberos

Se han estudiado 170 parques de bomberos, para los que se disponía de información. Según la clasificación utilizada (tabla1), los edificios de parques de bomberos están representados por las tipologías 13 y 16 a excepción de uno de ellos que pertenece a la tipología 4, según se representa en la figura3.

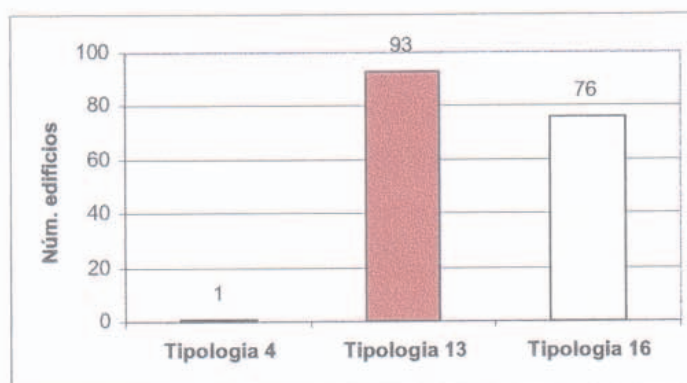


Figura 3. Representación del número de edificios por cada tipología.

En cuanto a la distribución de los edificios según su situación en las distintas zonas sísmicas definidas para Cataluña teniendo en cuenta el efecto de suelo (Secanell, 1998) se obtiene que 6 edificios (un 3,5%) se hallan en zona de intensidad V o V-VI; 88 (un 52%) en zona VI o VI-VII; 58 (un 34%) en zona de intensidad VII o VII-VII y 18 (un 10,5%) en zona de intensidad VIII.

Se han calculado las distribuciones del daño potencial para cada edificio teniendo en cuenta su tipología y la intensidad de la zona sísmica a la cual pertenece. En función de la distribución del daño potencial obtenida, a cada parque de bomberos se le ha atribuido un comportamiento post-terremoto según la definición dada en la tabla 2

El comportamiento del conjunto de 170 parques de bomberos estudiados se agrupa de la manera siguiente:

- el 55% tendría un comportamiento 1, es decir 93 parques de bomberos resultarían indemnes,
- el 40% tendría un comportamiento 2, es decir 69 parques de bomberos continuarían siendo operativos, siendo necesaria una revisión de los edificios,
- el 5% tendría un comportamiento 3, es decir 8 parques de bomberos podrían quedar fuera de servicio, pero seguirían siendo habitables,
- ninguno de los parques de bomberos estudiados tendría un comportamiento 4, es decir inoperativo e inhabitable.

Conclusiones

A partir de pocos datos relativos a la edad, altura y situación de los edificios que albergan hospitales y parques de bomberos en Cataluña, suministrados por la *Direcció General d'Emergència i Seguretat* se ha podido obtener una primera estimación de su comportamiento en caso de terremoto, útil para la redacción del Plan de Emergencia Sísmica de Cataluña (SISMICAT).

Para realizar esta evaluación se ha extrapolado la metodología desarrollada para evaluar la vulnerabilidad de edificios de viviendas, a partir de la definición en clases de vulnerabilidad de la escala EMS-92, para definir diversas tipologías de edificios.

Se ha propuesto una clasificación del comportamiento post-terremoto de los edificios esenciales basada en las distribuciones de daño que resultarían para distintas intensidades para cada tipología.

Teniendo en cuenta los grados de intensidad considerados en el mapa de zonas sísmicas de Cataluña, entre V y VIII, alguna de las instalaciones podría quedar dañada de tal manera que resultase fuera de servicio, pero ninguna de ellas necesitaría además ser evacuada.

Bibliografía

- A.Roca, X. Goula & T. Susagna. (1999). "Zonación Sísmica a diferentes escalas. Microzonación". Física de la Tierra. Ingeniería Sísmica. Universidad Complutense. N-11. 305 pp
- Bases de datos suministradas por la Direcció General d'Emergència i Seguretat Civil.
- B.O.E. (1995). "Directriz Básica de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico", BOE 25 de mayo de 1995.
- Chávez, J (1998). "Evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo Sísmico a escala Regional: Aplicación a Cataluña. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña". 343 pp.
- Chávez, J , Goula, X., Roca, A., Mañà, F., Presmanes, J. & Lopez-arroyo, A. (1998). "Preliminary seismic risk assessment for Catalonia (Spain)". Eleventh European Conference on earthquake engineering. París (CD-ROM)
- European Macroseismic Scale 1992 (up-date MSK-scale). Conseil de l'Europe. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie". Ed Grünthal, G. Vol 7.Luxembourg 1993.
- Goula, X., Susagna, T., Fleta, J. & Secanell, R. (1998). Informació territorial i anàlisis del risc per al pla SISMICAT. Part I: Perillositat sísmica. Informe Servei Geològic de Catalunya GS165/98
- González, M., Safina, S., Susagna, T., Goula, X. & Roca, A. (2000.). "Avaluació de la vulnerabilitat sísmica d'edificis essencials: Hospitals i Parcs de Bombers". Informe del Institut Cartogràfic de Catalunya núm.:GS-138/00, Diciembre de 2000.
- Secanell, R. (1998). "Avaluació de la perillositat sísmica a Catalunya: Anàlisi de sensibilitat per a diferents models d'ocurrència i paràmetres sísmics". Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 335 pp