

ReUSO

Granada 2017

SOBRE UNA ARQUITECTURA HECHA DE TIEMPO

VOLUMEN 1

METODOLOGÍA, TÉCNICA Y CONSERVACIÓN



eug

© Palma Crespo, Milagros
Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes
García Quesada, Rafael (Eds)
© Los autores
© Universidad de Granada
REUSO Granada 2017
ISBN: 978-84-338-6131-3
Depósito legal: Gr./1243
Edita: Editorial Universidad de Granada.
Campus Universitario de Cartuja.
Granada
Revisión de textos: Torres Rico, Francisco
Palma Crespo, Milagros
Rueda Godino, Sebastián Manuel
Gutiérrez Carrillo, M^a Lourdes
García Quesada, Rafael
Armenta García, Carmen María
Maquetación: Torres Rico, Francisco
Rueda Godino, Sebastián Manuel
Armenta García, Carmen María
Diseño de la cubierta: Armenta García, Carmen María
Imprime: Gráficas La Madraza. Albolote.
Granada
Printed in Spain Impreso en España

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley.

Los editores no se hacen responsables del material aportado por los distintos autores

Como punto de partida, del estudio de las arterias principales de la ciudad de Granada que participarían como vías de evacuación en caso de emergencia –figura 1–, destaca la Gran Vía de Colón que actúa descongestionando la zona centro y el bajo Albaicín. Esta Avenida cuenta con cuarenta y dos edificios catalogados –de los cincuenta y seis que conforman la calle– según el Plan Especial de Protección y Reforma Interior del Área Centro de Granada del año 2000. En ellos predomina el uso residencial en ambas fachadas (Martínez-Ramos, 2015a). El conjunto edificatorio que conforma el eje principal de evacuación natural de la zona centro y bajo Albaicín, se presenta como objetivo del presente estudio para analizar su respuesta de cara al evento sísmico más destructivo posible en la ciudad que, según Feriche (2011) sería de intensidad VIII.

2. Simulación de daño en la Gran Vía de Colón de Granada

La finalidad del estudio consiste en elaborar un Escenario de Daño Sísmico para la Gran Vía de Granada, focalizando la atención en los edificios protegidos según el Catálogo del Plan Especial Centro del PGOU de Granada en los que predomina el sistema estructural vertical de muro de carga cuya masividad y rigidez lo convierte en elemento constructivo frágil ante los esfuerzos horizontales.

Del trabajo de investigación de la Memoria de la Construcción de la Gran Vía de Colón de Granada. Reconocimiento y caracterización de sus edificios se recopilan los datos técnicos-constructivos que, a modo de catálogo aporta entre otros su autora (Martínez-Ramos, 2015b), y que sirven de base como datos iniciales para la aplicación del Método del Índice de Vulnerabilidad en los edificios que se conservan y obtener el Escenario de Daño Sísmico –EDS– de la Gran Vía. En la Tabla 2 se recoge un extracto de diez edificios elegidos por los autores para la aplicación del Método.

ID EDIFICIO DE GRAN VÍA	USO	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	SISTEMA DE LUNDAPIÓN	FORMA DE ALZADO	PREVALENCIA DE ALZADO	Área (p. en m ²)	Diámetro (m)	POSE CONSTRUCC. (en m ²)	DC	LUMINOSIDAD (en m ²)	POSICIÓN DE LUNDAPIÓN	POSICIÓN DE BOMBONA	COMENTARIOS		
20	Residencial + Esp. Comercial	1932	-	M.3	B.164	Buena	B=++A	REINFORZADO	1208,26	148,30	1750,85	0,83	47,8	0	Terminado	Zona de alta intensidad
25	Secundario (uso)	1888	-	M.3.1	B.162	Buena	B=++A	-	526,94	133,25	1153,04	0,82	40,9	0,04	Terminado	sin
27	Residencial + Esp. Comercial	1907	-	M.3.4	B.165	Buena	B=++A	-	726,07	118,81	1085,60	0,82	30,21	-0,02	En ejecución	Norm. Paralelo (sin reforzar)
32	Industria	1900	SI, en 1913	M.4	B.161	Buena	B=+	-	309,49	92,72	684,12	0,73	21,36	-0,02	En ejecución	Norm. Paralelo (sin reforzar)
34	Residencial	1875	SI, en 2000	M.3.3	B.158	Buena	B=++A	-	606,64	103,30	849,16	0,85	26,47	0,04	En ejecución	Norm. Paralelo (sin reforzar)
39	Residencial + Esp. Comercial	1913	SI, en 2000	M.4	B.163	Buena	B=++A	REINFORZADO	968,57	138,26	1113,30	0,73	30,54	0,01	En ejecución	Norm. Paralelo (sin reforzar)
41	Secundario (uso)	1900	SI, en 2000	M.3.1	B.174	Buena	B=++A	-	1909,17	242,33	4892,61	0,84	38,32	-0,02	Intermedio	Norm. Paralelo y Norm. sin reforzar
43	Residencial + Esp. Comercial	1910	SI, en 2000	M.4	B.161	Buena	B=++A	REINFORZADO	232,72	67,31	300,54	0,80	18,7	-0,02	Intermedio	Norm. Paralelo (sin reforzar)
36	Residencial + Esp. Comercial	1913	SI, en 2000	M.4	B.163	Buena	B=++A	REINFORZADO	272,75	79,34	500,93	0,74	11,82	0,04	Intermedio	Norm. Paralelo (sin reforzar)
37	Residencial + Esp. Comercial	1898	SI, en 2000	M.4	B.163	Buena	B=++A	REINFORZADO	307,26	84,04	507,03	0,75	17,86	-0,01	En ejecución	Norm. Paralelo (sin reforzar)

Correlación Clase de Vulnerabilidad y Grado de Daño (Fuente: Feriche 2012)

3. Metodología

La metodología de aplicación es la propuesta por el Risk-UE que consiste en una valoración objetiva del estado actual de cada edificio estudiado atendiendo a sus características. Como se ha dicho anteriormente, de la asignación de la tipología constructiva resulta una vulnerabilidad de partida. En el caso de la Gran Vía de Granada, se asocian a las tipologías constructivas existentes las que, a juicio de los autores, son las más similares dentro de la clasificación que aporta el Método y que responde a los siguientes modificadores:

- Modificador.3.1. Muros de carga de fábrica y forjados de madera. Valor = 0,740.
- Modificador.3.3. Muros de carga de fábrica no reforzada y forjados mixtos de acero y madera. Valor = 0,704.
- Modificador.3.4. Muros de carga de mampostería no reforzada con forjados de losa de hormigón armado. Valor = 0,616.
- Modificador.4. Muros de carga de mampostería confinados o reforzados. Valor = 0,451.
- Reinforced Concret.3.2. Estructuras de hormigón armado con tabiquería irregular. Valor = 0,522.
- Steel.3. Estructuras metálicas con muros de relleno de fábrica sin reforzar. Valor = 0,484.

La clasificación, como podemos ver, no contempla los muros de fábrica reforzados o confinados o el forjado de losa junto con el muro de fábrica, en su lugar, cita muros de carga de mampostería, los cuáles no se encuentran en el campo de estudio por lo que para desarrollar el trabajo se asume el error existente y se

introduce como tipología M.4 aquellos edificios que han sido objeto de reformas y rehabilitaciones, a pesar de no ser muros de mampostería los existentes en la Gran Vía sino de fábrica de fábrica de ladrillo.

Al valor inicial de vulnerabilidad se le va a aplicar una serie de modificadores, son los siguientes:

- Modificador regional -Mr-. Atendiendo al año de construcción del edificio relacionado con los periodos de vigencia de las normas sismorresistentes.
- Modificador por estado de conservación -Md-
- Modificador por número de plantas -Mh- Se consideran las plantas sobre rasante.
- Modificador por sistema estructural -Me-. Este modificador valora los errores constructivos más usuales atendiendo a la época de construcción.
- Modificador por irregularidad en altura -Mih-. Controla la volumetría de los edificios tanto interior como exterior, es decir, penaliza los cuerpos independientes que puedan emerger del conjunto volumétrico como en el caso de los torreones. Por otro lado, contempla la existencia de pisos blandos en el desarrollo de la altura del edificio e incluso de pilares cortos que son fatales en zona sísmica.
- Modificador de irregularidad en planta -Mip-. Existen diversos métodos para evaluar este modificador, el escogido es el de la Razón de Compacidad/Circularidad –RC– definido por Lantada (2007).

La expresión es:

$$RC=(A/Ac)^{1/2}$$

Siendo A el área del polígono que corresponde al forjado del edificio en cuestión y Ac la del círculo que tiene el mismo perímetro que el polígono. El valor está comprendido entre 0 y 1, si resulta 0 el valor del RC, quiere decir que el polígono estudiado posee una gran irregularidad en planta.

- Modificador de longitud de fachada -Mf-.
- Modificador por diferencia de altura con colindantes –Mph-. A la hora de la acción sísmica, se producen efectos entre edificios adyacentes como el impacto, entre otros, que suponen un daño adicional.
- Modificador de posición del edificio en la manzana –Mpm-. Los edificios situados como elemento final de una secuencia de más edificios o en esquina son más vulnerables ya que no están tan arropados como los ubicados en posiciones intermedias.
- Modificador en función de la pendiente del terreno –Mpt-. atendiendo a la cimentación estudiada y la pendiente sensiblemente horizontal que no obliga a grandes saltos de cota en cimentación se concluye este modificador como nulo para todos los edificios.

Tras haber obtenido el Índice de Vulnerabilidad para cada uno de los cincuenta y seis edificios que componen las dos fachadas de la Gran Vía de Granada, el siguiente paso es asignarles la Clase de Vulnerabilidad.

Se muestra la clase de vulnerabilidad en función de los intervalos de rango del índice de Vulnerabilidad -Iv-. (Feriche, 2012):

- Clase de Vulnerabilidad A: $0,82 < Iv$
- Clase de Vulnerabilidad B: $0,66 < Iv < 0,82$
- Clase de Vulnerabilidad C: $0,50 < Iv < 0,66$
- Clase de Vulnerabilidad D: $0,34 < Iv < 0,50$
- Clase de Vulnerabilidad E: $Iv < 0,34$

Por último, para elaborar el EDS de la Gran Vía de Granada, se calcula el grado de daño esperado para cada edificio atendiendo al terremoto que sirve de hipótesis de cálculo.

El Grado de Daño, según el Método del Índice de Vulnerabilidad, viene dado por la relación entre la Clase

de Vulnerabilidad del edificio estudiado con la Intensidad sísmica esperada en su localización -ver Tabla 3-. Correlación Clase de Vulnerabilidad y Grado de Daño-. A Granada se le estima un terremoto de Intensidad VII como el más probable, sin embargo, según el mapa de microzonificación sísmica y la revisión de la sismicidad histórica de Granada (Ferliche, 2012) el sismo más destructivo posible en la ciudad será de intensidad VIII por lo que se opta estar en la situación más desfavorable posible y se selecciona ésta última Intensidad mencionada, con ciertos matices según en área de la ciudad que nos situemos gracias al mapa de microzonificación.

A cada Grado de Daño le corresponde una descripción sobre su funcionalidad y sus daños sufridos, tanto estructurales como no estructurales, tras el terremoto. Al GD1 le corresponden unos daños despreciables mientras que el GD5 implica el colapso de la estructura.

Intensidad	Clase de Vulnerabilidad	Mampostería/Madera					Horm. Armado/ Metalica				
		Grado de Daño					Grado de Daño				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
8 y 8,2	A				GD4	GD5				GD4	GD5
	B			GD3	GD4				GD3	GD4	
	C		GD2	GD3				GD2	GD3		
	D	GD1	GD2				GD1	GD2			
	E	GD1					GD1				
8,4 y 8,6	A					GD5			GD4	GD5	
	B				GD4	GD5			GD3	GD4	
	C			GD3	GD4			GD3			
	D		GD2	GD3				GD2			
	E	GD1	GD2				GD1				

Caracterización morfológico-constructiva de diez edificios representativos de la Gran Vía (Fuente: elaboración propia)

A continuación se muestra en la Tabla 4 -Justificación de aplicación del Método del Índice de Vulnerabilidad a diez edificios representativos de la Gran Vía- un extracto del cálculo realizado, recogiendo los edificios con la casuística más completa a juicio de los autores.

4. Balance y resultado de la investigación

Se opta por estudiar la Gran Vía de Granada distinguiendo dos grupos, los números impares con veintinueve y los pares con veintisiete edificios, haciendo un total de cincuenta y seis como objeto de estudio. En la Tabla 4 se representa mediante una línea más gruesa los edificios agrupados según manzanas. La razón es la propia metodología utilizada, ya que como se ha visto en el apartado anterior, el Método requiere del conocimiento del entorno inmediato en el caso de algunos modificadores como Mph y Mpm.

Nº EDIFICIO DE REFERENCIA	USO	AÑO DE CONSTRUCCIÓN	AÑO ÚLTIMA REFINANCIÓN	TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	M1	M2	M3	M4	M5	Area (A)	Perimetro	Area Cielo (Pc)	IC	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	VULNERABILIDAD (V)	CLASE DE DAÑO (IMPACTO)	GRADO DE DAÑO	
26	Residencial + Bajo Comercial	1930	-	R3	0,404	0,14	0	0,04	0,04	0,03	1206,36	148,30	1702,81	0,83	0	0,04	0	0,04	0	0,04	0	0,004	A	GD3
25	Terreno (total)	1999	-	PC 3.2	0,522	0,08	0	0	0	556,84	130,35	1415,05	0,62	0,02	0,04	0,04	0,04	0	0,04	0	0,002	B	GD0	
27	Residencial + Bajo Comercial	1997	-	M.3.4	0,816	0,14	0	0,02	0,04	736,67	116,81	1086,80	0,82	0	0,04	0,02	0,04	0	0,04	0	0,018	A	GD0	
32	Poligrafo	1995	SI en 1931	M.4	0,401	0,14	0	0,02	0,04	369,40	92,72	894,13	0,73	0	0,04	0,02	0,04	0	0,04	0	0,11	B	GD3	
34	Residencial	1995	ITE en 2000	M.3.3	0,704	0,10	-0,04	0,02	0,04	609,44	165,36	848,16	0,82	0	0,04	0,04	0,04	0	0,04	0	0,004	A	GD3	
29	Residencial + Bajo Comercial	1913	SI. primer B 2000	M.4	0,401	0,08	0	0,06	0,04	906,57	118,26	1112,80	0,71	0	0,04	0,02	0,04	0	0,04	0	0,101	B	GD3	
31	Terreno (MOR)	1990	SI. primer B 2000	M.3.1	0,74	0,08	0	0,02	0,04	1909,17	242,58	4680,81	0,84	0,02	0,04	0,02	0,04	0	0,04	0	0,08	A	GD4	
33	Residencial + Bajo Comercial	1910	SI. posterior al 2000	M.4	0,401	0,08	0	0,06	0,04	232,72	67,31	360,54	0,80	0	0,013	0,02	0,04	0	0,04	0	0,578	C	GD2	
35	Residencial + Bajo Comercial	1915	SI. posterior al 2000	M.4	0,401	0,08	0	0,06	0,04	272,75	79,34	300,93	0,74	0	0	0,04	0,04	0	0,04	0	0,651	C	GD2	
37	Residencial + Bajo Comercial	1998	SI. primer B 2000	M.4	0,401	0,08	0	0,02	0,04	302,75	84,04	562,03	0,73	0	0,013	0,02	0,04	0	0,04	0	0,618	C	GD2	

Justificación de aplicación del Método del Índice de Vulnerabilidad a 10 edificios representativos (Fuente: elaboración propia)

Se observa al aplicar el Método al conjunto total del edificios que se cumple la hipótesis que servía de punto de partida para esta investigación:

- De los cincuenta y seis, a veintisiete le corresponden una Clase de Vulnerabilidad B lo que supone un 48,2%.
- De los cincuenta y seis, a diecisiete le corresponden una Clase de Vulnerabilidad A lo que supone un 30,4%.
- De los cincuenta y seis, a doce le corresponden una Clase de Vulnerabilidad C lo que supone un 21,4%.

Se cumple que los edificios más vulnerables son aquellos levantados con muros de fábrica de ladrillo, sin embargo, existen otros ejemplos que resultan ser aún más vulnerables como ciertas estructuras de hormigón armado –H.A.– y metálicas –M– como es el caso de los edificios nº10 –H.A.–, nº46 –H.A.–, nº47 –M– y nº48 –H.A.– cuyo Grado de Vulnerabilidad es A. La lógica de este resultado viene dada por la fecha de construcción de cada edificio: 1973, 1921, 1929 y 1973 respectivamente.

La norma sísmica que engloba el inicio de los años setenta en España, la PGS-1, que establece una serie de normas de diseño como prohibir el tapial y el adobe en zonas de sismicidad media y acusada y obligar a ejecutar encadenados de hormigón con 410 en estructuras de fábrica de ladrillo. En definitiva, es muy reducida en sus directrices constructivas, lo que lleva a la conclusión que no cumple ninguna medida de prevención sísmica y de ahí su Clase de Vulnerabilidad.

La NCSE-02 junto con la Instrucción Española del Hormigón Estructural –EHE-08–, para edificios en zona sísmica, obligan a cumplir una serie de puntos a la hora de la ejecución como el área de acero en tanto por mil en la sección de un pilar de hormigón, disposición de los redondos, confinamiento con estribos, empotramiento de los nudos en la uniones pilar-viga, longitudes de solape de armadura...

Por otro lado, se observa que el comportamiento de estructuras murarias reducen hasta una Clase C su vulnerabilidad, de hecho, todos los edificios para los que he obtenido ésta Clase de Vulnerabilidad son de la tipología M.4 –Muros de carga de mampostería confinada o reforzada–. Si se abstrae el resultado del contexto, una Clase C comienza a ser preocupante ya que pueden implicar un Grado de Daño 3 con daños estructurales moderados pero dentro del contexto es el valor más bajo que ha resultado de este estudio y, por tanto, los que llegado el momento puedan resistir mejor e incluso ser funcionales para tareas de protección civil.



Escenario de Daño Sísmico de la Gran Vía de Granada para un terremoto de I=VIII (Fuente: elaboración propia)

La Tabla 4 concluye con el Grado de Daño estimado como continuación del proceso y, además, se elabora una volumetría del resultado con la totalidad de edificios de la Avenida para poder situar el EDS –ver primera tabla– en su contexto.

A la hora de asignarle el Grado de Daño a la edificación a partir de Clase de Vulnerabilidad, ofrece la posibilidad de elegir entre dos opciones, una de mayor gravedad que la otra, por tanto el criterio de adjudicación se basa en dar un Grado de Daño mayor a aquellos edificios en los que no figure que sean objeto de rehabilitaciones o reformas significantes, valorando también su año de construcción y su Índice de Vulnerabilidad final.

5. Conclusiones

Pese a las limitaciones que se reconocen en el «Método del Índice de Vulnerabilidad» aplicado, es de interés considerar la relación que establece entre el «concepto de vulnerabilidad» y el de «grado de daño de la EMS-98», lo que nos permite esbozar un Escenario de Daño Sísmico con el que se puede valorar la respuesta de un conjunto amplio inmuebles en un tiempo razonable. El EDS es el que nos presenta la situación posterior al desastre –objetivo del estudio- y a partir del cuál se debe plantear el Plan de Emergencia Sísmica de cualquier ciudad.

De la aplicación de lo anterior se deducen los siguientes resultados:

- De los cincuenta y seis, diez sufren un GD2 -daños leves en estructura- lo que supone un 17,9%.
- De los cincuenta y seis, diecisiete sufren un GD3 -daños moderador en estructura- lo que supone un 30,4%.
- De los cincuenta y seis, dieciocho sufren un GD4 -daños estructurales graves- lo que supone un 32,1%.
- De los cincuenta y seis, once sufren un GD5 -colapso total de la estructura- lo que supone un 19,6%.

Analizando el peor de los escenarios, valoremos las consecuencias del denominado GD5: once edificios llegan a tener un GD5, lo que significa el colapso de la estructura, todos exceptuando uno que es el número 23 forman parte de una manzana. El derrumbamiento de un edificio incluido en una manzana supone un daño adicional a los colindantes. Por otro lado, conociendo como se desarrolla el área centro de la ciudad, se encuentran las mismas tipologías e incluso en peor estado ya que no forman parte de una traza urbana tan importante como la Gran Vía. El barrio del Albaicín con un plan especial urbanístico de protección, por su parte, está constituido por un gran porcentaje de construcciones de tapial, el cuál esta prohibido desde la PGS-1 –1968–. El índice de vulnerabilidad estimada para la tipología de tapial –M2, ver Anexo 2– es 0,840 lo cuál significa que parte desde el inicio en la Clase de Vulnerabilidad A, el máximo daño posible.

Ambas áreas urbanas cuentan con calles muy estrechas en relación a la altura de fachada, sobretudo el área centro. La Gran Vía es la frontera que separa ambas áreas con un ancho de 20m (Martínez-Ramos, 2015a) y desemboca en dos espacios abiertos, al sur en la Plaza de Colón y al norte en el Parque del Triunfo y la Avenida de la Constitución. El punto norte es más adecuado ya que goza de mayor amplitud para albergar a mayor número de personas lejos del alcance de cualquier desprendimiento de edificio.

Llama la atención el alto del porcentaje de edificios que se verían afectados por colapso estructural –GD5- junto al hecho de que al pertenecer a manzanas supondrían el consecuente daño a colindantes. Dicho análisis trasladado a otros sectores de la ciudad, con patrimonio edificatorio de peores condiciones morfológicas y constructivas, nos ofrece un alarmante panorama que justifica no sólo un inmediato desarrollo de estudios en detalle que sirvan de base a futuros planes de emergencia, sino a una generación y difusión de una, hasta ahora desatendida, cultura del prevenir.

BIBLIOGRAFÍA

- Catálogo Fichas de Edificios Área Centro. (2000). *Plan Especial del Área Centro de Granada*. Granada, España: Ayuntamiento de Granada. Consejería de Cultura de la Junta de Andalucía
- Catastro. (s.f). Portal de Dirección de Catastro. Granada, Granada, España.
- Concejalía Delegada de Protección Ciudadana y Movilidad. *Análisis previo de funcionalidad de las edificaciones esenciales ante eventos sísmicos*. Granada, España: Ayuntamiento de Granada.
- Consejería de Presidencia. Dirección General de Protección Civil. (2006). *Plan Especial de Protección Civil ante el Riesgo Sísmico en la Región de Murcia*. Murcia, España: Región de Murcia.
- Ferliche, M. (2012). *Elaboración de Escenarios de daños sísmicos de la ciudad de Granada*. Granada: UGR.
- Instituto Geográfico Nacional. (1991). *Mapa de Peligrosidad Sísmica en España. Grupo de Trabajo de Peligrosidad y Riesgo Sísmico del IGN*.
- Lagomarsino, S. G. (2003). Vulnerability assessment of historical and monumental buildings. *RISK-UE project: An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*, 90.
- Lantada, M. N. (2007). *Evaluación del Riesgo Sísmico Mediante Métodos Avanzados y Técnicas GIS. Aplicación a la Ciudad de Barcelona*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- NCSE-02. (2002). *Norma de Construcción Sismorresistente*. Ministerio de Fomento.
- Martínez-Ramos, R. (2015a). Exploration and characterisation of the Gran Vía de Colón in Granada. *PH Investigación*.
- Martínez-Ramos, R. (2015b). *Memoria de la Construcción de la Gran Vía de Colón de Granada. Reconocimiento y Caracterización de sus edificios*. Granada, España: Universidad de Granada.
- RISK-UE . (2004). The European RISK-UE Project: an Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios. *13th World Conference on Earthquake Engineering*, 14.

Contribuciones del V Congreso Internacional sobre documentación, conservación y restauración del patrimonio arquitectónico y paisajístico celebrado en la Escuela de Arquitectura de Granada del 18 al 21 de octubre de 2017.

En este volumen se recogen los artículos presentados en las sesiones “Restauración y Método”, “Sostenibilidad y Eficiencia” y “Estructura y Sismo”.

